

## **Máster en Ingeniería Industrial**

### **60818 - Ingeniería térmica**

**Guía docente para el curso 2015 - 2016**

**Curso: , Semestre: , Créditos: 6.0**

---

## **Información básica**

---

### **Profesores**

- **María Begoña Peña Pellicer** bpp@unizar.es

### **Recomendaciones para cursar esta asignatura**

Se requieren conocimientos previos de Termodinámica Técnica y Mecánica de Fluidos.

Resultará indispensable 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.

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 esta asignatura con el máximo aprovechamiento, ya que en cada parte se estudia gradualmente un procedimiento de análisis coherente y complementario. 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**

Las fechas de inicio y finalización de la asignatura y las horas concretas de impartición se podrán encontrar en la página web del Máster: <http://titulaciones.unizar.es/>

La relación y fecha de las diversas actividades, junto con todo tipo de información y documentación adicional sobre la asignatura, se publicará en la plataforma Moodle el Anillo Digital Docente una vez iniciado el cuatrimestre de otoño.

A título orientativo:

- Cada semana hay programadas **3 horas** de clases en aula, que se destinarán a clases magistrales de teoría y a clases de resolución de problemas.
- Cada estudiante realizará cinco prácticas, hasta completar un total de **15 horas** presenciales en actividades prácticas. Estas prácticas serán programadas por el Centro de tal manera que se realice una práctica cada dos semanas, aunque se intentará que estén bien coordinadas con las clases de teoría.
- Las actividades adicionales que se programen (trabajos tutorados, presentaciones, etc.) se anunciarán con suficiente antelación, tanto en clase como en la página digital de la asignatura.

- Las fechas de los exámenes y pruebas de convocatoria oficial serán fijadas 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 fuentes y recursos energéticos para la industria y sus procesos de transformación.
- 2:** Conoce las principales tecnologías de producción de calor, frío y trabajo en el ámbito de la Ingeniería térmica con aplicación a la industria.
- 3:** Tiene capacidad y criterio para analizar, dimensionar y seleccionar equipos de utilización, producción y formación de la energía térmica y mecánica en la industria.
- 4:** Es capaz de realizar un análisis energético de sistemas de producción de energía para la industria.

## **Introducción**

### **Breve presentación de la asignatura**

“Ingeniería Térmica” forma parte de las asignaturas de homogeneización del Máster Universitario en Ingeniería Industrial. La asignatura se imparte en el primer cuatrimestre del primer curso de la titulación.

Su extensión es de **6 créditos ECTS**, que equivalen a 150 horas totales de trabajo, correspondientes a 68 horas presenciales (45 horas de clases de teoría y de resolución de problemas, 15 horas de prácticas de laboratorio, 4 horas de tutela personalizada de trabajos y 4 horas de pruebas de evaluación) y a 82 horas no presenciales (8,5 horas de resolución de ejercicios o trabajos tutorados, y 73,5 horas de estudio personal).

Su objetivo es que el alumno comprenda los fundamentos de la transferencia de calor, de la psicrometría y de la combustión y conozca las principales fuentes de energía y tecnologías de producción de trabajo, calor y frío, con el fin de capacitar al alumno para analizar y mejorar instalaciones térmicas mediante los procedimientos de análisis energético y transferencia de calor.

---

## **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:**

1. Comprender las propiedades del aire y analizar los procesos básicos de acondicionamiento del aire. Analizar el comportamiento del aire húmedo.
2. Aplicar las leyes que rigen los mecanismos de transferencia de calor con cambio de fase en evaporadores y condensadores, así como las de convección natural.
3. Conocer el modo de transferencia de calor transitorio.

4. Manejar con soltura herramientas informáticas para el cálculo de métodos numéricos de transferencia de calor en transitorio y estacionario.
- 5 Conocer y aplicar las leyes que rigen los mecanismos de transferencia de calor con radiación térmica (intercambio superficial y volumétrico).
- 6 Analizar intercambiadores de calor multimodo.
7. Conocer los procesos de producción de calor.
8. Aplicar balances de materia y energía a procesos de combustión (Termoquímica), y conocer las principales tecnologías de la combustión. Quemadores, calderas, hornos, etc
9. Conocer los procesos de producción de trabajo.
10. Analizar las turbomáquinas térmicas: turbinas y compresores.
11. Analizar las máquinas y sistemas de producción de trabajo: Ciclos de vapor, turbinas de gas, MACI, etc.
12. Conocer los modos de producción de frío, y analizar las máquinas y sistemas frigoríficos de compresión mecánica y de absorción.

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

La asignatura obligatoria de Ingeniería Térmica sirve de puente entre la asignatura obligatoria de Termodinámica Técnica y Fundamentos de Transferencia de Calor, impartida en los grados de Ingeniería Eléctrica e Ingeniería Electrónica y Automática, y la asignatura de Tecnología Energética, obligatoria en el Máster Universitario de Ingeniería Industrial, que se imparte para los alumnos de dichos grados en el segundo cuatrimestre del primer curso. Su objetivo es completar la formación profundizando en los principios básicos y fundamentos tecnológicos para comprender las transformaciones energéticas y poder llevar a cabo el análisis y diseño de instalaciones térmicas para la generación, transformación, transferencia y uso de la energía.

Asimismo esta asignatura proporciona al alumno el lenguaje y los conceptos que le ayuden a comprender cualquier texto especializado o los manuales de los equipos más habituales en las instalaciones energéticas, tales como turbomáquinas, enfriadoras, MACI, calderas, etc.

El alumno se familiarizará con la metodología de ingeniería térmica 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 amplia los aspectos de transferencia de calor planteados en la asignatura de termodinámica técnica y fundamentos de transferencia de calor, y aprende a resolver problemas térmicos.

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

**1:**

Competencias específicas

Conocimientos aplicados de Ingeniería térmica (CE1).

**2:**

Competencias genéricas

1.- Tener conocimientos adecuados de los aspectos científicos y tecnológicos de la ingeniería energética (CG1).

2.- Proyectar, calcular y diseñar productos, instalaciones y plantas energéticas (CG2).

3.- Realizar planificación estratégica y aplicarla a sistemas de producción, calidad y gestión medioambiental (CG5).

4.- Gestionar técnica y económicamente proyectos, plantas, instalaciones, empresas y centros productivos (CG6).

5.- Aplicar los conocimientos adquiridos y resolver problemas en entornos nuevos o poco conocidos dentro de contextos más amplios y multidisciplinares (CG8).

- 6.- Ser capaz de integrar conocimientos y enfrentarse a la complejidad de formular juicios, incluyendo reflexiones sobre las responsabilidades sociales y éticas (CG9).
- 7.- Saber comunicar conclusiones a públicos especializados y no especializados de un modo claro y sin ambigüedades (CG10).
- 8.- Poseer las habilidades de aprendizaje que permitan un estudio autodirigido o autónomo (CG11).
- 9.- Conocer, comprender y saber aplicar la legislación necesaria en el ejercicio de la profesión de Ingeniero Industrial (CG12).
- 10.- Dirigir, planificar y supervisar equipos multidisciplinares (CG3).
- 11.- Realizar investigación, desarrollo e innovación en productos, procesos y métodos (CG4).

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

Los resultados de aprendizaje de la asignatura son fundamentales para la obtención del Máster en Ingeniería Industrial, ya que con ellos el estudiante será capaz de diseñar, analizar y optimizar instalaciones energéticas, que permiten el actual desarrollo social, tecnológico y económico.

De acuerdo con las competencias profesionales de esta titulación, el estudiante 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 Ingeniería Térmica dota al estudiante de las herramientas para abordar estas tareas con éxito, junto con asignaturas posteriores que profundizan en ciertos aspectos y presentan técnicas y métodos de análisis más avanzados. Asimismo, su formación se complementará utilizando herramientas informáticas adecuadas para completar modelados ingenieriles de equipos y sistemas de interés en la industria.

---

## **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 y de Ordenador (20%)**

Se valorará la preparación previa, el trabajo presencial desarrollado durante la sesión y las respuestas dadas a las cuestiones planteadas en el guion de la práctica. Con anterioridad a la práctica, se proporcionará un guion que incluirá un cuestionario a entregar antes de la práctica, con el fin de motivar la preparación de la misma. Durante las sesiones se resolverán casos que requerirán la aplicación de los conceptos explicados en las clases de teoría y problemas.

Las prácticas tendrán carácter presencial con una duración por sesión de 3 h.

Supondrá el 20% de la nota global del estudiante. Se calificarán de 0 a 10 puntos. Para superar las prácticas se exigirá una nota promedio mínima de 5 puntos. El estudiante que no asista a alguna de las sesiones en el horario programado deberá recuperarla otro día de forma obligatoria.

El estudiante que no supere las prácticas en el período docente tendrá derecho a un examen de actividades prácticas en el marco de las Pruebas Globales correspondientes a las Convocatorias Oficiales.

**2: Trabajos Evaluables (10%)**

Con el fin de incentivar el trabajo continuado a lo largo del periodo docente, se realizarán actividades evaluables distribuidas a lo largo del semestre. Dichas actividades consistirán en la resolución individual o en pequeños grupos de uno o varios casos de mayor alcance que los resueltos durante las prácticas, y contarán con una asesoría continuada por parte del profesor.

Los trabajos evaluables supondrán el 10% de la nota global del estudiante. Se calificarán de 0 a 10 puntos. Para superar los trabajos se exigirá una nota promedio mínima de 5 puntos.

El estudiante que no supere los trabajos en el período docente, tendrá derecho a un examen de actividades prácticas en el marco de las Pruebas Globales correspondientes a las Convocatorias Oficiales.

### **3: Examen de teoría y problemas (70%)**

Correspondiendo a las Convocatorias Oficiales, consistirá en la resolución de cuestiones teórico-prácticas y de problemas similares a los resueltos en clase.

Supondrá el 70% de la calificación global del estudiante. Se calificará de 0 a 10 puntos. Para superar el examen se exigirá una nota mínima de 4,5 puntos.

### **4: 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.

### **5: Procedimientos de evaluación**

**1<sup>a</sup> 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 pueden superar durante el período docente, mientras que el examen escrito se realizará obligatoriamente en el período de exámenes. La nota final debe ser superior a 5.0 para conseguir el aprobado. Dicha nota final se calculará mediante la ponderación de las notas de cada una de las partes, de acuerdo con los siguientes pesos:

70 % examen de teoría y problemas (nota mínima exigida de 4.5 puntos para promediar con la nota de las actividades prácticas)

30 % actividades prácticas. Si el estudiante ha superado la nota mínima exigida de 5 puntos en prácticas y trabajos, no será necesario realizar esta parte del examen, a menos que el estudiante quiera subir la nota, y se guardará dicha nota hasta la convocatoria de septiembre.

En el caso de que el estudiante no haya superado las actividades prácticas (prácticas y/o trabajos) durante el periodo docente o quiera subir la nota obtenida en esa parte, tendrá derecho a un examen de actividades prácticas que tendrá lugar en la misma fecha que el examen de teoría y problemas. Tendrá un peso en la nota final del 30 %. Este examen consistirá en la resolución cuestiones y problemas similares a los planteados en las actividades prácticas realizadas a lo largo del periodo docente.

**2<sup>a</sup> Convocatoria:** el procedimiento seguido en este caso es idéntico al de la primera convocatoria. 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 de teoría y problemas

30 % examen de prácticas (quedarán exentos aquellos estudiantes que hayan superado esta parte durante el periodo docente, manteniéndose la nota obtenida).

---

## Actividades y recursos

---

### Presentación metodológica general

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

El proceso de enseñanza se desarrollará en cuatro actividades principales: clases de teoría, clases de resolución de problemas, prácticas de laboratorio y ordenador, y realización de trabajos evaluables, con creciente nivel de participación del estudiante. Además de ello, el estudiante dispone de tutorías académicas para resolver dudas concretas.

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 individuales o 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:**

El programa de la asignatura se planteará a principio de curso por el profesor que la imparte y cubrirá los objetivos propuestos tanto en los aspectos teóricos como los prácticos.

Bloque temático I: Transferencia de calor

**Tema 1: Fundamentos de Transferencia de Calor.** Relación con la Termodinámica Técnica. Leyes

básicas: conducción, convección, radiación

**Tema 2: Fundamentos de conducción.** Ley de Fourier. Conductividad y difusividad térmica. Ecuación de la difusión del calor. Condiciones de contorno e iniciales.

**Tema 3. Conducción unidimensional estacionaria.** Geometrías básicas. Modelo de resistencias térmicas. Conducción con generación térmica. Conducción unidimensional aproximada. Transferencia de calor en superficies extendidas (aletas).

**Tema 4: Conducción multidimensional estacionaria.** Caso analíticamente resoluble. Métodos numéricos en 2-D y 3-D. Método de diferencias finitas.

**Tema 5: Conducción transitoria.** Modelo de parámetros agrupados. Resistencia y capacidad térmica global del sistema: constante de tiempo. Sistemas unidimensionales. Sistemas multidimensionales. Métodos numéricos en sistemas transitorios (diferencias finitas).

**Tema 6: Fundamentos de convección.** Planteamiento matemático. Capas límite. Análisis dimensional. Analogías de los fenómenos de transporte.

**Tema 7. Convección forzada externa.** Coeficiente de convección. Uso de correlaciones en geometrías básicas: placa plana, cilindro, esfera, banco de tubos.

**Tema 8. Convección forzada interna.** Consideraciones hidrodinámicas y térmicas. Ley cinética para convección interna. Condiciones de pleno desarrollo. Balance de energía. Cálculo del coeficiente convectivo de transferencia de calor en tubos circulares y no circulares.

**Tema 9. Convección natural.** Fenomenología y ecuaciones físicas. Convección laminar en superficie vertical. Correlaciones.

**Tema 10. Convección bifásica.** Condensación. Ebullición.

**Tema 11: Intercambiadores de calor.** Descriptiva. Disposición de flujos y perfiles térmicos. Análisis de intercambiadores de calor. Método MLDT. Método NTU- $\epsilon$

**Tema 12: Radiación.** Características principales de la radiación. Tipos de radiación. Conceptos fundamentales. El cuerpo negro. Radiación ambiental. El factor de vista. Intercambio radiativo entre superficies.

Bloque temático II: Termotecnica

**Tema 13. Psicrometría.** Mezclas de gases ideales. Propiedades del aire húmedo. Diagrama psicrométrico. Balances de materia y energía para sistemas de aire húmedo. Procesos psicrométricos.

**Tema 14: Combustión.** Combustibles y su caracterización. Termoquímica de la combustión: balances de materia y energía. Temperatura adiabática de llama. Entropía absoluta y Tercer Principio.

**Tema 15: Introducción a Equipos y Sistemas Térmicos.** Producción de trabajo: Motores alternativos de combustión interna, turbomáquinas térmicas. Producción de calor: calderas. Producción de frío: Refrigeración por compresión de vapor, refrigeración por absorción, bomba de calor.

Programa de actividades prácticas (prácticas y trabajos)

- Sistemas de producción de frío. Ciclo de refrigeración por absorción. Uso del EES.
- Psicrometría. Balance de un enfriador evaporativo.
- Descriptiva de motores alternativos de combustión interna.
- Conducción multidimensional y transitoria. Método de diferencias finitas.
- Convección forzada externa. Estimación experimental del coeficiente de convección.
- Análisis de un intercambiador de calor.
- Combustión: Balances de materia y energía. Rendimiento de una caldera.

2:

## Recursos

La comunicación entre el estudiante y el profesor se gestionará a lo largo del curso mediante la plataforma Moodle del Anillo Digital Docente (ADD) de la Universidad de Zaragoza. En ella el profesor podrá distribuir los materiales de la asignatura (apuntes, cuestiones, problemas, guiones de prácticas, 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.

Los libros de referencia básica de la asignatura se indicarán a principio de curso académico.

Herramienta informática:

- EES Manual. <http://www.fchart.com/> (disponible en ADD).

## **Planificación y calendario**

### **Calendario de sesiones presenciales y presentación de trabajos**

Las clases magistrales y de problemas y las sesiones de prácticas en el laboratorio se imparten según horario establecido por el centro (horarios disponibles en su página web).

El profesor informará de su horario de atención de tutoría al comienzo del cuatrimestre.

El resto de actividades se planificará en función del encargo docente fijado, según el número de alumnos matriculados, y se dará a conocer con la suficiente antelación.

### **Referencias bibliográficas de la bibliografía recomendada**