



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

143000129 - Dinámica Orbital Y Control De Actitud

PLAN DE ESTUDIOS

14SA - Master Universitario En Sistemas Espaciales

CURSO ACADÉMICO Y SEMESTRE

2023/24 - Primer 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.....	8
7. Actividades y criterios de evaluación.....	10
8. Recursos didácticos.....	11

1. Datos descriptivos

1.1. Datos de la asignatura

Nombre de la asignatura	143000129 - Dinámica Orbital y Control de Actitud
No de créditos	4.5 ECTS
Carácter	Obligatoria
Curso	Segundo curso
Semestre	Tercer semestre
Período de impartición	Septiembre-Enero
Idioma de impartición	Castellano
Titulación	14SA - Master Universitario en Sistemas Espaciales
Centro responsable de la titulación	14 - Escuela Técnica Superior De Ingeniería Aeronáutica Y Del Espacio
Curso académico	2023-24

2. Profesorado

2.1. Profesorado implicado en la docencia

Nombre	Despacho	Correo electrónico	Horario de tutorías *
Javier Cubas Cano (Coordinador/a)	106 IDR	j.cubas@upm.es	Sin horario.

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

2.3. Profesorado externo

Nombre	Correo electrónico	Centro de procedencia
Salvatore Mangano	salvatore.mangano@upm.es	CSIC

3. Conocimientos previos recomendados

3.1. Asignaturas previas que se recomienda haber cursado

- Entorno Espacial Y Análisis De Misión

3.2. Otros conocimientos previos recomendados para cursar la asignatura

El plan de estudios Master Universitario en Sistemas Espaciales no tiene definidos otros conocimientos previos para esta asignatura.

4. Competencias y resultados de aprendizaje

4.1. Competencias

E02 - Aplicar los métodos de análisis propios de un determinado subsistema, para verificar la adecuación del diseño del mismo

E03 - Conocer y comprender el entorno espacial y planetario, y su efecto en la operación de los vehículos aeroespaciales

E12 - Desarrollar los diferentes subsistemas específicos que conforman un vehículo espacial.

E13 - Analizar los subsistemas específicos que conforman un vehículo espacial.

E24 - Evaluar la bondad de un determinado diseño para satisfacer los requisitos de misión

4.2. Resultados del aprendizaje

RA22 - Utiliza las Tecnologías de la Información y de las Comunicaciones

RA17 - Utiliza herramientas analíticas y numéricas que son objeto de otras asignaturas del plan de estudios.

RA15 - Con esta asignatura se pretende que el estudiante comprenda y conozca la necesidad de implementar un subsistema de control de actitud en un vehículo espacial, así como las funciones que debe asumir y la arquitectura de este subsistema, poniendo de relieve aquellos aspectos más relevantes que influyen en el diseño del mismo. El subsistema de guiado, navegación y control mide y controla la posición en el espacio, la orientación y la velocidad de desplazamiento del vehículo espacial. En esta misma asignatura, previamente, se presentan los aspectos más relevantes de la dinámica orbital, necesarios para la comprensión de la funcionalidad del subsistema de control de actitud

RA16 - Comprende la relevancia de las ciencias básicas y su aplicación en la ingeniería

RA20 - Razona críticamente y de forma asociativa

RA21 - Se comunica correctamente de forma oral y escrita

RA19 - Se integra y forma parte activa de equipos de trabajo

RA18 - Identifica y resuelve problemas aplicando los conocimientos adquiridos.

5. Descripción de la asignatura y temario

5.1. Descripción de la asignatura

En la actividad docente que se propone es la asignatura "Dinámica orbital y control de actitud" del Master. Se presentan los aspectos más relevantes de la dinámica orbital necesarios para la comprensión de la funcionalidad del subsistema de control de actitud en un vehículo espacial. El subsistema de navegación y control mide y controla la posición en el espacio, la orientación y la velocidad de desplazamiento del vehículo espacial.

5.2. Temario de la asignatura

1. Astronomía

- 1.1. Atmósfera de la Tierra
- 1.2. Geometría de la Tierra vista por una nave espacial
- 1.3. Aplanamiento de la Tierra
- 1.4. Campo magnético de la Tierra (Ecuación de Laplace, armónicos esféricos)
- 1.5. Radiación
 - 1.5.1. Radiación Solar. Cinturón de Van Allen
 - 1.5.2. Micrometeoritos y Meteoritos
 - 1.5.3. Rayos cósmicos
 - 1.5.4. Radiación de fondo de microondas
- 1.6. Albedo

2. Mecánica orbital y perturbaciones orbitales

- 2.1. Resumen de las órbitas de Kepler
- 2.2. Órbitas en 2 dimensiones y órbitas en 3 dimensiones
- 2.3. Campo de gravedad de la Tierra esférica ideal (Newton, potencial)
- 2.4. Campo de gravedad de la Tierra. Geoide
- 2.5. Potencial de Gravedad. Armónicos esféricos. Función de Legendre
- 2.6. Aceleración a partir del potencial gravitatorio
- 2.7. Fuerzas gravitacionales adicionales. Esfera de influencia
- 2.8. Resistencia atmosférica
- 2.9. Presión de radiación
- 2.10. Puntos de Lagrange

3. Clasificación orbital

- 3.1. Órbita terrestre baja.
- 3.2. Órbita terrestre alta / mediana
- 3.3. Órbita geosíncrona
- 3.4. Órbita heliosincrónica

- 3.5. Órbitas polares
- 3.6. Maniobras de trayectoria
- 3.7. Transferencia Hohmann y cambio de plano
- 3.8. Asistencia gravitatoria trayectoria
- 3.9. Condiciones de eclipse
- 4. Introducción de conceptos de actitud
 - 4.1. Sistema de referencia
 - 4.2. Traslaciones del centro de masa y estudio rotacional
 - 4.3. Orientación de la nave espacial. Actitud
 - 4.3.1. Determinación de la actitud. Sensores
 - 4.3.2. Control. Actuadores
 - 4.3.3. Determinación del error entre la actitud actual y prevista
 - 4.3.4. Acciones para eliminar el error
 - 4.4. Maniobras de actitud
 - 4.5. Conectar diferentes marcos de referencia
 - 4.6. Estabilidad de la rotación alrededor de los ejes principales
- 5. Misión y equipamiento
 - 5.1. Sensores
 - 5.2. Actuadores
 - 5.3. Pares de perturbación ambientales
- 6. Cinemática de la actitud
 - 6.1. Sistemas de referencia
 - 6.2. Rotación alrededor de un solo eje
 - 6.3. Matriz de cosenos directores. Matriz de transición
 - 6.4. Ángulos de Euler
 - 6.5. Teorema de Euler
 - 6.6. Cuaterniones. Parámetros de Euler
 - 6.7. Cuaterniones. Ángulo de Euler
 - 6.8. Transformación en giros de ángulo pequeño

- 6.9. Ecuación diferencial de la cinemática
- 6.10. Derivadas del tiempo de los ángulos de Euler
- 6.11. Derivadas del tiempo de los cuaterniones
- 7. Determinación de la actitud
 - 7.1. Medición absoluta (sensor solar) y relativa (giroscopio)
 - 7.2. Uso del vector dirección del sol y vector del campo magnético observado
 - 7.3. Determinación de la actitud en el sistema inercial y en el sistema del fijo en el espacio
 - 7.4. Problemas sobredeterminados
 - 7.5. Algoritmo TRIAD
 - 7.6. Descripción estadística
 - 7.7. Método estadístico: minimizar la función de pérdida encontrando la matriz de rotación R. Metodo Q
 - 7.8. Autovalores de la matriz. Solución óptima
 - 7.9. Algoritmo de búsqueda para encontrar mayor autovector y autovalor
 - 7.10. Filtro de Kalman
- 8. Dinámica del sólido rígido
 - 8.1. Leyes de Newton para n masas puntuales
 - 8.2. Rotación de sistema de referencia
 - 8.3. Modelo de cuerpo rígido
 - 8.4. Ecuación de Euler
 - 8.5. Tensor de inercia simétrico. Ejes principales de inercia
 - 8.6. Energía cinética
 - 8.7. Matriz de inercia
 - 8.8. Teorema de Steiner
 - 8.9. Estabilidad de la rotación alrededor de un eje menor y eje mayor de inercia
- 9. Dinámica de la actitud de satélites artificiales
 - 9.1. Fuerzas pares ambientales
 - 9.2. Ecuaciones de la dinámica de un sólido rígido
 - 9.3. Movimiento libre de pares exteriores
 - 9.4. Pares magnéticos y gravitatorios

9.5. Par por gradiente de gravedad

9.6. Estabilización por gravedad

9.7. Estabilización por tres ejes

10. Control de actitud

10.1. Estabilización de la actitud

10.2. Control por retroalimentación

10.3. Sistemas de bucle abierto y bucle cerrado

10.4. Ecuación diferencial de control

10.5. Transformación de Laplace

10.6. Estabilidad del sistema

10.7. Ejemplo de realimentación

6. Cronograma

6.1. Cronograma de la asignatura *

Sem	Actividad en aula	Actividad en laboratorio	Tele-enseñanza	Actividades de evaluación
1	Astronomía Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
	Astronomía Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas			
2	Mecánica orbital y perturbaciones orbitales Duración: 03:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
3	Mecánica orbital y perturbaciones orbitales Duración: 02:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas			
4	Clasificación orbital Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
5	Introducción de conceptos de actitud Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
	Introducción de conceptos de actitud Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas			
6	Misión y equipamiento Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
	Misión y equipamiento Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas			
7	Cinemática de la actitud 1 Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	Cinemática de la actitud 1 Duración: 01:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio		
8	Cinemática de la actitud 2 Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	Cinemática de la actitud 2 Duración: 01:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio		
9	Determinación de la actitud 1 Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	Determinación de la actitud 1 Duración: 01:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio		

10	Determinación de la actitud 2 Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	Determinación de la actitud 2 Duración: 01:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio		
11	Dinámica del sólido rígido 1 Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	Dinámica del sólido rígido 1 Duración: 01:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio		
12	Dinámica del sólido rígido 2 Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	Dinámica del sólido rígido 2 Duración: 01:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio		
13	Dinámica de la actitud de satélites artificiales 1 Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	Dinámica de la actitud de satélites artificiales 1 Duración: 01:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio		
14	Dinámica de la actitud de satélites artificiales 2 Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	Dinámica de la actitud de satélites artificiales 2 Duración: 01:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio		
15	Control de actitud 1 Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	Control de actitud 1 Duración: 01:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio		
16	Control de actitud 2 Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral	Control de actitud 2 Duración: 01:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio		
17				<p>Examen teórico EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación continua Presencial Duración: 02:00</p> <p>Trabajo práctico TI: Técnica del tipo Trabajo Individual Evaluación sólo prueba final Presencial Duración: 02:00</p> <p>Trabajo práctico TI: Técnica del tipo Trabajo Individual Evaluación continua Presencial Duración: 02:00</p> <p>Examen teórico final EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación sólo prueba final Presencial Duración: 02:00</p>

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.

7. Actividades y criterios de evaluación

7.1. Actividades de evaluación de la asignatura

7.1.1. Evaluación (progresiva)

Sem.	Descripción	Modalidad	Tipo	Duración	Peso en la nota	Nota mínima	Competencias evaluadas
17	Examen teórico	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	02:00	50%	5 / 10	E02 E03 E12 E13 E24
17	Trabajo práctico	TI: Técnica del tipo Trabajo Individual	Presencial	02:00	50%	5 / 10	E02 E03 E12 E13 E24

7.1.2. Prueba evaluación global

Sem	Descripción	Modalidad	Tipo	Duración	Peso en la nota	Nota mínima	Competencias evaluadas
17	Trabajo práctico	TI: Técnica del tipo Trabajo Individual	Presencial	02:00	50%	5 / 10	E03 E12 E13 E24
17	Examen teórico final	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	02:00	50%	5 / 10	E02 E03 E12 E13 E24

7.1.3. Evaluación convocatoria extraordinaria

No se ha definido la evaluación extraordinaria.

7.2. Criterios de evaluación

Los exámenes evaluarán el conocimiento de los alumnos en relación con el temario de la asignatura. Los exámenes teóricos son trabajos escritos de tipo problemas y preguntas de test. El trabajo práctico consiste en resolver un conjunto de problemas fuera del horario de clases y realizar una exposición escrito (en inglés o español) sobre los problemas realizado.

La nota de la asignatura comprende dos partes, cada una de ellas con el siguiente peso respecto de la nota total.

Examen teórico final 50 %

Trabajo práctico: 50 %

8. Recursos didácticos

8.1. Recursos didácticos de la asignatura

Nombre	Tipo	Observaciones
Apuntes	Bibliografía	Propios de la asignatura y bibliografía recomendada.
Space Mission Analysis and Design.	Bibliografía	Space Mission Analysis and Design Authors: Wertz, James R., Larson, Wiley
Spacecraft Attitude Determination and Control	Bibliografía	Spacecraft Attitude Determination and Control Editors: Wertz, James R. (Ed.)
Spacecraft Dynamics and Control: An Introduction	Bibliografía	Spacecraft Dynamics and Control: An Introduction. Authors. Anton H. de Ruiter, Christopher Damaren, James R. Forbes