Universidad de Navarra

***Máquinas y sistemas térmicos e hidráulicos (MII)***
*Guía docente 2026-27*

# PRESENTACIÓN

**Titulación**: Máster en Ingeniería Industrial

**Módulo/Materia**: Tecnología Industrial / Máquinas, Motores y Fabricación Industrial

**ECTS**: 5 ECTS

**Curso, semestre**: Primero // Primero

**Carácter**: Obligatorio

**Profesorado**:

Ramos González, Juan Carlos - Email: jcramos@tecnun.es / Catedrático

Rivas Nieto, Alejandro - Email: arivas@tecnun.es / Catedrático

Aramburu Montenegro, Jorge - Email: jaramburu@unav.es / Profesor Titular

**Idioma**: Castellano

# COMPETENCIAS

**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

**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.

**CG01** - 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, electrónica industrial, automática, fabricación, materiales, métodos cuantitativos de gestión, informática industrial, urbanismo, infraestructuras, etc.

**CG02** - Proyectar, calcular y diseñar productos, procesos, instalaciones y plantas.

**CE05** - Conocimientos y capacidades para el diseño y análisis de máquinas y motores térmicos, máquinas hidráulicas e instalaciones de calor y frío industrial.

**Castellano**

# PROGRAMA

**Máquinas y Sistemas Hidráulicos**

**TEMA 1. INTRODUCCIÓN**

En este tema se definen las máquinas hidráulicas, sus tipos (turbomáquinas y de desplazamiento positivo) y la clasificación en función del sentido en que se transfiere la energía. Dentro de las bombas rotodinámicas se enumerarán los principales componentes hidráulicos prestando especial atención al rodete o impulsor. Se introducirá el concepto de velocidad específica y se

presentará la clasificación de las turbomáquinas en radiales, diagonales y axiales. Se definirán las magnitudes de funcionamiento de una bomba rotodinámica y las curvas características. Finalmente se presentará la ecuación fundamental de las turbomáquinas (Ecuación de Euler) que describe entre la transferencia de energía y la hidrodinámica.

**TEMA 2. BOMBAS ROTODINÁMICAS**

En este tema se describen en detalle los elementos principales de una bomba rotodinámica así como diferentes clasificaciones de las bombas rotodinámicas. Se explicará el fenómeno de la cavitación, los conceptos de NPSH disponible y requerido, la manera de determinar el NPSH requerido de una bomba rotodinámica y cómo este fenómeno afecta al diseño.

**TEMA 3. SEMEJANZA EN TURBOMÁQUINAS**

En este tema se definen las leyes de semejanza de las turbomáquinas, se presentarán los parámetros adimensionales empleados habitualmente y se mostrará la utilidad del empleo de la semejanza.

**TEMA 4. DISEÑO DE BOMBAS ROTODINÁMICAS**

En este tema se presentará la metodología de diseño de bombas rotodinámicas radiales-diagonales. Se describirán los diferentes niveles de diseño (Meanline, Through Flow y CFD) en cuanto a los modelos, hipótesis y resultados que contemplan cada uno de ellos. Se realizará un proyecto de diseño preliminar de una bomba rotodinámica centrífuga empleando el software comercial Concepts NREC.

**TEMA 5. CENTRALES Y TURBINAS HIDRÁULICAS**

En este tema se presentarán los fundamentos de la generación de energía eléctrica en las centrales hidroeléctricas. Se describirán los diferentes tipos de centrales así como los principales elementos de las mismas. Se presentarán los diferentes tipos de turbinas hidráulicas, sus componentes y las funciones de cada uno de estos últimos.

**Máquinas y Sistemas Térmicos**

**TEMA 1. INTRODUCCIÓN A LAS MÁQUINAS TÉRMICAS Y A LOS MOTORES TÉRMICOS**

En este tema se hace una breve introducción a las máquinas térmicas y se presenta su clasificación atendiendo a distintos criterios. También se introducen los motores térmicos y su clasificación.

**TEMA 2. INTRODUCCIÓN A LOS M.C.I.A.: CICLOS BÁSICOS Y PARÁMETROS FUNDAMENTALES**

Se presenta la clasificación de los MCIA. Se describen brevemente los principales ciclos que se emplean para caracterizar su comportamiento: ciclo teórico aire-combustible y ciclo real al freno. Se estudian los parámetros fundamentales, tanto en cuanto a su descripción como a la cuantificación de sus prestaciones. Por último, se presentan las curvas características como forma de representar la relación entre los parámetros que afectan al funcionamiento y a las prestaciones de un motor de combustión.

**TEMA 3. ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS DE M.A.C.I.**

Se describe la función y las principales características de los elementos de un motor. Elementos fijos (bloque, cilindros, bancada, culata,...) y elementos móviles como la cadena cinemática y el sistema de distribución.

**TEMA 4. RENOVACIÓN DE LA CARGA EN MOTORES DE 4 TIEMPOS**

Se describe en qué consiste el proceso de renovación de la carga y se explica su importancia para conseguir unas buenas prestaciones del motor. Se presentan las principales características

tecnológicas de los métodos usados para optimizar el llenado de los motores de 4t: admisión variable, multiválvulas, distribución variable y sobrealimentación (compresores y turbocompresores).

#### TEMA 5. COGENERACIÓN

Se presentan los parámetros que definen el funcionamiento de un sistema de cogeneración. Se explica la clasificación de los sistemas de cogeneración con sus aspectos tecnológicos relativos al motor de cogeneración (motores alternativos de combustión interna, turbinas de gas, turbinas de vapor y ciclo combinado). También se explican los modos de operación de un sistema de cogeneración. Se presentan y se resuelven ejemplos de aplicación de la cogeneración.

#### TEMA 6. ENERGÍA SOLAR TÉRMICA

Se presentan los parámetros que se utilizan para evaluar la radiación solar en una localización determinada en función de la inclinación del colector solar. Se explica cómo funciona un colector solar y cuáles son las principales características de sus componentes. Se explican las características tecnológicas de los sistemas de energía solar térmica de baja temperatura y el método f-Chart para su dimensionamiento. Se comentan aspectos tecnológicos de los sistemas de energía solar térmica de media y alta temperatura.

#### TEMA 7. TURBOMÁQUINAS TÉRMICAS

Introducción a las turbomáquinas térmicas. Compresores. Turbinas de Gas. El motor de Reacción.

## English

#### Syllabus

#### Hydraulic Machines and Systems

## TOPIC 1. INTRODUCTION

This topic defines hydraulic machines, their types (turbomachines and positive displacement) and the classification based on the direction in which the energy is transferred.

Within the rotodynamic pumps the main hydraulic components will be listed with emphasis on the impeller. The concept of specific speed will be introduced and the classification of turbomachines in radial, mixed-flow and axial will be presented.

The operational magnitudes of a rotodynamic pump and the characteristic curves will be defined. Finally, the fundamental equation of turbomachines (Euler's equation) that describes between energy transfer and hydrodynamics will be presented.

#### TOPIC 2. ROTODYNAMIC PUMPS

This topic describes in detail the main elements of a rotodynamic pump as well as different classifications of rotodynamic pumps. The phenomenon of cavitation, the concepts of available and required NPSH, how to determine the required NPSH of a rotodynamic pump and how this phenomenon affects the design will be explained.

#### TOPIC 3. SIMILARY IN TURBOMACHINERY

In this topic, the laws of similarity of turbomachines are defined, the dimensionless parameters commonly used will be presented and the usefulness of the use of similarity will be shown.

#### TOPIC 4. ROTODYNAMIC PUMPS DESIGN

In this topic, the design methodology for radial-mixed flow rotodynamic pumps will be presented. The different design levels (Meanline, Through Flow and CFD) will be described in terms of the models, hypotheses and results contemplated by each one of them. A preliminary design project

of a rotodynamic centrifugal pump will be carried out using the commercial software Concepts NREC.

**TOPIC 5. HYDROELECTRIC POWER PLANTS AND HYDRAULIC TURBINES**

This topic will present the fundamentals of electric power generation in hydroelectric power plants. The different types of plants will be described as well as their main elements. The different types of hydraulic turbines, their components and the functions of each of the latter will be presented.

**Thermal Machines and Systems**

**TOPIC 1. INTRODUCTION TO THERMAL MACHINES AND THERMAL ENGINES**

In this topic, a brief introduction to thermal machines is made and their classification is presented according to different criteria. Heat engines and their classification are also introduced.

**TOPIC 2. INTRODUCTION TO THE RICE .: BASIC CYCLES AND FUNDAMENTAL PARAMETERS**

The MCIA classification is presented. The main cycles used to characterize its behavior are briefly described: theoretical air-fuel cycle and real brake cycle.

The fundamental parameters are studied, both in terms of their description and the quantification of their benefits.

Finally, the characteristic curves are presented as a way of representing the relationship between the parameters that affect the operation and performance of a combustion engine.

**TOPIC 3. CONSTRUCTIVE ELEMENTS OF RICE**

The function and main characteristics of the elements of an engine are described. Fixed elements (block, cylinders, bench, cylinder head, ...) and mobile elements such as the kinematic chain and the distribution system.

**TOPIC 4. LOAD RENEWAL ON 4-STROKE ENGINES**

It describes what the charge renewal process consists of and explains its importance to achieve good engine performance.

The main technological characteristics of the methods used to optimize the filling of 4t engines are presented: variable intake, multi-valves, variable distribution and supercharging.

**TOPIC 5. COGENERATION**

The parameters that define the operation of a cogeneration system are presented. The classification of cogeneration systems with their technological aspects related to the cogeneration engine is explained. The modes of operation of a cogeneration system are also explained. Examples of application of cogeneration are presented and resolved.

**TOPIC 6. SOLAR THERMAL ENERGY**

The parameters used to evaluate solar radiation at a given location are presented based on the inclination of the solar collector. It is explained how a solar collector works and what are the main characteristics of its components. The technological characteristics of low-temperature solar thermal energy systems and the f-Chart method for their sizing are explained. Technological aspects of medium and high temperature solar thermal energy systems are discussed.

**TOPIC 7. THERMAL TURBOMACHINES**

Introduction to thermal turbomachines. Compressors. Gas turbines. The jet engine.

## Actividades Docentes

**Máquinas y Sistemas Hidráulicos**

Los contenidos de los Temas 1, 2 y 3 se desarrollan durante 3 Jornadas a través de las siguientes actividades docentes:

- 4 Sesiones Expositivas (Sesiones 1, 2, 3 y 4)
- 3 Actividades Prácticas (Actividades 1, 2 y 4)

Los contenidos del Tema 4 se desarrollan durante 2 jornadas a través de las siguientes actividades docentes:

- 1 Sesión Práctica (Sesión 5)
- 1 Actividad Práctica (Actividad 3)

Los contenidos del Tema 5 se desarrollan durante una jornada a través de las siguientes actividades docentes:

- 3 Sesiones Expositivas (Vídeos) (Sesiones 6, 7 y 8)
- 1 Actividad Práctica (Actividad 5)

Una descripción más detallada de las sesiones y actividades práctica se puede encontrar en la Guía Interactiva.

**Máquinas y Sistemas Térmicos**

En la parte de Máquinas y Sistemas Térmicos los contenidos se desarrollarán en torno a las siguientes actividades docentes:

Los contenidos de los 4 primeros temas de Motores Térmicos se desarrollarán en 6 sesiones teóricas durante la mañana de las jornadas 6 y 7 de la asignatura. Estas sesiones téoricas corresponderán a lecciones magistrales en las que se explicarán y expondrán los conceptos básicos de: la clasificación de máquinas y motores térmicos, el funcionamiento de los distintos ciclos de motores, los parámetros y las curvas que permiten caracterizar su funcionamiento, los componentes principales de un motor, la renovación de la carga y las cuestiones tecnologicas asociadas a los distintos métodos usados para aumentar el llenado de los motores. Se pone especial atención en los aspectos tecnológicos de los compresores y los turbocompresores que forman los sistemas de sobrealimentación.

Durante las tardes de las 5 jornadas de la parte térmica se realizará una práctica con el banco de ensayo de motores. La práctica se realiza en grupos de 2-3 alumnos y tiene una duración de 40 minutos. Tras realizar la práctica y con los datos recopilados habrá que elaborar un informe analizando y comentando los resultados obtenidos y su relación con las explicaciones de las sesiones teóricas.

La explicación del trabajo a realizar mediante el sistema de medición OBD en un vehículo se realizará en la mañana de la jornada 7 de la asignatura. La realización del trabajo y del informe correspondiente se realizará durante la tarde de la jornada 7 de la asignatura.

La mañana de la jornada 8 de clase se dedicará, en primer lugar, a realizar el examen tipo test sobre motores térmicos y, después, a una sesión téorico-práctica en la que se explicará el funcionamiento del simulador de motores Lotus Engine Simulation. La tarde de esa jornada se dedicará a realizar el trabajo y el informe con el simulador.

La mañana de la jornada 9 se dedicará a las sesiones teóricas del Tema 6 sobre Energía Solar Térmica. También se explicará el trabajo a realizar de implementar el método f-Chart para dimensionar una instalación de energía solar térmica. La tarde de esa jornada se dedicará a realizar el trabajo y el informe correspondiente. Quedará tiempo para finalizar el informe del trabajo con el simulador LES.

Los contenidos del Tema 5 de Cogeneración se desarrollará en la sesión correspondiente a la jornada 10 de clase. En la sesión teórica se explicarán los tipos de instalaciones de cogeneración, sus modos de funcionamiento y los parámetros que permiten caracterizarlo. Se

describe la tecnología asociada a los diferentes motores de cogeneración (motores alternativos de combustión interna, turbinas de gas, turbinas de vapor y ciclo combinado). En la sesión práctica se calcularán esos parámetros en casos reales.

# METODOLOGÍA DOCENTE Y ACTIVIDADES FORMATIVAS

En la asignatura se emplearán diferentes actividades docentes para conseguir los resultados de aprendizaje y adquirir las competencias. Dichas actividades pretenden armonizar los contenidos teóricos con una práctica orientada a la resolución de problemas reales dentro del ámbito industrial. En estos problemas se busca enfrentar al estudiante con las tareas técnicas y herramientas más habituales que un ingeniero industrial encuentra tanto en las empresas de diseño y fabricación de máquinas térmicas e hidráulicas como del sector energético.

**Sesiones Expositivas**

En estas sesiones se presentarán y desarrollarán los contenidos más importantes que van a ser empleados durantes las sesiones prácticas. Las metodologías docentes empleadas serán:

- Clases magistrales.
- Conferencias. En estas sesiones correrán a cargo de un ponente de reconocida experiencia en el mundo de las máquinas y sistemas térmicos e hidráulicos y versarán sobre temas de interés tecnológica en dicho campo.

Previamente a estas sesiones se propondran algunos contenidos que el alumno deberá haber preparado.

Dedicación.....XXX (H) + XXX (T) horas

**Sesiones Prácticas**

En estas sesiones prácticas se presentará y trabajará con el profesor en los proyectos propuestos o se presentarán nuevos contenidos que no son susceptibles de ser presentados en las sesiones teóricas. Las actividades docentes que se llevarán a cabo en estas sesiones son:

- Visionado y comentario de vídeos
- Prácticas sobre las herramientas computacionales que se van a emplear en los proyectos.
- Presentación y trabajo junto con el profesor de los proyectos o prácticas propuestos.
- Visitas a empresas.

Dedicación.....XXX (H) + XXX (T) horas

**Proyectos y Prácticas**

Los proyectos y prácticas propuestos tienen por objetivo que el estudiante ponga en juego los contenidos presentados en las Sesiones Teóricas y Prácticas. Para ello deberá resolver problemas lo mas realista posible en el diseño de máquinas hidráulicas y térmicas. Como parte de estos proyectos los estudiantes deberán presentar un informe sobre el proyecto.

Dedicación.....XXX (H) + XXX (T) horas

**Estudio Personal**

Para preparar los contenidos sobre los que se les preguntará en el examen (Ver evaluación) y para realizar los proyectos y prácticas.

Dedicación.....XXX (H) + XXX (T) horas

# EVALUACIÓN

La asignatura tiene dos partes bien diferenciadas, Hidráulica y Térmica, **cada una de los cuales tiene el mismo peso en la calificación final**.

**Para aprobar la asignatura es necesario obtener más de un 40% de cada una de las partes**. La nota de cualquiera de las partes aprobada se guardará en la convocatoria extraordinaria.

**Es obligatorio realizar todas las actividades de la asignatura. La falta injustificada a una actividad supone una calificación de NO PRESENTADO.**

**Aquel alumno que se detecte que ha copiado o haya faltado a las normativa respecto a la integridad académica en alguna de las actividades evaluadas recibirá una calificación de Suspenso en toda la asignatura.**

**La entrega fuera de plazo o sin seguir las instrucciones de entrega (nombre del fichero, etc...) llevará asociada una penalización del -15% de la puntuación de cada actividad evaluada.**

La distribución de la calificación en cada una de las partes es la siguiente

**PARTE DE MÁQUINAS Y SISTEMAS HIDRÁULICOS**

**CONVOCATORIA ORDINARIA**

| Evaluación | Peso | Observaciones |
|---|---|---|
| **Actividad 1**. Componentes de una bomba rotodinámica | 10% | • Visionado de Vídeos (5%).<br>• Realización de la Práctica (5%). |
| **Actividad 2**. Ensayo de Curvas Carácterísticas y cavitación | 5% | • Realización de la Práctica. |
| **Actividad 3**. Proyecto Prediseño de una bomba rotodinámica | 50% | • La calificación de esta actividad está influenciada por un examen de conocimientos básicos (*). |
| **Actividad 4**. Accionamientos eléctricos e Industria 4.0. | 5% | • Asistencia.<br>• Participación. |
| **Actividad 5**. Centrales y Turbinas Hidráulicas. | 10% | • Asistencia.<br>• Participación. |
| **Examen.** Actividades 1, 2 y 4. Sesiones 6 y 7. | 20% | |

Universidad de Navarra

**(*)** La calificación de la final de la Actividad 3 ($C_{A3F}$) vendrá dada a partir de la obtenida en dicha actividad ($C_{A3}$) mediante la fórmula:

$$C_{A3F} = C_{A3} \times f_{Ex}$$

- **Examen de conocimientos básicos**. Finalizadas las Jornadas 1 y 2 se realizará un **examen tipo test** sobre los contenidos de las sesiones desarrolladas en dichas jornadas (Sesiones 1, 2, 3 y 4). En función de calificación de este examen $C_{Ex}$, entre 0 y 10, se calculará un factor ($f_{Ex}$) que multiplicará a la calificación obtenida en la Actividad 3. El valor de $f_{Ex}$ viene dado por:

$$f_{Ex}(C_{Ex}) = \begin{cases} 1 \ si \ C_{Ex} \geq 5 \\ \dfrac{C_{Ex}}{5} \end{cases}$$

**CONVOCATORIA EXTRAORDINARIA**

La evaluación de la convocatoria extraordinaria dependerá de aquellas partes de la asignatura que el alumno haya superado en la convocatoria ordinaria.

**PARTE DE MÁQUINAS Y SISTEMAS TÉRMICOS**

**CONVOCATORIA ORDINARIA**

- Video-Informe sobre medidas en motor con sistema OBD.....15%
- Informe medidas motor en banco de ensayos.....15%
- Preguntas de test de MCIA en examen del día 8 de enero.....15%
- Informe sobre caso de simulación en LES de un motor de combustión.....30%
- Informe sobre dimensionamiento sistema EST con método f-Chart.....15%
- Pregunta de teoría larga y Problema de Cogeneración en examen final .....20%

**CONVOCATORIA EXTRAORDINARIA**

La evaluación de la convocatoria extraordinaria dependerá de aquellas partes de la asignatura que el alumno no haya superado en la convocatoria ordinaria.

## HORARIOS DE ATENCIÓN

Universidad de Navarra

El alumno podrá realizar tutorías para consultar dudas de la asignatura en cualquiera de sus partes o actividades. **El día y la hora de la tutoría se establece previamente mandando un correo electrónico al profesor desolicitando ser atendido**.

# BIBLIOGRAFÍA

**Bibliografía Básica**


- Johann Friedrich Gülich, ***Centrifugal Pumps***, 2nd Edition, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2008, 2010. Localízalo en la Biblioteca (versión electrónica)
- Claudio Mataix, ***Turbomáquinas Hidráulicas***, Editorial ICAI, Madrid, 1975. Localízalo en la Biblioteca
- **Igor J. Karassik et al. Manual de Bombas. Diseño, aplicación, especificaciones, operación y mantenimiento**. McGraw-Hilll, 1983. Localízalo en la Biblioteca
- Christopher E. Brennen, ***Hydrodynamics of Pumps***, Concepts ETI, Inc. and Oxford University Press, 1994. Localízalo en la Biblioteca
- Concepts ETI, Inc. ***Designing Pumps with Concepts NREC***. 2006.
- J. R. Serrano Cruz, ***Procesos y Tecnologías de Máquinas y Motores Térmicos***, Editorial UPV, Valencia, 2002.
- D. González Calleja, **Motores térmicos y sus sistemas auxiliares**, Editorial Paraninfo, Madrid, 2012. Localízalo en la Biblioteca
- J. M. Egaña Arregui, ***Motores Alternativos de Combustión Interna***, 1ª ed., Unicopia, San Sebastián, 1998.
- F. Payri, J. M. Desantes, ***Motores de Combustión Interna Alternativos***, Ed. Reverté, Barcelona, 2011. Localízalo en la Biblioteca
- *Lotus Engineering,* ***Getting started using Lotus Engine Simulation*** **V. 5.05**, 2001.
- F. P. Incropera, D. P. De Witt, ***Fundamentos de Transferencia de Calor***, Capítulo 11. Intercambiadores de Calor, 4ª Edición, Pearson Educación, México, 1999. Localízalo en la Biblioteca
- V. Bermúdez et al., ***Tecnología Energética***, Servicio de Publicaciones de la Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, 2000. Localízalo en la Biblioteca
- Javier Irigaray Imaz, **Introducción a la Cogeneración**, Unicopia (Servicio de Publicaciones de la E.S.I. de San Sebastián), San Sebastián, 2000.
- Mario Villares Martín, ***Cogeneración***, Fundación Confemetal, Madrid, 2000. Localízalo en la Biblioteca
- J. M. Sala Lizarraga, ***Cogeneración. Aspectos termodinámicos, tecnológicos y económicos***, Servicio Editorial de la UPV, Bilbao, 1994. Localízalo en la Biblioteca
- José M.ª de Juana et al., **Energías Renovables para el desarrollo**, Paraninfo, Madrid, 2002. Localízalo en la Biblioteca
- J. I. Prieto, **Energía Solar Térmica**, 2ª Ed., Servicio de publicaciones, Universidad de Oviedo, Oviedo, 1998.
- J. R. Howell et al, **Solar-Thermal Energy Systems**, McGraw-Hill, New York, 1982. Localízalo en la Biblioteca
- **Código Técnico de la Edificación**, C.T.E., Ministerio de Vivienda, marzo de 2006, Localízalo en la Biblioteca


**Bibliografía Complementaria**


- David Japikse and William D. Marscher, ***Centrifugal Pump Design and Performance***, Concepts ETi, Inc. 1997.
- David Japikse and Nicholas C. Baines, ***Introduction to Turbomachinery***, Concepts ETI, Inc. 1994, 1997.