



UNIVERSIDAD  
POLITÉCNICA  
DE MADRID

PROCESO DE  
COORDINACIÓN DE LAS  
ENSEÑANZAS PR/CL/001



E.T.S. de Ingeniería  
Aeronáutica y del Espacio

# ANX-PR/CL/001-01

## GUÍA DE APRENDIZAJE

### ASIGNATURA

**145006505 - Mecánica Orbital**

### PLAN DE ESTUDIOS

14IA - Grado En Ingeniería Aeroespacial

### CURSO ACADÉMICO Y SEMESTRE

2021/22 - Segundo semestre

## Índice

---

### Guía de Aprendizaje

1. Datos descriptivos.....	1
2. Profesorado.....	1
3. Conocimientos previos recomendados.....	2
4. Competencias y resultados de aprendizaje.....	2
5. Descripción de la asignatura y temario.....	3
6. Cronograma.....	6
7. Actividades y criterios de evaluación.....	8
8. Recursos didácticos.....	12

## 1. Datos descriptivos

---

### 1.1. Datos de la asignatura

<b>Nombre de la asignatura</b>	145006505 - Mecanica Orbital
<b>No de créditos</b>	3 ECTS
<b>Carácter</b>	Obligatoria
<b>Curso</b>	Tercero curso
<b>Semestre</b>	Sexto semestre
<b>Período de impartición</b>	Febrero-Junio
<b>Idioma de impartición</b>	Castellano
<b>Titulación</b>	14IA - Grado en Ingeniería Aeroespacial
<b>Centro responsable de la titulación</b>	14 - Escuela Técnica Superior De Ingeniería Aeronáutica Y Del Espacio
<b>Curso académico</b>	2021-22

## 2. Profesorado

---

### 2.1. Profesorado implicado en la docencia

<b>Nombre</b>	<b>Despacho</b>	<b>Correo electrónico</b>	<b>Horario de tutorías</b> *
Ricardo Angel Garcia-Pelayo Novo		r.garcia-pelayo@upm.es	Sin horario.
Rafael Ramis Abril (Coordinador/a)		rafael.ramis@upm.es	- -
Oscar Lopez Rebollal		oscar.lopez@upm.es	Sin horario.

Manuel Ruiz Delgado		manuel.ruizd@upm.es	Sin horario.
---------------------	--	---------------------	--------------

\* Las horas de tutoría son orientativas y pueden sufrir modificaciones. Se deberá confirmar los horarios de tutorías con el profesorado.

### 3. Conocimientos previos recomendados

---

#### 3.1. Asignaturas previas que se recomienda haber cursado

- Física I
- Matematicas li
- Mecanica Analitica
- Matematicas I
- Mecánica Clásica
- Física li

#### 3.2. Otros conocimientos previos recomendados para cursar la asignatura

El plan de estudios Grado en Ingeniería Aeroespacial no tiene definidos otros conocimientos previos para esta asignatura.

### 4. Competencias y resultados de aprendizaje

---

#### 4.1. Competencias

CE49 - Conocimiento aplicado de: aerodinámica; mecánica del vuelo, ingeniería de la defensa aérea (balística, misiles y sistemas aéreos), propulsión espacial, ciencia y tecnología de los materiales, teoría de estructuras.

CE54 - Conocimiento adecuado y aplicado de la Mecánica Orbital de vehículos espaciales (Astrodinámica), incluyendo conceptos preliminares de su Dinámica de Actitud

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

## 4.2. Resultados del aprendizaje

RA181 - Conocimiento de los métodos de seguimiento y del subsistema de Guiado, Navegación y Control (GNC) de los vehículos espaciales.

RA179 - Conocimiento, comprensión, aplicación, análisis y síntesis de los problemas astrodinámicos relacionados con el movimiento del centro de masas de un vehículos 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.

RA180 - Conocimiento y comprensión de la dinámica de actitud de los vehículos espaciales.

## 5. Descripción de la asignatura y temario

---

### 5.1. Descripción de la asignatura

#### 1. PROBLEMA DE KEPLER.

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.

#### 2. TRAYECTORIAS INTERPLANETARIAS.

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.

#### 3. PROBLEMA DE LOS 3 CUERPOS.

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'?

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

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.

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

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

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

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".

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

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.

#### 8. PERTURBACIONES DE LAS COORDENADAS

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.

## 5.2. Temario de la asignatura

1. Temario expuesto en la descripción de la asignatura

## 6. Cronograma

### 6.1. Cronograma de la asignatura \*

Sem	Actividad presencial en aula	Actividad presencial en laboratorio	Tele-enseñanza	Actividades de evaluación
1	Exposición de los contenidos del temario Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
2	Exposición de los contenidos del temario Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
3	Exposición de los contenidos del temario Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			Ejercicio a realizar en casa TI: Técnica del tipo Trabajo Individual Evaluación continua No presencial Duración: 06:00
4	Exposición de los contenidos del temario Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
5	Exposición de los contenidos del temario Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
6	Exposición de los contenidos del temario Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			Ejercicio a realizar en casa TI: Técnica del tipo Trabajo Individual Evaluación continua No presencial Duración: 06:00
7	Exposición de los contenidos del temario Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
8	Exposición de los contenidos del temario Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
9	Exposición de los contenidos del temario Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			Ejercicio a realizar en casa TI: Técnica del tipo Trabajo Individual Evaluación continua No presencial Duración: 06:00
10	Exposición de los contenidos del temario Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
11	Exposición de los contenidos del temario Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
12	Exposición de los contenidos del temario Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			Ejercicio a realizar en casa TI: Técnica del tipo Trabajo Individual Evaluación continua No presencial Duración: 06:00



13	Exposición de los contenidos del temario Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
14	Exposición de los contenidos del temario Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
15				
16				
17				<b>Examen Final</b> EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación continua Presencial Duración: 02:15  <b>Examen Final</b> EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación sólo prueba final No presencial Duración: 02:15

Para el cálculo de los valores totales, se estima que por cada crédito ECTS el alumno dedicará dependiendo del plan de estudios, entre 26 y 27 horas de trabajo presencial y no presencial.

\* El cronograma sigue una planificación teórica de la asignatura y puede sufrir modificaciones durante el curso derivadas de la situación creada por la COVID-19.

## 7. Actividades y criterios de evaluación

### 7.1. Actividades de evaluación de la asignatura

#### 7.1.1. Evaluación continua

Sem.	Descripción	Modalidad	Tipo	Duración	Peso en la nota	Nota mínima	Competencias evaluadas
3	Ejercicio a realizar en casa	TI: Técnica del tipo Trabajo Individual	No Presencial	06:00	5%	/ 10	CE49 CE54 CG9 CG3
6	Ejercicio a realizar en casa	TI: Técnica del tipo Trabajo Individual	No Presencial	06:00	5%	/ 10	CE49 CE54 CG9 CG3
9	Ejercicio a realizar en casa	TI: Técnica del tipo Trabajo Individual	No Presencial	06:00	5%	/ 10	CE49 CE54 CG9 CG3
12	Ejercicio a realizar en casa	TI: Técnica del tipo Trabajo Individual	No Presencial	06:00	5%	/ 10	CE49 CE54 CG9 CG3
17	Examen Final	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	02:15	80%	/ 10	CE49 CE54 CG9 CG3

#### 7.1.2. Evaluación sólo prueba final

Sem	Descripción	Modalidad	Tipo	Duración	Peso en la nota	Nota mínima	Competencias evaluadas
17	Examen Final	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	No Presencial	02:15	100%	5 / 10	CE49 CE54 CG9 CG3

#### 7.1.3. Evaluación convocatoria extraordinaria

No se ha definido la evaluación extraordinaria.

## 7.2. Criterios de evaluación

### EXAMEN FINAL

De 0 a 100 puntos, consta de:

- 1) Cuestiones teóricas y ejercicios cortos: 1 hora y 15 minutos (aproximadamente), 60 puntos, no se pueden consultar libros ni apuntes.
- 2) 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.

La puntuación obtenida se aplicará en las convocatorias ordinaria y extraordinaria.

## 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

### Enseñanza telemática

En caso de realizarse la docencia de modo no presencial, se mantiene el cronograma y los criterios de evaluación indicados anteriormente, con las siguientes salvedades.

I) Las clases serán impartidas por medios telemáticos (conferencias, transcripciones, grabaciones, etc)

II) las tutorías se efectuarán por correo electrónico o moodle

III) No se contabilizará la asistencia a clase a los efectos de la puntuación por evaluación continua.

## Examen telemático

En caso de que el examen final sea no presencial, se podrán utilizar apuntes y libros en las dos partes del examen final.

## 8. Recursos didácticos

---

### 8.1. Recursos didácticos de la asignatura

Nombre	Tipo	Observaciones
Moodle de la UPM	Recursos web	Apuntes, materiales diversos y exámenes resueltos
Apuntes	Bibliografía	Rafael Ramis, 'Mecánica Orbital', editados por la sección de publicaciones de la ETSIAE (también disponibles 'on-line' en el 'moodle')
Libros disponibles en la biblioteca de la ETSIAE	Bibliografía	Sección 521.1 Astrodinámica y Mecánica Celeste