



POLITÉCNICA

CAMPUS  
DE EXCELENCIA  
INTERNACIONAL

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

**145006203 - Aerorreactores**

### PLAN DE ESTUDIOS

14IA - Grado en Ingeniería Aeroespacial

### CURSO ACADÉMICO Y SEMESTRE

2017/18 - 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.....	4
6. Cronograma.....	8
7. Actividades y criterios de evaluación.....	12
8. Recursos didácticos.....	14

## 1. Datos descriptivos

---

### 1.1. Datos de la asignatura

<b>Nombre de la asignatura</b>	145006203 - Aerorreactores
<b>No de créditos</b>	6 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 en el que se imparte</b>	Escuela Técnica Superior de Ingeniería Aeronáutica y del Espacio
<b>Curso académico</b>	2017-18

## 2. Profesorado

---

### 2.1. Profesorado implicado en la docencia

<b>Nombre</b>	<b>Despacho</b>	<b>Correo electrónico</b>	<b>Horario de tutorías *</b>
Jose Rodrigo Ramirez	A S1 041	jose.rodrigo@upm.es	V - 16:00 - 20:00
Luis Sanchez De Leon Peque	B325	luis.sanchezdeleon@upm.es	M - 12:00 - 14:00 J - 12:00 - 14:00
Jose Luis Montañes Garcia (Coordinador/a)	A S1 041	joseluis.montanes@upm.es	M - 09:30 - 11:30 X - 09:30 - 11:30 V - 09:30 - 11:30

\* 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

- Termodinámica
- Termodinámica aplicada
- Transporte de calor y masa
- Mecánica de fluidos
- Mecánica de fluidos II
- Tecnología aeroespacial

### 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 que adquiere el estudiante al cursar la asignatura

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.

CE34 - Conocimiento adecuado y aplicado a la Ingeniería de: los métodos de cálculo y de desarrollo de instalaciones de los sistemas propulsivos; la regulación y control de instalaciones de los sistemas propulsivos; el manejo de las técnicas experimentales, equipamiento e instrumentos de medida propios de la disciplina; los combustibles y lubricantes empleados en los motores de aviación y automoción; la simulación numérica de los procesos físico-matemáticos más significativos; los sistemas de mantenimiento y certificación de los motores aeroespaciales.

CE35 - Conocimiento aplicado de: aerodinámica interna; teoría de la propulsión; actuaciones de aviones y de aerorreactores; ingeniería de sistemas de propulsión; mecánica y termodinámica.

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 al cursar la asignatura

RA204 - Conocer las necesidades propulsivas de las aeronaves.

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

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

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

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.

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 fundamental de la asignatura es la formación, a nivel de experto, en problemas de utilización, selección y actuaciones de motores de reacción utilizados en aeronáutica (aerorreactores) y turbinas de gas. Además, se darán conocimientos sobre los problemas ambientales (contaminación y ruido) que se originan en el aeropuerto debido a los aerorreactores.

### 5.2. Temario de la asignatura

#### 1. Tema 1 Introducción

- 1.1. Concepto de rendimiento Propulsivo
- 1.2. Motores y Propulsores.
- 1.3. Rendimiento motor, de propulsión y global.
- 1.4. Desarrollo histórico de la propulsión por chorro.
- 1.5. Fabricantes de motores de turbinas de gas y nombres de motores
- 1.6. Detalles constructivos de turbofanés biejés y triejes
- 1.7. Análisis funcional de sus módulos.

#### 2. Tema 2 Necesidades propulsivas

- 2.1. Potencia específica en exceso. T2.1 Análisis de restricciones. T2.2 Selección de empuje/peso. T2.3 Dimensionado del motor. T2.4 Autonomía y radio de acción. T2.5

#### 3. tema 3 Análisis del ciclo Brayton

- 3.1. Hipótesis y nomenclatura. Variables de remanso.
- 3.2. Toma dinámica. Pérdida de presión de remanso.
- 3.3. Compresor. Rendimientos adiabático y politrópico.
- 3.4. Cámara de combustión. Poder calorífico del combustible y rendimiento de la combustión
- 3.5. Turbina. Rendimientos adiabático y politrópico.
- 3.6. Toberas. Tobera bloqueada

#### 4. Tema 4 Aplicación de las ecuaciones integrales de MF

- 4.1. Ecuación de continuidad.

- 4.2. Ecuación de cantidad de movimiento. Resistencias adicional y externa
- 4.3. Ecuación de la energía. Poder calorífico del combustible y rendimiento de la combustión.
- 4.4. Balance energético.
5. Tema 5 Comportamiento motor y propulsor de aerorreactores
  - 5.1. Análisis simplificado del ciclo. Rendimiento global de compresión y de expansión.
  - 5.2. Potencia motora adimensional y rendimiento motor.
  - 5.3. Impulso específico y rendimiento de la propulsión.
  - 5.4. Cálculo simplificado de actuaciones. Variación de las variables específicas con la altura y velocidad de vuelo
  - 5.5. Cálculo del gasto másico. Variación de las actuaciones del sistema con la altura y velocidad de vuelo.
6. Tema 6 Turbohélices y su optimización
  - 6.1. Planteamiento del problema. Tracción y empuje.
  - 6.2. Parámetros que caracterizan el ciclo del TH: Potencia específica de la hélice y velocidad de salida.
  - 6.3. Valores óptimos de los parámetros y su discusión en función de las condiciones de vuelo y de la potencia del TB origen
  - 6.4. Potencia útil y rendimiento propulsivo óptimos. Estudio del caso ideal.
  - 6.5. Definiciones empleadas en TH.
7. Tema 7 Turbofanés y su optimización
  - 7.1. Planteamiento del problema. Flujos primario y secundario (caliente y frío). Configuraciones
  - 7.2. Parámetros que caracterizan el ciclo del TF: relación de derivación y relación de compresión del fan.
  - 7.3. Valores óptimos de los parámetros y su discusión en función de las condiciones de vuelo y de la potencia del TB origen.
  - 7.4. Potencia útil y rendimiento propulsivo óptimos. Estudio del caso ideal
  - 7.5. Evolución de los TF utilizados. Optimización para una relación de derivación dada.
  - 7.6. TF de flujo mezclados.
8. Tema 8 Conceptos futuros de motores.
  - 8.1. Nuevas configuraciones de TF
9. Tema 9 Sistemas incrementadores de empuje
  - 9.1. Necesidad de los mismos

- 9.2. Sistemas de inyección de agua. Inyección en el compresor. Inyección en la cámara de combustión.
- 9.3. Sistemas postcombustor. Elementos que lo componen. Necesidad de toberas variables
- 9.4. Incremento de empuje, consumo y consumo específico en el caso ideal.
- 9.5. Caso real. Bloqueo térmico. Parámetro de combustible máximo. Incremento del empuje función de la temperatura y del Mach de entrada.
- 10. Tema 10 Estudio de componentes
  - 10.1. Planteamiento del problema de las actuaciones de los componentes
  - 10.2. Parámetros adimensionales de un aerorreactor
  - 10.3. Actuaciones del compresor.
  - 10.4. Actuaciones de la cámara de combustión.
  - 10.5. Actuaciones de la turbina.
  - 10.6. Actuaciones de la entrada.
  - 10.7. Actuaciones de la tobera de salida.
- 11. Tema 11 Cálculo analítico de las actuaciones de los aerorreactores
  - 11.1. Planteamiento del problema: variables adimensionales y ecuaciones
  - 11.2. Resolución del generador de gas monoeje
  - 11.3. Resolución del aerorreactor.
  - 11.4. Líneas de funcionamiento y curvas características.
  - 11.5. Reducción de datos a la atmósfera estándar.
  - 11.6. Efecto de la temperatura y presión ambiente en el empuje de despegue
  - 11.7. Motores de empuje constante.
  - 11.8. Medición del empuje a través del EPR.
- 12. Tema 12 Problemas ambientales de los aerorreactores
  - 12.1. Emisiones
  - 12.2. Contaminación
  - 12.3. Ruido
- 13. Tema 13 Turbinas de gas
  - 13.1. Diferencias del ciclo utilizado en TB
  - 13.2. TG de aplicación industrial. Aeroderivadas



### 13.3. TG de aplicación en transportes

## 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>Desarrollo Conceptual de los Contenidos</b> Duración: 03:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Resolución de Problemas con Ayuda del Profesor</b> Duración: 01:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p> <p><b>Ayuda para la comprensión de los conceptos impartidos en las lecciones magistrales</b> Duración: 01:00 OT: Otras actividades formativas</p>			
2	<p><b>Desarrollo Conceptual de los Contenidos</b> Duración: 03:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Resolución de Problemas con Ayuda del Profesor</b> Duración: 00:55 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p> <p><b>Ayuda para la comprensión de los conceptos impartidos en las lecciones magistrales</b> Duración: 00:55 OT: Otras actividades formativas</p>			
3	<p><b>Desarrollo Conceptual de los Contenidos</b> Duración: 03:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Resolución de Problemas con Ayuda del Profesor</b> Duración: 00:55 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p> <p><b>Ayuda para la comprensión de los conceptos impartidos en las lecciones magistrales</b> Duración: 00:55 OT: Otras actividades formativas</p>			

4	<p><b>Desarrollo Conceptual de los Contenidos</b> Duración: 03:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Resolución de Problemas con Ayuda del Profesor</b> Duración: 00:55 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p> <p><b>Ayuda para la comprensión de los conceptos impartidos en las lecciones magistrales</b> Duración: 00:55 OT: Otras actividades formativas</p>			
5	<p><b>Desarrollo Conceptual de los Contenidos</b> Duración: 03:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Resolución de Problemas con Ayuda del Profesor</b> Duración: 00:55 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p> <p><b>Ayuda para la comprensión de los conceptos impartidos en las lecciones magistrales</b> Duración: 00:55 OT: Otras actividades formativas</p>			<p><b>Test de Teoría y Ejercicios</b> EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación continua Duración: 01:30</p>
6	<p><b>Desarrollo Conceptual de los Contenidos</b> Duración: 03:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Resolución de Problemas con Ayuda del Profesor</b> Duración: 00:55 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p> <p><b>Ayuda para la comprensión de los conceptos impartidos en las lecciones magistrales</b> Duración: 00:55 OT: Otras actividades formativas</p>			
7	<p><b>Desarrollo Conceptual de los Contenidos</b> Duración: 03:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Resolución de Problemas con Ayuda del Profesor</b> Duración: 00:55 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p> <p><b>Ayuda para la comprensión de los conceptos impartidos en las lecciones magistrales</b> Duración: 00:55 OT: Otras actividades formativas</p>			

8	<p><b>Desarrollo Conceptual de los Contenidos</b> Duración: 03:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Resolución de Problemas con Ayuda del Profesor</b> Duración: 00:55 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p>	<p><b>Aplicación con simuladores de actuaciones</b> Duración: 00:55 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio</p>		
9	<p><b>Desarrollo Conceptual de los Contenidos</b> Duración: 03:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Resolución de Problemas con Ayuda del Profesor</b> Duración: 00:55 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p>	<p><b>Aplicación con simuladores de actuaciones</b> Duración: 00:55 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio</p>		<p><b>Test de Teoría y Ejercicios</b> EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación continua Duración: 01:30</p>
10	<p><b>Desarrollo Conceptual de los Contenidos</b> Duración: 03:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Resolución de Problemas con Ayuda del Profesor</b> Duración: 00:55 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p>	<p><b>Aplicación con simuladores de actuaciones</b> Duración: 00:55 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio</p>		
11	<p><b>Desarrollo Conceptual de los Contenidos</b> Duración: 03:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Resolución de Problemas con Ayuda del Profesor</b> Duración: 00:55 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p>	<p><b>Aplicación con simuladores de actuaciones</b> Duración: 00:55 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio</p>		
12	<p><b>Desarrollo Conceptual de los Contenidos</b> Duración: 03:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Resolución de Problemas con Ayuda del Profesor</b> Duración: 00:55 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p>	<p><b>Aplicación con simuladores de actuaciones</b> Duración: 01:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio</p>		
13	<p><b>Desarrollo Conceptual de los Contenidos</b> Duración: 03:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Resolución de Problemas con Ayuda del Profesor</b> Duración: 00:55 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p>	<p><b>Aplicación con simuladores de actuaciones</b> Duración: 00:55 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio</p>		

14	<p><b>Desarrollo Conceptual de los Contenidos</b> Duración: 03:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Resolución de Problemas con Ayuda del Profesor</b> Duración: 00:55 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p> <p><b>Ayuda para la comprensión de los conceptos impartidos en las lecciones magistrales</b> Duración: 00:55 OT: Otras actividades formativas</p>			<p><b>Test de Teoría y Ejercicios</b> EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación continua Duración: 01:30</p>
15	<p><b>Desarrollo Conceptual de los Contenidos</b> Duración: 03:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Resolución de Problemas con Ayuda del Profesor</b> Duración: 00:55 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p> <p><b>Ayuda para la comprensión de los conceptos impartidos en las lecciones magistrales</b> Duración: 00:55 OT: Otras actividades formativas</p>			
16				<p><b>Test de Teoría y Ejercicios</b> EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación continua Duración: 01:30</p> <p><b>Trabajo escrito sobre la realización práctica del cálculo de actuaciones de un aerorreactor</b> TG: Técnica del tipo Trabajo en Grupo Evaluación continua Duración: 04:00</p> <p><b>Examen Final</b> EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación sólo prueba final Duración: 04:00</p>

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
5	Test de Teoría y Ejercicios	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	01:30	15%	5 / 10	CE35 CG3 CE34
9	Test de Teoría y Ejercicios	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	01:30	15%	5 / 10	CE35 CG3 CE34
14	Test de Teoría y Ejercicios	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	01:30	15%	5 / 10	CE35 CG3 CE34
16	Test de Teoría y Ejercicios	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	01:30	15%	5 / 10	CE35 CG3 CE34
16	Trabajo escrito sobre la realización práctica del cálculo de actuaciones de un aerorreactor	TG: Técnica del tipo Trabajo en Grupo	Presencial	04:00	10%	5 / 10	CE35 CG3 CE29 CE34

#### 7.1.2. Evaluación sólo prueba final

Sem	Descripción	Modalidad	Tipo	Duración	Peso en la nota	Nota mínima	Competencias evaluadas
16	Examen Final	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	04:00	100%	5 / 10	CE35 CG3 CE29 CE34

#### 7.1.3. Evaluación convocatoria extraordinaria

Descripción	Modalidad	Tipo	Duración	Peso en la nota	Nota mínima	Competencias evaluadas
Examen Final	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	04:00	100%	5 / 10	CE35 CG3 CE29 CE34

## 7.2. Criterios de evaluación

Los exámenes parciales tratan de evaluar el conocimiento del alumno en los temas básicos por eso constarán de un test y de ejercicios cortos; todo ello realizado sin ayuda de ningún tipo de referencia. El aprobado mediante una nota media de estos exámenes, le permitirán al alumno liberar la parte teórica del examen final de la asignatura, que tiene un valor total de la asignatura del 60%.

Los problemas y proyectos pretenden que el alumno sea capaz de evaluar con un grado de aproximación suficiente las actuaciones de los distintos tipos de aerorreactores mediante los modelos explicados en las clases. Esto animará a los alumnos a adquirir las destrezas necesarias y le permitirá desplegar una actividad en la iniciativa personal y la creatividad que serán muy útiles para enfrentarse al mundo profesional en relación con los si temas de propulsión aérea. De estos, existirán dos modalidades, una consistirá en la asistencia al laboratorio de cálculo donde se impartirá la docencia de un modelo de simulador. Se trabajará en equipos de dos y se entregará una memoria con la realización práctica del cálculo de actuaciones de un aerorreactor. Esta actividad tendrá un valor del 10% de la nota final de la asignatura. La otra modalidad será la realización de problemas con la ayuda del profesor. Esta actividad se evaluará en el examen final de la asignatura y tendrá un valor del 30% de la nota final.

En el examen final se evaluara el conjunto de conocimientos adquiridos. Se hará mediante la realización de una parte teórica (para los que no la tengan liberada) y la realización de un problema con ayuda de las referencias que se consideren oportunas. La final tendrá la misma ponderación que se ha establecido en los párrafos anteriores. Teoría 60%, Problemas 30% y Trabajo Práctico de Actuaciones 10%.

## 8. Recursos didácticos

### 8.1. Recursos didácticos de la asignatura

Nombre	Tipo	Observaciones
Mechanics and Thermodynamics of Propulsion". Hill & Peterson	Bibliografía	
"Aerothermodynamics of Gas Turbine and Rocket Propulsion". Gordon C. Oates	Bibliografía	
"Aerothermodynamics of Aircraft Engine Components". Gordon C. Oates	Bibliografía	
"Aircraft Propulsion Systems Technology and Design". Gordon C. Oates	Bibliografía	
"Aircraft Engines and Gas Turbines". Kerrebrock. "Elements of Gas Turbine Propulsion". Jack D. Mattingly	Bibliografía	
"Teoría de las Turbinas de Gas". Cohen, Rogers & Saravanamuttoo	Bibliografía	
"Jet Propulsion" Nicholas Cumpsty	Bibliografía	
"An Introduction to Aerospace Propulsion" R. Douglas Archer & Maida Saarlás	Bibliografía	
"Teoría de los Motores de Reacción". Steekin "The Jet Engine". Rolls Royce. Configuración	Bibliografía	
"The Aircraft Gas Turbine Engine and its Operation". Pratt & Whitney. Configuración	Bibliografía	



"Jet Engines: Fundamentals of Theory, Design and Operation". Klaus Hünecke. Configuración	Bibliografía	
"Jet Aircraft Power Systems". Casaniassa & Bent. Configuración.	Bibliografía	
"Motores de Reacción y Turbinas de Gas". C.S. Tarifa.	Bibliografía	
"Turborreactores". Antonio Esteban Oñate	Bibliografía	
Moodle Apuntes de la asignatura. Enunciado de problemas propuestos y realizados en aula. Transparencias mostradas durante las lecciones magistrales.	Recursos web	