

22-23

MÁSTER UNIVERSITARIO EN  
INGENIERÍA INDUSTRIAL

# GUÍA DE ESTUDIO PÚBLICA



## TURBOMÁQUINAS TÉRMICAS

CÓDIGO 28806339

UNED

22-23

TURBOMÁQUINAS TÉRMICAS

CÓDIGO 28806339

# ÍNDICE

PRESENTACIÓN Y CONTEXTUALIZACIÓN

REQUISITOS Y/O RECOMENDACIONES PARA CURSAR ESTA ASIGNATURA

EQUIPO DOCENTE

HORARIO DE ATENCIÓN AL ESTUDIANTE

COMPETENCIAS QUE ADQUIERE EL ESTUDIANTE

RESULTADOS DE APRENDIZAJE

CONTENIDOS

METODOLOGÍA

SISTEMA DE EVALUACIÓN

BIBLIOGRAFÍA BÁSICA

BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

RECURSOS DE APOYO Y WEBGRAFÍA

|                           |                                               |
|---------------------------|-----------------------------------------------|
| Nombre de la asignatura   | TURBOMÁQUINAS TÉRMICAS                        |
| Código                    | 28806339                                      |
| Curso académico           | 2022/2023                                     |
| Título en que se imparte  | MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL |
| Tipo                      | CONTENIDOS                                    |
| Nº ETCS                   | 5                                             |
| Horas                     | 125.0                                         |
| Periodo                   | SEMESTRE 1                                    |
| Idiomas en que se imparte | CASTELLANO                                    |

## PRESENTACIÓN Y CONTEXTUALIZACIÓN

Las Turbomáquinas Térmicas, turbinas y compresores, son equipos indispensables en múltiples aplicaciones. En primer lugar, formando parte de motores térmicos o plantas de potencia en general, que transforman la energía primaria asociada a un combustible fósil, nuclear, biomasa, energía geotérmica o la asociada a la energía solar, en energía mecánica. Este es el caso de las plantas basadas en un ciclo de Rankine, en donde la turbina de vapor, de tipo axial, es un elemento fundamental, o bien el caso de las turbinas de gas industriales o de aviación, en las que se requiere de una turbina como máquina motora y de un compresor como máquina generadora. En esta aplicación es más habitual el empleo de máquinas axiales, aunque en pequeñas potencias se pueden emplear máquinas radiales. También cabe mencionar el caso de la turbosobrealimentación de motores de combustión interna alternativos, en los que el grupo de sobrealimentación consta de una turbina centrípeta accionada por un compresor centrífugo. Por último, al margen de su aplicación en ciclos de potencia, los turbocompresores se utilizan en variadas aplicaciones que requieren incrementar la presión de un determinado gas, por ejemplo para su transporte, como es el caso de las instalaciones de bombeo de gas natural.

En los estudios de grado se habrá estudiado el principio de funcionamiento de estas máquinas y los ciclos de potencia en las que se integran, sin profundizar en aspectos de diseño de las mismas. En la presente materia se pretende presentar las bases del diseño de las turbomáquinas térmicas, turbinas y compresores, incidiendo más en las de tipo axial, pero haciendo referencia asimismo a los parámetros que afectan al diseño de las de tipo radial (turbina centrípeta y compresor centrífugo).

## REQUISITOS Y/O RECOMENDACIONES PARA CURSAR ESTA ASIGNATURA

Es imprescindible que el alumno tenga conocimientos previos de *termodinámica* y de *mecánica de fluidos*, de manera que el alumno deberá haber cursado las asignaturas correspondientes: Termodinámica y alguna asignatura que aborde conceptos fundamentales de mecánica de fluidos, (por ejemplo, Mecánica de Fluidos I del plan de estudios del Grado en Ingeniería Mecánica de la UNED, Introducción a la Mecánica de Fluidos del plan de estudios del Grado en Ingeniería Eléctrica de la UNED, Introducción a la Ingeniería Fluidomecánica del plan de estudios del Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales de la UNED, o similar).

También es importante tener conocimientos de Ciclos de Potencia, dado que en la mayoría de los casos las turbomáquinas térmicas están integradas en estas instalaciones. Estos conocimientos se habrán adquirido cursando la asignatura *Máquinas Térmicas* de Grado en la UNED, o la asignatura *Ingeniería Térmica* del plan de estudios del presente Máster o bien una asignatura de *Termodinámica Técnica* de grado que incluyera esos contenidos.

Los alumnos que provienen de estudios de grado en la UNED o que hayan cursado la asignatura *Ingeniería Térmica*, mencionada anteriormente, tendrán conocimientos previos del contenido de esta asignatura, fundamentalmente del primero de los temas sobre fundamentos básicos del principio de funcionamiento de estas máquinas.

## EQUIPO DOCENTE

Nombre y Apellidos

Correo Electrónico

Teléfono

Facultad

Departamento

MARTA MUÑOZ DOMINGUEZ (Coordinador de asignatura)

mmunoz@ind.uned.es

91398-6469

ESCUELA TÉCN.SUP INGENIEROS INDUSTRIALES

INGENIERÍA ENERGÉTICA

Nombre y Apellidos

Correo Electrónico

Teléfono

Facultad

Departamento

ANTONIO JOSE ROVIRA DE ANTONIO

rovira@ind.uned.es

91398-8224

ESCUELA TÉCN.SUP INGENIEROS INDUSTRIALES

INGENIERÍA ENERGÉTICA

## HORARIO DE ATENCIÓN AL ESTUDIANTE

Estamos a su disposición para cualquier consulta con el siguiente horario:

*Dra. D<sup>a</sup>. Marta Muñoz Domínguez*

**Profesora Titular de Universidad**

**Miércoles de 15,00 a 19,00h.**

Tel.: 91 398 64 69, Correo electrónico: mmunoz@ind.uned.es

Departamento de Ingeniería Energética, despacho 2.24, segunda planta.

*Dr. D. Antonio Rovira de Antonio*

**Catedrático de Universidad**

**Lunes de 15,00 a 19,00h.**

Tel.: 91 398 82 24, Correo electrónico: rovira@ind.uned.es

Departamento de Ingeniería Energética, despacho 2.27, segunda planta.

## COMPETENCIAS QUE ADQUIERE EL ESTUDIANTE

### Competencias Básicas:

CB6 - Poseer y comprender conocimientos que aporten una base u oportunidad de ser originales en el desarrollo y/o aplicación de ideas, a menudo en un contexto de investigación

CB7 - Que los estudiantes sepan aplicar los conocimientos adquiridos y su capacidad de resolución de problemas en entornos nuevos o poco conocidos dentro de contextos más amplios (o multidisciplinares) relacionados con su área de estudio

CB8 - Que los estudiantes sean capaces de integrar conocimientos y enfrentarse a la complejidad de formular juicios a partir de una información que, siendo incompleta o limitada, incluya reflexiones sobre las responsabilidades sociales y éticas vinculadas a la aplicación de sus conocimientos y juicios

CB9 - Que los estudiantes sepan comunicar sus conclusiones -y los conocimientos y razones últimas que las sustentan- a públicos especializados y no especializados de un modo claro y sin ambigüedades

CB10 - Que los estudiantes posean las habilidades de aprendizaje que les permitan continuar estudiando de un modo que habrá de ser en gran medida autodirigido o autónomo.

### Competencias Generales:

CG1 - Iniciativa y motivación

CG2 - Planificación y organización

CG3 - Manejo adecuado del tiempo

CG4 - Análisis y síntesis

CG5 - Aplicación de los conocimientos a la práctica

CG6 - Resolución de problemas en entornos nuevos o poco conocidos

CG7 - Pensamiento creativo

CG8 - Razonamiento crítico

CG9 - Toma de decisiones

CG10 - Seguimiento, monitorización y evaluación del trabajo propio o de otros

CG11 - Aplicación de medidas de mejora

CG12 –Innovación

CG13 - Comunicación y expresión escrita

CG14 - Comunicación y expresión oral

CG15 - Comunicación y expresión en otras lenguas

CG16 - Comunicación y expresión matemática, científica y tecnológica

CG17 - Competencia en el uso de las TIC

CG18 - Competencia en la búsqueda de la información relevante

CG19 - Competencia en la gestión y organización de la información

CG20 - Competencia en la recolección de datos, el manejo de bases de datos y su presentación

CG21 - Habilidad para coordinarse con el trabajo de otros

CG22 - Habilidad para negociar de forma eficaz

CG23 - Habilidad para la mediación y resolución de conflictos

CG24 - Habilidad para coordinar grupos de trabajo

CG25 - Liderazgo

CG26 - Conocimiento y práctica de las reglas del trabajo académico

CG27 - Compromiso ético y ética profesional

CG28 - Conocimiento, respeto y fomento de los valores fundamentales de las sociedades democráticas

CG29 - Tener conocimientos adecuados de los aspectos científicos y tecnológicos de: métodos matemáticos, analíticos y numéricos en la ingeniería, ingeniería eléctrica, ingeniería energética, ingeniería química, ingeniería mecánica, mecánica de medios continuos, mecánica de fluidos, electrónica industrial, automática, fabricación, materiales, métodos cuantitativos de gestión, informática industrial, urbanismo, infraestructuras, etc.

CG30 - Proyectar, calcular y diseñar productos, procesos, instalaciones y plantas.

CG36 - Conocimiento, comprensión y capacidad para aplicar la legislación necesaria en el ejercicio de la profesión de Ingeniero Industrial.

### **Competencias Específicas:**

CE5 - Conocimientos y capacidades para el diseño y análisis de máquinas y motores térmicos, máquinas hidráulicas e instalaciones de calor y frío industrial

CE6 - Conocimientos y capacidades que permitan comprender, analizar, explotar y gestionar las distintas fuentes de energía.

CE16 - Capacidad para la gestión de la Investigación, Desarrollo e Innovación tecnológica.

CE20 - Conocimiento y capacidades para el proyectar y diseñar instalaciones eléctricas y de fluidos, iluminación, climatización y ventilación, ahorro y eficiencia energética, acústica, comunicaciones, domótica y edificios inteligentes e instalaciones de Seguridad

CE23 - Conocimientos y capacidades para realizar certificaciones, auditorías, verificaciones, ensayos e informes.

## **RESULTADOS DE APRENDIZAJE**

La presente asignatura pretende clarificar conceptos relevantes en relación al diseño de las turbomáquinas, tanto axiales como radiales, que no pudieron abordarse en las asignaturas de grado, *como Máquinas Térmicas*. Los resultados de aprendizaje concretos son:

- Conocer las bases del diseño bidimensional de turbinas y compresores axiales, turbinas centrípetas y compresores centrífugos.
- Conocer los fundamentos básicos del diseño tridimensional de las turbomáquinas térmicas axiales.
- Análisis, selección y diseño de máquinas térmicas, motores térmicos, centrales termoeléctricas e instalaciones térmicas.
- Entender el comportamiento fuera de diseño de las turbomáquinas térmicas y los motores de combustión interna alternativos. Justificación de sus curvas características.

- Conocer las formas de operación y control de las máquinas, los motores y los generadores térmicos.

Para llegar a esos resultados se incide en los siguientes aspectos y conceptos:

- Cómo se deben diseñar los álabes de una turbina para obtener un buen rendimiento sin incrementar excesivamente el coste de la máquina.
- Entender la necesidad de fraccionar el salto en diferentes escalonamientos en turbinas y especialmente en compresores.
- Entender cómo se obtienen las correlaciones de pérdidas a partir del análisis de la actuación de cascadas de álabes en turbomáquinas (problema directo).
- Comprender la utilidad de estas correlaciones de cara a diseñar una máquina de buen rendimiento (resolución del problema inverso).
- Conocer con qué criterio y atendiendo a qué leyes, se torsionan los álabes en las turbomáquinas axiales.
- Cómo se aborda el prediseño de los compresores centrífugos y de las turbinas centrípetas.
- Conocer las denominadas “curvas características de las turbomáquinas”. Entender para que sirven y el porqué de su aspecto.
- Entender cómo se comportan las turbomáquinas en determinadas instalaciones, al regular la potencia de las mismas, como por ejemplo: en centrales térmicas de vapor, en turbinas de gas industriales o en turbinas de gas de aviación.

Finalmente, se plantea como objetivo que el alumno sea capaz de aplicar los conocimientos teóricos adquiridos y de resolver ejercicios prácticos sobre los distintos temas.

## CONTENIDOS

### TEMA 1. Transformación de la energía en turbomáquinas térmicas. Generalidades.

Ecuación fundamental de las turbomáquinas (Ecuación de Euler). Aplicación a máquinas motoras y generadoras y expresión en términos energéticos a partir del primer principio de la termodinámica. Concepto de grado de reacción. Estructura básica de las turbomáquinas. Diagramas h-s correspondientes a escalonamientos de turbina axial, turbina centrípeta, compresor axial y compresor centrífugo. Tipos de pérdidas internas y externas. Turbomáquinas de varios escalonamientos; rendimiento de la máquina frente al rendimiento de los escalonamientos que la componen: caso de turbina y caso del compresor.

### TEMA 2: PREDISEÑO DE COMPRESORES AXIALES

Características del flujo bidimensional. Geometría del perfil y de la cascada. Fuerzas en una cascada de compresor. Pérdidas y rendimientos de una cascada. Actuaciones de cascadas: correlaciones de pérdidas, incidencia óptima, predicción de la desviación. Flujo

bidimensional en el escalonamiento de un compresor axial: rendimiento del escalonamiento, optimización de la geometría.

### TEMA 3: PREDISEÑO DE TURBINAS AXIALES

Perfiles para álabes de turbina. Materiales para álabes. Escalonamientos en turbinas axiales. Rendimiento interno de un escalonamiento; determinación de las pérdidas a través de diferentes correlaciones. Tipos de escalonamientos de turbinas axiales. Optimización del escalonamiento de una turbina axial.

### TEMA 4: TORSIÓN DE ÁLABES EN TURBOMÁQUINAS AXIALES

Características del flujo tridimensional en máquinas axiales. Consideraciones sobre la resolución de las ecuaciones del flujo tridimensional: ecuación del equilibrio radial. Aplicación de la ecuación de equilibrio radial simplificado a las turbomáquinas térmicas. Leyes torsionales. Potencia y rendimiento internos de un escalonamiento con álabes torsionados.

### TEMA 5: FUNCIONAMIENTO DEL COMPRESOR FUERA DEL PUNTO DE DISEÑO. REGULACIÓN

Curvas características. Comportamiento del compresor fuera del punto de diseño: bloqueo y desprendimiento; desprendimiento rotativo; inestabilidad –bombeo. Regulación de turbocompresores axiales.

### TEMA 6: FUNCIONAMIENTO DE TURBINAS FUERA DEL PUNTO DE DISEÑO. REGULACIÓN DE POTENCIA.

Curvas características. Regulación de potencia de las turbinas de vapor: regulación por laminado, regulación cuantitativa por sectores de admisión y regulación por presión deslizante. Predicción de las actuaciones en los acoplamientos de turbinas y compresores en instalaciones de turbinas de gas.

### TEMA 7: MÁQUINAS RADIALES: COMPRESOR CENTRÍFUGO Y TURBINA CENTRÍPETA.

Estructura del compresor centrífugo y de la turbina centrípeta. Ecuaciones fundamentales. Diagrama h-s del escalonamiento en ambos casos y triángulos de velocidades asociados al rodete. Factor de deslizamiento. Influencia de la forma de los triángulos de velocidades en

trabajo específico y el rendimiento del escalonamiento.

## METODOLOGÍA

El material del curso está especialmente diseñado para facilitar al alumno la asimilación de los contenidos de manera autónoma. En cada uno de los temas se resaltan los conceptos fundamentales y se ponen de manifiesto las principales conclusiones, tanto en el libro de texto como en la Guía de Estudio que está disponible en el curso virtual.

También se propone un libro de problemas resueltos, que cuenta con resúmenes de los conceptos fundamentales al inicio de los distintos bloques temáticos.

Las Pruebas de Evaluación Continua, que pueden realizar los alumnos con carácter voluntario, se plantean como actividad práctica.

Las prácticas presenciales tienen como objetivo que el alumno entre en contacto con materiales y equipos reales, no obstante, tendrán carácter voluntario.

Finalmente, la interacción con el equipo de docente y con el resto de sus compañeros a través de los foros de preguntas del curso virtual, también constituye un elemento importante de la metodología. Permite ofrecer un apoyo continuo, y de fácil disponibilidad, a los estudiantes que lo requieran, cuando surja alguna dificultad durante el estudio.

De forma aproximada se estima la siguiente distribución del tiempo empleado en las distintas actividades formativas: Trabajo autónomo 80%, actividades prácticas presenciales 5%, interacción con el equipo docente 15%.

## SISTEMA DE EVALUACIÓN

### TIPO DE PRUEBA PRESENCIAL

|                |                      |
|----------------|----------------------|
| Tipo de examen | Examen de desarrollo |
|----------------|----------------------|

|                      |  |
|----------------------|--|
| Preguntas desarrollo |  |
|----------------------|--|

|                     |               |
|---------------------|---------------|
| Duración del examen | 120 (minutos) |
|---------------------|---------------|

|                                 |  |
|---------------------------------|--|
| Material permitido en el examen |  |
|---------------------------------|--|

No se permite la utilización de ningún tipo de material a excepción de *la calculadora no programable*. No obstante, el alumno dispondrá, junto con el enunciado del examen, de un formulario, de manera que no tendrá que memorizar fórmulas complicadas.

### Criterios de evaluación

En la hoja de examen se especificará la valoración de cada una de las partes, de cara a la calificación del examen.

|                                  |     |
|----------------------------------|-----|
| % del examen sobre la nota final | 100 |
|----------------------------------|-----|

|                                      |   |
|--------------------------------------|---|
| Nota del examen para aprobar sin PEC | 5 |
|--------------------------------------|---|

|                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------|----|
| Nota máxima que aporta el examen a la calificación final sin PEC | 10 |
|------------------------------------------------------------------|----|

|                                            |     |
|--------------------------------------------|-----|
| Nota mínima en el examen para sumar la PEC | 4,4 |
|--------------------------------------------|-----|

|                             |  |
|-----------------------------|--|
| Comentarios y observaciones |  |
|-----------------------------|--|

**CARACTERÍSTICAS DE LA PRUEBA PRESENCIAL Y/O LOS TRABAJOS**

Requiere Presencialidad

Si

Descripción

La Prueba Personal Presencial constará de un problema y de una serie de cuestiones (en general entre 8 y 10), que el estudiante deberá responder de forma breve. No obstante, no se valorarán las respuestas que no se razonen de forma clara.

Criterios de evaluación

Para superar la Prueba Presencial se debe obtener una calificación igual o superior a 5 puntos de media ponderada en el examen y, además, obtener un 5/10 o más en la parte teórica y un mínimo de 3 sobre 10 en el problema.

**Si no se cumplen ambos requisitos la calificación será de NO APTO, aunque la media resulte ser superior a 5 puntos sobre 10.**

Ponderación de la prueba presencial y/o los trabajos en la nota final

Dado que la PEC tiene carácter voluntario, el alumno puede obtener la máxima calificación, incluso sin entregar la PEC.

Fecha aproximada de entrega

Comentarios y observaciones

**PRUEBAS DE EVALUACIÓN CONTINUA (PEC)**

¿Hay PEC?

Si, PEC no presencial

Descripción

Se establecerá un periodo de entrega de aproximadamente una semana a primeros de enero. Las fechas concretas se especificarán en el curso virtual en el mes de octubre.

**La prueba estará relacionada con los contenidos de los temas 1 a 5 del temario.**

**Se proponen ejercicios que podrán realizarse con la ayuda de aplicaciones informáticas (prácticas virtuales) o bien el alumno podrá realizar los ejercicios elaborando una hoja de cálculo, dado que éstos implican realizar estudios paramétricos para elegir un diseño óptimo de la turbina y el compresor.**

**Los ejercicios se enviarán a través del curso virtual y serán corregidos por los profesores de la asignatura.**

Criterios de evaluación

Ponderación de la PEC en la nota final

Fecha aproximada de entrega

06/01/2019

Comentarios y observaciones

Su calificación sólo se computa para modificar la nota final al alza, respecto de la obtenida en el examen presencial, siempre y cuando cumplan los requisitos mínimos establecidos en la prueba presencial.

**OTRAS ACTIVIDADES EVALUABLES**

¿Hay otra/s actividad/es evaluable/s?

No

Descripción

Se organiza una actividad presencial (visita técnica) de carácter voluntario si hay un suficiente número de alumnos interesados. Esta actividad no es evaluable.

Criterios de evaluación

Ponderación en la nota final

Fecha aproximada de entrega

Comentarios y observaciones

**¿CÓMO SE OBTIENE LA NOTA FINAL?**

## BIBLIOGRAFÍA BÁSICA

ISBN(13):9788474841435

Título:TURBOMÁQUINAS TÉRMICAS. FUNDAMENTOS DEL DISEÑO TERMODINÁMICO (1ª)

Autor/es:Muñoz Domínguez, Marta ; Valdés Del Fresno, Manuel ; Muñoz Torralbo, Manuel ;

Editorial:UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID. ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES

El texto base se complementa con una Guía de Estudio en la que se concreta lo que se debe estudiar de cada uno de los temas del texto base, se resaltan los conceptos fundamentales y se ponen de manifiesto las principales conclusiones.

## BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

ISBN(13):9788436251159

Título:PRÁCTICAS VIRTUALES DE INGENIERÍA TÉRMICA (1ª)

Autor/es:García Herranz, Nuria ; Muñoz Domínguez, Marta ;

Editorial:U.N.E.D.

ISBN(13):9788436255645

Título:PROBLEMAS RESUELTOS DE MOTORES TÉRMICOS Y TURBOMÁQUINAS TÉRMICAS (segunda)

Autor/es:Muñoz Domínguez ;

Editorial:UN.E.D.

## RECURSOS DE APOYO Y WEBGRAFÍA

En la plataforma virtual se incluirá la siguiente información: cuestiones de autoevaluación, información sobre prácticas presenciales, enunciado de Pruebas de Evaluación Continua (PECs), plataforma para el envío y recepción de la calificación de las PECs, exámenes de cursos pasados y otros materiales de apoyo a la docencia (explicaciones multimedia, links de interés, respuesta a preguntas frecuentes, orientaciones para el estudio, etcétera).

Es imprescindible que el alumno consulte con frecuencia el Foro denominado: "TABLÓN DE ANUNCIOS" para acceder a la información que allí introduce el equipo docente.

Se anima a los alumnos a participar en los distintos Foros de Debate con dudas y sugerencias.

Si desea ponerse en contacto con los profesores para una cuestión particular, puede enviar un correo electrónico a través del curso virtual (en ese caso, se ruega se dirija a "equipo docente") o bien si quiere comunicarse con un profesor concreto, enviando un correo electrónico a su cuenta personal (direcciones en el apartado "*horario de atención*") no utilizando el curso virtual en este caso.

---

## IGUALDAD DE GÉNERO

En coherencia con el valor asumido de la igualdad de género, todas las denominaciones que en esta Guía hacen referencia a órganos de gobierno unipersonales, de representación, o miembros de la comunidad universitaria y se efectúan en género masculino, cuando no se hayan sustituido por términos genéricos, se entenderán hechas indistintamente en género femenino o masculino, según el sexo del titular que los desempeñe.