

## FICHA TÉCNICA DE LA ASIGNATURA

Datos de la asignatura	
Nombre	Turbomáquinas
Código	AIM13
Titulación	Grado en Ingeniería Electromecánica
Curso	4º
Cuatrimestre	1º
Créditos ECTS	6 ECTS
Carácter	Obligatoria especialidad Mecánica
Departamento	Ingeniería Mecánica
Área	Energía
Universidad	Pontificia Comillas
Horario	
Profesores	Alexis Cantizano González, Eva Arenas Pinilla
Descriptor	

Datos del profesorado	
Profesor	
Nombre	Eva Arenas Pinilla
Departamento	Ingeniería Mecánica
Área	Energía
Despacho	D-318
e-mail	earenas@icai.comillas.edu
Horario de Tutorías	A definir al comenzar el curso

Datos del profesorado	
Profesor	
Nombre	Alexis Cantizano González
Departamento	Ingeniería Mecánica
Área	Energía
Despacho	D-316
e-mail	Alexis.cantizano@icai.comillas.edu
Horario de Tutorías	A definir al comenzar el curso

Profesores de Laboratorio	
Nombre	Eva Arenas Pinilla
Nombre	Alexis Cantizano González
Nombre	Iñigo Sanz Fernández

## DATOS ESPECÍFICOS DE LA ASIGNATURA

### Contextualización de la asignatura

#### Aportación al perfil profesional de la titulación

En el perfil profesional del graduado en Ingeniería Electromecánica, 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, Termodinámica y Diseño de Máquinas se emplean aquí para el desarrollo tecnológico 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
- Diseño de Máquinas

### Competencias – Objetivos

#### Competencias Genéricas del título-curso

CG3. 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.

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.

CG5. Conocimientos para la realización de mediciones, cálculos, valoraciones, tasaciones, peritaciones, estudios, informes, planes de labores y otros trabajos análogos.

CG6. Capacidad para el manejo de especificaciones, reglamentos y normas de obligado cumplimiento.

#### Competencias específicas / Refuerzo rama industrial

CEM3. Conocimientos aplicados de ingeniería térmica.

CEM6. Conocimiento aplicado de los fundamentos de los sistemas y máquinas fluidomecánicas.

Resultados de Aprendizaje <sup>1</sup>	
RA1	Clasifica los diferentes tipos de turbomáquinas.
RA2	Ha adquirido los conocimientos esenciales o básicos en relación con las turbomáquinas hidráulicas y térmicas, así como detalles constructivos y particularidades técnicas.
RA3	Analiza las posibilidades de una turbomáquina y su posible implantación en un proceso industrial determinado, evaluando saltos, potencias y rendimientos.
RA4	Realizar el análisis y resolución de problemas tecnológicos relacionados con la energía térmica e hidráulica en el contexto de las turbomáquinas.

---

<sup>1</sup> Los resultados de aprendizaje son indicadores de las competencias que nos permiten evaluar el grado de dominio que poseen los alumnos. Las competencias suelen ser más generales y abstractas. Los R.A. son indicadores observables de la competencia

## BLOQUES TEMÁTICOS Y CONTENIDOS

### Contenidos – Bloques Temáticos

Las líneas básicas contenidas en el programa se articulan alrededor de los conceptos fundamentales de la mecánica de fluidos general.

#### Tema 1: Máquinas de fluidos.

- 1.1 Máquinas de fluido.
- 1.2 Clasificación de las máquinas de fluido.
- 1.3 Definición de turbomáquina (TM).
- 1.4 Clasificación de las TM según la compresibilidad del fluido.
- 1.5 Clasificación de las TM según el sentido de la transmisión de la energía.
- 1.6 Movimiento del fluido durante el intercambio de energía: ejes de referencia, velocidades y planos de representación.
- 1.7 Clasificación de las TM según la dirección del flujo en el rodete.

#### Tema 2: Intercambio de energía en el rodete

- 2.1 Introducción.
- 2.2 Ecuación de Euler: Teorema del momento cinético; hipótesis simplificadoras.
- 2.3 Triángulos de velocidades.
- 2.4 Balance de energías en el órgano intercambiador: ecuación de Bernoulli; primer principio de la termodinámica.
- 2.5 Grado de reacción.

#### Tema 3: Pérdidas, saltos energéticos, potencias y rendimientos en las turbomáquinas hidráulicas (TMH).

- 3.1 Introducción.
- 3.2 Significado de  $Y_{u\infty}$  e  $Y_u$  ó  $H_u$  y  $H_{u\infty}$ .
- 3.3 Límites de entrada y salida de la máquina.
- 3.4 Salto energético en la máquina o altura entre límites en las TMH: la altura neta de las TH y la altura efectiva de las B.
- 3.5 Clasificación y estudio de las pérdidas.
- 3.6 Rendimientos y potencias.

#### Tema 4: Detalles constructivos y diseño básico de bombas rotodinámicas

- 4.1 Tipos y clasificación.
- 4.2 Dimensiones geométricas más relevantes.
- 4.3 Ecuación del caudal a través del rodete.
- 4.4 El sistema difusor: función, ecuaciones y tipos.
- 4.5 Construcciones y aplicaciones más relevantes.

#### Tema 5: Curvas características de las bombas rotodinámicas.

- 5.1 La función  $H_u = H_u(Q_{rod})$ .
- 5.2 Las pérdidas hidráulicas: representación gráfica.
- 5.3 La curva  $H = H(Q)$ .
- 5.4 Las curvas de rendimiento y potencia absorbida en función del caudal: formas analíticas y representaciones gráficas.
- 5.5. 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.

#### Tema 6: Leyes de semejanza y coeficientes característicos de las bombas rotodinámicas.

- 6.1 La semejanza en la experimentación con modelos de las TMH.
- 6.2 Coeficientes de velocidad.
- 6.3 Condiciones para la igualdad de los coeficientes de velocidad: igualdad de triángulos de velocidad; semejanza geométrica.
- 6.4 Coeficientes de presión y caudal: condiciones de igualdad.
- 6.5 Semejanza de bombas: criterios; puntos homólogos.
- 6.6 Leyes de semejanza.
- 6.7 Número específico de revoluciones.
- 6.8 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.

#### Tema 7. Funcionamiento y selección de las bombas rotodinámicas.

<p>7.1 Campos característicos: por cambio de velocidad y por torneado del rodete.</p> <p>7.2 Cavitación y NPSH, NPSH disponible y NPSH requerido.</p> <p>7.3. Golpe de ariete y cebado.</p>
<p><b>TEMA 8. Particularidades de los ventiladores.</b></p>
<p>8.1 Parámetros particulares.</p> <p>8.2 Formas constructivas y aplicaciones.</p> <p>8.3 Coeficientes característicos y parámetros de semejanza.</p> <p>8.4 Curvas características.</p> <p>8.5 Interacción ventilador-instalación: curva característica de la instalación.</p> <p>8.6 Regulación.</p> <p>8.7 Selección.</p>
<p><b>Tema 9: Particularidades de las turbinas hidráulicas</b></p>
<p>9.1. Aplicación de las turbinas hidráulicas a generación de energía eléctrica.</p> <p>9.2. Turbinas de reacción: elementos característicos; descripción de componentes.</p> <p>9.3 Regulación.</p> <p>9.4 Turbinas Francis y Kaplan.</p> <p>9.5 Turbinas Pelton.</p> <p>9.6 Cavitación.</p>
<p><b>TEMA 10. Pérdidas, saltos energéticos, potencias y rendimientos en las máquinas térmicas.</b></p>
<p>10.1 Introducción: características generales y tipos de máquinas térmicas.</p> <p>10.2 Ecuaciones; significado de <math>Y_{u\infty}</math> e <math>Y_u</math> y sus formulaciones.</p> <p>10.3 Escalonamiento de una máquina térmica: límites y elementos; salto energético; el proceso en el plano h-s.</p> <p>10.4 Clasificación de las pérdidas.</p> <p>10.5 Rendimientos y potencias.</p>
<p><b>TEMA 11. Detalles constructivos y diseño básico de máquinas térmicas.</b></p>
<p>11.1 Formas constructivas y aplicaciones.</p> <p>11.2 Análisis de las coronas fijas: toberas y coronas inversoras.</p> <p>11.3 Análisis de las coronas móviles: escalonamientos de acción y de reacción; triángulos de velocidades.</p> <p>11.4 Escalonamientos de presión y de velocidad: características generales y relaciones entre ellos; número de escalonamientos.</p>

## 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

- 1. 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.
- 2. Resolución en clase de problemas propuestos:** Se explicarán, resolverán y analizarán problemas propuestos por el profesor y trabajados por el alumno.
- 3. 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.
- 4. 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.

**Metodología No presencial: Actividades**

1. Estudio individual y personal por parte del alumno de los conceptos expuestos en las lecciones expositivas.
2. Análisis de problemas resueltos en clase.
3. Resolución de problemas propuestos.
4. Elaboración de informes.

El objetivo principal del trabajo no presencial es llegar a entender y comprender los conceptos teóricos de la asignatura, así como ser capaz de poner en práctica estos conocimientos para resolver los diferentes tipos de problemas.

**RESUMEN HORAS DE TRABAJO DEL ALUMNO**

<b>HORAS PRESENCIALES</b>			
Lección magistral	Resolución de problemas	Prácticas laboratorio	Evaluación
30	12	12	5
<b>HORAS NO PRESENCIALES</b>			
Trabajo autónomo sobre contenidos teóricos	Trabajo autónomo sobre contenidos prácticos	Realización de trabajos colaborativos	Preparación para las pruebas
45	20	24	32
<b>CRÉDITOS ECTS:</b>			<b>6 (180 horas)</b>

**EVALUACIÓN Y CRITERIOS DE CALIFICACIÓN**

Actividades de evaluación	Criterios de evaluación	PESO
Realización de exámenes: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Examen Intermedio</li> <li>• Examen Final</li> <li>• Pruebas tipo test</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Comprensión de conceptos.</li> <li>- Aplicación de conceptos a la resolución de problemas prácticos.</li> <li>- Análisis e interpretación de los resultados obtenidos en la resolución de problemas.</li> </ul>	75%
Para aprobar la asignatura los alumnos tienen que tener al menos 5 puntos sobre 10 en la media de los exámenes y pruebas de la asignatura.		
Laboratorio	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Comprensión 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>- Capacidad de trabajo en grupo.</li> <li>- Presentación y comunicación escrita.</li> </ul>	25%

## CALIFICACIONES

### 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 está formado por una parte de teoría (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.
- En la **convocatoria extraordinaria** se examinará aquella parte suspensa, teoría o laboratorio, manteniéndose la nota de la parte aprobada. 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<sup>2</sup>

Actividades Presenciales y No presenciales	Fecha de realización	Fecha de entrega
<ul style="list-style-type: none"><li>Lectura y estudio de los contenidos teóricos explicados en clase</li></ul>	Después de cada clase	
<ul style="list-style-type: none"><li>Intento de resolución de los problemas propuestos a realizar en clase</li></ul>	Antes de la clase	
<ul style="list-style-type: none"><li>Revisión y estudio de los problemas resueltos en clase</li></ul>	Después de la clase	
<ul style="list-style-type: none"><li>Intento de resolución de los problemas no realizados en clase. Consulta de la solución publicada en SIFO y solicitud de tutoría si es preciso.</li></ul>	Al finalizar cada tema	
<ul style="list-style-type: none"><li>Preparación de las pruebas que se realizarán en las horas de clase</li></ul>	Aproximadamente cada cuatro temas	
<ul style="list-style-type: none"><li>Preparación del examen final</li></ul>	Diciembre	
<ul style="list-style-type: none"><li>Elaboración de los informes de laboratorio</li></ul>	Después de cada práctica	

## BIBLIOGRAFÍA Y RECURSOS

Bibliografía Básica
<b>Libros de texto</b>
-Claudio Mataix, Turbomáquinas Hidráulicas, Universidad Pontificia Comillas, 2ª edición, 2009. - Claudio Mataix, Turbomáquinas Térmicas, Ed. Dossat, 3ª edición, 1991
<b>Bibliografía Complementaria</b>
<b>Libros de texto</b>
-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. -Lecuona A. y Nogueira J. I. Turbomáquinas. Procesos, análisis y tecnología. Editorial Ariel, 2000.

## FICHA RESUMEN

Ver páginas siguientes.

---

<sup>2</sup> En la ficha resumen se encuentra una planificación detallada de la asignatura. Esta planificación tiene un carácter orientativo y las fechas podrán irse adaptando de forma dinámica a medida que avance el curso.



Sesión	Contenido	Actividad			Dedicación (h)		
		Tema	Act. Form. Presenciales	Act. Form. No presenciales	Entrega	Presenc.	No pres.
1	Clasificación de las máquinas de fluido. Definición de turbomáquina (TM). Clasificación de las TM: según la compresibilidad del fluido y según el sentido de la transmisión de la energía.	1	Teoría	Estudio Teoría		1	1.5
2	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.	1	Teoría	Estudio Teoría		1	1.5
3	Ecuación de Euler: Teorema del momento cinético; hipótesis simplificadoras; ecuación de Euler. Triángulos de velocidades. Balance de energías en el órgano intercambiador: ecuación de Bernoulli; primer principio de la termodinámica. Grado de reacción.	2	Teoría	Estudio Teoría		1	1.5
4	Significado de $Y_{u\infty}$ e $Y_u$ ó $H_u$ y $H_{u\infty}$ . Límites de entrada y salida de la máquina. Salto energético en la máquina o altura entre límites en las TMH: la altura neta de las TH y la altura efectiva de las B.	3	Teoría	Estudio Teoría		1	1.5
5	Clasificación y estudio de las pérdidas. Rendimientos y potencias.	3	Teoría	Estudio Teoría		1	1.5
6	Detalles constructivos y diseño básico de bombas rotodinámicas: tipos y clasificación.	4	Teoría	Estudio Teoría		1	1.5
7	Dimensiones geométricas más relevantes. Ecuación del caudal a través del rodete.	4	Teoría	Estudio Teoría		1	1.5
8	El sistema difusor: función, ecuaciones y tipos. Construcciones y aplicaciones más relevantes.	4	Teoría	Estudio Teoría		1	1.5
9	Problemas	1, 2	Problemas	Resolución de problemas propuestos		1	2
10	Problemas	3, 4	Problemas	Resolución de problemas propuestos		1	2
11	Curvas características de las bombas rotodinámicas. 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.	5	Teoría	Estudio Teoría		1	1.5
12	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.	5	Teoría	Estudio Teoría		1	1.5
13	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.	6	Teoría	Estudio Teoría		1	1.5
14	Semejanza de bombas: criterios; puntos homólogos. Leyes de semejanza.	6	Teoría	Estudio Teoría		1	1.5
15	Problemas	5	Problemas	Resolución de problemas propuestos		1	2

16	Problemas	6	Problemas	Resolución de problemas propuestos		1	2
17	Campos característicos: por cambio de velocidad y por torneado del rodete. Cavitación y NPSH, NPSH disponible y NPSH requerido. Golpe de ariete y cebado.	7	Teoría	Estudio Teoría		1	1.5
18	Problemas	7	Problemas	Resolución de problemas propuestos		1	2
19	Problemas	7	Problemas	Resolución de problemas propuestos		1	2
20	Particularidades de los ventiladores. Parámetros particulares. Formas constructivas y aplicaciones. Coeficientes característicos y parámetros de semejanza. Curvas características.	8	Teoría	Estudio Teoría		1	1.5
21	Interacción ventilador-instalación: curva característica de la instalación. Regulación. Selección.	8	Teoría	Estudio Teoría		1	1.5
22	Problemas	9	Problemas	Resolución de problemas propuestos		1	2
23	Prueba escrita		Prueba	Preparación de pruebas		1	3.5
24	Prueba escrita		Prueba	Preparación de pruebas		1	3.5
25	Aplicación de las turbinas hidráulicas a generación de energía eléctrica.	9	Teoría	Estudio Teoría		1	1.5
26	Particularidades de las turbinas hidráulicas. Turbinas de reacción: elementos característicos;	9	Teoría	Estudio Teoría		1	1.5
27	Descripción de componentes.	9	Teoría	Estudio Teoría		1	1.5
28	Regulación.	9	Teoría	Estudio Teoría		1	1.5
29	Turbinas Francis y Kaplan.	9	Teoría	Estudio Teoría		1	1.5
30	Turbinas Pelton.	9	Teoría	Estudio Teoría		1	1.5
31	Cavitación	9	Teoría	Estudio Teoría		1	1.5
32	Problemas	9	Problemas	Resolución de problemas propuestos		1	2
33	Introducción: características generales y tipos de máquinas térmicas. Ecuaciones; significado de $Y_{u\infty}$ e $Y_u$ y sus formulaciones.	10	Teoría	Estudio Teoría		1	1.5
34	Escalonamiento de una máquina térmica: límites y elementos; salto energético; el proceso en el plano h-s.	10	Teoría	Estudio Teoría		1	1.5
35	Prácticas de laboratorio		Laboratorio	Elaboración de informe en grupo	A la semana	2	4
36							
37	Clasificación de las pérdidas (I)	10	Teoría	Estudio Teoría		1	1.5
38	Clasificación de las pérdidas (II)	10	Teoría	Estudio Teoría		1	1.5
39	Prácticas de laboratorio		Laboratorio	Prácticas de laboratorio	A la semana	2	4
40							
41	Rendimientos y potencias.	10	Teoría	Estudio Teoría		1	1.5
42	Problemas	10	Problemas	Resolución de problemas propuestos		1	2
43	Prácticas de laboratorio		Laboratorio	Prácticas de laboratorio	A la semana	2	4
44							
45	Problemas	10	Problemas	Resolución de problemas propuestos		1	2
46	Formas constructivas y aplicaciones.	11	Teoría	Estudio Teoría		1	1.5
47	Prácticas de laboratorio		Laboratorio	Prácticas de laboratorio	A la	2	4

48					semana		
49	Análisis de las coronas fijas: toberas y coronas inversoras. Análisis de las coronas móviles: escalonamientos de acción y de reacción; triángulos de velocidades.	11	Teoría	Estudio Teoría		1	1.5
50	Escalonamientos de presión y de velocidad: características generales y relaciones entre ellos; número de escalonamientos.	11	Teoría	Estudio Teoría		1	1.5
51	Prácticas de laboratorio		Laboratorio	Elaboración de informe en grupo	A la semana	2	4
52							
53	Problemas		Problemas	Preparación de pruebas		1	2.5
54	Problemas		Problemas	Preparación de pruebas		1	2.5
55	Prácticas de laboratorio		Laboratorio	Prácticas de laboratorio	A la semana	2	4
56							
<b>EXAMEN FINAL</b>						<b>3</b>	<b>20</b>