



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

**145003003 - Termodinámica**

### PLAN DE ESTUDIOS

14IA - Grado En Ingeniería Aeroespacial

### CURSO ACADÉMICO Y SEMESTRE

2019/20 - Primer 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.....	7
7. Actividades y criterios de evaluación.....	10
8. Recursos didácticos.....	14

## 1. Datos descriptivos

### 1.1. Datos de la asignatura

<b>Nombre de la asignatura</b>	145003003 - Termodinamica
<b>No de créditos</b>	6 ECTS
<b>Carácter</b>	Obligatoria
<b>Curso</b>	Segundo curso
<b>Semestre</b>	Tercer semestre
<b>Período de impartición</b>	Septiembre-Enero
<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>
M. Isabel Perez Grande (Coordinador/a)		isabel.perez.grande@upm.es	--
Ignacio Cabrera Revuelta		ignacio.cabrera@upm.es	Sin horario.
Pedro De La Calzada Mazeres		pedro.delacalzada@upm.es	Sin horario.

Antonio Barrero Gil		antonio.barrero@upm.es	Sin horario.
Borja Jimenez De Cisneros Bailly-Bailliere		borja.jimenezdecisneros@up m.es	Sin horario.
Ignacio Torralbo Gimeno		ignacio.torralbo@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
Javier Piqueras Carreño	javier.piqueras@upm.es	ETSIAE
David González Bárcena	david.gonzalez@upm.es	ETSIAE
Arturo González-Illana De Los Reyes	arturo.gonzalezllana@upm.es	ETSIAE

## 3. Conocimientos previos recomendados

---

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

- Matematicas I
- Fisica Ii
- Matematicas Ii
- Fisica I

### 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

CE08 - Comprender los ciclos termodinámicos generadores de potencia mecánica y empuje.

CE16 - Conocimiento adecuado y aplicado a la Ingeniería de: Los conceptos y las leyes que gobiernan los procesos de transferencia de energía, el movimiento de los fluidos, los mecanismos de transmisión de calor y el cambio de materia y su papel en el análisis de los principales sistemas de propulsión aeroespaciales.

CE19 - Conocimiento aplicado de: la ciencia y tecnología de los materiales; mecánica y termodinámica; mecánica de fluidos; aerodinámica y mecánica del vuelo; sistemas de navegación y circulación aérea; tecnología aeroespacial; teoría de estructuras; transporte aéreo; economía y producción; proyectos; impacto ambiental.

CG3 - Capacidad para identificar y resolver problemas aplicando, con creatividad, los conocimientos adquiridos

### 4.2. Resultados del aprendizaje

RA174 - Conocimiento, comprensión, aplicación, análisis y síntesis de los principios y métodos de la Termodinámica.

RA175 - Conocimiento y comprensión de los dos primeros principios de la termodinámica y su aplicación a sistemas abiertos, tomando como ejemplos algunos sistemas aeroespaciales típicos. -Conocimiento, comprensión y aplicación de las relaciones termodinámicas generalizadas, del equilibrio y estabilidad de sistemas simples compresibles y de los cambios de fase.

## 5. Descripción de la asignatura y temario

---

### 5.1. Descripción de la asignatura

En esta asignatura se introducen los conceptos básicos de la termodinámica. Inicialmente se introducen el primer y segundo principio aplicados a sistemas cerrados y a continuación se obtienen las ecuaciones para volúmenes de control. Se comienza aplicando dichos principios a gases perfectos y posteriormente a gases reales. El curso está centrado en sistemas monofásicos y monocomponentes, salvo el tema final en el que se estudia el equilibrio y el cambio de fase.

### 5.2. Temario de la asignatura

#### 1. ALGUNOS CONCEPTOS Y DEFINICIONES

- 1.1. Alcance y método de la termodinámica.
- 1.2. Sistema termodinámico.
- 1.3. Propiedad, estado, proceso.
- 1.4. Equilibrio: proceso cuasiestático.
- 1.5. Frontera adiabática y frontera diatérmica; equilibrio térmico. Principio cero de la termodinámica. Definición empírica de temperatura.
- 1.6. Densidad y presión.

#### 2. PRIMER PRINCIPIO DE LA TERMODINÁMICA. ENERGÍA.

- 2.1. Concepto de trabajo. Proceso adiabático. Evaluación del trabajo en una superficie.
- 2.2. Primer principio de la termodinámica. Energía. Principio de conservación de la energía para una masa de control; calor.
- 2.3. Ecuación de la energía interna.
- 2.4. Trabajo en procesos reversibles.
- 2.5. Postulado de estado; sistema simple.

#### 3. SEGUNDO PRINCIPIO DE LA TERMODINÁMICA. ENTROPÍA.

- 3.1. Enunciados de Kelvin-Planck y de Clausius del segundo principio: equivalencia de estos postulados.
- 3.2. Procesos reversibles e irreversibles.
- 3.3. Teoremas de Carnot.

- 3.4. Escala termodinámica de temperatura.
- 3.5. Teorema (desigualdad) de Clausius.
- 3.6. Entropía.
- 3.7. Procesos reales; producción de entropía.
- 3.8. Ecuación de Gibbs.
- 3.9. Entropía y energía no utilizable.
4. PRIMER Y SEGUNDO PRINCIPIOS APLICADOS A VOLÚMENES DE CONTROL.
  - 4.1. Variación de una propiedad extensiva: teorema del transporte de Reynolds.
  - 4.2. Primer principio aplicado a volúmenes de control.
  - 4.3. Ecuación del segundo principio para volúmenes de control.
  - 4.4. Procesos en régimen estacionario.
  - 4.5. Ecuación de Bernouilli generalizada.
  - 4.6. Magnitudes de remanso.
  - 4.7. Análisis de turbinas, compresores, difusores y toberas; rendimiento adiabático de estos dispositivos.
  - 4.8. Dispositivos de estrangulamiento.
5. POTENCIALES TERMODINÁMICOS. RELACIONES TERMODINÁMICAS GENERALIZADAS.
  - 5.1. Potenciales termodinámicos, potencial termodinámico  $U$  (energía interna). Transformación de Legendre. Otros potenciales termodinámicos.
  - 5.2. Relaciones de Maxwell.
  - 5.3. Relaciones generalizadas para cambios de energía interna, entalpía y entropía.
  - 5.4. Relaciones generalizadas para  $C_p$  y  $C_v$ . Diferencia  $C_p - C_v$ .
  - 5.5. Coeficiente de Joule-Thomson.
  - 5.6. Datos que necesita la Termodinámica.
6. EQUILIBRIO DE LOS SISTEMAS TERMODINÁMICOS. TRANSICIÓN DE FASE.
  - 6.1. Potencial químico.
  - 6.2. Criterios de equilibrio y estabilidad: Principio de máxima entropía; principio de mínima energía. Criterios de estabilidad para los otros potenciales termodinámicos.
  - 6.3. Propiedades termodinámicas en el equilibrio de los sistemas.
  - 6.4. Condiciones de estabilidad de los sistemas simples compresibles.

6.5. Cambio de fase: regla de Gibbs de las fases para un sistema no reactivo.

6.6. Ecuación de Clapeyron.

6.7. Propiedades termodinámicas del agua.



## 6. Cronograma

### 6.1. Cronograma de la asignatura \*

Sem	Actividad presencial en aula	Actividad presencial en laboratorio	Otra actividad presencial	Actividades de evaluación
1	<b>Clase de teoría</b> Duración: 04:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral			
2	<b>Clase de teoría</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral  <b>Resolución de problemas en aula</b> Duración: 02:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas			
3	<b>Clase de teoría</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral  <b>Resolución de problemas en aula</b> Duración: 02:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas			
4	<b>Clase de teoría</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral  <b>Resolución de problemas en aula</b> Duración: 02:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas			
5	<b>Clase de teoría</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral  <b>Resolución de problemas en aula</b> Duración: 02:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas			
6	<b>Clase de teoría</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral  <b>Resolución de problemas en aula</b> Duración: 02:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas			
7	<b>Clase de teoría</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral  <b>Resolución de problemas en aula</b> Duración: 02:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas	<b>Prácticas de laboratorio. Semana a asignar según turno</b> Duración: 02:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio		<b>Control de teoría temas 1, 2 y 3.</b> EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación continua Duración: 01:00

8	<p><b>Clase de teoría</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Resolución de problemas en aula</b> Duración: 02:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p>	<p><b>Prácticas de laboratorio</b> Duración: 02:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio</p>		
9	<p><b>Clase de teoría</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Resolución de problemas en aula</b> Duración: 02:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p>	<p><b>Prácticas de laboratorio</b> Duración: 02:00 PL: Actividad del tipo Prácticas de Laboratorio</p>		
10	<p><b>Clase de teoría</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Resolución de problemas en aula</b> Duración: 02:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p>			
11	<p><b>Clase de teoría</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Resolución de problemas en aula</b> Duración: 02:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p>			<p><b>Examen de teoría y problemas de los temas 1 a 4</b> EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación continua Duración: 03:30</p>
12	<p><b>Clase de teoría</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Resolución de problemas en aula</b> Duración: 02:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p>			
13	<p><b>Clase de teoría</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Resolución de problemas en aula</b> Duración: 02:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p>			
14	<p><b>Clase de teoría</b> Duración: 02:00 LM: Actividad del tipo Lección Magistral</p> <p><b>Resolución de problemas en aula</b> Duración: 02:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p>			<p><b>Evaluación de prácticas de laboratorio</b> TG: Técnica del tipo Trabajo en Grupo Evaluación continua Duración: 00:00</p> <p><b>Evaluación de prácticas de laboratorio</b> EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación continua Duración: 01:00</p>
15	<p><b>Resolución de problemas en aula</b> Duración: 02:00 PR: Actividad del tipo Clase de Problemas</p>			

16				<b>Examen de teoría y problemas de los temas 5 y 6</b> EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación continua Duración: 02:00  <b>Examen final.</b> EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación sólo prueba final Duración: 03:30
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
7	Control de teoría temas 1, 2 y 3.	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	01:00	16%	5 / 10	CE08 CE16 CE19
11	Examen de teoría y problemas de los temas 1 a 4	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	03:30	44%	5 / 10	CE08 CE16 CE19 CG3
14	Evaluación de prácticas de laboratorio	TG: Técnica del tipo Trabajo en Grupo	No Presencial	00:00	7.5%	5 / 10	CE16 CE19
14	Evaluación de prácticas de laboratorio	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	01:00	7.5%	5 / 10	CE16 CE19
16	Examen de teoría y problemas de los temas 5 y 6	EX: Técnica del tipo Examen Escrito	Presencial	02:00	40%	/ 10	CE19 CG3 CE08 CE16

#### 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	03:30	100%	5 / 10	CE08 CE16 CE19 CG3

#### 7.1.3. Evaluación convocatoria extraordinaria

No se ha definido la evaluación extraordinaria.

## 7.2. Criterios de evaluación

En la evaluación la teoría tiene un peso del 40% y los problemas un peso del 60%. El proceso de evaluación que se plantea en esta asignatura es el siguiente.

Evaluación continua:

\*C1: Control de teoría 1 (semana 7 aproximadamente). Incluye contenidos de teoría de los temas 1, 2 y 3.

Los alumnos que superen este control liberarán sólo en la prueba siguiente los contenidos teóricos de dichos temas. Calificación NT1.

\*C2: Control de teoría y problemas (semana 11 aproximadamente). Incluye contenidos de teoría y problemas de los temas 1 a 4.

Se realizarán dos exámenes: uno para los alumnos que hayan liberado el primer control y otro para los que no lo hayan liberado y decidan continuar con la evaluación continua.

-Alumnos que han liberado el control C1:

Contenido del examen:

-Teoría del tema 4. Calificación NT2\_L.

-Problema 1. Calificación NP1.

-Problema 2. Calificación NP2.

Calificación del control:  $NC2 = 0,4 NT2 + 0,3 NP1 + 0,3 NP2$ ,

donde  $NT2 = 2/3 \times NT1 + 1/3 NT2\_L$

-Alumnos que no han liberado el control C1:

Contenido del examen:

-Teoría de los temas 1 a 4. Calificación NT2.

-Problema 1. Calificación NP1.

-Problema 2. Calificación NP2.

Calificación del control:  $NC2 = 0,4 NT2 + 0,3 NP1 + 0,3 NP2$ .

Aquellos alumnos que superen el control C2 liberarán los contenidos de los temas 1-4.

\* C3: Control de teoría y problemas (simultáneamente al examen final). Incluye contenidos de teoría y problemas de los temas 5 y 6.

Contenido del examen:

-Teoría de los temas 5 y 6. Calificación NT3.

-Problema 1. Calificación NP3\_L.

Nota final de la asignatura por sistema de evaluación continua:

$NF = 0,4 (0,6 NT2 + 0,4 NT3) + 0,3 NP3\_L + 0,3 (0,5 NP1 + 0,5 NP2)$

A esta nota se sumará la nota de prácticas de laboratorio.

Examen final. Prueba que incluye teoría y problemas de los temas 1 a 6.

Contenido del examen:

-Teoría de los temas 1 a 6. Calificación NTF.

-Problema 1. Calificación NPF1.

-Problema 2. Calificación NPF2.

Nota final de la asignatura:

$$NF = 0,4 NTF + 0,3 NPF1 + 0,3 NPF2$$

Para aprobar el examen, deberá obtenerse una calificación total superior o igual 5.

A esta nota se sumará la nota de prácticas de laboratorio.

-Evaluación de las prácticas de laboratorio.

El alumno tendrá que entregar un informe de cada una de las prácticas realizadas. El informe debe contener como mínimo el método utilizado, resultados y conclusiones.

La actividad de prácticas se valorará con un máximo de 1,5 puntos que se sumará a la nota final obtenida, siempre que la nota del examen final (o de la evaluación continua) sea mayor que 5 sobre 10.

La evaluación de la actividad de prácticas se realizará a partir del informe y de un examen sobre los contenidos de las prácticas. El peso de cada parte es del 50%, estableciéndose una nota mínima de 5 en el examen para poder sumar puntos por prácticas. Es decir, el informe no puntuará a no ser que se haya superado el examen de prácticas.

## 8. Recursos didácticos

### 8.1. Recursos didácticos de la asignatura

Nombre	Tipo	Observaciones
Apuntes de Termodinámica. Teoría	Bibliografía	
Apuntes de Termodinámica. Enunciados de problemas.	Bibliografía	
Apuntes de Termodinámica. Problemas resueltos.	Bibliografía	
MORAN, M.J. Y SHAPIRO, H.N., Fundamentos de la Termodinámica técnica. Ed. Reverté, 2ª Edición (traducción de la 4ª ed. Inglesa) Barcelona, 2004.	Bibliografía	
WARK, K Y RICHARDS, D.E, Termodinámica, McGraw-Hill, 6ª ed. (traducción de la 6ª ed. Inglesa) Madrid, 2000.	Bibliografía	
<a href="http://moodle.upm.es/">http://moodle.upm.es/</a>	Recursos web	En esta plataforma se incluyen documentos docentes de la asignatura. Se utiliza también como medio de comunicación de avisos.
Laboratorio	Equipamiento	En el laboratorio los alumnos dispondrán del material e instrumentos necesarios para realizar las prácticas programadas de la asignatura.