

Guía docente

300524 - CL - Cohetes y Lanzadoras

Última modificación: 29/06/2026

Unidad responsable: Escuela de Ingeniería de Telecomunicación y Aeroespacial de Castelldefels

Unidad que imparte: 748 - FIS - Departamento de Física.

Titulación: GRADO EN INGENIERÍA DE SATÉLITES (Plan 2024). (Asignatura obligatoria).

Curso: 2026

Créditos ECTS: 5.0

Idiomas: Catalán, Castellano, Inglés

PROFESORADO

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

Otros: Definit a la infoweb de l'assignatura.

CAPACIDADES PREVIAS

- Conocimiento operativo sólido de cálculo vectorial y matricial, cálculo diferencial e integral, y su aplicación a problemas físicos en varias dimensiones.
- Familiaridad con sistemas de coordenadas, cambios de sistema de referencia y representación vectorial de magnitudes físicas.
- Comprensión de fuerza, trabajo, energía, campo y potencial gravitatorio, y conservación de la energía, del momento lineal y del momento angular.
- Conocimientos básicos de dinámica de partículas y movimiento bajo fuerzas centrales.
- Fundamentos de termodinámica y mecánica de fluidos.
- Capacidad para seguir razonamientos matemáticos y físicos de complejidad media, interpretar expresiones analíticas y resolver problemas de ingeniería mediante métodos numéricos.
- Familiaridad con MATLAB.
- Conocimientos previos de astrodinámica y mecánica orbital, incluyendo órbitas keplerianas, elementos orbitales, problema de Lambert, gráficos pork-chop y conceptos básicos del problema restringido de tres cuerpos.

Se recomienda haber superado Mecánica Clásica y Matemáticas Avanzadas, Métodos Numéricos y Termodinámica, y Mecánica Orbital y Mecánica de Fluidos.

REQUISITOS

Ninguno.

METODOLOGÍAS DOCENTES

La asignatura se impartirá mediante una combinación de clases expositivas, sesiones guiadas de resolución de problemas y sesiones de proyecto computacional.

Las sesiones de teoría y problemas introducen las leyes físicas, los modelos de ingeniería y los criterios de diseño necesarios para analizar lanzadores y sistemas de propulsión cohete. Se utilizarán problemas breves para reforzar los conceptos y desarrollar intuición ingenieril.

Las sesiones de proyecto se organizan en torno a trabajo progresivo en MATLAB. El estudiantado desarrolla y valida herramientas numéricas en grupos pequeños, con supervisión del profesorado durante la clase. El primer proyecto se centra en la simulación de trayectorias de lanzamiento y la inserción orbital. El segundo proyecto se centra en la modelización de motores cohete y sistemas de alimentación.

Siempre que sea posible, los ejemplos, ejercicios y proyectos se conectarán con aplicaciones realistas de lanzamiento de satélites, desde misiones próximas a la Tierra hasta salidas interplanetarias cuando sea pedagógicamente útil. La asignatura enfatiza hipótesis de modelización explícitas, implementación numérica legible, uso claro de unidades e interpretación crítica de resultados.

OBJETIVOS DE APRENDIZAJE DE LA ASIGNATURA

- Explicar el papel de los lanzadores y los motores cohete en el diseño de misiones satelitales.
- Aplicar la ecuación ideal del cohete e interpretar sus hipótesis y limitaciones.
- Modelizar las principales fuerzas que actúan sobre un lanzador durante el ascenso.
- Analizar la influencia del empuje, la disminución de masa, las pérdidas por gravedad, las pérdidas por arrastre, las pérdidas de guiado, la estratificación y el guiado en las prestaciones del lanzador.
- Evaluar arquitecturas de lanzadores usando fracción de masa, relación de carga útil, estratificación, órbita de misión y restricciones operativas.
- Identificar cómo la latitud de la base de lanzamiento, el azimut de lanzamiento, la seguridad de rango, las ventanas de lanzamiento y las operaciones afectan a las órbitas alcanzables.
- Comparar familias de lanzadores y seleccionar opciones de lanzamiento plausibles para misiones satelitales.
- Describir los principios físicos del rendimiento de motores cohete, flujo en toberas, termoquímica de la combustión, propelentes criogénicos, ciclos de alimentación y turbomaquinaria.
- Implementar, verificar e interpretar simulaciones simplificadas en MATLAB relacionadas con trayectorias de lanzamiento y análisis de motores cohete/sistemas de alimentación.
- Comunicar hipótesis de modelización, resultados numéricos, unidades y limitaciones de ingeniería en formato técnico conciso.

HORAS TOTALES DE DEDICACIÓN DEL ESTUDIANTADO

Tipo	Horas	Porcentaje
Horas grupo grande	55,0	44.00
Horas aprendizaje autónomo	70,0	56.00

Dedicación total: 125 h

CONTENIDOS

Módulo A - Lanzadores

Descripción:

- Papel del lanzador en la misión y requisitos de la misión satelital.
- Ecuación ideal del cohete, delta-v, impulso específico, velocidad efectiva de eyección, impulso total y relación empuje-peso.
- Dinámica del lanzador y de la trayectoria: modelo puntual 2D, variables de estado, empuje, disminución de masa, gravedad, atmósfera, arrastre, presión dinámica, max-Q, programa de cabeceo, giro gravitatorio y métricas de inserción orbital.
- Diseño y estratificación de lanzadores: masa de propelente, masa estructural, masa de carga útil, relación de masas, coeficiente estructural, fracción de carga útil, etapas en serie y en paralelo, eventos de separación, papel de etapas superiores y reutilización.
- Familias de lanzadores y selección de misión: masa y volumen de carga útil, órbita objetivo, cofia, interfaces, precisión de inyección, fiabilidad, disponibilidad, coste, riesgo, lanzamiento dedicado y rideshare.
- Bases de lanzamiento y operaciones: latitud, azimut, inclinación alcanzable, beneficio de la rotación terrestre, seguridad de rango, sobrevuelo, huellas de restos, ventanas de lanzamiento, meteorología, infraestructura terrestre, integración de la carga útil y campaña de lanzamiento.
- Tendencias actuales y conceptos futuros: sistemas reutilizables, lanzadores metano/oxígeno, pequeños lanzadores, lanzamiento responsivo, vehículos de transferencia orbital, presiones ambientales y regulatorias, y cadencia de lanzamiento.

Actividades vinculadas:

- Problemas guiados del Módulo A.
- Proyecto de simulación de trayectoria de lanzamiento.
- Examen escrito de medio cuatrimestre del Módulo A.

Dedicación: 46h 30m

Grupo grande/Teoría: 12h

Aprendizaje autónomo: 34h 30m

Módulo B - Motores Cohete y Sistemas de Alimentación

Descripción:

- Introducción a los motores cohete: importancia histórica, principales tipos de motores cohete, cámara de combustión, toberas, cohetes sólidos, cohetes líquidos, cohetes híbridos y motores cohete para propulsión espacial.
- Modelo ideal de cohete: limitaciones de la ecuación de Tsiolkovsky, teoría de toberas isentrópicas, toberas convergente-divergentes, ecuaciones del cohete con gas perfecto, separación de flujo y criterios de separación.
- Termoquímica de la combustión: modelos de gas ideal y gas perfecto, mezclas de gases, disociación, combustión en equilibrio, temperatura de combustión y limitaciones del modelo.
- Propelentes criogénicos: propiedades de fluidos condensables y comparación entre modelos de gas ideal/perfecto y propiedades de fluidos reales.
- Ciclos de alimentación de cohetes: principales arquitecturas, sistemas presurizados y con turbobomba, turbomaquinaria, análisis termodinámico de ciclos de alimentación y diseño del sistema de alimentación.

Actividades vinculadas:

- Problemas guiados del Módulo B.
- Proyecto de programación de motores cohete y sistemas de alimentación.
- Examen escrito final del Módulo B.

Dedicación: 47h 30m

Grupo grande/Teoría: 12h

Aprendizaje autónomo: 35h 30m

ACTIVIDADES

Problemas Guiados Del Módulo A

Descripción:

Problemas breves en clase vinculados a los capítulos de teoría de lanzadores. Los problemas están diseñados para revelar intuición física y compromisos de ingeniería: estimaciones de delta-v ideal, efectos de gravedad y arrastre, estratificación, relación de carga útil, restricciones de inclinación por base de lanzamiento y selección de lanzador.

Algunos ejercicios de clase podrán entregarse y calificarse como parte del componente de ejercicios de clase del Módulo A. El número, calendario y formato de estos ejercicios serán definidos por el profesorado responsable del módulo.

Dedicación: 4h

Grupo grande/Teoría: 4h

Proyecto de Simulación de Trayectoria de Lanzamiento

Descripción:

Proyecto en grupo en MATLAB para implementar un simulador simplificado de trayectoria de un lanzador y usarlo para alcanzar o evaluar un escenario representativo de inserción orbital de un satélite.

La implementación obligatoria es un modelo puntual 2D de ascenso que incluye gravedad terrestre, atmósfera, arrastre, empuje, disminución de masa, guiado de cabeceo, estratificación y métricas de inserción orbital. Las extensiones opcionales pueden incluir análisis 3D de base de lanzamiento, ajuste de inclinación u optimización simple.

Los resultados esperados incluyen código MATLAB, gráficas de trayectoria y prestaciones, evaluación orbital del estado final y un breve informe técnico que documente hipótesis y limitaciones.

El proyecto podrá incluir puntos de control. Estos puntos de control forman parte de la evaluación del proyecto; su peso y reglas de entrega se definirán en el programa del proyecto o en las notas de la asignatura.

Dedicación: 10h

Grupo grande/Teoría: 10h



Examen Escrito de Medio Cuatrimestre del Módulo A

Descripción:

Evaluación escrita individual que cubre únicamente el Módulo A. El formato y los contenidos detallados del examen serán definidos por el profesorado responsable.

Dedicación: 2h

Grupo grande/Teoría: 2h

Problemas Guiados Del Módulo B

Descripción:

Problemas breves en clase vinculados a los capítulos de motores cohete y sistemas de alimentación. Los problemas están diseñados para conectar modelización física, termodinámica, mecánica de fluidos, rendimiento de toberas, combustión, propiedades de propelentes y compromisos de sistemas de alimentación.

Algunos ejercicios de clase podrán entregarse y calificarse como parte del componente de ejercicios de clase del Módulo B. El número, calendario y formato de estos ejercicios serán definidos por el profesorado responsable del módulo.

Dedicación: 3h

Grupo grande/Teoría: 3h

Proyecto de Programación de Motores Cohete y Sistemas de Alimentación

Descripción:

Trabajo computacional en MATLAB asociado a los temas del Módulo B. El proyecto podrá incluir trabajo sobre modelos ideales de cohete, combustión en equilibrio, modelización de propiedades de propelentes criogénicos, análisis de ciclos de alimentación y diseño de sistemas de alimentación.

El proyecto podrá incluir puntos de control. Estos puntos de control forman parte de la evaluación del proyecto; su peso, entregables, reglas de grupo, reglas de entrega y rúbricas se definirán en el programa del proyecto o en las notas de la asignatura.

Dedicación: 10h

Grupo grande/Teoría: 10h

Examen Escrito Final del Módulo B

Descripción:

Evaluación escrita individual que cubre únicamente el Módulo B. El formato y los contenidos detallados del examen serán definidos por el profesorado responsable.

Dedicación: 2h

Grupo grande/Teoría: 2h

SISTEMA DE CALIFICACIÓN

Definido a la infoweb de la asignatura.

NORMAS PARA LA REALIZACIÓN DE LAS PRUEBAS.

Un examen, práctica, entregable o proyecto no presentado se puntuará con una nota de cero. Los exámenes se realizarán de manera individual. Los entregables, prácticas y proyecto se podrán realizar en grupo según indicaciones del profesorado.

El examen de medio cuatrimestre del Módulo A cubre únicamente el Módulo A. El examen final del Módulo B cubre únicamente el Módulo B.

El código y los informes deben citar fuentes externas, incluyendo datos, fórmulas y fragmentos de software reutilizados. Los resultados numéricos deben incluir unidades y declarar las principales hipótesis de modelización. Los datos industriales de prestaciones deben proceder de fuentes reputadas y actuales, y citarse adecuadamente.

Las reglas detalladas de entrega, puntos de control, recuperación y evaluación de proyectos se definirán en el programa del proyecto o en las notas de la asignatura.

BIBLIOGRAFÍA

Básica:

- 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.

Complementaria:

- 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 línea]. 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.