



## FICHA TÉCNICA DE LA ASIGNATURA

| Datos de la asignatura |  |
|------------------------|--|
| Nombre completo        | Turbomáquinas  |
| Código                 | DIM-GITI-431   |
| Título                 | <a href="#">Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales por la Universidad Pontificia Comillas</a> |
| Impartido en           | Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales [Cuarto Curso]   |
| Nivel                  | Reglada Grado Europeo  |
| Cuatrimestre           | Semestral  |
| Créditos               | 6,0 ECTS   |
| Carácter               | Optativa (Grado)   |
| Departamento / Área    | Departamento de Ingeniería Mecánica  |
| Responsable            | Eva Arenas Pinilla   |

| Datos del profesorado            |                                     |
|----------------------------------|-------------------------------------|
| <b>Profesor</b>                  |                                     |
| Nombre                           | Eva María Arenas Pinilla            |
| Departamento / Área              | Departamento de Ingeniería Mecánica |
| Despacho                         | Alberto Aguilera 25 [D-318]         |
| Correo electrónico               | earenas@icai.comillas.edu           |
| <b>Profesor</b>                  |                                     |
| Nombre                           | Alexis Cantizano González           |
| Departamento / Área              | Departamento de Ingeniería Mecánica |
| Despacho                         | Alberto Aguilera 25 [D-316]         |
| Correo electrónico               | Alexis.Cantizano@iit.comillas.edu   |
| Teléfono                         | 2366                                |
| <b>Profesores de laboratorio</b> |                                     |
| <b>Profesor</b>                  |                                     |
| Nombre                           | Iñigo Sanz Fernández                |
| Departamento / Área              | Departamento de Ingeniería Mecánica |
| Correo electrónico               | isanz@comillas.edu                  |
| <b>Profesor</b>                  |                                     |
| Nombre                           | José Luis Becerra García            |
| Departamento / Área              | Departamento de Ingeniería Mecánica |



|                            |                                     |
|----------------------------|-------------------------------------|
| <b>Correo electrónico</b>  | jlbecerra@icai.comillas.edu         |
| <b>Profesor</b>            |                                     |
| <b>Nombre</b>              | José Rubén Pérez Domínguez          |
| <b>Departamento / Área</b> | Departamento de Ingeniería Mecánica |
| <b>Correo electrónico</b>  | jrpdominguez@icai.comillas.edu      |

## DATOS ESPECÍFICOS DE LA ASIGNATURA

### Contextualización de la asignatura

#### Aportación al perfil profesional de la titulación

En el perfil profesional del graduado en Ingeniería en Tecnologías Industriales, esta asignatura proporciona los principios básicos del diseño y funcionamiento de las turbomáquinas hidráulicas y térmicas.

Al finalizar el curso los alumnos dominarán los principales criterios en el diseño y funcionamiento de las bombas hidráulicas, ventiladores, compresores y turbinas. Los conceptos adquiridos en las asignaturas de Mecánica de Fluidos y Termodinámica se emplean aquí para comprender el funcionamiento de estas máquinas.

Además, esta asignatura tiene un carácter mixto teórico-experimental por lo que a los componentes teóricos se les añaden los de carácter práctico, tanto la resolución de cuestiones numéricas como la realización de trabajos prácticos de laboratorio en los que se ejercitarán los conceptos estudiados.

#### Prerrequisitos

No existen prerrequisitos que de manera formal impidan cursar la asignatura. Sin embargo, por estar inmersa en un plan de estudios sí se apoya en conceptos vistos con anterioridad en asignaturas precedentes:

- Termodinámica
- Mecánica de Fluidos

### Competencias - Objetivos

#### Competencias

##### GENERALES

|             |   |
|-------------|---|
| <b>CG03</b> | Conocimiento en materias básicas y tecnológicas, que les capacite para el aprendizaje de nuevos métodos y teorías, y les dote de versatilidad para adaptarse a nuevas situaciones.                                |
| <b>CG04</b> | 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. |



## ESPECÍFICAS

|              |  |
|--------------|--|
| <b>CEM03</b> | Conocimientos aplicados de ingeniería térmica.                                       |
| <b>CEM06</b> | Conocimiento aplicado de los fundamentos de los sistemas y máquinas fluidomecánicas. |

## Resultados de Aprendizaje

|            |  |
|------------|--|
| <b>RA1</b> | Conocer la clasificación general de las máquinas de fluido. Distinguir unas máquinas de fluido de otras según su principio de funcionamiento. Entender la diferencia entre máquinas generadoras y máquinas motoras, así como las diferencias en la división establecida entre máquinas térmicas y máquinas hidráulicas.  |
| <b>RA2</b> | Entender la ecuación de Euler como principio básico de funcionamiento de las turbomáquinas. Visualizar el movimiento del fluido en el rodete. Construir adecuadamente los triángulos de velocidades. Entender el proceso de intercambio de energía en el rodete. Aplicar adecuadamente la ecuación de Euler.   |
| <b>RA3</b> | Conocer las pérdidas de energía que se producen en una turbomáquina y transformarlas en el cálculo de rendimientos correspondiente. Entender el origen de las pérdidas hidráulicas, volumétricas y mecánicas. Calcular los rendimientos volumétrico, hidráulico y mecánico de una turbomáquina   |
| <b>RA4</b> | Conocer el diseño interno de una bomba rotodinámica, sus principales componentes y la función de cada uno de ellos. Conocer los principales elementos constitutivos de una bomba rotodinámica. Conocer los parámetros fundamentales del diseño de una bomba y entiende cómo varía el funcionamiento de la misma al modificar esos parámetros. Calcular el coeficiente de disminución de trabajo y entiende su significado. Entender la función del sistema difusor y calcula su rendimiento. Conocer el sistema de equilibrado de rodetes y de bombas completas.   |
| <b>RA5</b> | Interpretar las curvas características de una bomba y conocer la aplicación práctica de las leyes de semejanza. Conocer las curvas características de una bomba y saber aplicarlas, obteniendo el campo de funcionamiento de la bomba. Conocer los ensayos básicos y ser capaz de realizarlos en el laboratorio. Aplicar adecuadamente las leyes de semejanza y el escalado para ampliar el campo de funcionamiento de la bomba, conociendo las limitaciones que tienen ambos procedimientos. Calcular y entender el significado del número específico de revoluciones como parámetro típico de la geometría de un rodete. |
| <b>RA6</b> | Determinar el papel de una bomba dentro de una instalación, seleccionando la bomba más adecuada y estudiando su comportamiento dentro del posible campo de funcionamiento. Seleccionar una bomba adecuada a los requerimientos de una instalación dada. Ser capaz de resolver una instalación con bombas en serie y en paralelo. Estudiar los posibles comportamientos anormales de la bomba en la instalación, teniendo en cuenta el campo de funcionamiento posible.   |
|            | Conocer las similitudes y diferencias entre el funcionamiento de una bomba y de un ventilador.   |



|             |  |
|-------------|--|
| <b>RA7</b>  | Conocer las ecuaciones básicas aplicadas a los ventiladores. Entender el papel que juega la densidad en los ventiladores al trabajar con fluidos compresibles. Comprender las diferentes formas que se pueden dar en la práctica en la instalación de un ventilador. Conocer las curvas características de un ventilador y saber aplicarlas, obteniendo el campo de funcionamiento del ventilador. Conocer los ensayos básicos de los ventiladores y ser capaz de realizarlos en el laboratorio. Aplicar adecuadamente las leyes de semejanza para ampliar el campo de funcionamiento del ventilador, conociendo las limitaciones que tiene ese procedimiento. |
| <b>RA8</b>  | Conocer la aplicación de las turbinas hidráulicas a generación de energía eléctrica y las particularidades de la teoría general de las turbomáquinas aplicada a ellas. Entender la importancia de la utilización de la energía hidráulica. Conocer las diferentes formas de aprovechar la energía hidráulica. Distinguir los diferentes tipos de turbinas hidráulicas. Ser capaz de seleccionar la turbina hidráulica más adecuada a las características específicas de un salto natural. Resolver problemas de instalaciones concretas de turbinas hidráulicas tanto de acción como de reacción.  |
| <b>RA9</b>  | Conocer el diseño interno de una turbina hidráulica. Conocer los principales elementos constitutivos de una turbina hidráulica. Conocer los parámetros fundamentales del diseño de una turbina y entender cómo varía el funcionamiento de la misma al modificar esos parámetros. Conocer las curvas características de una turbina y saber utilizarlas, manejando las magnitudes unitarias.  |
| <b>RA10</b> | Conocer las características principales de las turbomáquinas térmicas. Conocer los elementos principales y los detalles constructivos de las máquinas térmicas. Conocer las diferentes geometrías de los perfiles empleados en las turbomáquinas térmicas. Entender la necesidad de escalonamiento en las máquinas térmicas.   |

## BLOQUES TEMÁTICOS Y CONTENIDOS

### Contenidos – Bloques Temáticos

#### Aspectos generales

##### Tema 1. Introducción

Máquinas de fluidos. Clasificación de las máquinas de fluido. Definición de turbomáquina (TM). Clasificación de las TM según la compresibilidad del fluido. Clasificación de las TM según el sentido de la transmisión de la energía. Movimiento del fluido durante el intercambio de energía: ejes de referencia, velocidades y planos de representación. Clasificación de las TM según la dirección del flujo en el rodete. Intercambio de energía en el rodete. Ecuación de Euler: Teorema del momento cinético; hipótesis simplificadoras. Triángulos de velocidades. Balance de energías en el órgano intercambiador: ecuación de Bernoulli; primer principio de la termodinámica. Grado de reacción.

#### Turbomáquinas hidráulicas

##### Tema 2: Bombas



## 2.1. Clasificación, elementos y parámetros fundamentales

Tipos y clasificación. Límites de entrada y salida de la máquina. Salto energético en la máquina o altura entre límites en las TMH: altura efectiva. Dimensiones geométricas más relevantes. Ecuación del caudal a través del rodete. El sistema difusor: función, ecuaciones y tipos. Construcciones y aplicaciones más relevantes.

## 2.2. Pérdidas, potencias y rendimientos

Clasificación y estudio de las pérdidas. Rendimientos y potencias.

## 2.3 Curvas características de una bomba. Cavitación

La función  $H_u = H_u(Q_{rod})$ . Las pérdidas hidráulicas: representación gráfica. La curva  $H=H(Q)$ . Las curvas de rendimiento y potencia absorbida en función del caudal: formas analíticas y representaciones gráficas. Interacción de una bomba rotodinámica y la instalación: ecuación característica de la instalación; punto de funcionamiento; regulación por acción sobre la instalación; puntos de trabajo de bombas en serie y en paralelo; regulación de bombas en serie y en paralelo. Cavitación y NPSH, NPSH disponible y NPSH requerido.

## 2.4. Leyes de semejanza

La semejanza en la experimentación con modelos de las TMH. Coeficientes de velocidad. Condiciones para la igualdad de los coeficientes de velocidad: igualdad de triángulos de velocidad; semejanza geométrica. Coeficientes de presión y caudal: condiciones de igualdad. Semejanza de bombas: criterios; puntos homólogos. Leyes de semejanza. Número específico de revoluciones. Aplicaciones de las leyes de semejanza: número específico de revoluciones de máquinas múltiples; puntos homólogos en cambio de tamaño; puntos homólogos en cambio de velocidad; escalado. Campos característicos: por cambio de velocidad y por torneado del rodete. Golpe de ariete y cebado.

## Tema 3: Ventiladores

Parámetros particulares. Formas constructivas y aplicaciones. Coeficientes característicos y parámetros de semejanza. Curvas características. Interacción ventilador-instalación: curva característica de la instalación. Regulación. Selección.

## Tema 4. Turbinas hidráulicas

### 4.1. Centrales hidroeléctricas

Altura bruta y neta de las TH. Aplicación de las turbinas hidráulicas a generación de energía eléctrica.

### 4.2. Turbinas hidráulicas

Turbinas de reacción: elementos característicos; descripción de componentes. Regulación. Turbinas Francis y Kaplan. Turbinas Pelton. Cavitación.



## Turbomáquinas térmicas

### Tema 5. Turbomáquinas térmicas

Introducción: características generales y tipos de máquinas térmicas. Ecuaciones principales y sus formulaciones. Escalonamiento de una máquina térmica: límites y elementos; salto energético; el proceso en el plano h-s. Clasificación de las pérdidas. Rendimientos y potencias. Detalles constructivos y diseño básico de máquinas térmicas. Formas constructivas y aplicaciones. Análisis de las coronas fijas: toberas y coronas inversoras. Análisis de las coronas móviles: escalonamientos de acción y de reacción; triángulos de velocidades. Escalonamientos de presión y de velocidad: características generales y relaciones entre ellos; número de escalonamientos.

## METODOLOGÍA DOCENTE

### Aspectos metodológicos generales de la asignatura

Con el fin de conseguir el desarrollo de competencias propuesto, la materia se desarrollará teniendo en cuenta la actividad del alumno como factor prioritario. Ello implicará que tanto las sesiones presenciales como las no presenciales promoverán la implicación activa de los alumnos en las actividades de aprendizaje.

### Metodología Presencial: Actividades

**Clase magistral y presentaciones generales:** Exposición de los principales conceptos y procedimientos mediante la explicación por parte del profesor. Incluirá presentaciones dinámicas, pequeños ejemplos prácticos y la participación reglada o espontánea de los estudiantes.

CG03, CEM03,  
CEM06

**Resolución en clase de problemas propuestos:** Se explicarán, resolverán y analizarán problemas propuestos por el profesor y trabajados por el alumno.

CG04

**Prácticas de laboratorio.** Se formarán grupos de trabajo que tendrán que realizar prácticas de laboratorio regladas o diseños de laboratorio. Las prácticas de laboratorio podrán requerir la realización de un trabajo previo de preparación y finalizar con la redacción de un informe de laboratorio o la inclusión de las distintas experiencias en un cuaderno de laboratorio.

CG03, CG04,  
CEM03, CEM06

**Tutorías.** Se realizarán en grupo o individualmente para resolver las dudas que se les planteen a los alumnos después de haber trabajado los distintos temas.

CG03, CG04,  
CEM03, CEM06

### Metodología No presencial: Actividades

Estudio individual y personal por parte del alumno de los conceptos expuestos en las lecciones expositivas.

CG03, CEM03,  
CEM06



|   |                             |
|---|-----------------------------|
| Análisis de problemas resueltos en clase. | CG04, CEM03                 |
| Resolución de problemas propuestos.       | CG04, CEM03                 |
| Elaboración de informes.                  | CG03, CG04,<br>CEM03, CEM06 |

## RESUMEN HORAS DE TRABAJO DEL ALUMNO

| HORAS PRESENCIALES  |   |                          |
|---|---|--------------------------|
| Clase magistral y presentaciones generales                                    | Resolución de problemas de carácter práctico o aplicado | Prácticas de laboratorio |
| 29.00   | 19.00   | 12.00                    |
| HORAS NO PRESENCIALES   |   |                          |
| Estudio de conceptos teóricos fuera del horario de clase por parte del alumno | Resolución de problemas de carácter práctico o aplicado | Prácticas de laboratorio |
| 51.00   | 57.00   | 12.00                    |
| <b>CRÉDITOS ECTS: 6,0 (180,00 horas)</b>                                      |   |                          |

## EVALUACIÓN Y CRITERIOS DE CALIFICACIÓN

| Actividades de evaluación | Criterios de evaluación   | Peso |
|---------------------------|---|------|
| Prueba intermedia         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Constará de un test de teoría y de problemas</li> <li>• Si no se alcanza la nota media ponderada de 6.5 puntos, no se libera la materia y su peso será de un 5% en la nota final</li> <li>• Si se alcanza la nota media ponderada de 6.5 puntos, se libera la materia y su peso será de un 40% en la nota final</li> </ul> | 5    |
| Examen final              | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Constará de un test de teoría y de problemas</li> <li>• Si no se liberó en la prueba intermedia la materia correspondiente, el peso de este examen final será de un 70%</li> <li>• Si se liberó en la prueba intermedia la materia</li> </ul>  | 70   |



|  |  |    |
|--|--|----|
|  | correspondiente, el peso de este examen final será de un 35%   |    |
| Informes de laboratorio  | <ul style="list-style-type: none"><li>• Compresión de conceptos.</li><li>• Aplicación de conceptos a la resolución de problemas prácticos y a la realización de prácticas en el laboratorio.</li><li>• Análisis e interpretación de los resultados obtenidos en las prácticas de laboratorio.</li><li>• Presentación y comunicación escrita.</li></ul> | 20 |
| Participación activa en la realización de las prácticas de laboratorio | <ul style="list-style-type: none"><li>• Participación activa</li><li>• Capacidad de trabajo en grupo.</li></ul>  | 5  |

## Calificaciones

- **Convocatoria ordinaria:**
  - Un 75% la nota de teoría:
    - Examen parcial: Bombas y Ventiladores.
      - Nota  $\geq 6.5$ . Libera materia de Bombas y Ventiladores.
    - Examen final.
      - Nota  $\geq 6.5$  en parcial (40%). Examen de turbinas y térmicas (35%).
      - Nota  $< 6.5$  en parcial (5%). Examen de bombas y ventiladores, turbinas y térmicas (70%).
  - Un 25% la nota de laboratorio:
    - 20%: Nota media de los informes o cuadernos de laboratorio.
    - 5%: Participación activa en la realización de las prácticas de laboratorio.
  - Cada examen (parcial y final) está formado por una parte de test (30%) y una parte de problemas (70%). Se exige una nota mínima de 3.0 en cada parte. En caso de no superarla, la nota global del examen será la menor nota obtenida (test o problemas).
  - Si alguien liberaba materia para el examen final y su nota de teoría es inferior a 5 tras el examen, se presentará al examen extraordinario con toda la materia.
- En la **convocatoria extraordinaria** se examinará aquella parte suspensa (teoría o laboratorio) o que no haya superado la nota mínima del examen final (test o problemas, siempre que la nota global del examen sea superior a 5), manteniéndose la nota de la parte aprobada (o superior a la nota mínima). El criterio de ponderación es: 25% laboratorio (o examen de laboratorio), 75% nota del examen de la convocatoria extraordinaria (o nota de teoría en convocatoria ordinaria).

En ambas convocatorias, la media ponderada de teoría y laboratorio se efectuará sólo cuando ambas notas sean iguales o superiores a 5.



## PLAN DE TRABAJO Y CRONOGRAMA

| Actividades   | Fecha de realización                           | Fecha de entrega |
|---|--|------------------|
| Lectura y estudio de los contenidos teóricos explicados en clase  | Después de cada clase                          |                  |
| Intento de resolución de los problemas propuestos a realizar en clase   | Antes de la clase                              |                  |
| Revisión y estudio de los problemas resueltos en clase  | Después de la clase                            |                  |
| Intento de resolución de los problemas no realizados en clase, así como de problemas de examen. Consulta de la solución publicada en SIFO y solicitud de tutoría si es preciso. | Al finalizar cada tema                         |                  |
| Preparación de las pruebas que se realizarán en las horas de clase  | Al finalizar el bloque de máquinas hidráulicas |                  |
| Preparación del examen final  | Diciembre                                      |                  |
| Elaboración de los informes de laboratorio  | Después de cada práctica                       |                  |

## BIBLIOGRAFÍA Y RECURSOS

### Bibliografía Básica

- Claudio Mataix, Turbomáquinas Hidráulicas, Universidad Pontificia Comillas, 2ª edición, 2009.
- Claudio Mataix, Turbomáquinas Térmicas, Ed. Dossat, 3ª edición, 1991
- Transparencias de cada tema (disponibles en Moodle).
- Tests y problemas resueltos (disponibles en Moodle).
- Exámenes resueltos (disponibles en Moodle).

### Bibliografía Complementaria

- Dixon S. L. and Hall, C. A., Fluid Mechanics and Thermodynamics of Turbomachinery 6th ed., Bitterworth – Heinemann, Elsevier, 2010.
- Manuel Muñoz Torralbo, Turbomáquinas Térmicas. Fundamentos del diseño termodinámico, Universidad Politécnica de Madrid, 1ª edición, 2001.



# COMILLAS

UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

ICADE

CIHS

**GUÍA DOCENTE  
2020 - 2021**

- Lecuona A. y Nogueira J. I. Turbomáquinas. Procesos, análisis y tecnología. Editorial Ariel, 2000.

En cumplimiento de la normativa vigente en materia de **protección de datos de carácter personal**, le informamos y recordamos que puede consultar los aspectos relativos a privacidad y protección de datos que ha aceptado en su matrícula entrando en esta web y pulsando "descargar"

[https://servicios.upcomillas.es/sedelectronica/inicio.aspx?csv=02E4557CAA66F4A81663AD10CED66792](https://servicios.upcomillas.es/sedeelectronica/inicio.aspx?csv=02E4557CAA66F4A81663AD10CED66792)