



## Guia docent 300022 - CSD - Circuits i Sistemes Digitals

Última modificació: 18/06/2021

**Unitat responsable:** Escola d'Enginyeria de Telecomunicació i Aeroespacial de Castelldefels  
**Unitat que imparteix:** 710 - EEL - Departament d'Enginyeria Electrònica.

**Titulació:** GRAU EN ENGINYERIA DE SISTEMES DE TELECOMUNICACIÓ (Pla 2009). (Assignatura obligatòria).  
GRAU EN ENGINYERIA TELEMÀTICA (Pla 2009). (Assignatura obligatòria).  
GRAU EN ENGINYERIA DE SISTEMES AEROESPACIALS (Pla 2015). (Assignatura optativa).  
GRAU EN ENGINYERIA DE SISTEMES AEROESPACIALS/GRAU EN ENGINYERIA DE SISTEMES DE TELECOMUNICACIÓ - ENGINYERIA TELEMÀTICA (AGRUPACIÓ DE SIMULTANEÏTAT) (Pla 2015). (Assignatura obligatòria).

**Curs:** 2021      **Crèdits ECTS:** 6.0      **Idiomes:** Català, Castellà, Anglès

### PROFESSORAT

---

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

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

### CAPACITATS PRÈVIES

---

Els estudiants han d'haver assolit els coneixements de l'àrea de tecnologia electrònica que s'estudien a l'assignatura l'Electrònica en les Telecomunicacions (1A), tant els de caràcter teòric com les habilitats amb l'ús d'instrumentació de laboratori electrònic.

Els estudiants han de dominar els aspectes bàsics de la programació d'ordinadors, matèria que s'estudia a les assignatures d'Introducció als ordinadors (1A) i Projecte de Programació (1B).

És molt convenient que els estudiants hagin practicat habilitats genèriques com les que ja es tracten en els quadrimestres 1A i 1B. Especialment, el treball cooperatiu, l'aprenentatge autònom i la comunicació oral i escrita.

### REQUISITS

---

ELECTRÒNICA EN LES TELECOMUNICACIONS - Prerequisit

### COMPETÈNCIES DE LA TITULACIÓ A LES QUALS CONTRIBUEIX L'ASSIGNATURA

---

#### Específiques:

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)

#### Genèriques:

3. GESTIÓ DE PROJECTES - Nivell 1: Conèixer eines de gestió de projectes portant a terme les diferents fases del projecte establertes pel professor.
4. ÚS EFICIENT D'EQUIPS I INSTRUMENTACIÓ - Nivell 1: Utilitzar correctament instrumental, equips i programari dels laboratoris d'ús general o bàsics. Realitzar els experiments i pràctiques proposats i analitzar els resultats obtinguts.

#### **Transversals:**

5. APRENENTATGE AUTÒNOM - Nivell 1: Dur a terme les tasques encomanades en el temps previst, tot treballant amb les fonts d'informació indicades, d'acord amb les pautes marcades pel professorat.
6. COMUNICACIÓ EFICACIÓ ORAL I ESCRITA - Nivell 1: Planificar la comunicació oral, respondre de manera adequada les qüestions formulades i redactar textos de nivell bàsic amb correcció ortogràfica i gramatical.
7. TREBALL EN EQUIP - Nivell 1: Participar en el treball en equip i col·laborar-hi, un cop identificats els objectius i les responsabilitats col·lectives i individuals, i decidir conjuntament l'estratègia que s'ha de seguir.
8. TERCERA LLENGUA: Conèixer una tercera llengua, que serà preferentment l'anglès, amb un nivell adequat de forma oral i per escrit i amb consonància amb les necessitats que tindran les titulades i els titulats en cada ensenyament.

### **METODOLOGIES DOCENTS**

---

L'assignatura es basa en l'aprenentatge cooperatiu (AC) i l'aprenentatge basat en problemes o projectes (ABP). És a dir, l'estudiant treballa en grup base durant tot el quadrimestre per realitzar els dissenys que han de lliurar en dates determinades seguint els criteris de qualitat (rúbriques) i la metodologia establerts. Es posa l'èmfasi en què fa l'estudiant, aplicant reiteradament la mateixa tècnica de resolució dels projectes: especificacions, planificació, desenvolupament, i verificació final del producte amb simuladors o targetes d'entrenament, així com en la correcció dels materials elaborats.

El format de la classe presencial a l'aula (grup gran) és el tradicional en què el professor explica la teoria i discuteix amb els estudiants les especificacions i la planificació del problema o projecte a resoldre. També té la funció de donar suport a l'elaboració dels projectes i a l'orientació del treball autònom: cerca d'informació, lectura de materials d'estudi, identificació del problema, organització del pla de treball, distribució de tasques entre els membres del grup, tutorials d'ús de programari o d'instruments de laboratori, discussió sobre els materials i documents produïts, reflexió sobre el funcionament i rendiment del grup cooperatiu, etc.

La sessió de laboratori (grup petit), consisteix en desenvolupar i verificar problemes i tutorials aprenent l'ús de les eines EDA, seguint la seqüència de disseny de circuits electrònics i emprant estratègies docents de treball en grup cooperatiu.

Hem de remarcar que el treball setmanal autònom fora de l'aula és imprescindible per dur a terme les activitats i finalitzar a temps els projectes i la seva documentació amb la qualitat requerida.

Per incentivar l'ús de l'anglès, aquesta serà la llengua de tots els materials d'estudi, llibres, referències i fins i tot la llengua vehicular emprada a classe i a les tutories en horari d'atenció (teaching content through English).

Els estudiants seran enquestats anònimament perquè valorin el funcionament del curs i la tasca docent amb l'objectiu de detectar punts de millora.

## OBJECTIUS D'APRENTATGE DE L'ASSIGNATURA

---

En acabar l'assignatura, l'estudiant ha de ser capaç de:

- Treballar en equip cooperatiu per: especificar, planificar, desenvolupar i testejar projectes, fer el seguiment del temps d'estudi i resoldre conflictes de grup.
- Cercar i analitzar autònomament informació i materials per elaborar projectes, preferentment en anglès, a la biblioteca i a Internet.
- Redactar treballs elaborant documentació escrita seguint els criteris de qualitat especificats a les plantilles de l'assignatura, tant a mà com amb processador de textos, emprant esquetxos, eines gràfiques, correctors automàtics, gestors de projectes, etc.
- Analitzar i simular funcions lògiques amb diagrames lògics i llenguatge de descripció de maquinari (VHDL) usant programari específic (algorisme Espresso, simuladors lògics, etc.) i eines d'automatització del disseny electrònic (EDA).
- Explicar les característiques bàsiques de la tecnologia dels circuits digitals: nivells de voltatge, nivells de soroll, retard de propagació, consum de potència, etc.
- Implementar circuits combinacionals i màquines d'estats finits (FSM) per als dispositius lògics programables CPLD i FPGA, basats en arquitectures jerarquitzades de components, usant VHDL i eines EDA associades al procés de disseny, simulació i implementació.
- Dissenyar, simular i implementar un sistema digital avançat de complexitat mitjana basat en una unitat operativa o datapath (registres dels operands i ALU) i una unitat de control (FSM).
- Classificar els microcontroladors comercials segons arquitectura i capacitat de càlcul, explicar les aplicacions més usuals en el context dels sistemes incrustats senzills (small embedded systems) i descriure el conjunt d'eines de programari i maquinari associades al flux de disseny propi de cada fabricant.
- Dissenyar, simular i implementar projectes per a microcontroladors en llenguatge C usant el patró de FSM i tècniques bàsiques d'E/S i d'interrupcions, amb eines específiques EDA per a seguir el flux de disseny segons el fabricant (Microchip, Texas Instruments, etc.).
- Realitzar la presentació oral d'un projecte desenvolupat durant el curs preparant els materials necessaris i seguint les indicacions de la plantilla.

## HORES TOTALES DE DEDICACIÓ DE L'ESTUDIANTAT

---

Tipus	Hores	Percentatge
Hores grup gran	26,0	17.33
Hores aprenentatge autònom	84,0	56.00
Hores grup petit	26,0	17.33
Hores activitats dirigides	14,0	9.33

**Dedicació total:** 150 h

## CONTINGUTS

### Capítol 1: Circuits combinacionals

**Descripció:**

- Sistemes de numeració, operacions lògiques i aritmètiques, codis binaris per a representar informació.
- Circuits amb funcions lògiques, símbol, àlgebra de Boole, portes lògiques, míniterms, màxiterms, suma de productes, producte de sumes, taula de veritat. Simulació basada en PSPICE.
- Simplificació de funcions lògiques (algorisme Espresso).
- Característiques elèctriques dels circuits digitals segons la tecnologia (nivells lògics, marges de soroll, temps de propagació, potència dissipada, sortides tri-state).
- Components combinacionals lògics (multiplexors, descodificadors, etc.) i aritmètics (sumadors, comparadors, etc.) estàndard.
- Flux de disseny de circuits combinacionals en llenguatge VHDL amb ús d'eines EDA comercials (Intel, Xilinx, Lattice Semiconductor, etc.): especificació, planificació, síntesi en xips programables sPLD/CPLD/FPGA i simulació funcional i a nivell de portes lògiques (Active-HDL, ModelSim, Xilinx ISim, etc.) mitjançant banc de proves (testbench).
- Caracterització i mesures de circuits combinacionals: retards de propagació, màxima freqüència d'operació, potència absorbida, comparativa entre diferents dissenys, etc.

**Activitats vinculades:**

- Exercicis, tutorials i projectes del capítol 1.

**Dedicació:** 44h

Grup gran/Teoria: 12h

Grup petit/Laboratori: 8h

Aprenentatge autònom: 24h



## Capítol 2: Sistemes seqüencials

### Descripció:

- Concepte i especificació d'un sistema seqüencial: símbol, diagrama d'estats, diagrama de temps, descripció funcional.
- Cel·les de memòria asíncrones d'1 bit (latches RS i D). Aplicació en circuits temporitzadors, de rellotge i memòria massiva de dades.
- Cel·les de memòria d'1 bit síncrones (flip-flops RS, JK, D i T).
- Estructura general d'una màquina d'estats finits síncrona (FSM): registre d'estat, lògica de sortides i lògica d'estat futur.
- Flux de disseny de circuits seqüencials en llenguatge VHDL amb ús d'eines EDA comercials (Intel, Xilinx, Lattice Semiconductor, etc.): especificació, planificació, síntesi en xips programables sPLD/CPLD/FPGA i simulació funcional i a nivell de portes lògiques (Active-HDL, ModelSim, Xilinx ISim, etc.) mitjançant banc de proves (testbench).
- Components seqüencials estàndard (comptadors, registres de dades i de desplaçament). Divisors de freqüència.
- Concepte i arquitectura d'un sistema digital avançat (processador digital d'informació o processador dedicat), constituït per una unitat operativa (datapath) i una unitat de control (FSM).
- Especificació, planificació, desenvolupament, simulació i prototipatge d'un processador dedicat senzill (sumador o multiplicador seqüencial, controlador de teclat matricial, un port de comunicació sèrie asíncrona, rellotge en temps real, temporitzador programable, etc.)
- Caracterització i mesures de circuits seqüencials: retards de propagació, màxima freqüència d'operació, potència absorbida, freqüència de rellotge (CLK), comparativa entre diferents dissenys, etc.

### Activitats vinculades:

- Exercicis, tutorials i projectes del capítol 2.

### Dedicació: 50h

Grup gran/Teoria: 12h

Grup petit/Laboratori: 8h

Aprenentatge autònom: 30h

### Capítol 3: Microcontroladors

#### Descripció:

- Introducció a l'ús i disseny d'aplicacions amb microcontroladors comercials.
- La unitat central de procés (CPU). Sistema digital dedicat microprogramat (implementació de funcions lògiques amb memòries) capaç de realitzar operacions diferents amb el mateix maquinari.
- Evolució dels sistemes digitals avançats fins arribar a l'arquitectura d'un sistema microprocessador (unitat de processament, memòries de dades i programa). El microcontrolador: integració del sistema microprocessador en un únic xip amb perifèrics.
- Arquitectura d'un microcontrolador comercial (PIC, ATmega de Microchip, MPS430 de Texas Instruments, etc.). Comparativa amb entorns similars (Arduino, Raspberry Pi, etc.).
- Seqüència de disseny d'una aplicació amb xips comercials: entorn integrat i eines de desenvolupament, codi font en llenguatge C, compilació, simulació amb el laboratori virtual Proteus-VSM, targetes d'entrenament i prototipatge.
- Estil de programació en llenguatge C segons arquitectura FSM: es condiona la programació a un estil predeterminat que emula l'estructura d'una FSM amb la finalitat de donar continuïtat i aprofundir en els continguts dels temes anteriors (a més de facilitar la detecció d'errors -debugging-, la fiabilitat i l'auto-avaluació).
- Lectura o adquisició de senyals d'entrada digitals -nivell lògic- (polling). Detecció de canvis de nivell -transició- (interrupcions). Activació o escriptura de sortides digitals.
- Perifèrics comptadors i temporitzadors. Concepte de temps real i ús de cristall de quars com a rellotge de sincronització i base de temps.
- Altres subsistemes perifèrics. Interfícies per a senyals analògics: convertidors A/D i D/A; mòdul PWM, visualitzador LCD, memòria de dades no volàtil EEPROM, USART de comunicació sèrie asíncrona, comunicació síncrona entre xips: I2C i SPI, etc.

#### Activitats vinculades:

- Exercicis, tutorials i projectes del capítol 3.
- Presentació oral d'un projecte. Els grups de treball realitzaran l'activitat de presentació oral d'un dels projectes dissenyats durant el curs. La duració serà de 10 minuts per grup i s'hauran d'haver preparat els materials com ara transparències, gràfics o pòsters. Se'ls subministrarà una rúbrica amb els ítems a tenir en compte per l'avaluació en què l'ús de l'anglès puntuarà especialment.

#### Dedicació: 56h

Grup gran/Teoria: 16h

Grup petit/Laboratori: 10h

Aprenentatge autònom: 30h

## ACTIVITATS

### Tutorials i projectes

#### Descripció:

Problemes de disseny d'aplicacions relacionades amb la matèria de sistemes digitals. Es treballen en grup cooperatiu i és l'activitat principal de CSD, la que vehicula l'aprenentatge de continguts específics i la posta en pràctica de les habilitats genèriques. Els problemes, la majoria dels quals duren una o dues setmanes, es treballen com s'ha explicat dins i fora de l'aula i als laboratoris amb el guiatge del professor.

La metodologia emprada basada en l'AC i l'ABP obliga a que per un correcte aprenentatge i seguiment de la matèria, l'estudiant hagi d'assistir a classe.

La solució dels problemes, també inclou l'anotació del temps emprat en la seva realització, la descripció i distribució de tasques entre els membres del grup, una proposta de valoració de l'exercici i la signatura de l'equip cooperatiu amb el compromís del treball fet honestament.

Hem de remarcar que la seqüència de problemes ABP que es proposa no permet resoldre'ls aïlladament, sinó que aquests estan preparats acuradament per encadenar conceptes i construir el coneixement específic pas a pas. Per resoldre un exercici determinat cal haver resolt els exercicis anteriors. Per tant, no és recomanable saltar-se temes o deixar l'assignatura temporalment per retornar-hi més endavant. L'únic camí possible és seguir la seqüència establerta lliurant els materials en la data establerta per permetre la revisió i millora continuada.

Finalment val a dir que els projectes proposats són de caire pràctic, organitzats perquè funcionin, més a prop del món real que de l'acadèmia, amb la intenció de reforçar la motivació dels estudiants i visualitzar amb més claredat aquesta matèria tant present en la vida quotidiana. L'estudiant aprèn a dissenyar visualitzadors de 7-segments o en matrius de LED, selectores de dades, teclats matricials bloquejats per una paraula clau, temporitzadors, rellotges, automats programables per controlar motors o senyals de transit, subsistemes de transmissió de dades, calculadores senzilles, i altres circuits del mateix estil i complexitat.

Les solucions que es proposen permeten resoldre els problemes usant dispositius programables i llenguatges de descripció de maquinari o bé, alternativament, microcontroladors i llenguatge C, de forma que es facilita la comparativa de tecnologies. Una llista orientativa descriptiva dels conceptes inclosos en els dissenys a realitzar seria:

- P1. Anàlisi de circuits bàsics amb portes lògiques.
- P2. Circuits combinacionals lògics estàndard.
- P3. Circuits aritmètics.
- P4. Circuits combinacionals amb múltiples components organitzats jeràrquicament.
  
- P5. Cel·les bàsiques de memòria, latches i flip-flops.
- P6. Màquines d'estat finit (FSM).
- P7. Components seqüencials estàndard: registres i comptadors.
- P8. Sistema digital complex (processador dedicat).
  
- P9. Entrada/sortida en un sistema microcontrolador.
- P10. Interrupcions i FSM en llenguatge C.
- P11. Perifèrics: LCD. Projectes amb múltiples fitxers font.
- P12. Perifèrics: Temporitzadors, A/D, etc.

#### Material:

Material d'estudi de l'assignatura (apunts, notes de classe, tutorials i exemples d'exàmens i exercicis d'anys anteriors, etc.), simulador de circuits electrònics, i instrumentació típica de laboratori d'electrònica digital, programari EDA lliure i comercial, targetes d'entrenament per disseny amb PLD/FPGA i microcontroladors.

L'assignatura compta amb una web a l'adreça <http://digsys.upc.edu>, amb la qual s'accedeix als materials necessaris i al dia a dia de les classes, amb arxiu de cursos anteriors i antigues assignatures de la matèria dels sistemes digitals. Aquesta web complementa el campus Atenea.

L'assignatura compta amb un bloc a Atenea amb interacció voluntària dels estudiants per a proposar preguntes i respostes.

**Dedicació:** 150h



Grup gran/Teoria: 40h  
Grup petit/Laboratori: 26h  
Aprentatge autònom: 84h

## SISTEMA DE QUALIFICACIÓ

---

S'aplicaran els criteris d'avaluació definits a la infoweb de l'assignatura.

## NORMES PER A LA REALITZACIÓ DE LES PROVES.

---

És imprescindible lliurar les activitats programades durant el curs en el termini establert.

Els projectes es puntuaran atenent a una plantilla de correcció (rúbrica) que conté els ítems a considerar i el seu pes sobre la nota de l'exercici.

Així mateix, els membres del grup cooperatiu han d'haver participat honestament en la seva realització fent-se responsables de tot el material lliurat en el seu nom. El professor afavorirà la discussió continuada amb els grups cooperatius sobre qualsevol aspecte relacionat amb els projectes i la seva puntuació, ja que es considera que el mateix acte d'avaluar és un dels puntals de l'aprenentatge dels continguts i les competències.

## BIBLIOGRAFIA

---

### Bàsica:

- Roth, C.; Kurian, L. Digital system design using VHDL. 2a ed. Thomson International, 2008. ISBN 0495244708.
- Hwang, E.O. Digital logic and microprocessor design with VHDL. CL-Engineering, 2005. ISBN 0534465935.
- Brown, Stephen D.; Vranesic, Zvonko G. Fundamentals of digital logic with VHDL design. 2nd ed. Boston: McGraw-Hill, 2005. ISBN 0071244824.
- Reese, Robert B. Microprocessors : from assembly language to C using the PIC18Fxx2 [en línia]. 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.
- Barnett, R. H.; Cox, S.; O'Cull, L.. Embedded C programming and the Atmel AVR. New York: Thomson Delmar Learning, 2006. ISBN 1418039594.