



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

145007505 - Motores Cohete

PLAN DE ESTUDIOS

14IA - Grado En Ingeniería Aeroespacial

CURSO ACADÉMICO Y SEMESTRE

2021/22 - 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.....	5
7. Actividades y criterios de evaluación.....	9
8. Recursos didácticos.....	11
9. Otra información.....	12

1. Datos descriptivos

1.1. Datos de la asignatura

Nombre de la asignatura	145007505 - Motores Cohete
No de créditos	4.5 ECTS
Carácter	Obligatoria
Curso	Cuarto curso
Semestre	Séptimo semestre
Período de impartición	Septiembre-Enero
Idioma de impartición	Castellano
Titulación	14IA - Grado en Ingeniería Aeroespacial
Centro responsable de la titulación	14 - Escuela Técnica Superior De Ingeniería Aeronáutica Y Del Espacio
Curso académico	2021-22

2. Profesorado

2.1. Profesorado implicado en la docencia

Nombre	Despacho	Correo electrónico	Horario de tutorías *
Gregorio Lopez Juste	Edificio A	gregorio.lopez@upm.es	Sin horario.
Efren Moreno Benavides	Edificio A	efren.moreno@upm.es	Sin horario.
Enrique Cabrera Revuelta	14B.03.025.0	enrique.cabrera@upm.es	Sin horario.
Juan Manuel Tizon Pulido (Coordinador/a)	14AS142	jm.tizon@upm.es	Sin horario.

Francisco Sastre Matesanz	14B.03.025.0	francisco.sastre@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

- Mecanica De Fluidos
- Tecnologia Aeroespacial
- Mecanica De Fluidos li
- Termodinamica

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

CE45 - Conocimiento adecuado y aplicado a la Ingeniería de: Los conceptos y leyes que gobiernan la combustión interna, su aplicación a la propulsión cohete.

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.

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

RA216 - Conocimiento y comprensión de las leyes que gobiernan el movimiento de vehículos propulsados con motores cohete; la generación de empuje y las variables de las que depende.

RA218 - Conocimiento de los propulsores y comprensión y del proceso de combustión de los motores cohete de propulsante sólido, líquido e híbridos.

RA217 - Conocimiento y comprensión del modelo ideal de los motores cohete de propulsión fluidodinámica y de la influencia de efectos reales.

RA219 - Conocimiento y comprensión del sistema de ionización y de aceleración de los motores cohete eléctricos.

RA304 - Capacidad para comprender y simular los procesos físico-matemáticos de los motores cohete y para abordar tanto el problema de actuaciones como el de síntesis o diseño

RA305 - Conocimiento, comprensión, aplicación y análisis de los sistemas de alimentación y refrigeración

5. Descripción de la asignatura y temario

5.1. Descripción de la asignatura

DESCRIPCIÓN DE LA ASIGNATURA

Los Motores Cohete se utilizan en diversos sistemas aéreos y espaciales como sistema de propulsión principal o auxiliar. En vuelo atmosférico se utilizan en tareas muy específicas para la propulsión de misiles y en los vehículos lanzadores que permiten el acceso al espacio. En el ámbito espacial son, casi con exclusividad, los únicos sistemas de propulsión que se pueden utilizar, constituyendo una parte esencial del vehículo espacial.

La asignatura aborda la descripción del estado tecnológico actual de los motores cohete. En este sentido se hace énfasis en conocer y comprender los principios de funcionamiento de los diversos sistemas; seleccionar y aplicar las metodologías de análisis más adecuadas y evaluar los resultados obtenidos desde diversos prismas, en el que uno de los más importantes pueda ser el grado de cumplimiento de las expectativas que inicialmente se hayan marcado en el desarrollo del producto.

En un primer bloque se estudian los principios básicos de funcionamiento y los modelos que permiten la descripción de las actuaciones de los sistemas clásicos de propulsión fluidodinámica. A continuación, se estudian con cierto detalle cada uno de los sistemas, dentro de los motores cohete termoquímicos, se dedica un tiempo

importante a los de propulsante sólido y propulsante líquido y, en el ámbito de la propulsión eléctrica, se describen los aspectos más importantes del funcionamiento de los diversos sistemas.

5.2. Temario de la asignatura

1. Lección 1: Propulsión mediante Motores Cohete
2. Lección 2: Empuje y estudio propulsivo
3. Lección 3: Misiones y análisis de utilización
4. Lección 4: Conceptos de Aerotermoquímica
5. Lección 5: Modelo ideal de Motor Cohete
6. Lección 6: Actuaciones y diseño de toberas
7. Lección 7: Estudio teórico y experimental de efectos reales
8. Lección 8: Motores Cohete de propulsante sólido
9. Lección 9: Propulsores sólidos
10. Lección 10: Actuaciones de Motores Cohete de propulsante sólido
11. Lección 11: Cinemática de superficies de combustión
12. Lección 12: Motores Cohete de propulsante líquido
13. Lección 13: Cámaras de empuje
14. Lección 14: Introducción a las Turbomáquinas
15. Lección 15: Sistema de alimentación mediante turbomáquinas
16. Lección 16: Sistema de alimentación por presurización
17. Lección 17: Propulsión eléctrica
18. Lección 18: Motores cohete electrostáticos

6. Cronograma

6.1. Cronograma de la asignatura *

Sem	Actividad presencial en aula	Actividad presencial en laboratorio	Tele-enseñanza	Actividades de evaluación
1	<p>Lección 1: Propulsión mediante Motores Cohete Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p>Lección 1: Propulsión mediante Motores Cohete Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p>Lección 2: Empuje y estudio propulsivo Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p>		<p>Lección 1: Propulsión mediante Motores Cohete Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p>Lección 1: Propulsión mediante Motores Cohete Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p>Lección 2: Empuje y estudio propulsivo Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p>	
2	<p>Lección 2: Empuje y estudio propulsivo Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p>Lección 3: Misiones y análisis de utilización Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p>Lección 3: Misiones y análisis de utilización Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p>		<p>Lección 2: Empuje y estudio propulsivo Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p>Lección 3: Misiones y análisis de utilización Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p>Lección 2: Empuje y estudio propulsivo Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p>	
3	<p>Lección 3: Misiones y análisis de utilización Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p>Lección 4: Conceptos de Aerotermoquímica Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p>Lección 3: Misiones y análisis de utilización Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p>		<p>Lección 3: Misiones y análisis de utilización Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p>Lección 4: Conceptos de Aerotermoquímica Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p>Lección 3: Misiones y análisis de utilización Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p>	
4	<p>Lección 5: Modelo ideal de Motor Cohete Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p>Lección 5: Modelo ideal de Motor Cohete Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p>Lección 5: Modelo ideal de Motor Cohete Duración: 01:00</p>		<p>Lección 5: Modelo ideal de Motor Cohete Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p>Lección 5: Modelo ideal de Motor Cohete Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p>Lección 5: Modelo ideal de Motor Cohete Duración: 01:00</p>	

	PR: Actividad del tipo Clase de Problemas		PR: Actividad del tipo Clase de Problemas
5	<p>Lección 5: Modelo ideal de Motor Cohete Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p>Lección 6: Actuaciones y diseño de toberas Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p>Lección 5: Modelo ideal de Motor Cohete Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p>		<p>Lección 5: Modelo ideal de Motor Cohete Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p>Lección 6: Actuaciones y diseño de toberas Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p>Lección 5: Modelo ideal de Motor Cohete Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p>
6	<p>Lección 6: Actuaciones y diseño de toberas Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p>Lección 7: Estudio teórico y experimental de efectos reales Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p>Lección 6: Actuaciones y diseño de toberas Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p>		<p>Lección 6: Actuaciones y diseño de toberas Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p>Lección 7: Estudio teórico y experimental de efectos reales Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p>Lección 6: Actuaciones y diseño de toberas Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p>
7	<p>Lección 8: Motores Cohete de propulsante sólido Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p>Lección 10: Actuaciones de Motores Cohete de propulsante sólido Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p>Lección 10: Actuaciones de Motores Cohete de propulsante sólido Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p>		<p>Lección 8: Motores Cohete de propulsante sólido Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p>Lección 10: Actuaciones de Motores Cohete de propulsante sólido Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p>Lección 10: Actuaciones de Motores Cohete de propulsante sólido Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p>
8	<p>Lección 9: Propulsores sólidos Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p>Lección 10: Actuaciones de Motores Cohete de propulsante sólido Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p>Lección 10: Actuaciones de Motores Cohete de propulsante sólido Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p>		<p>Lección 9: Propulsores sólidos Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p>Lección 10: Actuaciones de Motores Cohete de propulsante sólido Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p>Lección 10: Actuaciones de Motores Cohete de propulsante sólido Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p> <p>Temas 1 a 10 Una parte teórica y dos/tres ejercicios de aplicación EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación continua Presencial Duración: 03:00</p>
9	<p>Lección 11: Cinemática de superficies de combustión Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p>Lección 12: Motores Cohete de propulsante líquido Duración: 01:00</p>		<p>Lección 11: Cinemática de superficies de combustión Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p>Lección 12: Motores Cohete de propulsante líquido Duración: 01:00</p>

	<p>LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p>Lección 11: Cinemática de superficies de combustión Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p>		<p>LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p>Lección 11: Cinemática de superficies de combustión Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p>	
10	<p>Lección 12: Motores Cohete de propulsante líquido Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p>Lección 13: Cámaras de empuje Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p>Lección 12: Motores Cohete de propulsante líquido Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p>		<p>Lección 12: Motores Cohete de propulsante líquido Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p>Lección 13: Cámaras de empuje Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p>Lección 12: Motores Cohete de propulsante líquido Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p>	
11	<p>Lección 13: Cámaras de empuje Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p>Lección 14: Introducción a las Turbomáquinas Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p>Lección 12: Motores Cohete de propulsante líquido Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p>		<p>Lección 13: Cámaras de empuje Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p>Lección 14: Introducción a las Turbomáquinas Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p>Lección 12: Motores Cohete de propulsante líquido Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p>	
12	<p>Lección 15: Sistema de alimentación mediante turbomáquinas Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p>Lección 15: Sistema de alimentación mediante turbomáquinas Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p>Lección 15: Sistema de alimentación mediante turbomáquinas Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p>		<p>Lección 15: Sistema de alimentación mediante turbomáquinas Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p>Lección 15: Sistema de alimentación mediante turbomáquinas Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p>Lección 15: Sistema de alimentación mediante turbomáquinas Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p>	
13	<p>Lección 16: Sistema de alimentación por presurización Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p>Lección 16: Sistema de alimentación por presurización Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p>Lección 16: Sistema de alimentación por presurización Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p>		<p>Lección 16: Sistema de alimentación por presurización Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p>Lección 16: Sistema de alimentación por presurización Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p>Lección 16: Sistema de alimentación por presurización Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p>	

14	<p>Lección 17: Propulsión eléctrica Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p>Lección 18: Motores cohete electrostáticos Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p>Lección 16: Sistema de alimentación por presurización Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p>		<p>Lección 17: Propulsión eléctrica Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p>Lección 18: Motores cohete electrostáticos Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p>Lección 16: Sistema de alimentación por presurización Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p>	
15	<p>Problemas de Motor Cohete Duración: 03:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p>		<p>Problemas de Motor Cohete Duración: 03:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p>	<p>Temas 11 a 18. Una parte teórica y dos/tres ejercicios de aplicación EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación continua Presencial Duración: 03:00</p>
16				<p>Temas 1 a 18 EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación sólo prueba final Presencial Duración: 03:00</p>
17				

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
8	Temas 1 a 10 Una parte teórica y dos/tres ejercicios de aplicación	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	03:00	50%	3.5 / 10	CG9 CE45 CE49 CG3
15	Temas 11 a 18. Una parte teórica y dos/tres ejercicios de aplicación	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	03:00	50%	3.5 / 10	CG9 CE45 CE49 CG3

7.1.2. Evaluación sólo prueba final

Sem	Descripción	Modalidad	Tipo	Duración	Peso en la nota	Nota mínima	Competencias evaluadas
16	Temas 1 a 18	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	03:00	100%	3.5 / 10	CG9 CE45 CE49 CG3

7.1.3. Evaluación convocatoria extraordinaria

Descripción	Modalidad	Tipo	Duración	Peso en la nota	Nota mínima	Competencias evaluadas
Temas 1 a 18	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	03:00	100%	3.5 / 10	CG9 CE45 CE49 CG3

7.2. Criterios de evaluación

Durante el curso se celebran dos exámenes parciales liberatorios que permiten aprobar la asignatura por curso. En la convocatoria de examen ordinario y extraordinario se mantiene la estructura de los exámenes parciales de manera que solo es necesario examinarse de las partes no superadas previamente. Los parciales liberados tienen validez durante el curso académico en el que se aprueban.

Los exámenes parciales consisten en:

- Parcial 1: Temas 1 a 10 Una parte teórica y dos/tres ejercicios de aplicación (1/3 T+2/3 P).
- Parcial 2: Temas 11 a 18. Una parte teórica y dos/tres ejercicios de aplicación (1/3 T+2/3 P).

Los exámenes parciales tendrán carácter liberatorio para las dos convocatorias del curso académico.

Calificación obtenida:

$$N_{\text{(Parcial_1,2)}} = (1/3) N_{\text{teoria}} + (2/3) N_{\text{Problema}}$$

$$N_{\text{Final}} = (1/2) N_{\text{(Parcial_1)}} + (1/2) N_{\text{(Parcial_2)}}$$

El examen final se divide en dos partes correspondientes a cada uno de los exámenes parciales lo que permite examinarse únicamente de las partes no superadas.

En el caso de que un alumno desee subir nota puede presentarse al examen final pero ese acto motiva que la nota sea la obtenida en ese examen, es decir, se olvidan las pruebas anteriores.

Los exámenes se aprueban y los parciales se liberan con una nota igual o superior a 5 sobre 10. No obstante, se permiten las siguientes reglas de compensación:

- Nota de pruebas individuales: las notas de los exámenes de teoría deben ser superiores a 2.5 sobre 10 y la nota de cada problema deben ser superior a 1.5 sobre 10.
- Nota de examen parcial superior a 3.5 sobre 10.

8. Recursos didácticos

8.1. Recursos didácticos de la asignatura

Nombre	Tipo	Observaciones
BARRERE. "Rocket Propulsion". Ed. Elsevier, 1960.	Bibliografía	
DAVENAS, A. "Solid Rocket Propulsion Technology". Ed. Pergamon Press, 1993.	Bibliografía	
GOEBEL, D.M. y KATZ, I. "Fundamentals of Electric Propulsion: Ion and Hall Thrusters". JPL Space Science and Technology Series, March 2008.	Bibliografía	
HILL, P.C. PETERSON. "Mechanics and Thermodynamics of Propulsion". Ed. Addison-Wesley, 1992.	Bibliografía	
HUMBLE, R.W., HENRY. G.N. Y LARSON, W.J. "Space Propulsion Analysis and Design". Ed. McGraw-Hill Co., 1995.	Bibliografía	
HUZEL, K. y HUANG "Modern Engineering for Desing of Liquid Propellant Rocket Engines". AIAA Pub., 1992.	Bibliografía	
JAHN "Physics of Electric Propulsion". Ed. McGraw-Hill, 1968; Dover Mineola, 2006.	Bibliografía	
JENARO DE MENCOS, G. y TIZÓN, J. M., "Propulsión de Misiles Tácticos", Ibergarceta, Madrid, 2018.	Bibliografía	

SUTTON, G.P. y BIBLARZ, O. "Rocket Propulsion Elements". Ed. John Wiley, New York, 2001.	Bibliografía	
TIZÓN, J. M. y CABRERA, E., "Introducción a los Motores Cohete", Ibergarceta, Madrid, 2019.	Bibliografía	
Espacio MOODLE de la asignatura http://moodle.upm.es/	Recursos web	Transparencias de clase, colección de problemas, ejercicios resueltos, información adicional.
Apuntes de la asignatura	Otros	

9. Otra información

9.1. Otra información sobre la asignatura

El Temario, el Plan de Trabajo y el Sistema de Evaluación podrán sufrir modificaciones en razón del número de alumnos que cursen la asignatura, con la finalidad de adaptar los medios y métodos para un correcto desarrollo del curso. Dichas modificaciones se comunicaran oportunamente.

Siguiendo instrucciones se ha incluido un cronograma presencial y un cronograma no-presencial que se aplicaran de forma excluyente según las circunstancias lo permitan. Igualmente las pruebas de evaluación se llevaran a cabo según corresponda.