



## PRESENTACIÓN

### Breve descripción:

### Titulación (Módulo/Materia):

- Ingeniería en Tecnologías Industriales (Bloque Común a la Rama Industrial /Fundamentos de Ingeniería Térmica y de Fluidos)
- Ingeniería Mecánica (Bloque Común a la Rama Industrial/Fundamentos de Ingeniería Térmica y de Fluidos)
- Ingeniería Eléctrica (Bloque Común a la Rama Industrial/Fundamentos de Ingeniería Térmica y de Fluidos)
- Ingeniería en Electrónica Industrial (Bloque Común a la Rama Industrial /Fundamentos de Ingeniería Térmica y de Fluidos)
  - Ingeniería en Organización Industrial (Tecnologías Industriales/ Tecnología Térmica y de Fluidos)

### Detalles:

- **ECTS:** 6 ECTS
- **Curso, semestre:** 2.º curso, 2.º semestre
- **Carácter:** Obligatorio
- **Idioma:** Castellano

### Profesores de la asignatura:

- Antón Remírez, Raúl/ Profesor Catedrático
- Gómez-Acebo Temes, Tomás/Profesor Catedrático

## COMPETENCIAS

### INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

CE7 - Conocimientos de termodinámica aplicada y transmisión de calor. Principios básicos y su aplicación a la resolución de problemas de ingeniería.

CG1 - Conseguir graduados que resuelvan problemas multidisciplinares con iniciativa, capacidad de toma de decisión, creatividad y razonamiento crítico.

### INGENIERÍA MECÁNICA

CG4 - Capacidad de resolver problemas con iniciativa, toma de decisiones, creatividad, razonamiento crítico y de comunicar y transmitir conocimientos, habilidades y destrezas en el campo de la Ingeniería Industrial.

CE7 - Conocimientos de termodinámica aplicada y transmisión de calor. Principios básicos y su aplicación a la resolución de problemas de ingeniería.



# Universidad de Navarra

## INGENIERÍA ELÉCTRICA

CG4 - Capacidad de resolver problemas con iniciativa, toma de decisiones, creatividad, razonamiento crítico y de comunicar y transmitir conocimientos, habilidades y destrezas en el campo de la Ingeniería Industrial.

CE7 - Conocimientos de termodinámica aplicada y transmisión de calor. Principios básicos y su aplicación a la resolución de problemas de ingeniería.

## INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA INDUSTRIAL

CG4 - Capacidad de resolver problemas con iniciativa, toma de decisiones, creatividad, razonamiento crítico y de comunicar y transmitir conocimientos, habilidades y destrezas en el campo de la Ingeniería Industrial.

CE7 - Conocimientos de termodinámica aplicada y transmisión de calor. Principios básicos y su aplicación a la resolución de problemas de ingeniería.

## INGENIERÍA EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

CE10 - Conocimientos de termodinámica aplicada. Principios básicos y su aplicación a la resolución de problemas de ingeniería.

CE11 - Conocimientos ingeniería térmica.

CG6 - Proporcionar bases sólidas en ciencias, tecnología, dirección de operaciones, producción y gestión de empresas.

## PROGRAMA

### Tema 1: Introducción a la Termodinámica y conceptos básicos

Sistemas cerrados y abiertos. Propiedades. Conceptos de estado y equilibrio, procesos y ciclos. Unidades: nomenclatura, Sistema Internacional, cambios de unidades. Masa y moles. Volumen y densidad. Presión. Temperatura, ley cero de la Termodinámica.

### Tema 2: Propiedades de sustancias puras y modelo de gas ideal

Sustancia pura. Fases de una sustancia pura. Proceso de cambio de fase. Diagramas de propiedades en procesos de cambio de fase. Tablas de propiedades. El modelo de gas ideal: ecuación de estado del gas ideal, calores específicos, energía interna, entalpía y calores específicos utilizando el modelo de gas ideal. Modelos de sólidos y de líquidos.

### Tema 3: Primer Principio

Trabajo: sistemas mecánicos, sistemas termodinámicos, trabajo de frontera, trabajo disipativo. Primer Principio. Energía interna. Calor. Balance de energía en sistemas cerrados.

### Tema 4: Volumen de control

Tránsito de masa de control a volumen de control. Conservación de la masa. Conservación de la energía. Análisis de equipos en estado estacionario: toberas y difusores; dispositivos de estrangulación; turbinas, bombas y compresores; intercambiadores de calor. Análisis de transitorios.

### Tema 5: La segunda ley de la Termodinámica



# Universidad de Navarra

Introducción a la segunda ley. Reversibilidad. Concepto de foco, máquina de potencia, eficiencias, ciclos inversos: refrigeradores y bombas de calor. Enunciados de la segunda ley. Consecuencias de la segunda ley: corolarios de Carnot, escala termodinámica de temperatura, ciclo de potencia de Carnot y ciclo inverso de Carnot.

## **Tema 6: Entropía**

Concepto de entropía. El principio de crecimiento de la entropía. Variación de entropía en sustancias puras. Procesos isoentrópicos. Diagramas de propiedades que incluyen la entropía. Relaciones TdS. Variación de entropía en sólidos y líquidos. Variación de entropía utilizando el modelo de gas ideal. Trabajo reversible en volúmenes de control en estado estacionario. ¿Cómo minimizar la potencia consumida por un compresor? Eficiencias isoentrópicas. Balance de entropía.

## **Tema 7: Ciclos de potencia y ciclos inversos**

Consideraciones básicas en el análisis de ciclos. Ciclo Brayton. Ciclo de Rankine. ¿Cómo mejorar la eficiencia? Ciclos con recalentamiento. Regeneradores abiertos y calentadores cerrados. Ciclo inverso: refrigeradores, aire acondicionado y bombas de calor.

## **Tema 8: Aire húmedo**

Mezclas de gases y vapores. Propiedades del aire húmedo. Temperaturas características. Diagrama psicrométrico. Procesos con aire húmedo.

## **CONTENTS OF THE COURSE**

### **Topic 1: Overview of thermodynamics and basic concepts**

Closed and open systems. Properties. Concepts of state and equilibrium, processes and cycles. Units: nomenclature, International System of Units, unit conversion. Mass and moles. Volume and density. Pressure. Temperature. Zeroth Law of Thermodynamics.

### **Topic 2: Properties of pure substances and the ideal gas model**

Pure substance. Pure substance phases. Phase change processes. Property diagrams for phase change processes. Property tables. The ideal gas model: ideal gas equation of state, specific heat capacities, internal energy, enthalpy and specific heat capacities using the ideal gas model. Models of solids and liquids.

### **Topic 3: First Law of Thermodynamics**

Work: mechanical systems, thermodynamic systems, boundary work, dissipation work. First Law. Internal energy. Heat. Energy balance in closed systems.

### **Topic 4: Control volume**

Transfer from control mass to control volume. Conservation of mass. Conservation of energy. Analysis of steady-state equipment: nozzles and diffusers; throttling devices; turbines, pumps and compressors; heat exchangers. Transient analysis.

### **Topic 5: The Second Law of Thermodynamics**

Overview of the Second Law. Reversibility. Concept of reservoir, power machine, efficiencies, reverse cycles: refrigerators and heat pumps. Principles of the Second Law. Consequences of



the Second Law: corollaries to Carnot's theorem, the thermodynamic temperature scale, the Carnot power cycle and the reversed Carnot cycle.

## Topic 6: Entropy

Concept of entropy. The principle of increase of entropy. Entropy change in pure substances. Isentropic processes. Property diagrams that include entropy. TdS relations. Entropy change in solids and liquids. Entropy change using the ideal gas model. Reversible work in steady-state control volumes. How to minimize the power consumed by a compressor. Isentropic efficiencies. Entropy balance.

## Topic 7: Power cycles and reverse cycles

Basic considerations in cycle analysis. Brayton cycle. Rankine cycle. How can efficiency be improved? Reheat cycles. Open regenerators and closed heaters. Reverse cycle: refrigeration, air conditioning and heat pumps.

## Topic 8: Humidity

Gas and vapour mixes. Properties of humidity. Characteristic temperatures. Psychrometric charts. Humidity generation.

## ACTIVIDADES FORMATIVAS

La **dedicación de 150-180 h** (6 ECTS) a la asignatura de Termodinámica se divide en las siguientes actividades formativas:

- Clases presenciales teóricas: 35 horas
- Clases presenciales prácticas, laboratorios o talleres: 25 horas
- Trabajos dirigidos: 10 horas
- Tutorías: 2 horas
- Estudio personal: 75 horas
- Evaluación: 10 horas

## METODOLOGÍAS DOCENTES

- Clases expositivas
- Trabajo en grupo
- Entrevista personal con el profesor de la asignatura
- Estudio del alumnos basado en diferentes fuentes de información
- Realización de pruebas evaluadas

Las clases presenciales (en aula) incluirán tanto el **desarrollo teórico** de la asignatura como la **resolución de ejercicios prácticos**. En el cronograma de la asignatura se detalla cómo se dividen los diferentes temas en el tiempo. Se deja a disposición de los estudiantes material de estudio (en el área interna) para el seguimiento de la asignatura y el **estudio personal** orientado a la adquisición de los conocimientos, conceptos y capacidades. El material de estudio incluye problemas propuestos para su resolución, soluciones a los ejercicios, ejemplos de exámenes de otros años, vídeos y tutoriales, etc. Los profesores estarán a disposición de los estudiantes para **atender dudas** y ayudar, de manera más personalizada, a la adquisición de los conocimientos, habilidades y destrezas.

Durante el cuatrimestre se realizarán diferentes **pruebas evaluadas** para evaluar el avance de los estudiantes, así como un examen final en la fecha indicada en el cronograma (área interna).



## EVALUACIÓN

### CONVOCATORIA ORDINARIA

- **5%** intervención en clases, seminarios y clases prácticas. Respuestas a los tests que se hagan en clase, y participación en el foro de la asignatura (mínimo 5 intervenciones relevantes)
- **30%** pruebas evaluadas. Se realizarán 5 pruebas de resolución de problemas, en las que se podrá utilizar el software EES. Se puntuarán las 3 mejores pruebas, máximo 30 puntos. No es necesario presentarse a todas las pruebas.
- **70% examen final.** Tendrá preguntas de teoría (25%), 2 problemas resueltos en papel (25% cada uno) y un problema resuelto con EES (25%).
- **5%** trabajo voluntario en grupos.

Observaciones:

- Para aprobar la asignatura es necesario sacar una nota mínima de 4 sobre 10 en el examen final, y 5 sobre 10 en la suma ponderada de todas las calificaciones.
- Si no se supera la nota mínima del examen, la calificación final global será la del examen.
- Alumnos **repetidores**: no se guarda ninguna calificación del curso anterior.

### CONVOCATORIA EXTRAORDINARIA

La evaluación puede hacerse de dos maneras:

1. Con **porcentajes iguales a los de la convocatoria ordinaria**. En ese caso, el examen final cuenta un 70%.
2. El **examen final cuenta 100%**. En ese caso, se anulan las calificaciones parciales.

La decisión sobre el modo de evaluación corresponde a cada estudiante. ANTES del examen extraordinario debe comunicar por escrito al profesor cómo desea ser evaluado; si no dice nada, se entiende que se aplican los mismos porcentajes que en la convocatoria ordinaria.

## HORARIOS DE ATENCIÓN

[Dr. Tomás Gómez-Acebo \(tgacebo@unav.es\)](mailto:tgacebo@unav.es)

- Despacho IG003. Edificio Igara. Planta 0
- Horario de tutoría: jueves de 11:30 a 13:00
- Concertar cita: <https://calendar.app.google/sV2f7tzRqygneTvWA>

[Dr. Raúl Antón \(ranton@tecnun.es\)](mailto:ranton@tecnun.es)

- Despacho dirección. Edificio Principal, planta 0
- Concertar cita previamente por mail

## BIBLIOGRAFÍA

Bibliografía básica



# Universidad de Navarra

1. Y.A. Çengel, *Fundamentals of Thermal-Fluid Sciences*. McGraw-Hill International Edition. New York, 2016. (Libro de texto de referencia en las asignaturas de Termodinámica, Mecánica de Fluidos y Transferencia de Calor.).
  - [Web del libro](#)
  - [Localízalo en la biblioteca](#)
2. A. Shavit y C. Gutfinger, *Thermodynamics. From concepts to applications*, Prentice Hall, Londres 1995. (Contiene muchos problemas interesantes.). [Localízalo en la biblioteca](#)
3. T. Gómez-Acebo, [Termodinámica. Notas de clase](#). Reprografía. [NOTA: Esta es la versión antigua. Se difundirá en la intranet la versión actualizada, por temas.]
4. T. Gómez-Acebo y otros, [Termodinámica. Cuaderno de Tablas y Diagramas](#). Reprografía.

## Bibliografía complementaria

1. M.J. Moran y H.N. Shapiro, *Fundamentos de Termodinámica Técnica*, vol. I y II, Ed. Reverté, Barcelona 1993. (Explica los conceptos empezando por lo más básico.)  
Localízalo en la Biblioteca: [tomo I](#), [tomo II](#).
2. J. Segura, *Termodinámica Técnica*, Ed. AC, Madrid 1980. (Explicaciones sencillas.)  
[Localízalo en la biblioteca \(formato papel\)](#) [Localízalo en la biblioteca \(formato electrónico\)](#)
3. David MacKay, *Sustainable energy, without the hot air*. <https://www.withouthotair.com/>
4. K. Wark, *Termodinámica*, McGraw-Hill. [Localízalo en la Biblioteca](#).
5. F.J. Wallace y W.A. Linning, *Basic Engineering Thermodynamics*, Pitman Publishing, London 1970. (Tratado clásico. [Localízalo en la Biblioteca](#).)
6. J.M. Lacalle, J. Turet y otros, *Termodinámica*, Sección de Publicaciones de la ETSII, Univ. Politécnica de Madrid, Madrid 1993. (Plantea de forma muy rigurosa los fundamentos teóricos de la Termodinámica. 2 ejemplares en [Biblioteca](#).)
7. A. Bejan, *Advanced Engineering Thermodynamics*, J. Wiley, Nueva York 1988.  
[Localízalo en la biblioteca](#)
8. Tester-Modell, *Thermodynamics and its Applications*, Prentice Hall, New Jersey 1998. (Escrito por profesores del MIT. Contiene muchos problemas interesantes, aunque está enfocado más a la Ingeniería Química.)
9. Levenspiel, *Fundamentos de Termodinámica*, Prentice Hall Hispanoamericana, 1999. (Este libro aclara, con cierto sentido del humor, los conceptos básicos de la Termodinámica y las aplicaciones.) [Localízalo en la biblioteca](#)
10. Perrot, *A to Z of Thermodynamics*, Oxford University Press, Oxford 1988. (Es un diccionario de Termodinámica, muy útil para aclarar conceptos puntuales.)  
[Localízalo en la biblioteca](#)
11. R.C. Reid, J.M. Prausnitz y B.E. Poling, *The properties of Gases & Liquids*, McGraw-Hill, New York 1987. (Libro básico para calcular todo tipo de propiedades de sustancias líquidas y gaseosas, sobre todo orgánicas.) [Localízalo en la biblioteca](#)
12. T.J. Kotas, *The Exergy Method of Thermal Plant Analysis*, Butterworths, London 1985. (Explicación del análisis exergético.) [Localízalo en la biblioteca](#)
13. L. Borel, *Thermodynamique et Energetique*, Presses Polytechniques romandes, Laussane. Volume I, 1984. Volume II, 1987. (Aplicación del análisis exergético. Nomenclatura bastante enrevesada.) [Localízalo en la biblioteca](#)