



UNIVERSIDAD  
POLITÉCNICA  
DE MADRID

PROCESO DE  
COORDINACIÓN DE LAS  
ENSEÑANZAS PR/CL/001



Escuela Técnica Superior 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

2020/21 - 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
9. Otra información.....	15

## 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>	2020-21

## 2. Profesorado

### 2.1. Profesorado implicado en la docencia

<b>Nombre</b>	<b>Despacho</b>	<b>Correo electrónico</b>	<b>Horario de tutorías *</b>
Ignacio Cabrera Revuelta		ignacio.cabrera@upm.es	Sin horario.
M. Isabel Perez Grande (Coordinador/a)		isabel.perez.grande@upm.es	- -
Antonio Barrero Gil		antonio.barrero@upm.es	Sin horario.
Borja Jimenez De Cisneros Bailly-Bailliere		borja.jimenezdecisneros@upm.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

## 3. Conocimientos previos recomendados

---

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

- Matemáticas I
- Física II
- Matemáticas II
- Física 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	Tele-enseñanza	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 Presencial 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 Presencial 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 No presencial Duración: 00:00</p> <p><b>Evaluación de prácticas de laboratorio</b> EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación continua Presencial 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				<p><b>Examen de teoría y problemas de los temas 5 y 6</b></p> <p>EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación continua Presencial Duración: 02:00</p> <p><b>Examen final.</b></p> <p>EX: Técnica del tipo Examen Escrito Evaluación sólo prueba final Presencial Duración: 03:30</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
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	CE08 CE16 CE19 CG3

#### 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.

### **Medidas extraordinarias por la COVID-19**

Si por las circunstancias extraordinarias de la pandemia COVID-19 no fuese posible realizar las pruebas de

evaluación de forma presencial, se prevén los siguientes cambios:

-Eliminación de la primera prueba de evaluación intermedia, el control de teoría.

-La segunda prueba de evaluación intermedia se realizaría de forma telemática, manteniendo los mismos criterios de evaluación.

En todo caso, las adaptaciones se realizarían siguiendo la normativa vigente y las circunstancias en cada momento.

## 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	



<p>WARK, K Y RICHARDS, D.E, Termodinámica, McGraw-Hill, 6ª ed. (traducción de la 6ª ed. Inglesa) Madrid, 2000.</p>	<p>Bibliografía</p>	
<p><a href="http://moodle.upm.es/">http://moodle.upm.es/</a></p>	<p>Recursos web</p>	<p>En esta plataforma se incluyen documentos docentes de la asignatura. Se utiliza también como medio de comunicación de avisos.</p>
<p>Laboratorio</p>	<p>Equipamiento</p>	<p>En el laboratorio los alumnos dispondrán del material e instrumentos necesarios para realizar las prácticas programadas de la asignatura.</p>

## 9. Otra información

---

### 9.1. Otra información sobre la asignatura

El contenido de la asignatura se relaciona con el ODS7 y el ODS 12.

#### **Medidas extraordinarias por la COVID-19**

Si por las circunstancias extraordinarias de la pandemia COVID-19 no fuese posible impartir las clases de forma presencial, se prevén los siguientes escenarios:

1. Docencia semipresencial.

En este caso se impartirían de forma presencial las clases de problemas y las prácticas de laboratorio. Las clases de teoría se impartirían de forma telemática utilizando las herramientas puestas a disposición por la universidad para este fin.

2. Docencia totalmente telemática.

Se seguiría la misma programación pero las clases se impartirían de forma telemática utilizando las herramientas puestas a disposición por la universidad para este fin. En este caso, se suspenderían las prácticas de laboratorio presenciales.

En todo caso, las adaptaciones se realizarían siguiendo la normativa vigente y las circunstancias en cada momento.