

Guia docent

300524 - CL - Coets i Llançadores

Última modificació: 29/06/2026

Unitat responsable: Escola d'Enginyeria de Telecomunicació i Aeroespacial de Castelldefels
Unitat que imparteix: 748 - FIS - Departament de Física.

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

Curs: 2026 **Crèdits ECTS:** 5.0 **Idiomes:** Català, Castellà, Anglès

PROFESSORAT

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

Altres: Definit a la infoweb de l'assignatura.

CAPACITATS PRÈVIES

- Operabilitat sòlida amb el càlcul vectorial i matricial, el càlcul diferencial i integral, i la seva aplicació a problemes físics en diverses dimensions.
- Familiaritat amb sistemes de coordenades, canvis de referència i representació vectorial de magnituds físiques.
- Comprensió de força, treball, energia, camp i potencial gravitatori, i conservació de l'energia, del moment lineal i del moment angular.
- Coneixements bàsics de dinàmica de partícules i moviment sota forces centrals.
- Fonaments de termodinàmica i mecànica de fluids.
- Capacitat per seguir raonaments matemàtics i físics de complexitat mitjana, interpretar expressions analítiques i resoldre problemes d'enginyeria mitjançant mètodes numèrics.
- Familiaritat amb MATLAB.
- Coneixements previs d'astrodinàmica i mecànica orbital, incloent-hi òrbites keplerianes, elements orbitals, problema de Lambert, gràfiques pork-chop i conceptes bàsics del problema restringit dels tres cossos.

Es recomana haver superat Mecànica Clàssica i Matemàtiques Avançades, Mètodes Numèrics i Termodinàmica, i Mecànica Orbital i Mecànica de Fluids.

REQUISITS

Cap.

METODOLOGIES DOCENTS

L'assignatura s'impartirà mitjançant una combinació de classes expositives, sessions guiades de resolució de problemes i sessions de projecte computacional.

Les sessions de teoria i problemes introdueixen les lleis físiques, els models d'enginyeria i els criteris de disseny necessaris per analitzar llançadors i sistemes de propulsió coet. S'utilitzaran problemes breus per reforçar els conceptes i desenvolupar intuïció d'enginyeria.

Les sessions de projecte s'organitzen al voltant de treball progressiu en MATLAB. L'estudiantat desenvolupa i valida eines numèriques en grups petits, amb supervisió del professorat durant la classe. El primer projecte se centra en la simulació de trajectòries de llançament i la inserció orbital. El segon projecte se centra en la modelització de motors coet i sistemes d'alimentació.

Sempre que sigui possible, els exemples, exercicis i projectes es connectaran amb aplicacions realistes de llançament de satèl·lits, des de missions properes a la Terra fins a sortides interplanetàries quan sigui pedagògicament útil. L'assignatura posa èmfasi en hipòtesis de modelització explícites, implementació numèrica llegible, ús clar d'unitats i interpretació crítica de resultats.

OBJECTIUS D'APRENENTATGE DE L'ASSIGNATURA

- Explicar el paper dels llançadors i dels motors coet en el disseny de missions satel·litàries.
- Aplicar l'equació ideal del coet i interpretar-ne les hipòtesis i limitacions.
- Modelitzar les principals forces que actuen sobre un llançador durant l'ascens.
- Analitzar la influència de l'empenta, la disminució de massa, les pèrdues gravitatòries, les pèrdues per arrossegament, les pèrdues de guiatge, l'etapament i el guiatge en les prestacions del llançador.
- Avaluar arquitectures de llançadors emprant fracció de massa, relació de càrrega útil, etapament, òrbita de missió i restriccions operatives.
- Identificar com la latitud de la base de llançament, l'azimut de llançament, la seguretat de rang, les finestres de llançament i les operacions afecten les òrbites assolibles.
- Comparar famílies de llançadors i seleccionar opcions de llançament plausibles per a missions satel·litàries.
- Descriure els principis físics del rendiment dels motors coet, el flux en toveres, la termoquímica de la combustió, els propel·lents criogènics, els cicles d'alimentació i la turbomaquinària.
- Implementar, verificar i interpretar simulacions simplifiades en MATLAB relacionades amb trajectòries de llançament i anàlisi de motors coet/sistemes d'alimentació.
- Comunicar hipòtesis de modelització, resultats numèrics, unitats i limitacions d'enginyeria en un format tècnic concís.

HORES TOTALES DE DEDICACIÓ DE L'ESTUDIANTAT

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

Dedicació total: 125 h

CONTINGUTS

Mòdul A - Llançadors

Descripció:

- Paper del llançador en la missió i requisits de la missió satel·litària.
- Equació ideal del coet, delta-v, impuls específic, velocitat efectiva d'ejecció, impuls total i relació empenta-pes.
- Dinàmica del llançador i de la trajectòria: model puntual 2D, variables d'estat, empenta, disminució de massa, gravetat, atmosfera, arrossegament, pressió dinàmica, max-Q, programa de capcineig, gir gravitatori i mètriques d'inserció orbital.
- Disseny i etapament de llançadors: massa de propel·lent, massa estructural, massa de càrrega útil, relació de masses, coeficient estructural, fracció de càrrega útil, etapes en sèrie i en paral·lel, esdeveniments de separació, paper de les etapes superiors i reutilització.
- Famílies de llançadors i selecció de missió: massa i volum de càrrega útil, òrbita objectiu, cofia, interfícies, precisió d'injecció, fiabilitat, disponibilitat, cost, risc, llançament dedicat i rideshare.
- Bases de llançament i operacions: latitud, azimut, inclinació assolible, benefici de la rotació terrestre, seguretat de rang, sobrevol, petjades de restes, finestres de llançament, meteorologia, infraestructura terrestre, integració de la càrrega útil i campanya de llançament.
- Tendències actuals i conceptes futurs: sistemes reutilitzables, llançadors metà/oxigen, petits llançadors, llançament responsiu, vehicles de transferència orbital, pressions ambientals i reguladores, i cadència de llançament.

Activitats vinculades:

- Problemes guiats del Mòdul A.
- Projecte de simulació de trajectòria de llançament.
- Examen escrit de mig quadrimestre del Mòdul A.

Dedicació: 46h 30m

Grup gran/Teoria: 12h

Aprenentatge autònom: 34h 30m

Mòdul B - Motors Coet i Sistemes d'Alimentació

Descripció:

- Introducció als motors coet: importància històrica, principals tipus de motors coet, cambra de combustió, toveres, coets sòlids, coets líquids, coets híbrids i motors coet per a propulsió espacial.
- Model ideal de coet: limitacions de l'equació de Tsiolkovsky, teoria de toveres isentròpiques, toveres convergent-divergents, equacions del coet amb gas perfecte, separació del flux i criteris de separació.
- Termoquímica de la combustió: models de gas ideal i gas perfecte, mesclades de gasos, dissociació, combustió en equilibri, temperatura de combustió i limitacions del model.
- Propel·lents criogènics: propietats de fluids condensables i comparació entre models de gas ideal/perfecte i propietats de fluids reals.
- Cicles d'alimentació de coets: principals arquitectures, sistemes pressuritzats i amb turbobomba, turbomaquinària, anàlisi termodinàmica de cicles d'alimentació i disseny del sistema d'alimentació.

Activitats vinculades:

- Problemes guiats del Mòdul B.
- Projecte de programació de motors coet i sistemes d'alimentació.
- Examen escrit final del Mòdul B.

Dedicació: 47h 30m

Grup gran/Teoria: 12h

Aprenentatge autònom: 35h 30m

ACTIVITATS

Problemes Guiats Del Mòdul A

Descripció:

Problemes breus a classe vinculats als capítols de teoria de llançadors. Els problemes estan dissenyats per revelar intuïció física i compromisos d'enginyeria: estimacions de delta-v ideal, efectes de gravetat i arrossegament, etapament, relació de càrrega útil, restriccions d'inclinació per base de llançament i selecció de llançador.

Alguns exercicis de classe es podran lliurar i qualificar com a part del component d'exercicis de classe del Mòdul A. El nombre, calendari i format d'aquests exercicis seran definits pel professorat responsable del mòdul.

Dedicació: 4h

Grup gran/Teoria: 4h

Projecte de Simulació de Trajectòria de Llançament

Descripció:

Projecte en grup en MATLAB per implementar un simulador simplificat de trajectòria d'un llançador i usar-lo per assolir o avaluar un escenari representatiu d'inserció orbital d'un satèl·lit.

La implementació obligatòria és un model puntual 2D d'ascens que inclou gravetat terrestre, atmosfera, arrossegament, empena, disminució de massa, guiatge de capcineig, etapament i mètriques d'inserció orbital. Les extensions opcionals poden incloure anàlisi 3D de base de llançament, ajust d'inclinació o optimització simple.

Els resultats esperats inclouen codi MATLAB, gràfiques de trajectòria i prestacions, avaluació orbital de l'estat final i un breu informe tècnic que documenti hipòtesis i limitacions.

El projecte podrà incloure punts de control. Aquests punts de control formen part de l'avaluació del projecte; el seu pes i regles de lliurament es definiran al programa del projecte o a les notes de l'assignatura.

Dedicació: 10h

Grup gran/Teoria: 10h

Examen Escrit de Mig Quadrimestre del Mòdul A

Descripció:

Avaluació escrita individual que cobreix únicament el Mòdul A. El format i els continguts detallats de l'examen seran definits pel professorat responsable.

Dedicació: 2h

Grup gran/Teoria: 2h

Problemes Guiats Del Mòdul B

Descripció:

Problemes breus a classe vinculats als capítols de motors coet i sistemes d'alimentació. Els problemes estan dissenyats per connectar modelització física, termodinàmica, mecànica de fluids, rendiment de toveres, combustió, propietats de propel·lents i compromisos de sistemes d'alimentació.

Alguns exercicis de classe es podran lliurar i qualificar com a part del component d'exercicis de classe del Mòdul B. El nombre, calendari i format d'aquests exercicis seran definits pel professorat responsable del mòdul.

Dedicació: 3h

Grup gran/Teoria: 3h

Projecte de Programació de Motors Coet i Sistemes d'Alimentació

Descripció:

Treball computacional en MATLAB associat als temes del Mòdul B. El projecte podrà incloure treball sobre models ideals de coet, combustió en equilibri, modelització de propietats de propel·lents criogènics, anàlisi de cicles d'alimentació i disseny de sistemes d'alimentació.

El projecte podrà incloure punts de control. Aquests punts de control formen part de l'avaluació del projecte; el seu pes, lliurables, regles de grup, regles de lliurament i rúbriques es definiran al programa del projecte o a les notes de l'assignatura.

Dedicació: 10h

Grup gran/Teoria: 10h

Examen Escrit Final del Mòdul B

Descripció:

Avaluació escrita individual que cobreix únicament el Mòdul B. El format i els continguts detallats de l'examen seran definits pel professorat responsable.

Dedicació: 2h

Grup gran/Teoria: 2h

SISTEMA DE QUALIFICACIÓ

Definit a la infoweb de l'assignatura.

NORMES PER A LA REALITZACIÓ DE LES PROVES.

Un examen, pràctica, lliurable o projecte no presentat es puntuarà amb una nota de zero. Els exàmens es realitzaran de manera individual. Els lliurables, pràctiques i projecte es podrà realitzar en grup segons indicacions del professorat.

L'examen de mig quadrimestre del Mòdul A cobreix únicament el Mòdul A. L'examen final del Mòdul B cobreix únicament el Mòdul B.

El codi i els informes han de citar fonts externes, incloent-hi dades, fórmules i fragments de programari reutilitzats. Els resultats numèrics han d'incloure unitats i declarar les principals hipòtesis de modelització. Les dades industrials de prestacions han de procedir de fonts reputades i actuals, i citar-se adequadament.

Les regles detallades de lliurament, punts de control, recuperació i avaluació de projectes es definiran al programa del projecte o a les notes de l'assignatura.

BIBLIOGRAFIA

Bàsica:

- Sutton, George P; Biblarz, Oscar. Rocket propulsion elements. Ninth edition. Hoboken, New Jersey: Wiley, 2017. ISBN 9781118753651.
- Humble, Ronald; Henry, Gary N; Larson, Wiley J. Space propulsion analysis and design. New York: McGraw-Hill, 1995. ISBN 9780070313200.
- Wertz, James Richard; Everett, David F; Puschell, Jeffery J. Space mission engineering : the new SMAD. Torrance: Microcosm Press, 2011. ISBN 9781881883159.
- Curtis, Howard D. Orbital mechanics for engineering students. Fourth edition. 2021. ISBN 9780128240250.
- Vallado, David A. Fundamentals of astrodynamics and applications. Fifth edition. Torrance, CA: Microcosm Press, 2022. ISBN 1881883221.

Complementària:

- Brown, Charles D. Spacecraft mission design. 2nd ed. Reston, VA: American Institute of Aeronautics and Astronautics, cop. 1998. ISBN 9781563472626.
- Brown, Charles D. Elements of spacecraft design. Reston, VA: American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc, cop. 2002. ISBN 9781563475245.
- Capderou, M.. Satellites : orbits and missions. Springer, ISBN 9786610413577.
- Conway, Bruce A. Spacecraft trajectory optimization [en línia]. Cambridge: Cambridge University Press, 2010 [Consulta: 26/06/2026]. Disponible a : <https://www-cambridge-org.recursos.biblioteca.upc.edu/core/books/spacecraft-trajectory-optimization/FDF7D61ABDA55AD3BE93D98128FAD2AD>. ISBN 9780521518505.
- Isakowitz, S. J.; Hopkins, J. P.; Hopkins, J. B.. International Reference Guide to Space Launch Systems. AIAA, ISBN 9781563475917.