



# Grado en Ingeniería de Tecnologías Industriales

## 30012 - Termodinámica técnica y fundamentos de transmisión de calor

Guía docente para el curso 2013 - 2014

Curso: 2, Semestre: 1, Créditos: 6.0

---

### Información básica

---

#### Profesores

- **Francisco Javier Collado Giménez** fjk@unizar.es
- **María Begoña Peña Pellicer** bpp@unizar.es
- **Luis María Serra De Renobales** serra@unizar.es
- **Mario Jacobo Miana Sanz** mmiana@unizar.es
- **Sergio Usón Gil** suson@unizar.es

#### Recomendaciones para cursar esta asignatura

Se considera recomendable que el estudiante haya estudiado la parte correspondiente a Termodinámica y Transferencia de Calor en la asignatura de Física I.

Resultará imprescindible la soltura con ciertos conceptos matemáticos, tales como derivadas e integrales básicas, funciones logarítmicas y exponenciales, representaciones gráficas, etc. También la resolución de ecuaciones diferenciales sencillas tendrá cierta importancia para la parte de Transferencia de Calor. Todo ello se aprende en la materia de Matemáticas correspondiente a Formación Básica.

Cabe recordar que tener hábito de lectura facilitará la comprensión de los textos recomendados en la asignatura y, por tanto, facilitará el aprendizaje de la materia y mejorará el rendimiento académico.

Se recomienda al alumno la asistencia activa a las clases de teoría y problemas, así como un estudio continuado de los contenidos de la asignatura, la preparación de los problemas prácticos que puedan ser resueltos en sesiones posteriores, el estudio de los guiones y la elaboración continua de los resultados de las prácticas.

El trabajo continuado es fundamental para superar con el máximo aprovechamiento esta asignatura, ya que cada parte se estudia gradualmente un procedimiento de análisis coherente. Por ello, cuando surjan dudas, es importante resolverlas cuanto antes para garantizar el progreso correcto en esta materia.

Para ayudarle a resolver sus dudas, el estudiante cuenta con la asesoría del profesor, tanto durante las clases como en las horas de tutoría destinadas a tal fin.

#### Actividades y fechas clave de la asignatura

En el curso 2012-2013 las fechas de inicio y finalización de la asignatura y las horas concretas de impartición para cada

grupo se podrán encontrar en la página web del Grado.

Desde el inicio del cuatrimestre los alumnos dispondrán del calendario detallado de actividades (prácticas y experiencias de laboratorio,...) que será proporcionado por el profesor correspondiente. No obstante, y de manera orientativa, el calendario será el siguiente:

1ª semana de octubre. Inicio de prácticas y clases en grupos pequeños.

3ª semana de diciembre. Fecha límite de entrega de los informes de prácticas y trabajos tutorados.

Examen global. Fecha fijada por el centro.

---

## Inicio

---

## Resultados de aprendizaje que definen la asignatura

**El estudiante, para superar esta asignatura, deberá demostrar los siguientes resultados...**

- 1:** Conoce las propiedades termofísicas de interés industrial y tiene capacidad para utilizar y seleccionar procedimientos y herramientas adecuadas para su cálculo.
- 2:** Conoce y aplica las leyes de la termodinámica al análisis energético de equipos y procesos básicos en ingeniería.
- 3:** Conoce los criterios básicos para el análisis de ciclos termodinámicos.
- 4:** Conoce y aplica los mecanismos básicos de transferencia de calor al análisis de equipos térmicos.
- 5:** Resuelve razonadamente problemas básicos de termodinámica técnica y transferencia de calor aplicados a la ingeniería.

## Introducción

### Breve presentación de la asignatura

La asignatura forma parte del grupo de materias obligatorias de la Rama Industrial. Se trata de una asignatura de 6 créditos que se imparte en el primer cuatrimestre de segundo curso en el Grado de Ingeniería en Tecnologías Industriales. Su objetivo es capacitar al graduado para analizar y mejorar instalaciones térmicas mediante los procedimientos termodinámicos y de transferencia de calor aprendidos en la asignatura. Estas habilidades se aplicarán y ampliarán en la asignatura de Ingeniería Térmica de segundo cuatrimestre de segundo curso y serán la base para el bloque optativo de Energía en cuarto curso.

---

## Contexto y competencias

---

### Sentido, contexto, relevancia y objetivos generales de la asignatura

## **La asignatura y sus resultados previstos responden a los siguientes planteamientos y objetivos:**

La asignatura se ha planteado para que, una vez superada la evaluación, el alumno sea capaz de:

1. Calcular las propiedades de un sistema termodinámico formado por una sustancia pura simple mediante modelos sencillos (Gas Ideal, sustancia incompresible) o mediante tablas;
2. Calcular las interacciones de un sistema durante un proceso dado, mediante ecuaciones de proceso y ecuaciones de balance;
3. Analizar las prestaciones de instalaciones energéticas basadas en ciclos termodinámicos: ciclos de potencia y de refrigeración de compresión de vapor y turbina de gas;
4. Conocer las principales mejoras de funcionamiento y rendimiento de los ciclos analizados y comprender la base física que las sustenta para poder extrapolar a situaciones similares;
5. Aplicar las leyes básicas que rigen los tres mecanismos de transferencia de calor en situaciones sencillas;
6. Utilizar, dentro de su rango de validez el método de los circuitos térmicos y la ecuación del calor para obtener la distribución de temperaturas en geometrías sencillas y para dimensionar aislamientos y disipadores;
7. Conocer y saber utilizar las tablas de correlaciones de la convección forzada en flujo externo para obtener el coeficiente de convección;
8. Manejar con soltura una herramienta informática para la simulación básica de sistemas térmicos y para la representación gráfica de los procesos que tienen lugar.

## **Contexto y sentido de la asignatura en la titulación**

La asignatura abre el bloque formativo que podríamos denominar energético, tanto en cuanto proporciona los principios básicos para comprender las transformaciones energéticas y permite el diseño de instalaciones térmicas para la generación, transferencia y uso de la energía.

Sirve de introducción para que el alumno aprenda el lenguaje y los conceptos básicos para comprender cualquier texto especializado o los manuales de los equipos más habituales en las instalaciones energéticas, tales como compresores, turbinas, bombas, intercambiadores de calor, etc.

Con esta materia, el alumno se familiariza con la metodología termodinámica para abordar, simplificar, modelar y simular instalaciones energéticas importantes tanto a nivel económico como social: centrales térmicas, turbinas de gas, sistemas de refrigeración y aire acondicionado, etc. También aprende los aspectos básicos de los tres mecanismos de transferencia de calor, conducción, convección y radiación, y aprende a resolver problemas estacionarios en la mayoría de los casos con geometría sencilla.

La asignatura resulta esencial para cursar las asignaturas posteriores de Ingeniería Térmica (obligatoria), Máquinas e Instalaciones de Fluidos (obligatoria) y del Módulo de Energía (optativas).

## **Al superar la asignatura, el estudiante será más competente para...**

**1:**

### **Competencias genéricas:**

1. Capacidad para resolver problemas y tomar decisiones con iniciativa, creatividad y razonamiento crítico.
2. Capacidad para usar las técnicas, habilidades y herramientas de la Ingeniería Industrial necesarias para la práctica de la misma.
3. Capacidad para aprender de forma continuada y desarrollar estrategias de aprendizaje autónomo.

**2:**

### **Competencias específicas:**

4. Conocimientos de termodinámica aplicada y transmisión de calor. Principios básicos y su aplicación a la resolución de problemas de Ingeniería.

### **Importancia de los resultados de aprendizaje que se obtienen en la asignatura:**

El análisis y la optimización de instalaciones energéticas es de vital importancia para el Graduado en Ingeniería de Tecnologías Industriales, ya que son tecnologías que permiten el actual desarrollo social, tecnológico y económico.

De acuerdo con las competencias profesionales de esta titulación, el futuro graduado deberá abordar proyectos para mejorar el rendimiento de una instalación determinada, obtener el mismo resultado mediante un sistema o equipo diferente, utilizar un fenómeno particular con un fin determinado o inventar nuevas aplicaciones del mismo.

La asignatura de Termodinámica Técnica y Fundamentos de Transmisión de Calor dota al estudiante de las herramientas básicas para abordar estas tareas con éxito, junto con asignaturas posteriores que profundizan en ciertos aspectos y presentan técnicas y métodos de análisis más avanzados.

---

## **Evaluación**

### **Actividades de evaluación**

**El estudiante deberá demostrar que ha alcanzado los resultados de aprendizaje previstos mediante las siguientes actividades de evaluación**

- 1:** **Prácticas de laboratorio.** Carácter: presencial. Duración: 6 h. El estudiante se familiariza con los sistemas térmicos experimentales y con la toma y el análisis de datos experimentales. Aplica los procedimientos propios de la materia y entrega un informe de resultados.
- 2:** **Prácticas con herramientas informáticas.** Carácter: presencial. Duración: 9 h. El estudiante aprende a resolver problemas propios de la Ingeniería Térmica mediante herramientas informáticas. Resuelve problemas y cuestiones y entrega un informe de resultados.
- 3:** **Trabajos Tutorados.** Carácter: semipresencial. Duración total estimada: 20 h. El estudiante con la guía del profesor resuelve un problema de cierta complejidad y entrega un informe de resultados.
- 4:** **Examen escrito.** Duración: 3 h. Constará de tres partes diferenciadas: una parte teórica en forma de cuestiones de tipo Verdadero/Falso y cuestiones cortas de tipo teórico-práctico; una segunda parte puramente práctica consistente en varios problemas similares a los resueltos en clase; una tercera parte que consistirá en la resolución de uno de los problemas planteados en las actividades prácticas prácticas (quedarán exentos aquellos estudiantes que hayan superado esta parte durante el periodo docente, manteniéndose la nota obtenida si así lo deciden).

## **Criterios de valoración y niveles de exigencia**

### **Criterios de valoración y niveles de exigencia**

En todas las actividades de evaluación se valorarán los siguientes aspectos y cualidades en el grado indicado en cada caso:

- Realización propia de las tareas (fundamental): si se detectaran plagios o copia fraudulenta de los trabajos, la nota correspondiente sería cero.
- Correcto planteamiento del procedimiento de resolución de las cuestiones y problemas planteados (fundamental).

- Exactitud del resultado obtenido.
- Existencia o no de cuestiones en blanco: se valorará negativamente no responder a ciertas preguntas planteadas.
- Corrección y claridad en la comunicación escrita (fundamental): correcta ortografía, letra clara, correcta expresión, estructura de contenidos coherente.
- Análisis crítico de los resultados (importante): coherencia, relación con otros aspectos de la asignatura, posibilidades de mejora, etc.

Adicionalmente, para las actividades prácticas y trabajos tutorados se valorará también:

- Entrega en el plazo estipulado (fundamental): no se admitirán informes fuera de la fecha límite, salvo causa justificada debidamente.
- Entrega en el formato y procedimiento indicado por el profesor.

## Procedimientos de evaluación

### Procedimientos de evaluación

**1ª Convocatoria:** el procedimiento planteado consiste en un conjunto de pruebas que permiten superar el 100% de la asignatura. Algunas de ellas, las de tipo práctico, se realizarán durante el periodo docente, mientras que el examen escrito se realizará en el periodo de exámenes. La nota final se calculará mediante la ponderación de las notas de cada una de las partes, de acuerdo con los siguientes pesos:

70 % examen escrito (Teoría y Problemas, mínimo de 4 puntos en cada parte)

30 % actividades prácticas (realización y entrega obligatorias)

En el caso de que el estudiante no haya superado las actividades prácticas durante el periodo docente o quiera subir la nota obtenida en esa parte, tendrá derecho a un examen de prácticas que tendrá lugar durante el periodo de exámenes y que tendrá un peso en la nota final del 30 %. Este examen consistirá en la resolución de una de las prácticas planteadas a lo largo del periodo docente, asignada por el profesor en el momento del examen.

**2ª Convocatoria:** el procedimiento seguido en este caso es idéntico al de la primera convocatoria.

---

## Actividades y recursos

---

### Presentación metodológica general

**El proceso de aprendizaje que se ha diseñado para esta asignatura se basa en lo siguiente:**

1. Clases magistrales, impartidas al grupo completo, en las que el profesor explicará los principios básicos de la asignatura y resolverá algunos problemas representativos de la aplicación de la asignatura a casos realistas del futuro ejercicio profesional. Se buscará la participación de los alumnos en esta actividad. Paralelamente el alumno debe realizar trabajo personal de estudio para un mejor aprovechamiento de las clases.
2. Prácticas de simulación con ordenador y de laboratorio que se distribuyen a lo largo del cuatrimestre y cuya valoración formará parte de la calificación final de la asignatura. Se formarán grupos de dos o tres alumnos, con ello se fomenta el aprendizaje y el trabajo en grupo.
3. Trabajos tutorados en grupos pequeños (parejas idealmente): mediante una herramienta informática los estudiantes analizan y resuelven un problema de la asignatura. Se potencia el aprendizaje autónomo y el trabajo en grupo.

4. Planteamiento de ejercicios, cuestiones y problemas adicionales a los resueltos en clase. Con ello se fomenta el trabajo autónomo, estudiando la materia y aplicándola a la resolución de los ejercicios planteados. Esta actividad dirigida, pero de ejecución autónoma, es fundamental en el proceso de aprendizaje del alumno y para la superación de las actividades de evaluación.

5. Tutorías académicas: el profesor pondrá a disposición del estudiante ciertos procedimientos para el planteamiento y la resolución de dudas. Se recomienda altamente el uso de estas tutorías para asegurar el adecuado progreso en el aprendizaje.

## Actividades de aprendizaje programadas (Se incluye programa)

**El programa que se ofrece al estudiante para ayudarle a lograr los resultados previstos comprende las siguientes actividades...**

**1:**

**Tema 1: Introducción a la Termodinámica Técnica.** Conceptos y Definiciones. Sistemas y procesos.

**Tema 2: Comportamiento empírico de la materia.** Cambios de fase. Diagramas T-v, P-v, P-T. Vapor sobrecalentado. Mezclas bifásicas. Líquido subenfriado. Gases reales. Gases ideales.

**Tema 3: Primer Principio.** Formulaciones matemáticas. Balances de energía y materia para sistemas abiertos y cerrados. Aplicación a equipos de interés industrial. Llenado y vaciado de depósitos.

**Tema 4: Segundo Principio.** Procesos reversibles e irreversibles. Formulaciones. Ciclo de Carnot. Definición y cálculo de la entropía. Diagramas T-s y h-s. Balance de entropía. Procesos isoentrópicos. Rendimiento isoentrópico de equipos. Calor y trabajo para procesos cuasiestáticos (politrópicos).

**Tema 5: Ciclos de Turbina de Gas.** Aplicaciones. Ciclo de Joule-Brayton. Análisis de aire-estándar. Efecto de la relación de presiones y de las irreversibilidades. Regeneración, recalentamiento y refrigeración intermedia.

**Tema 6: Ciclos de Vapor.** Ciclo de Rankine ideal. Efecto de la presión en la caldera y en el condensador. Temperatura termodinámica media. Comparación con el ciclo de Carnot. Irreversibilidades y pérdidas. Sobrecalentamiento y recalentamiento. Ciclos regenerativos.

**Tema 7: Ciclos de refrigeración.** Aplicaciones. Propiedades termofísicas de las sustancias refrigerantes. Ciclos de compresión de vapor. Compresión en cascada y multietapa. Bomba de calor. Irreversibilidades. Ciclo frigorífico real. Ciclo de compresión de gas.

**Tema 8: Mecanismos de Transferencia de Calor.** Relación con la Termodinámica Técnica. Leyes básicas: conducción, convección, radiación.

**Tema 9: Conducción unidimensional.** Ecuación de la conducción del calor. Condiciones de contorno e iniciales. Problemas pasivos unidimensionales estacionarios. Conducción unidimensional aproximada: aletas. Problemas activos unidimensionales estacionarios.

**Tema 10: Conducción transitoria.** Complejidad de la ecuación de la difusión del calor incluyendo el tiempo. Modelo de parámetros agrupados. Método aproximado de la capacidad y su validez. Resistencia y capacidad térmica del sistema: constante de tiempo.

**Tema 11: Convección forzada.** Definiciones y grupos adimensionales. Convección forzada en flujo externo (capas límite, coeficientes de convección local y promedio, correlaciones).

**2:**

**Programa de actividades prácticas**

1. Propiedades de sustancias
2. Turbina de vapor
3. Balance de un frigorífico doméstico
4. Turbina de gas
5. Banco de tubos

**3:**

## Recursos

La comunicación entre el estudiante y el profesor se gestionará a lo largo del curso mediante la plataforma del Anillo Digital Docente (ADD) de la Universidad de Zaragoza. En ella el profesor podrá distribuir los materiales de la asignatura (apuntes, cuestiones, problemas, exámenes tipo, tablas, etc.), realizar anuncios y notificaciones a los estudiantes, enviar y recibir correos y poner a disposición de los estudiantes las herramientas para la realización en el envío de los informes de las actividades de aprendizaje.

### 4:

#### Bibliografía de referencia

- Fundamentos de Termodinámica Técnica. M.J. Morán y H. N. Shapiro. Ed. Reverté (Diversos ejemplares en la biblioteca).
- Termodinámica. Y.A. Çengel y M.A. Boles. Ed. McGraw Hill (Diversos ejemplares en la biblioteca).
- Termodinámica Técnica. C. Velasco, A. Martínez y T. Gómez. Prensas Universitarias (Diversos ejemplares en la biblioteca).
- Fundamentals of Thermal Fluid Sciences. Y. A. Çengel, R. M. Turner. Mc Graw Hill.
- Introduction to thermal systems. M.J. Moran, H.N. Shapiro, B.R. Munson y D.P. DeWitt. John Willey & Sons Inc.
- Fundamentos de Transferencia de Calor. F.P. Incropera. Prentice Hall.

#### Bibliografía para resolución de problemas y prácticas

- Prácticas de Termodinámica Técnica e Ingeniería Térmica. C. Velasco, A. Martínez, T. Gómez y S. Díaz. Prensas Universitarias (Diversos ejemplares en la biblioteca).
- Prácticas de Termodinámica. B. Peña y A. Gil. Prensas Universitarias (Diversos ejemplares en la biblioteca).
- Prácticas de Transferencia de Calor. C. Monné, L. I. Díez, I. Arauzo y C. Cortés. Prensas Universitarias (Diversos ejemplares en la biblioteca).

#### Herramientas informáticas

- EES Manual. <http://www.fchart.com/> (ADD).
- Termograf (programa, manual, ejemplos y problemas) (<http://termograf.unizar.es>).

## Planificación y calendario

### Calendario de sesiones presenciales y presentación de trabajos

Por determinar al comienzo del curso académico.

### Referencias bibliográficas de la bibliografía recomendada

- [Bibliografía de referencia] - 1. Moran, Michael J.. Fundamentos de termodinámica técnica / Michael J. Moran, Howard N. Shapiro . 2ª ed. en español, reimp. Barcelona [etc.] : Reverté, D. L. 2005
- [Bibliografía de referencia] - 2. Çengel, Yunus A.. Termodinámica / Yunus A. Çengel, Michael A. Boles ; revisión técnica, Ignacio Apraiz Buesa ... [et al.] . 7ª ed. Mexico [etc.] : McGraw-Hill Interamericana, cop. 2012
- [Bibliografía de referencia] - 3. Velasco Callau, María Carmen. Termodinámica técnica / Carmen Velasco Callau, Amaya Martínez Gracia y Tomás Gómez Martín . 1ª ed. Zaragoza : Prensas Universitarias de Zaragoza, 2010
- [Bibliografía de referencia] - 4. Velasco Callau, María Carmen. Termodinámica técnica (II) : termodinámica aplicada a instalaciones térmicas / Carmen Velasco Callau, Amaya Martínez Gracia y Tomás Gómez Martín . 1ª ed. Zaragoza : Prensas Universitarias de Zaragoza, 2011
- [Bibliografía de referencia] - 5. Bejan, Adrian. Heat transfer / Adrian Bejan . New York [etc.] : John Wiley and Sons, cop. 1993
- [Bibliografía de referencia] - 6. Marín Herrero, José María. Transferencia de calor / Jose Ma. Marín y Carlos Monné . 1a ed. Zaragoza : Kronos, 1998
- [Bibliografía de referencia] - 7. Çengel, Yunus A.. Fundamentals of thermal-fluid sciences / Yunus A. Çengel, Robert H. Turner . Boston, Massachusetts [etc.] : McGraw-Hill, cop. 2001
- [Grupo 821. Prof. Collado] - Çengel, Yunus A.. Transferencia de calor y masa : fundamentos y aplicaciones / Yunus A. Çengel, Afshin J. Ghajar ; revisión técnica Rosario Dávalos Gutiérrez, Juan José Coble Castro, Sofía Faddeeva Sknarina, Álvaro Ochoa López . 4ª ed. México D.F. : McGraw-Hill Interamericana, cop. 2011
- [Grupo 821. Prof. Collado] - Eastop, Thomas D.. Applied thermodynamics for engineering technologists / T. D. Eastop, A. McConkey . 5th ed., [reimp.] Harlow [etc.] : Person-Prentice Hall, imp. 2013

- [Grupo 821. Prof. Collado] - Marín Herrero, José María. Transferencia de calor / Jose Ma. Marín y Carlos Monné . 1a ed. Zaragoza : Kronos, 1998
- [Grupo 821. Prof. Collado] - Modest, Michael F.. Radiative heat transfer / Michael F. Modest . 3rd ed. Oxford [etc.] : Academic Press, 2013
- [grupo 821. Prof. Collado] - Rogers, G. F. C.. Engineering thermodynamics work and heat transfer / Gordon Rogers, Yon Mayhew . 4th ed., [reprint.] Harlow, England : Pearson Prentice Hall, imp. 1998
- [Resolución de problemas y prácticas] - 1. Prácticas de termodinámica técnica e ingeniería térmica / Carmen Velasco Callau, Amaya Martínez Gracia, Tomás Gómez Martín y Sergio Díaz de Garayo . 1ª ed., 1ª reimp. Zaragoza : Prensas Universitarias de Zaragoza, 2009 [Resolución de problemas y prácticas]
- [Resolución de problemas y prácticas] - 2. Peña Pellicer, María Begoña. Prácticas de Termodinámica / Begoña Peña, Antonia Gil . 1ª ed. Zaragoza : Prensas Universitarias de Zaragoza, 2009 [Resolución de problemas y prácticas]