



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

**145006103 - Aerorreactores**

### PLAN DE ESTUDIOS

14IA - Grado En Ingeniería Aeroespacial

### CURSO ACADÉMICO Y SEMESTRE

2019/20 - Segundo semestre

## Índice

---

### Guía de Aprendizaje

1. Datos descriptivos.....	1
2. Profesorado.....	1
3. Conocimientos previos recomendados.....	2
4. Competencias y resultados de aprendizaje.....	3
5. Descripción de la asignatura y temario.....	4
6. Cronograma.....	6
7. Actividades y criterios de evaluación.....	9
8. Recursos didácticos.....	10
9. Otra información.....	11

## 1. Datos descriptivos

---

### 1.1. Datos de la asignatura

<b>Nombre de la asignatura</b>	145006103 - Aerorreactores
<b>No de créditos</b>	4 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>	2019-20

## 2. Profesorado

---

### 2.1. Profesorado implicado en la docencia

<b>Nombre</b>	<b>Despacho</b>	<b>Correo electrónico</b>	<b>Horario de tutorías *</b>
Gregorio Lopez Juste (Coordinador/a)		gregorio.lopez@upm.es	M - 10:30 - 12:30 X - 08:30 - 10:30 J - 10:30 - 12:30 Se ruega solicitar las tutorías por email al profesor

Efren Moreno Benavides		efren.moreno@upm.es	Sin horario. Se solicitara la tutoría por email al profesor
Jaime Quintanal Fernandez- Escandon		jaime.quintanal@upm.es	M - 18:30 - 20:30 Se ruego solicitar las tutorías por email al profesor

\* 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

- Tecnologia Aeroespacial
- Termodinamica
- Mecanica De Fluidos Ii
- Mecanica De Fluidos

#### 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

CE29 - Conocimiento adecuado de: las instalaciones de los sistemas propulsivos; el control de instalaciones de los sistemas propulsivos; la ingeniería de los sistemas de propulsión; actuaciones de los motores de aviación.

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

RA206 - Conocer y cuantificar de forma aplicada el proceso de combustión de los aerorreactores y el rendimiento de la combustión.

RA204 - Conocer las necesidades propulsivas de las aeronaves.

RA205 - Conocer los empujes y resistencias relacionados con los aerorreactores.

RA207 - Saber realizar un balance energético diferenciando y calculando los rendimientos involucrados.

RA208 - Saber resolver problemas relacionados con el cálculo de los ciclos termodinámicos y las características de los aerorreactores; así como el efecto de las características y calidad de los componentes.

RA209 - Conocer los diferentes aerorreactores y saber obtener los sistemas óptimos bajo el punto de vista de propulsivo.

RA210 - Dimensionar los componentes que intervienen en sistema propulsivo.

RA211 - Utilizar herramientas informáticas de cálculo de actuaciones de aerorreactores.

RA212 - Conocer el efecto de las condiciones de vuelo: velocidad y altitud en el funcionamiento de los aerorreactores.

RA213 - Conocer los problemas ambientales de los aerorreactores y sus posibles soluciones.

RA214 - Redactar informes técnicos y hacer exposiciones orales técnicas relacionadas con lo anterior.

RA215 - Resolver problemas derivados del ámbito de la materia de forma autónoma y en colaboración con otros.

## 5. Descripción de la asignatura y temario

---

### 5.1. Descripción de la asignatura

El objetivo de la asignatura es capacitar al alumno para la selección de la planta propulsora adecuada para la aeronave y la estimación de sus prestaciones

### 5.2. Temario de la asignatura

#### 1. Tema 1. INTRODUCCIÓN.

1.1. 1.1. Concepto de rendimiento propulsivo. 1.2. Rendimiento motor, de propulsión y global. 1.3. Clasificación de los aerorreactores y su uso según la velocidad de vuelo. 1.4. Desarrollo histórico de la propulsión por chorro.

#### 2. Tema 2. NECESIDADES PROPULSIVAS DE LAS AERONAVES.

2.1. 2.1. Potencia específica en exceso. 2.2. Análisis de restricciones. 2.3. Selección del empuje-peso. 2.4. Dimensionado del motor.

#### 3. Tema 3. ANÁLISIS DEL CICLO BRAYTON.

3.1. 3.1. Introducción, hipótesis, nomenclatura. 3.2. Toma dinámica. 3.3. Compresor. 3.4. Cámara de combustión. 3.5. Turbina. 3.6. Tobera.

#### 4. Tema 4. APLICACIÓN DE LAS ECUACIONES INTEGRALES DE LA MECÁNICA DE FLUIDOS A LOS AERORREACTORES

4.1. 4.1. Ecuación de continuidad. 4.2. Ecuación de cantidad de movimiento. 4.3. Ecuación de la energía. 4.4. Balance energético.

#### 5. Tema 5. COMPORTAMIENTO MOTOR Y PROPULSOR DE LOS AERORREACTORES.

5.1. 5.1. Potencia motora adimensional y rendimiento motor. 5.2. Impulso específico, rendimiento de la propulsión y consumo específico. 5.3. Cálculo de actuaciones simplificadas.

#### 6. Tema 6. TURBOHÉLICES Y SU OPTIMIZACIÓN.

6.1. 6.1. Planteamiento de problema y parámetros que caracterizan el turbohélice.

6.2. 6.2. Valores óptimos de los parámetros y su discusión según la velocidad de vuelo y la potencia del turborreactor origen.

6.3. 6.3. Potencia útil, rendimiento propulsivo, rendimiento motor.

6.4. 6.4. Influencia de parámetros en el comportamiento de turbohélices.

## 7. Tema 7. TURBOFANES Y SU OPTIMIZACIÓN.

7.1. 7.1. Planteamiento del problema. Configuraciones.

7.2. 7.2. Parámetros que caracterizan el ciclo del turbofán.

7.3. 7.3. Obtención de los valores óptimos de los parámetros.

7.4. 7.4. Discusión de los valores óptimos según la velocidad de vuelo y la potencia del turborreactor origen.

7.5. 7.5. Optimización para una relación de derivación dada.

7.6. 7.6. Tendencias.

## 8. Tema 8. SISTEMAS INCREMENTADORES DE EMPUJE Y OTROS CICLOS.

8.1. 8.1. Sistema de inyección de agua. 8.2. Sistemas post-combustor y su análisis. 8.3. Estatorreactores.

## 6. Cronograma

### 6.1. Cronograma de la asignatura \*

Sem	Actividad presencial en aula	Actividad presencial en laboratorio	Otra actividad presencial	Actividades de evaluación
1	<p><b>Introducción (Fundamentos de la propulsión)</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Análisis del ciclo termodinámico de los turbo reactores</b> Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p>			
2	<p><b>Introducción (Fundamentos de la Propulsión)</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Análisis del ciclo termodinámico de los turbo reactores</b> Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p>			
3	<p><b>Necesidades propulsivas de las aeronaves</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Análisis del ciclo termodinámico de los turbo reactores</b> Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p>			
4	<p><b>Necesidades Propulsivas de las aeronaves</b> Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Aplicación de las ecuaciones integrales de la mecánica de fluidos a los aeroreactores</b> Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>ejrcicios básicos sobre necesidades propulsivas</b> Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p>			
5	<p><b>Aplicación de las ecuaciones integrales de la mecánica de fluidos a los aeroreactores</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>ejrcicios sobe ecuaciones integrales de la mecánica de fluidos</b></p>			



	Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas			
6	<b>Comportamiento Motor y Propulsor de los turbo reactores</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral  <b>Ejercicios análisis punto diseño turbo reactores</b> Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas			
7	<b>Comportamiento motor y propulsor de los aeroreactores</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral  <b>Ejercicios sobre turbo reactores flujo único punto diseño</b> Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas			
8	<b>Turbohélices y su optimización</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral  <b>Ejercicios turbohélices</b> Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas			<b>Prueba de evaluación intermedia</b> EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación continua Duración: 02:00
9	<b>Turbohélices y su optimización</b> Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral  <b>Turbofanos y su optimización</b> Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral  <b>Ejercicios turbohélices</b> Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas			
10	<b>Turbofanos y su optimización</b> Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral  <b>Ejercicios turbofanos</b> Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas			
11	<b>turbofanos y su optimización</b> Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral  <b>Sistemas incrementadores de empuje</b> Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral  <b>Ejercicios turbofanos</b> Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas			

12	<p><b>Sistemas incrementadores de empuje</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>ejercicios postcombustores</b> Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p>			
13	<p><b>Otros ciclos</b> Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Actuaciones aerorreactores</b> Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Ejercicios psotcombustores</b> Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p>		<p><b>Práctica voluntaria: Arquitectura de aerorreactores</b> Duración: 01:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio</p>	
14	<p><b>Actuaciones Aerorreactores</b> Duración: 01:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Ejercicios actuaciones</b> Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p> <p><b>Actuaciones aerorreactores</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Ejercicios actuaciones</b> Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p>		<p><b>Prácticas voluntarias: arquitectura de aerorreactores</b> Duración: 01:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio</p>	
15	<p><b>Actuaciones aerorreactores</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Ejercicios actuaciones</b> Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p>		<p><b>Prácticas voluntarias: arquitectura de motor</b> Duración: 01:00 AC: Actividad del tipo Acciones Cooperativas</p>	
16				<p><b>Evaluación parcial-final</b> EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación continua Duración: 01:30</p> <p><b>Evaluación final</b> EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación sólo prueba final Duración: 03:00</p>
17				

Las horas de actividades formativas no presenciales son aquellas que el estudiante debe dedicar al estudio o al trabajo personal.

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.

## 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	Prueba de evaluación intermedia	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	02:00	50%	5 / 10	CG3 CG9 CE29
16	Evaluación parcial-final	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	01:30	50%	5 / 10	CG3 CG9 CE29

#### 7.1.2. Evaluación sólo prueba final

Sem	Descripción	Modalidad	Tipo	Duración	Peso en la nota	Nota mínima	Competencias evaluadas
16	Evaluación final	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	03:00	100%	5 / 10	CG3 CG9 CE29

#### 7.1.3. Evaluación convocatoria extraordinaria

No se ha definido la evaluación extraordinaria.

## 7.2. Criterios de evaluación

Existirán dos modelos de evaluación, siendo el/la alumno/a el/la que opte por uno u otro, mediante un escrito dirigido al profesor responsable antes de una fecha que será determinada en el comienzo del curso.

Evaluación continua: Los conocimientos se evaluarán mediante:

Pruebas de evaluación intermedia:

El alumno podrá aprobar la asignatura mediante las pruebas parciales cuando la media aritmética de las evaluaciones parciales sea superior o igual a una nota de 5 sobre 10 y se haya obtenido un mínimo de 5 puntos sobre 10 en cada una de ellas.

EVALUACIÓN NO CONTINUA: Los conocimientos se evaluarán mediante:

Prueba de evaluación final:

La prueba objetiva final será superada cuando el alumno obtenga una nota de 5 sobre 10.

Los exámenes parciales y finales estarán compuestos de una parte teórica y otra de aplicación práctica. Podrán estar constituidos por ejercicios tipo test y/o ejercicios de desarrollo.

La segunda prueba de evaluación intermedia coincidirá con el examen final

## 8. Recursos didácticos

---

### 8.1. Recursos didácticos de la asignatura

Nombre	Tipo	Observaciones
MATTINGLY, JACK D. ?Elements of propulsion: gas turbines and rockets?. AIAA Education Series, 2006.	Bibliografía	

OATES, GORDON C. ?Aerothermodynamics of gas turbine and rocket propulsion?. American Institute of Aeronautics and Astronautics Reston, 3rd ed, 1997.	Bibliografía	
HILL, PHILIP G AND PETERSON, CARL R. ?Mechanics and thermodynamics of propulsion?. Ed. Addison-Wesley Reading, 2nd ed, Massachusetts, 1992.	Bibliografía	
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.
Apuntes de aerorreactores del profesor José Luis Montañes. Servicio publicaciones ETSIAE	Bibliografía	Apuntes de aerorreactores de las especialidades PA y CTA de la titulación de grado (GIA) editados por el servicio de publicaciones

## 9. Otra información

### 9.1. Otra información sobre la asignatura

Justificación de Revisión de la asignatura Aerorreactores de la especialidad Vehículos Aeroespaciales  
Especialidad: Vehículos Aeroespaciales (VA)

Periodo de impartición: segundo semestre 3º GIA-EIAE

Antecedentes:

En la memoria de verificación del Grado en Ingeniería Aeroespacial se describe la asignatura de Aerorreactores

con el propósito de formar a los alumnos de la especialidad de Vehículos Aeroespaciales en dichos sistemas. En dicha memoria se plantea una asignatura de 4 créditos ECTS distribuidos del siguiente modo:

Lección magistral (LM):

1.63

créditos ECTS

Resolución de problemas en el aula (RPA):

0.54

créditos ECTS

Estudio personal dirigido:

1.53

créditos ECTS

La memoria del Plan de Estudios enviada a verificación y aprobada por la ANECA manifestaba que la distribución de ECTS dada en la tabla anterior era orientativa y que podría estar sujeta a posibles modificaciones como resultado del desarrollo de las Guías de Aprendizaje o de la coordinación entre asignaturas y cursos. Además, la Memoria recomendaba que las actividades docentes presenciales estuviesen en el entorno de 1/3 de la carga total establecida por el ECTS.

Por otra parte, Jefatura de Estudios fijó el número de horas de dedicación del ECTS en 28 horas y la duración típica del semestre en 14 semanas.

Motivación:

Después de realizar las Guías de Aprendizaje y de establecer los horarios provisionales del segundo semestre del tercer curso de la especialidad VA, hemos constatado que la asignatura de aerorreactores exige una mayor carga presencial que otras asignaturas de igual tamaño e intención en el plan de estudios. La carga presencial prevista en la Memoria para esta asignatura es de 2.17 ECTS (1.63+0.54) lo que supone que la carga presencial que el alumno debe asumir representa más de la mitad del tiempo ECTS. El valor previsto en la Memoria es 0.54 (2.17/4) muy superior al valor de 1/3 recomendado. Este exceso de carga presencial puede valorarse en un 63% respecto

de la carga presencial recomendada. Evidentemente, tener un 63% más de carga docente presencial supone reducir en la misma cantidad el tiempo disponible para que el alumno asimile los contenidos y pueda realizar adecuadamente el estudio personal dirigido. De mantenerse este ratio, el alumno puede ver incrementado en un 63% el número de temas y la profundidad con la que son tratados los mismos, mientras que verá reducido en la misma proporción el tiempo disponible para estudiarlos, asimilarlos y madurarlos.

Otras asignaturas en el semestre (por ejemplo, Estructuras de Acero o Estructuras de Hormigón, ambas con 4.5 créditos en la especialidad ATA, o Mecánica del Vuelo con 6 créditos en la especialidad VA) han respetado la recomendación de 1/3, de modo que para una asignatura tipo de 4.5 créditos ECTS la carga presencial prevista es de 1.5 ECTS (tres horas presenciales por semana). Cabe destacar que la asignatura de aerorreactores tiene un menor peso (4 créditos ECTS en lugar de 4.5 ECTS) por lo que es de esperar que la dedicación requerida también deba ser menor. Pensamos que es conveniente reducir el exceso de carga presencial que representa para el alumno.

Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores, para una asignatura de 4 créditos ECTS la carga presencial debería ser 1.33 créditos. Esta dedicación supone 2.67 horas por semana y un total de 37.24 horas lectivas presenciales. Teniendo en cuenta la recomendación de Jefatura de Estudios de no emplear fracciones de una hora, parece oportuno establecer tres horas presenciales por semana: dos horas para LM y una hora para RPA. Este planteamiento daría 42 horas por semana, lo que es ligeramente superior a las 37.5 horas recomendadas. Este exceso puede eliminarse adelantando el final de las clases LM en cuatro horas. Dejando un total de 38 horas presenciales: 24 LM y 14 RPA.

Corrección.

La guía docente que presentamos se ha concebido teniendo en cuenta un total de 42 (38) lecciones de una hora (28 (24) de LM y 14 de RPA). No obstante, con el objetivo de mejorar el desarrollo de la asignatura, cuatro de las lecciones LM podrán ser transformadas en EPD dependiendo de la evolución de la asignatura.

Lección magistral (LM):

1.00 (0.85)

créditos ECTS

Resolución de problemas en el aula (RPA):

0.50

créditos ECTS

Estudio personal dirigido:

2.50 (2.65)

créditos ECTS