



POLITÉCNICA

ETSI AERONÁUTICA Y DEL ESPACIO  
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID



PR-CL-001.- COORDINACIÓN DE LAS ENSEÑANZAS

## GUÍA DE APRENDIZAJE

CURSO 2017/18

### ÍNDICE

1. DESCRIPCIÓN DE LA ASIGNATURA
2. CONOCIMIENTOS PREVIOS
3. COMPETENCIAS
4. RESULTADOS DE APRENDIZAJE
5. PROFESORADO
6. PROGRAMA
7. PLAN DE TRABAJO
8. SISTEMA DE EVALUACIÓN
9. RECURSOS DIDÁCTICOS
10. OTRA INFORMACIÓN

## PLAN 14IA - GRADO EN INGENIERÍA AEROESPACIAL

Código **145006505**

Asignatura **MECÁNICA ORBITAL**

Nombre en Inglés **ORBITAL MECHANICS**

Materia

Especialidad CTA

Idiomas ESPAÑOL

Curso TERCERO

Semestre SEGUNDO

Carácter OBE

Créditos 3 ECTS

## 1. DESCRIPCIÓN DE LA ASIGNATURA

Estudio de las órbitas de los vehículos espaciales

## 2. CONOCIMIENTOS PREVIOS

### a) CONOCIMIENTOS PREVIOS NECESARIOS para seguir con normalidad la ASIGNATURA.

#### Asignaturas superadas:

#### Otros requisitos:

- Conocimiento y comprensión de los principios básicos de la Física y su aplicación al análisis y a la resolución de problemas de ingeniería.
- Conocimiento, comprensión y aplicación de la evolución dinámica de sistemas de partículas en el ámbito de la Mecánica Clásica y Analítica.
- Conocimiento y comprensión de los principales conceptos y técnicas de Álgebra Lineal y del Cálculo Infinitesimal.
- Conocimiento y comprensión de los modelos que adoptan la forma de ecuaciones diferenciales ordinarias y sus técnicas de integración.
- Comprensión de los modelos básicos que, en forma de ecuaciones diferenciales en derivadas parciales, son de aplicación en Ingeniería Aeroespacial. Conocimiento y aplicación de los métodos de resolución básicos para este tipo de modelos.

### b) CONOCIMIENTOS PREVIOS RECOMENDADOS para seguir con normalidad la ASIGNATURA.

#### Se recomienda tener superadas las Asignaturas:

**Otros Conocimientos:** Se aconseja haber alcanzado las competencias específicas de las asignaturas:

- Física I y Física II.
- Mecánica Clásica, Matemáticas II y Métodos Matemáticos.
- Mecánica Analítica.

## 3. COMPETENCIAS

- CG3.-** Capacidad para identificar y resolver problemas aplicando, con creatividad, los conocimientos adquiridos.
- CG9.-** Razonamiento crítico y capacidad de asociación que posibiliten el aprendizaje continuo.
- CE54.-** Conocimiento adecuado y aplicado de la Mecánica Orbital de vehículos espaciales (Astrodinámica), incluyendo conceptos preliminares de su Dinámica de Actitud.

## 4. RESULTADOS DE APRENDIZAJE

**RA01.-** Conocimiento, comprensión, aplicación, análisis y síntesis de los problemas astrodinámicos relacionados con el movimiento del centro de masas de un vehículo espacial; en concreto, las órbitas keplerianas, las órbitas reales condicionadas por las diferentes perturbaciones orbitales, las órbitas osculatrices y los métodos numéricos usuales en Astrodinámica.

**RA02.-** Conocimiento y comprensión de la dinámica de actitud de los vehículos espaciales.

**RA03.-** Conocimiento de los métodos de seguimiento y del subsistema de Guiado, Navegación y Control (GNC) de los vehículos espaciales.

## 5. PROFESORADO

**Departamento:** FÍSICA APLICADA A LAS INGENIERÍAS AERONÁUTICA Y NAVAL

**Coordinador de la Asignatura:** Rafael RAMIS ABRIL

Profesorado	Correo electrónico	Despacho
LÓPEZ REBOLLAL, Óscar	<a href="mailto:oscar.lopez@upm.es">oscar.lopez@upm.es</a>	
RAMIS ABRIL, Rafael	<a href="mailto:rafael.ramis@upm.es">rafael.ramis@upm.es</a>	
RUIZ DELGADO, Manuel	<a href="mailto:manuel.ruizd@upm.es">manuel.ruizd@upm.es</a>	

Los horarios de tutorías estarán publicados en (especificar la forma y lugar).

## 6. TEMARIO

Tema 1. PROBLEMA DE KEPLER.

1.1. Principios de conservación. Ecuación de la órbita en polares. Anomalía verdadera. Ecuación de la órbita elíptica en coordenadas cartesianas. Anomalía excéntrica. Energía y semieje. Ley horaria. Anomalía media. Ecuación de Kepler. Órbitas abiertas y rectilíneas. Métodos numéricos directos. Método de Encke.

Tema 2. TRAYECTORIAS INTERPLANETARIAS.

2.1. Planteamiento del problema de los N-cuerpos. Perturbación directa e indirecta. Desarrollo en serie del campo de un cuerpo lejano. Momentos sobre un cuerpo extenso. Esfera de influencia. Problema de Lambert. Teorema de Lambert. Cálculo del tiempo de vuelo. Cálculo de las velocidades terminales. Ventanas de lanzamiento. Empujón gravitatorio. Trayectorias cónicas acopladas.

Tema 3. PROBLEMA DE LOS 3 CUERPOS.

3.1. Problema restringido de los 3 cuerpos. Integral de Jacobi-Painlevé. Criterio de Tisserand. Puntos de libración de Lagrange. Estudio de la estabilidad en L1 y L2. Solución general al problema linealizado. Órbitas "halo".

## Tema 4. ECUACIONES DE VARIACIÓN DE LOS PARÁMETROS.

4.1. Planteamiento del problema de Kepler por Mecánica Analítica. Transformaciones canónicas. Ecuaciones de Delaunay. Formas diferenciales. Ecuaciones planetarias de Lagrange. Ecuaciones planetarias de Gauss. Sistemas no-singulares de parámetros orbitales.

## Tema 5. INTRODUCCIÓN A LA TEORÍA DE PERTURBACIONES.

5.1. Métodos de perturbaciones. Reducción a cuadraturas y superposición. Aplicación a las ecuaciones de Delaunay, Lagrange y Gauss. Ejemplo: fuerza de repulsión constante.

## Tema 6. CAMPO GRAVITATORIO TERRESTRE Y SUS EFECTOS.

6.1. Campo gravitatorio terrestre como problema de contorno. Armónicos esféricos sólidos. Fórmulas de derivación. Fórmulas de recurrencia. Fórmula de McCullagh. Geoide terrestre. Teoría de perturbación de primer orden para campos estacionarios. Variación secular de los parámetros orbitales. Método del promedio. Aplicación a . Órbitas heliosíncronas y "Molniya".

## Tema 7. PERTURBACIONES DEBIDAS A LA FRICCIÓN AERODINÁMICA.

7.1. Aerodinámica espacial. Número de Knudsen. Modelos de atmósfera. Perturbaciones de fricción. Modelo esférico sin viento ni arrastre. Solución de primer orden. Variaciones seculares. Ecuaciones diferenciales para excentricidad y semieje. Expresión de las integrales como desarrollo de funciones de Bessel modificadas. Caso de excentricidad nula. Caso de excentricidad pequeña. Caso de excentricidad no pequeña.

## Tema 8. PERTURBACIONES DE LAS COORDENADAS.

8.1. Ecuaciones de Hill. Soluciones del sistema homogéneo. Términos forzantes. Soluciones resonantes: caso de fuerza constante. Paradojas. Perturbaciones Este-Oeste en un satélite geoestacionario. Perturbación solar, efecto resonante, cambio de inclinación.

## 7. PLAN DE TRABAJO

### a) Cronograma.

Semana N°	Actividad presencial en Aula	Actividad presencial en Laboratorio	Otra actividad presencial	Actividad de Evaluación
1 a 14	clases temas 1 a 8			

### b) Metodologías Docentes.

Métodos Docentes	EPD	LM	PL	RPA	TP	Otros*
ECTS 3	1,65	0,9		0,25		

**EPD:** ESTUDIO PERSONAL DIRIGIDO  
**LM:** LECCIÓN MAGISTRAL  
**PBL:** APRENDIZAJE BASADO EN PROYECTOS  
**PL:** PRÁCTICAS DE LABORATORIO  
**RPA:** RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS EN EL AULA  
**TP:** TUTORÍAS PROGRAMADAS  
**\*Otros** (especificar):

## 8. SISTEMA DE EVALUACIÓN

### a) Tribunal de Evaluación.

**Presidente:** Rafael RAMIS ABRIL  
**Vocal:** Manuel RUIZ DELGADO  
**Secretario:** Oscar LÓPEZ REBOLLAL  
**Suplente:** Jesús PELÁEZ ÁLVAREZ

### b) Actividades de Evaluación.

Semana N°	Descripción	Tipo Evaluación	Técnica Evaluativa	Duración	Peso	Nota mínima	Competencias

### c) Criterios de Evaluación.

#### EXAMEN FINAL

De 0 a 100 puntos, consta de:

- Cuestiones teóricas y ejercicios cortos: 1 hora y 15 minutos (aproximadamente), 60 puntos, no se pueden consultar libros ni apuntes.
- Un problema: de 1 hora (aproximadamente), 40 puntos, se pueden consultar libros y apuntes.

#### EVALUACIÓN CONTINUA

De un modo voluntario el alumno podrá obtener hasta 25 puntos, por asistencia a clase y por la realización de ejercicios. Para ello:

- Se pasará control de asistencia de modo aleatorio (al menos 8 controles).
- Los ejercicios se entregarán y recogerán únicamente en clase.
- La puntuación de los ejercicios se multiplicará por el porcentaje de asistencias.
- Estos puntos se sumarán a los puntos obtenidos en el examen final ordinario y/o extraordinario.

#### CALIFICACIÓN

Matrícula de Honor: Los alumnos con mayor puntuación en la convocatoria ordinaria

10: puntuación mayor o igual que 100

9: puntuación mayor o igual que 90 y menor que 100

8: puntuación mayor o igual que 80 y menor que 90

7: puntuación mayor o igual que 70 y menor que 80

6: puntuación mayor o igual que 60 y menor que 70

5: puntuación mayor o igual que 50 y menor que 60

SUSPENSO: puntuación menor que 50

## 9. RECURSOS DIDÁCTICOS

Descripción	Tipo	Observaciones
RICHARD H. BATTIN. "An Introduction to the Mathematics and Methods of Astrodynamics". Ed. AIAA Educational Series, New York, 1987.	Bibliografía	
DIRK BROUWER AND GERALD M. CLEMENCE. "Methods of Celestial Mechanics". Ed. Academic Press, New York and London, 1961. ISBN 0-12-135650-7.	Bibliografía	
VICTOR R. BRUMBERG. "Analytical Techniques in Celestial Mechanics". Ed. Springer Verlag, Berlin, 1995. ISBN 3-540-58782-9.	Bibliografía	
VLADIMIR A. CHOBOTOV. "Orbital Mechanics". Ed. AIAA Educational Series, Second Edition, Wright-Paterson Air Force Base, Ohio, 1996. ISBN 1-56347-179-5.	Bibliografía	
TOMÁS ELICES. "Introducción a la Dinámica Espacial". Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial, Madrid, 1991. ISBN 84-606-0382-2.	Bibliografía	
JORGE FRANCO REY. "Nociones de Topografía Geodesia y Cartografía". Universidad de Extremadura, 1999. ISBN 84-7723-392-6.	Bibliografía	
FRANZ T. GEYLING and H. ROBERT WESTERMAN. "Introduction to Orbital Mechanics". Ed. Addison-Wesley Publishing Company, Reading, Massachusetts - Menlo Park, California - Don Mills, Ontario, 1971.	Bibliografía	
YUSUKE HAGIHARA. "Celestial Mechanics". The MIT Press, Cambridge, Massachusetts - London, England, 1972. ISBN 0 262 08048 6.	Bibliografía	
B. HOFMANN-WELLENHOF, H. LICHTENEGGER and J. COLLINS. "Global Positioning System, Theory and Practice". Ed. Springer Wien, 1997. ISBN 3-211-82839-7.	Bibliografía	

Descripción	Tipo	Observaciones
PETER C. HUGHES. "Spacecraft Attitude Dynamics". Ed. John Wiley & Sons, New York, 1986. ISBN 0-471-81842-9.	Bibliografía	
THOMAS R. KANE, PETER W. LIKINS, DAVID A. LEVINSON. "Spacecraft Dynamics". Ed. McGraw-Hill Book Company, New York, 1983. ISBN 0-07-037843-6.	Bibliografía	
ELLIOT D. KAPLAN. "Understanding GPS Principles and Applications". Artech House, Boston. ISBN 0-89006-793.	Bibliografía	
J. J. LEVALLOIS. "Geodesie Generale (4 tomos)". Eyrolles – Paris, 1969.	Bibliografía	
ALFRED LEICK. "GPS Satellite Surveying". Ed. John Wiley & Sons, New York, 1995. ISBN 0-471-30626-6.	Bibliografía	
FERNANDO MARTÍN ASÍN. "Geodesia y Cartografía Matemática".	Bibliografía	
F.P.J. RIMROTT. "Introductory Attitude Dynamics". Ed. Springer-Verlag, New York, 1989. ISBN 0-387-96726-5 y ISBN 3-540-96726-5.	Bibliografía	
A. E. ROY. "Orbital Motion". Ed. Adam Hilger, Bristol and Philadelphia, 1988. ISBN 0-85274-228-2.	Bibliografía	
LAURENCE G. TAFF. "Celestial Mechanics. A Computational Guide for the Practitioner". Ed. John Wiley & Sons, New York, 1985. ISBN 0-471-89316-1.	Bibliografía	
JAMES R. WERTZ. "Spacecraft Attitude Determination and Control". D.Reidel Publishing Company, Dordrecht, Holland - Boston, 1978. ISBN 90-277-0959-9.	Bibliografía	
WILLIAM E. WIESEL. "Spaceflight Dynamics". Ed. McGraw-Hill Book Company, New York, 1989. ISBN 0-07-070106-7.	Bibliografía	
R. RAMIS. "Apuntes de Mecánica Orbital".	Bibliografía	
<a href="http://www.wgs84.com">www.wgs84.com</a>	Recursos Web	
<a href="http://www.ign.es">www.ign.es</a>	Recursos Web	
<a href="http://www.iers.org">www.iers.org</a>	Recursos Web	

Descripción	Tipo	Observaciones
Espacio MOODLE de la asignatura <a href="http://moodle.upm.es/">http://moodle.upm.es/</a>	Recursos Web	En esta plataforma se incluyen documentos docentes básicos de la asignatura, enlaces, test de autoevaluación, ejercicios propuestos y resueltos, etc. y se utiliza como método de comunicación de avisos y solución de dudas.

## 10. OTRA INFORMACIÓN