# Guía docente
# 300516 - MO - Mecánica Orbital

**Última modificación:** 11/05/2026

**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 los fundamentos del cálculo vectorial y matricial, así como del cálculo diferencial e integral, aplicados a problemas físicos en múltiples dimensiones.
• Familiaridad con el uso de sistemas de coordenadas, transformaciones de sistemas de referencia y representación vectorial de magnitudes físicas.
• Comprensión de los conceptos fundamentales de fuerza, trabajo, energía, campo gravitatorio y potencial, así como de los principios de conservación de la energía, el momento lineal y el momento angular, aplicados a sistemas mecánicos.
• Conocimientos básicos de dinámica de partículas y de movimiento bajo fuerzas centrales.
• Capacidad para seguir razonamientos matemáticos y físicos de complejidad intermedia e interpretar expresiones analíticas, así como para obtener soluciones mediante métodos numéricos.
• Familiaridad con el uso de software MATLAB y Python.
• Se recomienda haber superado las asignaturas de Mecánica Clásica y Matemáticas Avanzadas.
• Se recomienda haber superado o estar cursando simultáneamente la asignatura de Métodos Numéricos.

## REQUISITOS

Ninguno

## METODOLOGÍAS DOCENTES

El curso se impartirá mediante una combinación de clases expositivas (teóricas y de resolución de problemas) y sesiones prácticas. En las clases teóricas, el profesorado introducirá los conceptos y las leyes necesarias para su aplicación posterior en la resolución de los problemas correspondientes a cada tema. Se fomentará la participación activa del estudiantado durante las clases.
Los ejemplos se seleccionarán siguiendo criterios pedagógicos (para clarificar los conceptos introducidos) y criterios temáticos (procurando que estén relacionados con la titulación), con el objetivo de promover la motivación y la implicación del estudiantado. Asimismo, se fomentará el uso de software especializado para resolver y aplicar el contenido teórico.
El uso de recursos multimedia constituirá también la base de expresión de las clases, tanto teóricas como prácticas, permitiendo que los ejemplos propuestos se presenten de forma visual y más intuitiva.
Las sesiones prácticas estarán orientadas a potenciar un papel activo del estudiantado, permitiéndole desarrollar y aplicar, de forma individual y/o en pequeños grupos, los contenidos trabajados en las clases teóricas y de problemas. La mayoría de las sesiones prácticas serán de carácter computacional, ya que la resolución de problemas reales en mecánica orbital implica necesariamente el uso de técnicas numéricas.
Durante las sesiones prácticas también se fomentará la discusión, el análisis y la exposición pública de resultados, como parte esencial del proceso de comunicación en el ámbito científico y técnico.

## OBJETIVOS DE APRENDIZAJE DE LA ASIGNATURA

• Formular y aplicar los principios fundamentales de la mecánica orbital para describir y analizar el movimiento de satélites artificiales y cuerpos celestes bajo la acción del campo gravitatorio, principalmente dentro del marco de la mecánica newtoniana.
• Comprender y utilizar los conceptos básicos del problema de los dos cuerpos, las leyes de Kepler y los principales parámetros orbitales, así como la clasificación de las órbitas y la relación entre vectores de estado y elementos orbitales.
• Formular y resolver problemas de propagación orbital mediante formulaciones analíticas y métodos numéricos elementales, incluyendo la resolución de la ecuación de Kepler y la determinación del tiempo de vuelo.
• Analizar el efecto de las principales perturbaciones orbitales (no esfericidad terrestre, fricción atmosférica, perturbaciones de terceros cuerpos) y evaluar su impacto en la evolución temporal de las órbitas.
• Definir y aplicar el concepto de maniobra orbital, identificar y calcular órbitas de transferencia y cambios orbitales coplanares y no coplanares, así como analizar estrategias básicas de transferencia orbital.
• Formular y resolver el problema de Lambert, comprender sus soluciones clásicas y modernas, e interpretar gráficas pork-chop para la planificación de trayectorias.
• Comprender y aplicar la aproximación de cónicas enlazadas para el análisis de trayectorias lunares e interplanetarias, incluyendo la definición y el uso de la esfera de influencia.
• Introducir los fundamentos del problema restringido de los tres cuerpos, identificar y analizar los puntos de Lagrange y el constante de Jacobi, y comprender su papel en el diseño de trayectorias.
• Analizar y comprender el principio de las asistencias gravitatorias y su aplicación en misiones interplanetarias.
• Desarrollar la capacidad de interpretar y analizar trayectorias reales de misiones espaciales, utilizando modelos orbitales simplificados y criterios de ingeniería.

## HORAS TOTALES DE DEDICACIÓN DEL ESTUDIANTADO

| Tipo | Horas | Porcentaje |
|---|---|---|
| Horas grupo grande | 47,0 | 37.60 |
| Horas aprendizaje autónomo | 70,0 | 56.00 |
| Horas grupo pequeño | 8,0 | 6.40 |

**Dedicación total:** 125 h

## CONTENIDOS

### Introducción. Marco general.

**Descripción:**
- Espacio-tiempo newtoniano frente al marco relativista. Mecánica analítica.
- Repaso de la mecánica de fuerzas centrales: leyes de Kepler y de Newton.
- Sistemas de referencia inerciales y no inerciales.

**Objetivos específicos:**
- Comprender el marco físico y matemático de la mecánica orbital.
- Identificar las hipótesis básicas y las limitaciones de la formulación newtoniana.
- Reconocer el papel de las leyes de Kepler y de Newton como base del movimiento orbital.
- Distinguir entre sistemas de referencia inerciales y no inerciales en contextos orbitales.

**Actividades vinculadas:**
- Práctica 1
- Examen parcial
- Examen final

**Dedicación:** 2h
Grupo grande/Teoría: 1h
Aprendizaje autónomo: 1h

## El problema de los dos cuerpos

**Descripción:**
- Hipótesis simplificadoras.
- Ecuación del movimiento.
- Constantes del movimiento.
- Ecuación de Kepler.
- Órbitas cónicas: circular, elíptica, parabólica e hiperbólica.
- Determinación orbital. Elementos orbitales clásicos y Two-Line Elements (TLE).
- Posición orbital en función del tiempo.

**Objetivos específicos:**
- Formular y resolver el problema de los dos cuerpos bajo hipótesis ideales.
- Identificar y utilizar las constantes del movimiento en campos de fuerzas centrales.
- Analizar y clasificar las órbitas cónicas en función de sus parámetros.
- Resolver la ecuación de Kepler y determinar la posición orbital en función del tiempo.
- Relacionar los vectores de estado con los elementos orbitales clásicos y los TLE

**Actividades vinculadas:**
Práctica 1
Examen parcial
Examen final

**Dedicación:** 27h
Grupo grande/Teoría: 10h
Grupo pequeño/Laboratorio: 2h
Aprendizaje autónomo: 15h

## Perturbaciones orbitales

**Descripción:**
- No esfericidad de la Tierra. Perturbaciones de terceros cuerpos. Arrastre atmosférico. Presión de radiación solar. Interacciones magnéticas. Desechos espaciales.
- Ecuaciones variacionales de Gauss y métodos numéricos de estimación.

**Objetivos específicos:**
- Identificar las principales fuentes de perturbaciones orbitales en misiones reales.
- Analizar el efecto de las perturbaciones sobre la evolución temporal de las órbitas.
- Aplicar las ecuaciones variacionales de Gauss para estimar cambios orbitales.
- Introducir métodos numéricos para el análisis de la dinámica orbital perturbada.

**Actividades vinculadas:**
Práctica 2
Examen parcial
Examen final

**Dedicación:** 18h
Grupo grande/Teoría: 7h
Grupo pequeño/Laboratorio: 1h
Aprendizaje autónomo: 10h

**Maniobras orbitales**

**Descripción:**
- Cambios coplanares. Transferencia de Hohmann. Transferencia bi-elíptica.
- Cambios de plano orbital.
- Rendezvous orbital.
- Vuelo en formación y diseño de constelaciones.

**Objetivos específicos:**
- Comprender el concepto de maniobra orbital y su impacto sobre la órbita.
- Analizar y calcular transferencias coplanares y no coplanares.
- Aplicar los principios básicos del rendezvous orbital.
- Introducir los fundamentos del vuelo en formación y del diseño de constelaciones.

**Actividades vinculadas:**
Práctica 2
Examen parcial
Examen final

**Dedicación:** 15h
Grupo grande/Teoría: 5h
Grupo pequeño/Laboratorio: 1h
Aprendizaje autónomo: 9h

**Problema de Lambert**

**Descripción:**
- Planteamiento del problema.
- Soluciones clásicas.
- Soluciones modernas.
- Gráficas pork-chop.

**Objetivos específicos:**
- Formular el problema de Lambert como un problema orbital de contorno.
- Comprender las soluciones clásicas y modernas del problema.
- Analizar trayectorias en función del tiempo de vuelo y de la energía requerida.
- Interpretar gráficas pork-chop para la planificación de misiones.

**Actividades vinculadas:**
Práctica 3
Examen final

**Dedicación:** 23h
Grupo grande/Teoría: 8h
Grupo pequeño/Laboratorio: 2h
Aprendizaje autónomo: 13h

## Trayectorias interplanetarias

**Descripción:**
- Aproximación de cónicas enlazadas.
- Esfera de influencia (SOI).
- Trayectorias de transferencia lunar.
- Transferencias interplanetarias.

**Objetivos específicos:**
- Comprender la aproximación de cónicas enlazadas para trayectorias interplanetarias.
- Definir y utilizar el concepto de esfera de influencia.
- Analizar trayectorias de transferencia lunar e interplanetaria.
- Integrar conceptos orbitales en el diseño preliminar de misiones espaciales.

**Actividades vinculadas:**
Práctica 4
Examen final

**Dedicación:** 20h
Grupo grande/Teoría: 8h
Grupo pequeño/Laboratorio: 1h
Aprendizaje autónomo: 11h

## El problema de los tres cuerpos

**Descripción:**
- Problema restringido circular de los tres cuerpos.
- Puntos de Lagrange.
- Asistencias gravitatorias en 2D y 3D.
- Constante de Jacobi.
- Problema de N cuerpos.

**Objetivos específicos:**
- Introducir el problema restringido circular de los tres cuerpos.
- Identificar y analizar los puntos de Lagrange y sus propiedades dinámicas.
- Comprender el significado físico de la constante de Jacobi.
- Analizar el principio de las asistencias gravitatorias en 2D y 3D.
- Reconocer las limitaciones del problema de los dos cuerpos y la necesidad de modelos de N cuerpos.

**Actividades vinculadas:**
Práctica 3
Examen final

**Dedicación:** 20h
Grupo grande/Teoría: 8h
Grupo pequeño/Laboratorio: 1h
Aprendizaje autónomo: 11h

## ACTIVIDADES

### Práctica 1

**Descripción:**
Análisis computacional y representación del movimiento orbital, centrado en la relación entre vectores de estado y elementos orbitales clásicos para órbitas keplerianas (cónicas). Propagación numérica de órbitas y visualización de sus principales características.

**Objetivos específicos:**
- Calcular y relacionar vectores de estado y elementos orbitales para órbitas cónicas.
- Propagar órbitas en el tiempo mediante modelos keplerianos.
- Visualizar trayectorias orbitales y analizar sus parámetros principales.
- Aplicar métodos numéricos a la resolución de la ecuación de Kepler y al análisis orbital básico.

**Material:**
Ordenador personal y herramientas de cálculo científico adecuadas (por ejemplo, entornos basados en Python o MATLAB y/o software especializado en análisis orbital).

**Entregable:**
Entrega individual o en grupo de resultados computacionales, figuras y un breve informe técnico y/o exposición oral, según las indicaciones del profesorado.

**Dedicación:** 2h
Grupo pequeño/Laboratorio: 2h

### Práctica 2

**Descripción:**
Análisis computacional de perturbaciones orbitales y maniobras orbitales, centrado en la estimación numérica de los efectos perturbativos sobre las órbitas de satélites y en la evaluación de los requerimientos de ΔV para maniobras básicas.

**Objetivos específicos:**
- Calcular y analizar los efectos de las perturbaciones orbitales sobre el movimiento de satélites mediante métodos numéricos.
- Analizar datos históricos de TLE de satélites reales para estimar las tasas de variación de los elementos orbitales clásicos.
- Evaluar escenarios de decaimiento orbital y reentrada utilizando modelos simplificados y herramientas disponibles.
- Calcular los requerimientos de ΔV asociados a maniobras y transferencias orbitales básicas.
- Relacionar los efectos perturbativos y las estrategias de maniobra con restricciones reales de misiones satelitales.

**Material:**
Ordenador personal y herramientas de cálculo científico adecuadas (por ejemplo, entornos basados en Python o MATLAB y/o software especializado en análisis orbital y bases de datos).

**Entregable:**
Entrega individual o en grupo de resultados computacionales, figuras y un breve informe técnico y/o exposición oral, según las indicaciones del profesorado.

**Dedicación:** 2h
Grupo pequeño/Laboratorio: 2h

**Práctica 3**

**Descripción:**
Análisis computacional del problema de Lambert para el diseño de transferencias orbitales. Resolución numérica de problemas orbitales de contorno que conectan dos vectores de posición en un tiempo de vuelo determinado, y evaluación de la viabilidad de las transferencias y de los requerimientos energéticos.

**Objetivos específicos:**
- Formular el problema de Lambert a partir de vectores de posición iniciales y finales y de un tiempo de vuelo especificado.
- Calcular soluciones de transferencia orbital mediante solucionadores clásicos y modernos del problema de Lambert.
- Analizar trayectorias de transferencia en términos de requerimientos de ΔV, geometría y tiempo de vuelo.
- Generar e interpretar gráficas pork-chop para el análisis preliminar de misiones y ventanas de transferencia.
- Evaluar la idoneidad de diferentes opciones de transferencia para la planificación de misiones.

**Material:**
Ordenador personal y herramientas de cálculo científico adecuadas (por ejemplo, entornos basados en Python o MATLAB y/o software especializado en análisis orbital).

**Entregable:**
Entrega individual o en grupo de resultados computacionales, figuras y un breve informe técnico, según las indicaciones del profesorado.

**Dedicación:** 2h
Grupo pequeño/Laboratorio: 2h

**Práctica 4**

**Descripción:**
Análisis computacional de datos de navegación de misiones espaciales mediante el uso de rutinas básicas de SPICE. Obtención, procesamiento e interpretación de información de efemérides y trayectorias de misiones espaciales históricas, con énfasis en la comprensión del movimiento real de las naves espaciales a partir de datos de vuelo.

**Objetivos específicos:**
- Obtener efemérides de planetas y naves espaciales utilizando rutinas básicas de SPICE.
- Obtener y procesar datos de navegación y trayectoria de misiones históricas (p. ej., Voyager, Cassini, New Horizons).
- Representar y analizar trayectorias de naves espaciales en distintos sistemas de referencia.
- Interpretar datos reales de misiones en el contexto de la dinámica orbital e interplanetaria.
- Familiarizarse con herramientas profesionales de navegación utilizadas en el análisis de misiones espaciales.

**Material:**
Ordenador personal y herramientas de cálculo científico adecuadas (por ejemplo, entornos basados en MATLAB), acceso a kernels SPICE y bibliotecas básicas de SPICE para el tratamiento de trayectorias y efemérides.

**Entregable:**
Entrega individual o en grupo de resultados computacionales, figuras y un breve informe técnico, según las indicaciones del profesorado.

**Dedicación:** 2h
Grupo pequeño/Laboratorio: 2h

**Examen de medio cuatrimestre**

**Descripción:**
Durante la semana de exámenes de medio cuatrimestre se realizará un examen individual de teoría y problemas de los contenidos trabajados hasta el momento.

**Objetivos específicos:**
Comprobar los conocimientos adquiridos sobre los contenidos incluidos, por parte de profesores y estudiantes. Desarrollar la capacidad de comunicarse con claridad y eficacia de forma escrita, justificando la resolución de los problemas y respondiendo a preguntas teóricas y prácticas.

**Material:**
Enunciado del examen en papel, calculadora y formulario.

**Entregable:**
Se entregará el examen resuelto individualmente para su evaluación.

**Dedicación:** 1h 30m
Actividades dirigidas: 1h 30m

**Examen final**

**Descripción:**
Durante la semana de exámenes de final de cuatrimestre se realizará un examen individual de teoría y problemas de todos los contenidos trabajados en la asignatura.

**Objetivos específicos:**
Comprobar los conocimientos adquiridos sobre los contenidos incluidos, por parte de profesores y estudiantes. Desarrollar la capacidad de comunicarse con claridad y eficacia de forma escrita, justificando la resolución de los problemas y respondiendo a preguntas teóricas.

**Material:**
Enunciado del examen en papel, calculadora y formulario.

**Entregable:**
Se entregará el examen resuelto individualmente para su evaluación

**Dedicación:** 1h 30m
Actividades dirigidas: 1h 30m

## SISTEMA DE CALIFICACIÓN

Cualquier acto de fraude académico, plagio o uso o mera tenencia al alcance de medios no autorizados en cualquier actividad de evaluación comportará la calificación de cero (0) en la prueba o entrega afectada. Además, de acuerdo con la normativa de la Universidad, la posible derivación de los hechos para la apertura de un expediente disciplinario implicará que la asignatura quede en el estado provisional de "pendiente de evaluación" hasta la resolución del expediente. La gestión de estas incidencias se lleva a cabo de acuerdo con el **Marco de actuación para la integridad académica en la evaluación de la UPC**.

La nota final se obtendrá a partir de:
Dos exámenes parciales (medio y final de cuatrimestre): 50 %
Prácticas y entregables de problemas y programas: 40 %
Proyecto: 10 %

## NORMAS PARA LA REALIZACIÓN DE LAS PRUEBAS.

Todas las actividades de evaluación propuestas son obligatorias. Un examen, práctica, entrega o proyecto no presentado se calificará con una nota de cero. Los exámenes se realizarán de forma individual. Las entregas, prácticas y el proyecto podrán realizarse en grupo, según las indicaciones del profesorado.

## BIBLIOGRAFÍA

**Básica:**
- Curtis, Howard D. Orbital mechanics for engineering students. Fourth edition. 2021. ISBN 9780128240250.
- Bate, Roger R.. Fundamentals of astrodynamics. Second edition. Garden City. New York: Dover, 2020. ISBN 9780486497044.
- Vallado, David A. Fundamentals of astrodynamics and applications. Fifth edition. Torrance, CA: Microcosm Press, 2022. ISBN 1881883221.

**Complementaria:**
- Roy, A. E. Orbital motion. 4th ed. Bristol [etc.]: Institute of Physics, 2005. ISBN 9780750310154.