

# DISEÑO, SIMULACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE CENTRALES DE CICLO COMBINADO

Curso 2016/2017

(Código: 28801104)

## 1. PRESENTACIÓN

La presente asignatura se centra en el estudio de las plantas de potencia de ciclo combinado de turbinas de gas y de vapor. En la actualidad, la creciente demanda de energía y el funcionamiento del mercado eléctrico han requerido la implantación de plantas de potencia de alto rendimiento, bajo coste de generación y rápida construcción. Las centrales de ciclo combinado han ganado aceptación en este escenario debido a su buen rendimiento, a sus reducidos niveles de emisiones y a su corto tiempo de puesta en marcha en comparación con las plantas de potencia tradicionales. Por tal motivo, es conveniente que los futuros ingenieros y profesionales del sector tengan una adecuada y actualizada formación en un campo de futuro como es el presentado.

Dentro del plan de estudios del Programa Oficial de Posgrado en Investigación en Tecnologías Industriales, la asignatura es de carácter obligatorio en el itinerario Ingeniería Energética y forma parte de la optatividad en los itinerarios en Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Control y en Tecnologías Aplicadas al Medioambiente. Además, la asignatura tiene su continuidad natural en la línea de investigación del mismo programa "Análisis, Simulación y Optimización Termodinámica y Termoeconómica de Sistemas Térmicos".

La asignatura es cuatrimestral con una duración de 4,5 créditos ECTS. Las horas de trabajo por parte del alumno estimadas son:

- Horas estimadas del trabajo del Estudiante: 121
- Horas de Teoría: 21
- Horas de prácticas: 15
- Horas de Trabajo (personal y en grupo) y otras Actividades: 85

Además del estudio teórico, el alumno realizará dos trabajos, individuales o en grupo. Uno consistirá en la elaboración de un pequeño programa de simulación y otro en el estudio y la defensa de un trabajo actual de investigación facilitado por el equipo docente.

La información detallada se encuentra en los apartados sucesivos.

## 2. CONTEXTUALIZACIÓN

El perfil del alumno del presente posgrado es el de un profesional que puede ejercer su actividad, dependiendo de su titulación y especialización, en un amplio abanico de campos. Con la superación del presente posgrado, el alumno estará capacitado para desarrollar actividades de investigación y para transferir los resultados de dicha actividad a su entorno profesional, habiendo focalizado dichas capacidades en el área de especialización que el alumno haya decidido dentro de los itinerarios propuestos. La asignatura Diseño, Simulación y Optimización de Plantas de Potencia de Ciclo Combinado pretende empezar a dotar al alumno de las competencias propias de este tipo de profesionales desde la

perspectiva y con la especialización de la generación de energía a partir de sistemas y fuentes térmicas.

## Relación con el entorno profesional del alumno

El estado actual de bienestar y de progreso demanda con cada vez mayor fuerza la generación de energía y, consecuentemente, exige un notable consumo de energía primaria. En efecto, la intensidad energética por unidad de PIB permanece casi constante en los países desarrollados pero aumenta por unidad de población. El consumo de energía primaria en España prácticamente se ha triplicado durante el periodo comprendido entre 1975 y 2005, y en datos más recientes, ha aumentado más de un 50% desde la década de los 90 hasta la actualidad. Asimismo, en el mismo periodo, el consumo de energía primaria ha aumentado del orden de un 10% en la UE-25 y el consumo mundial un 25% debido a la contribución de países como China o India. Observando el reparto de energía final consumida según fuentes de energía, se observa que, a día de hoy, entorno al 80% de la energía proviene de fuentes fósiles (cerca del 50% del petróleo y el resto del gas natural y del carbón), el 10% es de procedencia nuclear y el resto de origen renovable (incluida la energía hidráulica), dato que tiende al alza año a año. También es reseñable el dato del escaso grado de autoabastecimiento, que en España sólo ronda el 20% (porcentaje alcanzado gracias al aporte de la energía nuclear, la hidráulica y las energías renovables). Cabe destacar, por tanto, que en la actualidad la gran mayoría de la energía consumida en el mundo tiene como origen la combustión, ya que los combustibles fósiles, de los que dependemos fundamentalmente, y algunos combustibles de origen renovable, liberan la energía química asociada a su estructura molecular a través de dicho proceso –y, aunque todavía con incidencia muy escasa, otras energías renovables también generan fluidos con elevada energía térmica (energía solar térmica y energía geotérmica).

Se puede deducir, por tanto, la importancia de formar profesionales que empleen técnicas y dispongan de conocimientos totalmente actualizados que sean capaces de innovar y de mejorar los procesos de producción de energía a partir de fuentes térmicas.

La asignatura se centra en el estudio y la simulación de las plantas de potencia de ciclo combinado de turbinas de gas y de vapor. La comentada creciente demanda de energía y el funcionamiento del mercado eléctrico han requerido la implantación de plantas de potencia de alto rendimiento, bajo coste de generación y rápida construcción. Las centrales de ciclo combinado han ganado aceptación debido a su buen rendimiento, a sus reducidos niveles de emisiones y a su corto tiempo de puesta en marcha en comparación con las plantas de potencia tradicionales. No en vano, en nuestro país se han instalado y se van a instalar o reconvertir un gran número de centrales con esa tecnología. Este tipo de centrales aún el estudio de tecnologías convencionales y el máximo aprovechamiento de la energía residual. Esta unión es de gran interés ya que no sólo se maximizan rendimientos a partir de unos recursos con un cierto coste sino que se extiende el estudio al también máximo aprovechamiento de las energías residuales, concepto que es trasladable a algunas fuentes de energía renovables, como la solar, en el sentido de que es energía “sin coste” de obtención para la que hay que saber diseñar y dimensionar los elementos en orden aprovecharla al máximo. Por tanto, las herramientas y conocimientos adquiridos serán de utilidad no sólo en los sistemas clásicos (máximo aprovechamiento y ahorro de energía primaria) sino también para sistemas basados en tecnologías más recientes o futuras en los que el objetivo es el máximo aprovechamiento de la fuente pero no su ahorro, lo que puede derivar en resultados finales distintos.

La asignatura diseñada tiene una componente de refuerzo de las bases teóricas y de la tecnología de las máquinas y elementos asociados a ellas y otra componente de marcado carácter práctico, en lo relativo a enfoques de simulación práctica, diseño, optimización y estudios termoeconómicos. De esa forma servirá de complemento a disciplinas tales como Ingeniería Térmica, Centrales Termoeléctricas y Máquinas Térmicas. Además, cada año se diseñarán diversos trabajos individuales o en grupo con los que se pretende enseñar al alumno, por un lado, técnicas de análisis numérico y de modelización matemática de este tipo de centrales que podrán ser de utilidad en el ejercicio de su profesión (tanto en la vertiente puramente industrial como en la de la investigación y desarrollo) y, por otro lado, las tendencias recientes en la tecnología de ciclo combinado, esto último mediante la defensa oral de trabajos de investigación obtenidos de las principales fuentes bibliográficas. Ambos trabajos, de simulación y de defensa respectivamente, formarán parte de la evaluación de la asignatura.

## Relación con las competencias a adquirir por el alumno

En lo relativo a los contenidos de la propia asignatura, el alumno adquirirá a su paso por ella las siguientes competencias:

- Análisis termodinámico y análisis exergetico de los ciclos combinados
- Simulación numérica de ciclos combinados
- Conocimiento de las principales tecnologías empleadas y el porqué de su implantación
- Selección de los parámetros de diseño de las centrales
- Comportamiento y operación a cargas parciales y transitorios
- Análisis termoeconómico de las centrales

Por otro lado, en relación a las competencias que el alumno debe adquirir a su paso por la titulación, la presente asignatura fortalecerá o servirá de iniciación a varias de ellas, entre las que destacan:

- Análisis y síntesis
- Resolución de problemas
- Iniciación a la comunicación oral y escrita de conocimientos en lengua propia
- Comunicación escrita en lengua extranjera
- Aplicación de la informática en el ámbito de estudio
- Aprendizaje y trabajo autónomos
- Iniciación a las habilidades de investigación
- Trabajo en equipo
- Capacidad para comunicarse con personas no expertas en la materia

## Relación con el resto de asignaturas del posgrado

La asignatura Diseño, Simulación y Optimización de Plantas de Potencia de Ciclo Combinado es obligatoria en el itinerario en Ingeniería Energética, que centra sus contenidos en las presentes y futuros medios de producción de energía, donde los objetivos de la asignatura tienen su cabida natural. Además, forma parte de la optatividad en los itinerarios en Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Control y en Tecnologías Aplicadas al Medioambiente, en las que tiene cabida en tanto en cuanto los ciclos combinados son, hoy en día, los medios de producción de energía eléctrica a nivel industrial más eficientes y más respetuosos con el medioambiente y en los que, además, el sistema de control tiene un peso significativo tanto en relación con su diseño como en su operación.

Asimismo, la asignatura tiene su continuidad natural en la línea de investigación Análisis, Simulación y Optimización Termodinámica y Termoeconómica de Sistemas Térmicos. Las asignaturas más afines ofertadas en el posgrado, que tratan o completan aspectos de cierta relevancia de la presente asignatura, que completarían la formación del alumno que se quiera especializar en el tema de la asignatura y su línea de investigación más cercana serían:

- Análisis y explotación de los sistemas eléctricos
- Aplicaciones térmicas de las energías renovables

- Optimización no lineal
- Simulación numérica de flujos de fluidos en ingeniería
- Métodos computacionales en ingeniería

### 3. REQUISITOS PREVIOS RECOMENDABLES

El alumno deberá tener una formación termodinámica adecuada y demostrable a nivel de grado universitario. Asimismo es aconsejable que el alumno haya cursado asignaturas relacionadas con disciplinas tales como Ingeniería Térmica, Máquinas Térmicas, Turbomáquinas Térmicas y/o Centrales Termoeléctricas.

Se considera también como requisito el conocimiento de algún lenguaje de programación en un nivel medio. Los lenguajes de programación con los que se puede trabajar son Visual Basic, C, C++, Matlab, Fortran, Pascal o Delphi. Este criterio no será excluyente pero sí muy deseable para no aumentar en exceso las horas de trabajo autónomo del alumno. En caso de no cumplirse se podría obviar si el alumno se encuentra matriculado en alguna asignatura o curso de programación.

Además, se considera necesario tener conocimientos de inglés escrito (lectura) a nivel medio.

### 4. RESULTADOS DE APRENDIZAJE

El objetivo principal de la asignatura es que el alumno profundice en el estudio de las plantas de potencia de ciclo combinado de turbinas de gas y de vapor, tanto a nivel teórico como práctico. Más concretamente, los objetivos se pueden vertebrar en tres líneas de trabajo. Por un lado, se pretende que el alumno adquiera un alto grado de comprensión de este tipo de centrales, tanto desde el punto de vista termodinámico como tecnológico, conociendo los distintos tipos de configuraciones y los diseños que actualmente se instalan, el porqué de la selección de uno u otro tipo dependiendo del escenario energético en el que vayan concurrir y conjugando los parámetros termodinámicos con los económicos. Por otro lado, se pretende que el alumno adquiera destreza en el tratamiento numérico y en la simulación de los sistemas térmicos en general y de los ciclos combinados en particular, lo que revertirá igualmente en una mayor comprensión termodinámica y tecnológica de los sistemas térmicos tratados. Finalmente se pretende hacer ver al alumno el estado actual de la tecnología y las líneas de investigación actualmente en desarrollo por la comunidad internacional.

Para la consecución del primer grupo de objetivos, el programa de la asignatura contiene una serie de capítulos teórico-prácticos que el alumno deberá estudiar y se facilitarán diversas herramientas de simulación con las que se puedan afianzar los conceptos estudiados. Todo ello tendrá como resultado la formación de unos alumnos capaces de ejercer su profesión y las tareas de investigación en el ámbito de los ciclos combinados y de los sistemas térmicos con totales garantías de éxito.

En relación con el segundo de los objetivos mencionados, el temario cuenta con un capítulo dedicado a la simulación numérica y otro dedicado al desarrollo de modelos termoeconómicos. Estos capítulos, predominantemente prácticos, serán la base para la elaboración de un pequeño trabajo de simulación numérica. Con ello, el alumno mejorará su preparación en relación con los aspectos relacionados con la aplicación de técnicas propias de la investigación, la resolución de problemas y la destreza en cuanto al empleo de lenguajes de programación.

Finalmente, en relación con el último grupo de objetivos se ha previsto el desarrollo de diversos trabajos en grupos. En concreto se seleccionarán anualmente varios artículos científicos sobre temas que están actualmente en investigación y/o en desarrollo y que tengan relación directa con la asignatura. Cada grupo de alumno deberá trabajar sobre uno de los artículos, elaborar un resumen en español y proceder a su defensa frente a sus compañeros en un seminario que se constituye como parte de las actividades

correspondientes a las prácticas presenciales de la asignatura. Este tipo de actividades fortalece numerosas competencias, como la comunicación oral y escrita en lengua propia, trabajo de comunicación escrita en lengua extranjera (lectura y síntesis de textos en inglés), aplicación de la informática en el ámbito del estudio (presentaciones en PowerPoint), razonamiento crítico, trabajo en equipo, y capacidad para comunicarse con personas no expertas en la materia.

## 5. CONTENIDOS DE LA ASIGNATURA

Los contenidos de la asignatura se pueden dividir en cinco bloques temáticos. La asignatura comienza con un bloque teórico de conceptos generales, en el que se define qué es un ciclo combinado, se hace un profundo análisis termodinámico de este tipo de centrales y se exponen las configuraciones típicas. El temario prosigue con un bloque teórico-práctico destinado a la simulación numérica de este tipo de plantas y de sus diferentes componentes. En el seno de este bloque se realizará el primer trabajo evaluable de la asignatura, que consiste en el desarrollo de un pequeño programa de simulación de alguno de los componentes o en la integración de varios de ellos. El tercer bloque de la asignatura tiene por objetivo desarrollar habilidades de diseño y selección de las distintas configuraciones posibles en función del tipo de demanda a la que vayan a ser sometidos. El penúltimo bloque, teórico-práctico, se destina al estudio de los modelos termoeconómicos, en los que se mezclan aspectos puramente técnicos con elementos de análisis económicos. En el último bloque, práctico, el alumno trabajará un artículo científico-tecnológico que deberá resumir y exponer al equipo docente y a sus compañeros en sesiones presenciales, y tiene por objetivo desarrollar habilidades de comunicación oral y escrita, actitudes de crítica y síntesis así como conocer el estado actual de la tecnología.

En la tabla siguiente se enumeran los distintos bloques, capítulos y subcapítulos que conforman el contenido de la asignatura. Asimismo, en la tabla se enlazan los distintos bloques con los conocimientos, habilidades y actitudes enumeradas en el epígrafe anterior.

### Bloque I – Conceptos generales

#### 1.- Fundamentos Termodinámicos y clasificación de los ciclos combinados

- 1.1 Definición y clasificaciones
- 1.2 Procesos termo-fluido dinámicos básicos
- 1.3 Termodinámica del ciclo combinado
- 1.4 Análisis exergético de los ciclos combinados

#### 2.- Tecnología actual de las plantas de potencia de ciclo combinado

- 2.1 Tecnología de los principales componentes
- 2.2 Configuraciones y aplicaciones
- 2.3 Centrales ISCC

### Bloque II – Simulación de ciclos combinados

#### 3.- Simulación numérica

- 3.1 Simulación de los ciclos combinados en el punto de diseño
- 3.2 Simulación de los ciclos combinados a cargas parciales
- 3.3 Introducción a la simulación de transitorios

#### T1.- Trabajo de simulación

### Bloque III – Diseño y operación de ciclos combinados

#### 4.- Estudio paramétrico de los ciclos combinados de turbinas de gas y de vapor

- 4.1 Influencia de los parámetros de la turbina de gas
- 4.2 Influencia de la caldera de recuperación de calor
- 4.3 Influencia del ciclo de vapor
- 4.4 Parámetros usuales en las configuraciones actuales

## 5.- Operación a carga parcial

- 5.1 Comportamiento de la turbina de gas
- 5.2 Comportamiento de la caldera de recuperación de calor
- 5.3 Comportamiento del ciclo de vapor
- 5.4 Selección de la configuración en función del tipo de operación

T2. Prácticas virtuales.

## 6.- Operación de centrales ISCC

- 6.1 Selección del punto de integración y dimensionado de los equipos
- 6.2 Comportamiento anual de la central ISCC

Bloque IV – Análisis termoeconómico

## 7.- Análisis termoeconómico de plantas de ciclo combinado

- 7.1 Economía básica de las centrales de ciclo combinado
- 7.2 Modelos termoeconómicos básicos
- 7.3 Coste nivelado de la energía
- 7.4 Modelos de asignación de costes
- 7.5 Optimización termoeconómica
- 7.6 Introducción a otros modelos termoeconómicos

Bloque V – Estado actual de la tecnología

T3.- Estudio, resumen y exposición de un trabajo de investigación actual

## 6.EQUIPO DOCENTE

- [ANTONIO JOSE ROVIRA DE ANTONIO](#)

## 7.METODOLOGÍA

### Metodología

La asignatura Diseño, Simulación y Optimización de Plantas de Potencia de Ciclo Combinado es una asignatura a distancia según el modelo metodológico implantado en la UNED. El alumno deberá realizar una serie de tareas que le permitan alcanzar los objetivos y desarrollar las competencias descritas hasta el momento. Para ello cuenta con los recursos y elementos que se describen a continuación:

*Trabajo autónomo:*

- Estudio teórico por parte del alumno del temario de la asignatura, apoyado por guías y unidades didácticas.

*Trabajo en interacción con el equipo docente:*

- Medios audiovisuales, que complementa las guías didácticas y las unidades didácticas y suplantando las clases teóricas y de problemas propias de las universidades presenciales (se desarrollarán durante el primer año de la asignatura).
- Prácticas virtuales asistidas con ordenador que permiten afianzar los conceptos estudiados.
- Tutorías presenciales.
- Interacción profesor-alumno a través de plataformas y portales electrónicos.
- Defensa de trabajos actuales de investigación (no propia) facilitados por el equipo docente.
- Eventuales prácticas externas como visitas a centrales de ciclo combinado .

### Trabajo en grupo:

- Elaboración de trabajos en grupo (o, llegado el caso, individuales): uno de simulación y otro de defensa de trabajos de investigación.

### Plan de trabajo

En el curso virtual se dispondrá un cronograma y de un cuadro de tiempos para la planificación temporal de cada una de las actividades a desarrollar durante el curso.

## 8. BIBLIOGRAFÍA BÁSICA

LIBRO ACTUALMENTE NO PUBLICADO

ISBN(13):

Título: DISEÑO, SIMULACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DE PLANTAS DE POTENCIA DE CICLO COMBINADO

Autor/es: Rovira De Antonio, Antonio José ;

Editorial: -

Comentarios y anexos:

Se empleará el texto citado debajo, que se pondrá a disposición a través del curso virtual de la asignatura junto con la guía didáctica de la asignatura:

- A. Rovira, "Desarrollo de un modelo para la caracterización termoeconómica de ciclos combinados de turbinas de gas y de vapor en condiciones de carga variable", Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid, 2004.

Es un texto en el que se puede encontrar gran parte de la información necesaria para la asignatura. Cuenta con capítulos dedicados a la descripción de las centrales de ciclo combinado, a la simulación estacionaria de estas centrales, a los modelos termoeconómicos y a la discusión de los posibles diseños y configuraciones.

## 9. BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA

ISBN(13): 9780408013508

Título: THE EXERGY METHOD OF THERMAL PLANT ANALYSIS

Autor/es: Kotas, T. J. ;

Editorial: Butterworths

Buscarlo en librería virtual UNED

Buscarlo en bibliotecas UNED

Buscarlo en la Biblioteca de Educación

Buscarlo en Catálogo del Patrimonio Bibliográfico

ISBN(13): 9780878147365

Título: COMBINED-CYCLE GAS AND STEAM TURBINE POWER PLANTS

Autor/es: Kehlhofer R. ; Bachmann R. ; Nielsen H. ; Warner J. ;

Editorial: Pennwell

Buscarlo en librería virtual UNED

Buscarlo en bibliotecas UNED

Buscarlo en la Biblioteca de Educación

Buscarlo en Catálogo del Patrimonio Bibliográfico

ISBN(13): 9781575241975

Título: COMBINED POWER PLANTS : INCLUDING COMBINED CYCLE GAS TURBINE (CCGT) PLANTS (Reprint edition (November 2001))

Autor/es: Horlock, J. H. ;

Editorial: Krieger Publishing Company

Buscarlo en librería virtual UNED

Buscarlo en bibliotecas UNED

Buscarlo en la Biblioteca de Educación

Buscarlo en Catálogo del Patrimonio Bibliográfico

ISBN(13): 9785030000321

Título: STEAM AND GAS TURBINES

Autor/es: Frolov V. ; Kostyuk, A. ;

Editorial: MIR Publishers, Moscow

Buscarlo en librería virtual UNED

Buscarlo en bibliotecas UNED

Buscarlo en la Biblioteca de Educación

Buscarlo en Catálogo del Patrimonio Bibliográfico

ISBN(13): 9788436253167

Título: INGENIERÍA TÉRMICA

Autor/es: Rovira De Antonio, Antonio José ; Muñoz Domínguez, Marta ;

Editorial: Universidd Nacional de Educación a Distancia

Buscarlo en librería virtual UNED

Buscarlo en bibliotecas UNED

Buscarlo en la Biblioteca de Educación

Buscarlo en Catálogo del Patrimonio Bibliográfico

ISBN(13): 9788474841437

Título: TURBOMÁQUINAS TÉRMICAS : FUNDAMENTOS DEL DISEÑO TERMODINÁMICO

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

Editorial: Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales

Buscarlo en librería virtual UNED

Buscarlo en bibliotecas UNED

Buscarlo en la Biblioteca de Educación

Buscarlo en Catálogo del Patrimonio Bibliográfico

ISBN(13): 9788479787356

Título: CENTRALES TERMICAS DE CICLO COMBINADO. TEORIA Y PROYECTO

Autor/es: Gómez Moñux, Florentino ; Sabugal García, Santiago ;

Editorial: Díaz de Santos

Buscarlo en librería virtual UNED

Buscarlo en bibliotecas UNED

Buscarlo en la Biblioteca de Educación

Buscarlo en Catálogo del Patrimonio Bibliográfico

ISBN(13): 9789681817729

Título: ANÁLISIS TERMODINÁMICO DE PLANTAS ELÉCTRICAS

Autor/es: Haywood, R. W. ;

Editorial: LIMUSA

Buscarlo en librería virtual UNED

Buscarlo en bibliotecas UNED

Buscarlo en la Biblioteca de Educación

Buscarlo en Catálogo del Patrimonio Bibliográfico

#### Comentarios y anexos:

- J. H. Horlock (1992). 1st edition. Oxford: Pergamon Press.  
El libro presenta, con gran claridad en la exposición, un análisis termodinámico y económico de las plantas de potencia combinadas, incluyendo detalles de desarrollos en Europa, Estados Unidos y Japón. Es de gran interés en su conjunto.
- Haywood, R.W. "Análisis termodinámico de las plantas eléctricas", 3ª Edición en castellano, Ediciones Limusa, 1986.  
Constituye un buen libro de introducción a los aspectos energéticos de los ciclos de las turbinas de vapor, turbinas de gas y ciclos especiales. Cabe destacar, además, un apéndice dedicado al estudio económico de los ciclos.
- R. Kehlhofer, J. Warner, H. Nielsen, R. Bachmann (1999). Combined Cycle Gas-Steam Turbine Powerplants. 2nd edition. Tulsa, Oklahoma: PennWell.  
El autor ofrece con esta obra práctica y descriptiva un estudio muy interesante en relación con la tecnología de los ciclos combinados gas-vapor, tanto desde el punto de vista termodinámico como desde el relacionado con los componentes individuales y con la operación de este tipo de plantas. Es un libro muy completo en el que además de describir los principios termodinámicos, los diferentes conceptos de ciclo combinado y la actual tecnología en todos sus aspectos (cargas parciales, control, emisiones), cuenta con un capítulo en el que describe el mercado eléctrico, otro en el que describe los ciclos típicos actualmente instalados y otro de tendencias futuras.
- Kostyuk, A., Frolov, V. (1985) "Steam and Gas Turbines". MIR Publishers, Moscow.  
Libro de la escuela soviética de turbomáquinas. Es un libro claro en la exposición de sus contenidos. Es interesante la parte dedicada al estudio de las turbinas de vapor, en la que se encuentran correlaciones originales para el cálculo de pérdidas.
- Kotas, T.J. (1985) "The Exergy Method of Thermal Plant Analysis", Butterworths.  
Describe la técnica del análisis termodinámico, basada en el concepto de exergía, aplicada al cálculo de centrales térmicas. Es un libro de una gran claridad de exposición, habiéndose convertido ya en un clásico de la termodinámica de las plantas de potencia.
- M. Muñoz, M. Valdés, M. Muñoz (2002). Turbomáquinas Térmicas. Fundamentos del Diseño Termodinámico. Madrid: Ed. Sección de publicaciones ETSII.  
Se trata de un texto sobre diseño termofluidodinámico de turbomáquinas térmicas. Inicia con un primer capítulo introductorio dedicado al análisis del flujo en los procesos de expansión y compresión en conductos. Posteriormente se dedican dos capítulos al estudio de los intercambios de energía en las turbomáquinas, dos capítulos al estudio del flujo bidimensional en turbinas y turbocompresores axiales, uno al estudio del flujo tridimensional y dos al estudio del funcionamiento fuera de diseño y la regulación de estas máquinas. Cada capítulo termina con un ejercicio

- numérico muy completo relativo a la materia recién explicada.
- Muñoz, M., Rovira, A. (2006). "Ingeniería Térmica". UNED. Madrid.  
Es un texto con una clara orientación pedagógica, ya que pertenece a la colección Unidades Didácticas de la UNED. Como es típico en la colección, está dividido en tres unidades didácticas; siendo la segunda y la tercera de ellas las de interés para la presente asignatura. Cuenta con un anexo donde el alumno puede repasar aspectos ya estudiados en otras asignaturas afines para clarificar conceptos.
  - Sabugal, S., Gómez, F. (2006). Centrales Térmicas de Ciclo Combinado. Teoría y Proyecto. Ed. Díaz de Santos, España.  
Es una publicación reciente en la que se aborda el estudio del ciclo combinado desde la perspectiva de la realización de un proyecto industrial. Comienza con unos temas termodinámicos para describir posteriormente las principales configuraciones, con sus criterios de diseño termodinámicos y eléctricos, y finalmente inmersión en el desarrollo del proyecto de una central.

## 10. RECURSOS DE APOYO AL ESTUDIO

Publicaciones periódicas y no periódicas:

(accesibles a través de los recursos electrónicos de la biblioteca de la UNED. Se dispondrán enlaces en el curso virtual)

Entre las publicaciones periódicas se destacan las de las editoriales siguientes:

- ASME
- Elsevier
- IEEE
- Institution of Mechanical Engineers
- Taylor & Francis
- Wiley
- Otros editores

Por otro lado, de entre las publicaciones no periódicas caben destacar las siguientes: anales de congresos, destacando los de ASME y del Institute of Mechanical Engineers.

Otros medios

- Curso virtual de la asignatura (se accede a través de Campus Uned-e). En la plataforma virtual se incluirá la siguiente información: orientaciones para el estudio (Guía Didáctica), foros de comunicación con el equipo docente, tablón de anuncios, grupos de trabajo, pruebas de evaluación (enunciado y soluciones), información sobre prácticas, exámenes de cursos pasados, dibujos y fotografías de elementos constructivos, links de interés, respuesta a preguntas frecuentes, etc.
- Software para prácticas virtuales: diversos programas de simulación que se podrán descargar a través del curso virtual.

## 11. TUTORIZACIÓN Y SEGUIMIENTO

Puede contactar con nosotros en cualquier momento a través de correo electrónico, a través del curso virtual o telefónicamente. A continuación se muestran los datos de contacto y el horario de guardias.

D. Antonio Rovira de Antonio:

Profesor Contratado Doctor

Lunes de 15,00 a 19,00h

Tel.: 91 398 82 24, Fax: 91 398 76 15

Correo electrónico: rovara@ind.uned.es

Departamento de Ingeniería Energética, despacho 2.27, segunda planta

## 12. EVALUACIÓN DE LOS APRENDIZAJES

La evaluación consistirá en una prueba presencial, un trabajo de simulación, pruebas de evaluación a distancia y trabajos de síntesis, así como otros elementos de evaluación que establezca el equipo docente para evaluar la actividad del alumno a lo largo del curso. Las características de los distintos elementos de evaluación y su peso en la calificación final se establecerán al comienzo del curso y podrán consultarse en el curso virtual de la asignatura. Tanto la prueba presencial como el trabajo de simulación tendrán un peso mínimo, cada uno, del 40% de la nota final.

Dado que el periodo lectivo de la asignatura se desarrollará durante el segundo cuatrimestre, la prueba presencial se realizará en la convocatoria de junio o en la de septiembre.

### 13. COLABORADORES DOCENTES

Véase equipo docente.