Guia docent
300521 - CDIOII - Cdio II

Última modificació: 14/01/2026

Unitat responsable: Escola d'Enginyeria de Telecomunicació i Aeroespacial de Castelldefels
Unitat que imparteix: 748 - FIS - Departament de Física.
710 - EEL - Departament d'Enginyeria Electrònica.
739 - TSC - Departament de Teoria del Senyal i Comunicacions.

Titulació: GRAU EN ENGINYERIA DE SATÈL·LITS (Pla 2024). (Assignatura obligatòria).

Curs: 2025 **Crèdits ECTS:** 5.0 **Idiomes:** Català, Castellà

PROFESSORAT

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

Altres: Definit a la infoweb de l'assignatura.

CAPACITATS PRÈVIES

Programació bàsica en C
Programació bàsica en Python
Programació bàsica en Matlab
Electrònica analògica bàsica

METODOLOGIES DOCENTS

L'assignatura s'organitza entorn del desenvolupament d'un projecte en què es llançarà un globus sonda proveït d'un sistema de telemetria amb l'objectiu de determinar-ne la localització, l'orientació, les variables ambientals i els paràmetres geomètrics del globus durant la fase d'ascens. Totes les mesures estaran orientades a un objectiu final que variarà i serà definit en cada edició de l'assignatura.
Els estudiants s'organitzaran en grups de dotze per constituir equips de projecte. Cada equip haurà de dissenyar, assemblar i implementar una sonda completa, funcional i independent de la desenvolupada per la resta d'equips, i competirà per realitzar el millor disseny, que finalment es llançarà en acabar el curs.
El disseny de la sonda s'estructura en sis subsistemes: alimentació, calefacció, comunicacions, mesura de variables atmosfèriques, localització i orientació, i captura i processament d'imatge. Cada subsistema serà assignat a un grup de treball integrat per dos estudiants. En conseqüència, cada equip de projecte estarà compost per sis grups de treball que hauran de coordinar-se per garantir la compatibilitat funcional, la integració mecànica i electrònica, i el compliment dels requisits del sistema complet.
L'assignatura s'organitza en tres blocs: formació bàsica en les temàtiques necessàries per al desenvolupament de la sonda, formació en eines electròniques per a la programació de microcontroladors i el disseny de PCB, i desenvolupament del projecte. Mentre que els dos primers blocs es desenvoluparan mitjançant classes magistrals combinades amb demostracions pràctiques, el desenvolupament del projecte es durà a terme pels grups de treball de manera autònoma al laboratori, sota la supervisió de professors especialistes en cadascuna de les temàtiques.

Tot i que cada grup de treball desenvoluparà subsistemes diferents, tots hauran de programar un microcontrolador, així com dissenyar i implementar un circuit electrònic utilitzant l'eina professional Altium.

OBJECTIUS D'APRENENTATGE DE L'ASSIGNATURA

- Utilitzar eines professionals per a l'edició d'esquemes de sistemes electrònics i el disseny de circuits impresos (PCB).
- Programar i configurar microcontroladors per a la seva integració en sistemes electrònics d'adquisició de dades.
- Descriure i relacionar les capes de l'atmosfera amb les seves condicions ambientals.
- Dissenyar un sistema bàsic d'alimentació autònoma.
- Conèixer els fenòmens físics que determinen la temperatura d'un sistema a les capes externes de l'atmosfera o fora d'aquesta, així com els mètodes de control i de disseny necessaris per mantenir aquesta temperatura dins dels marges de funcionament establerts.
- Conèixer els principals paràmetres de configuració d'un sistema de comunicacions LoRa.
- Analitzar com les condicions ambientals extremes afecten el funcionament de sistemes electrònics.
- Determinar l'actitud d'un sistema d'observació terrestre mitjançant sensors inercials i magnètics.
- Aplicar tècniques bàsiques de fusió de sensors per optimitzar l'exactitud de les mesures.
- Treballar de manera coordinada en equip, planificant i estructurant el projecte mitjançant la divisió en subsistemes funcionals.

HORES TOTALS DE DEDICACIÓ DE L'ESTUDIANTAT

Tipus	Hores	Percentatge
Hores grup gran	55,0	44.00
Hores aprenentatge autònom	70,0	56.00

Dedicació total: 125 h

CONTINGUTS

Models atmosfèrics i dinàmica d'ascens

Descripció:
Modelar la variació de les variables atmosfèriques (pressió, temperatura i densitat de l'aire) i la seva influència en la dinàmica d'ascens d'un globus sonda en funció de l'altitud.

Objectius específics:
L'estudiant serà capaç de:
-Determinar les condicions ambientals que han de suportar els components de la sonda.
- Dimensionar l'autonomia del sistema d'alimentació mitjançant piles.
- Avaluar la necessitat d'un sistema de calefacció i dimensionar-lo.
- Definir els paràmetres bàsics per a la planificació del vol.

Activitats vinculades:
- Introducció
- Formació bàsica
-Exàmens

Dedicació: 7h 56m
Grup gran/Teoria: 2h 50m
Aprenentatge autònom: 5h 06m

Sensors ambientals i de navegació de la sonda

Descripció:
Conèixer el principi de funcionament i les característiques dels sensors ambientals de temperatura, humitat i pressió, així com dels sensors utilitzats per determinar l'orientació i l'altitud de la sonda, com ara el magnetòmetre, la IMU i l'altímetre baromètric.

Objectius específics:
Seleccionar, configurar i integrar adequadament els sensors en el disseny de la sonda.

Activitats vinculades:
- Introducció
- Formació bàsica
- Exàmens

Dedicació: 7h 56m
Grup gran/Teoria: 2h 50m
Aprenentatge autònom: 5h 06m

Tecnologia LoRa per a comunicacions de llarg abast

Descripció:
Configuració i ús de mòduls LoRa per a la comunicació entre la sonda i l'estació base.

Objectius específics:
Transmetre les mesures adquirides per la sonda a l'estació base.

Activitats vinculades:
- Introducció
- Formació bàsica
- Exàmens

Dedicació: 9h 30m
Grup gran/Teoria: 5h
Aprenentatge autònom: 4h 30m

Captura i processament d'imatges mitjançant microcontrolador

Descripció:
Ús d'un microcontrolador STM32 i d'una càmera CMOS amb memòria FIFO per al processament d'imatges i l'obtenció d'informació geomètrica. Introducció a la codificació bàsica d'imatges, la gestió d'interfícies de comunicació amb la càmera, el reconeixement de contorns i tècniques senzilles de processament d'imatge orientades a la determinació del diàmetre del globus.

Objectius específics:
Estimar el diàmetre del globus mitjançant tècniques de processament d'imatge i analitzar la seva influència en la dinàmica d'ascens.

Activitats vinculades:
- Introducció
- Formació bàsica
- Exàmens

Dedicació: 7h 56m
Grup gran/Teoria: 2h 50m
Aprenentatge autònom: 5h 06m

Control de temperatura

Descripció:
Estudi dels mecanismes de transmissió de calor (conducció, convecció i radiació) i de com varien en funció de l'altitud de la sonda. Introducció al modelatge tèrmic del sistema, descrivint l'evolució dinàmica de la temperatura davant d'una font de calor. Anàlisi del funcionament d'estratègies bàsiques de control tèrmic, incloent el control tot/nada (ON/OFF) i el control PID, aplicades a la regulació de la temperatura de la sonda.

Objectius específics:
L'estudiant serà capaç de dissenyar el sistema de calefacció de la sonda per mantenir els seus components dins d'un rang de temperatures adequat per al seu correcte funcionament.

Activitats vinculades:
- Introducció
- Formació bàsica
- Exàmens

Dedicació: 7h 56m
Grup gran/Teoria: 2h 50m
Aprenentatge autònom: 5h 06m

Sistema d'alimentació autònom mitjançant bateries

Descripció:
Descripció de les característiques de les bateries, incloent-hi la capacitat, les corbes de descàrrega, l'autodescàrrega i la impedància de sortida, així com dels circuits de supervisió habitualment utilitzats. En relació amb els circuits d'acondicionament de potència, s'introdueix el funcionament bàsic dels reguladors lineals i commutats, juntament amb les principals característiques que en determinen l'aplicació. Així mateix, es presenta l'ús de comptadors de càrrega per a la supervisió de l'autonomia del sistema d'alimentació.

Objectius específics:
L'estudiant serà capaç de dimensionar el sistema de bateries per assolir l'autonomia requerida de la missió, seleccionar els reguladors de tensió pels diferents subsistemes i dissenyar un sistema de supervisió de l'alimentació.

Activitats vinculades:
- Introducció
- Formació bàsica
- Exàmens

Dedicació: 7h 56m
Grup gran/Teoria: 2h 50m
Aprenentatge autònom: 5h 06m

Configuració, programació i entorn de desenvolupament de microcontroladors STM32

Descripció:
Introducció a les prestacions dels microcontroladors STM32, a l'entorn de configuració STM32CubeMX i a la programació mitjançant STM32CubeIDE i les llibreries HAL. S'estudia l'ús dels perifèrics bàsics del microcontrolador, incloent-hi ports digitals d'entrada i sortida, conversió analògic-digital, generació de senyals PWM, temporitzadors per al recompte i la captura de polsos, així com les principals interfícies de comunicació sèrie: UART, SPI i I2C.

Objectius específics:
L'estudiant serà capaç de programar el microcontrolador STM32F401 per al control, la coordinació i la integració dels diferents subsistemes de la sonda.

Activitats vinculades:
- Introducció
- Formació sobre la configuració i la programació del microcontrolador
- Disseny i programació dels subsistemes
- Muntatge, integració i validació de la sonda completa
- Llançament
- Exàmens

Dedicació: 40h 05m
Grup gran/Teoria: 9h 05m
Grup petit/Laboratori: 11h
Aprenentatge autònom: 20h

Disseny d'esquemes electrònics i plaques de circuit imprès (PCB) amb Altium

Descripció:
Formació en l'ús de l'eina professional Altium per al disseny electrònic, abastant l'edició d'esquemes i el disseny de circuits impresos (PCB). El contingut inclou el coneixement de l'entorn de treball, la gestió de llibreries i components, l'enrutament i la verificació del disseny mitjançant regles, així com la generació de la documentació requerida per a la fabricació.

Objectius específics:
L'estudiant serà capaç de desenvolupar el disseny de la placa electrònica del seu subsistema i generar els fitxers i la documentació requerits per a la seva fabricació.

Activitats vinculades:
- Introducció
- Edició dels esquemes electrònics i disseny de les plaques de circuit imprès (PCB) dels subsistemes
- Disseny i programació dels subsistemes
- Muntatge, integració i validació de la sonda completa
- Llançament
- Exàmens

Dedicació: 35h 45m
Grup gran/Teoria: 4h 45m
Grup petit/Laboratori: 11h
Aprenentatge autònom: 20h

ACTIVITATS

Introducció

Descripció:
Classe magistral de presentació de l'assignatura en què s'introdueix el projecte a desenvolupar, se n'expliquen els objectius i se'n descriu l'estructura mitjançant la divisió en subsistemes funcionals, que s'assignen als diferents grups de treball. Així mateix, es detallen l'organització general de l'assignatura, el sistema d'avaluació i les normes de funcionament del laboratori. En aquest context, es presenten i s'expliquen les diferents fases del projecte segons la metodologia CDIO: Concepció, Disseny, Implementació i Operació.

Objectius específics:
Informació sobre els objectius i l'organització de l'assignatura.

Dedicació: 2h
Grup gran/Teoria: 2h

Formació bàsica

Descripció:
Classes magistrals, amb suport puntual de demostracions pràctiques, orientades a proporcionar els coneixements bàsics necessaris per al desenvolupament del projecte. Els continguts s'estructuren en els blocs següents:
- Models atmosfèrics i física de l'ascensió: model atmosfèric internacional (ISA), forces i velocitat terminal.
- Sensors ambientals: orientació mitjançant sensors inercials i magnètics, sensors ambientals i fusió de dades.
- Sistema d'alimentació: bateries, sistemes de supervisió i regulació de tensió.
- Sistema de calefacció: generació i control tèrmic mitjançant MOSFET i modulació PWM; estratègies de control de temperatura.
- Comunicacions LoRa: fonaments i paràmetres de configuració.
- Captura i processament d'imatges: codificació, segmentació, detecció de vores, ajust geomètric i calibratge.

Objectius específics:
Coneixement bàsic per al dimensionament de la sonda i el disseny dels diferents subsistemes.

Dedicació: 28h 30m
Grup gran/Teoria: 13h 30m
Aprenentatge autònom: 15h

Formació sobre la configuració i la programació de microcontroladors

Descripció:
Classes magistrals, amb suport puntual de demostracions pràctiques, orientades a conèixer les prestacions dels microcontroladors STM32, l'entorn de configuració STM32CubeMX i la programació mitjançant STM32CubeIDE i les llibreries HAL. S'hi aborda l'ús de ports digitals d'entrada i sortida, la captura i conversió de senyals analògics, la generació de senyals PWM, el comptatge i la captura de polsos mitjançant temporitzadors, i les comunicacions sèrie: UART, SPI i I2C.

Objectius específics:
Formació específica per al control i la integració dels diferents subsistemes mitjançant el microcontrolador.

Dedicació: 18h
Grup gran/Teoria: 7h 30m
Aprenentatge autònom: 10h 30m

Formació en eines professionals per a l'edició d'esquemes electrònics i el disseny de circuits impresos (PCB)

Descripció:
Classes magistrals, amb suport puntual de demostracions pràctiques, orientades a l'adquisició de competències en l'ús de l'eina professional Altium per a l'edició d'esquemes electrònics i el disseny de circuits impresos (PCB). S'hi aborda el coneixement de l'entorn de treball, l'edició d'esquemes, la gestió de llibreries i components, el disseny i l'enrutament de PCBs, la verificació del disseny mitjançant regles, i la preparació de la documentació necessària per a la fabricació.

Objectius específics:
Formació específica per al disseny de les plaques electròniques de la sonda.

Dedicació: 14h 30m
Grup gran/Teoria: 4h
Aprenentatge autònom: 10h 30m

Disseny i programació dels subsistemes

Descripció:
Disseny i validació de cadascun dels subsistemes. Cada grup de treball dissenyarà el subsistema que li hagi estat assignat, en realitzarà el muntatge en protoboard i desenvoluparà el firmware de control corresponent.

Objectius específics:
- Dissenyar i validar el subsistema d'alimentació basat en bateries.
- Dissenyar i validar el subsistema de calefacció.
- Dissenyar i validar el subsistema de mesura de variables atmosfèriques.
- Dissenyar i validar el subsistema de localització i orientació de la sonda.
- Dissenyar i validar un subsistema de comunicacions.
- Dissenyar i validar un subsistema de captura i processament d'imatges.

Material:
-PC amb Windows
- Placa de desenvolupament STM32F401 NUCLEO
- Components específics per a cada subsistema
- Analog Discovery Studio
- Cambra climàtica
- Programari: STM32CubeMX, STM32CubeIDE, WaveForms

Lliurament:
- Memòria final
- Documentació de la configuració i programació del microcontrolador per a la seva integració
- Demostració del funcionament per a la seva avaluació

Dedicació: 19h
Grup petit/Laboratori: 7h
Aprenentatge autònom: 12h

Edició dels esquemes electrònics i disseny de les plaques de circuit imprès (PCB) dels subsistemes

Descripció:
Cada grup de treball dissenyarà, mitjançant Altium Designer, els esquemes electrònics i les plaques de circuit imprès (PCB) dels subsistemes que hagi desenvolupat.

Objectius específics:
Obtenir la documentació per a la fabricació de les plaques de circuit imprès

Material:
- PC amb Windows
- Altium Designer

Lliurament:
- Esquemes per a la memòria final
- Fitxers Gerber per a la fabricació
- Llista de components (BOM – Bill of Materials)

Dedicació: 10h
Grup petit/Laboratori: 4h
Aprenentatge autònom: 6h

Muntatge, integració i validació de la sonda completa

Descripció:
Els components es soldaran a les plaques corresponents a cadascun dels subsistemes. Un cop verificats de manera individual, s'acoblaran per conformar la sonda juntament amb els sensors, els calefactors i les bateries externes. Es desenvoluparà i programarà un firmware únic en el microcontrolador que integri les funcionalitats de tots els subsistemes. Un cop completat el muntatge, es duran a terme proves integrals de la sonda, reproduint les condicions ambientals que es produiran durant el llançament.

Objectius específics:
Disposar d'una sonda plenament funcional i preparada per al seu llançament.

Material:
- Plaques de circuit imprès i components dels diferents subsistemes
- Instrumental de soldadura
- PC amb Windows
- ST-LINK a la placa de desenvolupament STM32F401 NUCLEO
- Analog Discovery Studio
- Cambra climàtica
- Software: STM32CubeMX, STM32CubeIDE, WaveForms, Visual Studio Code i Python

Lliurament:
- Sonda completa
- Proves finals
- Memòria final

Dedicació: 25h
Grup petit/Laboratori: 11h
Aprenentatge autònom: 14h

Llançament

Descripció:
Ens desplaçarem a un emplaçament segur i degudament habilitat per al llançament de la sonda. En aquest lloc s'assemblaran els diferents elements del sistema, s'inflarà el globus amb heli, es calibraran els sensors i es duran a terme les comprovacions finals de funcionament.
Un cop verificat el correcte funcionament del sistema, s'iniciarà la fase de captura de dades per part de les estacions base i es procedirà a l'alliberament del globus, donant començament al seu ascens. La monitorització i adquisició de dades de la sonda es realitzarà de manera simultània des de totes les estacions base dels diferents grups de projecte.
Un cop finalitzat l'ascens i el posterior aterratge de la sonda, es procedirà a la seva localització i, si és possible, a la seva recuperació.

Objectius específics:
Captura de mesures durant l'ascensió

Material:
-Sonda completa: globus, paracaigudes, gòndola i reflector radar.
- Ampolles d'heli
- Estacions base: PC amb Windows i subsistema de comunicacions

Lliurament:
- Memòria final

Dedicació: 5h
Grup gran/Teoria: 3h
Aprenentatge autònom: 2h

Examens

Descripció:
Examen de mig quadrimestre sobre els continguts impartits a les classes de Formació bàsica i Configuració i programació de microcontroladors. La recuperació d'aquest examen es realitzarà durant la setmana d'exàmens finals.

Objectius específics:
Avaluar els coneixements adquirits.

Dedicació: 3h
Grup gran/Teoria: 3h

SISTEMA DE QUALIFICACIÓ

L'avaluació es basa en una combinació d'exàmens i activitats pràctiques. Es realitzaran dos exàmens, un a mitjan quadrimestre i un altre al final, que aportaran un 12,5 % cadascun a la qualificació final. La resta de la nota provindrà de tres activitats pràctiques, amb un pes del 25 % cadascuna.
La primera d'aquestes activitats consisteix a comprovar el correcte funcionament dels diferents subsistemes de manera independent (fita 1). Un cop superada aquesta fase, s'abordarà el disseny, la fabricació i el muntatge de les plaques de circuit imprès (PCB), així com la integració de tots els elements en un únic sistema.
Abans del llançament, es durà a terme una prova completa de la sonda (fita 2), en la qual s'avaluarà el seu funcionament global i es decidirà quin disseny és el més adequat per al vol. Finalment, després de la recollida i l'anàlisi de les dades obtingudes durant el llançament, s'elaborarà una memòria final, que tancarà el procés d'avaluació.

NORMES PER A LA REALITZACIÓ DE LES PROVES.

L'assistència a les sessions de desenvolupament del projecte és obligatòria.

BIBLIOGRAFIA

Bàsica:
- Yajima, Nobuyuki. Scientific ballooning : technology and applications of exploration balloons floating in the stratosphere and the atmospheres of other planets . New York : Springer, 2009. ISBN 978-0-387-09725-1.
- Michael Stanley , Jongmin Lee. Sensor Analysis for the Internet of Things [en línia]. 1. Springer Nature Link, 1 juny 2022 [Consulta: 13/01/2026]. Disponible a: https://link-springer-com.recursos.biblioteca.upc.edu/book/10.1007/978-3-031-01526-7#accessibility-information. ISBN 978-3-031-01526-7.
- José Meseguer Isabel Pérez-Grande Angel Sanz-Andrés. Spacecraft Thermal Control [en línia]. Woodhead Publishing, 2012 [Consulta: 13/01/2026]. Disponible a: https://www.sciencedirect.com/book/monograph/9781845699963/spacecraft-thermal-control#book-info. ISBN 978-1-84569-996-3.
- Sylvain MONTAGNY. LoRa LoRaWAN and IoT for beginners. A LOW POWER, LONG RANGE, WIRELESS TECHNOLOGY [en línia]. e-book gratuito. Université Savoie Mont Blanc / LoRa Alliance, [Consulta: 13/01/2026]. Disponible a: https://www.univ-smb.fr/lorawan/en/free-book/.
- Dogan Ibrahim. Nucleo Boards Programming with the STM32CubeIDE [en línia]. Aquisgrán (Aachen), Alemania: Elektor Verlag, [Consulta: 13/01/2026]. Disponible a: https://www.amazon.es/Nucleo-Boards-Programming-STM32CubeIDE-Hands/dp/3895764167/ref=asc_df_3895764167?mcid=020a4eb7fb8d35aa82f3ac213f7498b6&tag=googshopes-21&linkCode=df0&hvadid=699725881654&hvpos=&h. ISBN 978-3-89576-416-5.
- Majid Pakdel. Fast PCB Design with Altium Designer [en línia]. Central West Publishing. [Consulta: 13/01/2026]. Disponible a: https://www.amazon.com/Design-Designer-Industrial-Automation-Control/dp/1922617091. ISBN 978-1922617095.

Complementària:
- Wallace, John M; Hobbs, Peter. Atmospheric science : an introductory survey . 2nd ed. Burlington, Mass. : Elsevier Academic Press, cop. 2006. ISBN 9780127329512.

RECURSOS

Altres recursos:
Transparències i documentació penjades a Atenea