



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID  
ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR  
DE  
INGENIEROS DE MINAS  
-----

Ríos Rosas, 21  
28003 MADRID.

## **TITULACIÓN: INGENIERO TÉCNICO DE MINAS**

**ESPECIALIDAD EN: RECURSOS ENERGÉTICOS COMBUSTIBLES Y EXPLOSIVOS**

### **DEPARTAMENTO DE SISTEMAS ENERGÉTICOS**

PROGRAMA DE LA ASIGNATURA

#### ***MÁQUINAS TÉRMICAS***

**Curso** : 2º  
**Semestre** : 2º  
**Carácter** : Troncal

**Créditos totales**  
Teóricos : 4  
Prácticos : 2

## **PLAN DE ESTUDIOS 2002**

Edición 1: 2003-09-22

## MÁQUINAS TÉRMICAS: PROGRAMA

### a) *OBJETIVOS Y CONTENIDOS*

#### **BLOQUE 1: Calderas**

##### *OBJETIVOS ESPECÍFICOS*

- 1.1 Interpretar el ciclo de vapor de Rankine a través de sus representaciones gráficas*
- 1.2 Conocer los diferentes tipos de calderas y sus campos de aplicación*
- 1.3 Comprender el esquema de operación de un generador de vapor de altas prestaciones*

##### CONTENIDOS

###### 1.1: CICLO DE VAPOR DE RANKINE.

- Función de la caldera en el ciclo de vapor
- Representaciones gráficas (Diagrama de Mollier)

###### 1.2: TIPOS DE CALDERAS

- Criterios de clasificación de las calderas
- Calderas pirotubulares y acuotubulares
- Calderas de recuperación
- Calderas supercríticas
- Calderas de lecho fluido

###### 1.3: CONSTITUCIÓN DE UN GENERADOR DE VAPOR

- Circuitos Aire – Gas y Agua – Vapor
- Estructura requerida para altas prestaciones

#### **BLOQUE 2: Generación de vapor**

##### *OBJETIVOS ESPECÍFICOS*

- 2.1 Comprender el sistema de funcionamiento de los diferentes tipos de quemadores en relación con los combustibles empleados*
- 2.2 Comprender los procesos de generación y tratamiento del vapor*
- 2.3 Comprender los fundamentos básicos de la circulación del fluido agua-vapor y calcular las características de la misma*
- 2.4 Conocer los diferentes sistemas de regulación de la temperatura del vapor y comprender sus principios de funcionamiento*

## CONTENIDOS

### 2.1: HOGARES Y QUEMADORES

- Fundamentos y cálculos de la combustión
- Preparación y utilización del carbón y otros combustibles sólidos
- Preparación y utilización de combustibles líquidos y gaseosos

### 2.2: EL PROCESO DE VAPORIZACIÓN DEL AGUA

- Leyes de la transformación del agua en vapor y sus representaciones gráficas (Diagrama de Mollier)
- Separación y purificación del vapor. Función del calderín
- Sobrecalentamiento y recalentamiento del vapor
- Condiciones subcríticas y supercríticas de la vaporización

### 2.3: LA CIRCULACIÓN DEL FLUIDO AGUA-VAPOR

- Funciones de la circulación. Clasificación y tipos
- Ecuaciones de equilibrio de la circulación

### 2.4: REGULACIÓN DE LA TEMPERATURA DEL VAPOR

- Medidas de ajuste y de control
- Necesidad de los sistemas de automatización

## **BLOQUE 3: Procesos energéticos y medioambientales en calderas**

### *OBJETIVOS ESPECÍFICOS*

- 3.1 Comprender el funcionamiento de los sistemas de alimentación y precalentamiento del agua y del aire*
- 3.2 Comprender el proceso de funcionamiento de los sistemas de circulación de gases en relación con su aprovechamiento energético*
- 3.3 Comprender los procesos de reducción de las emisiones contaminantes*
- 3.4 Plantear los procesos de cálculo de los sistemas de transferencia de energía.*
- 3.5 Calcular los rendimientos de las calderas*

## CONTENIDOS

### 3.1: ALIMENTACIÓN Y PRECALENTAMIENTO DEL AGUA Y DEL AIRE

- Economizadores
- Clasificación y tipos de calentadores de aire.
- Calentadores recuperativos y regenerativos
- La circulación de gases.
- Función del tiro
- Clasificación y tipos de tiro
- Chimenea y ventiladores
- Condiciones de equilibrio

### 3.2: PROCESOS DE DEPURACIÓN DE HUMOS

- Elementos contaminantes y estándares requeridos
- Medidas primarias de control de emisiones
- Combustión en lecho fluido
- Eliminación de partículas y filtrado de humos
- Sistemas secos y húmedos de reducción de emisiones
- Sistemas regenerativos y no regenerativos

### 3.3: PROCESOS DE TRANSFERENCIA DE ENERGÍA EN CALDERAS

- Transmisión de calor en las zonas de radiación y convección
- Cálculo de temperaturas. Diferencia media logarítmica
- Planteamiento del cálculo de las superficies de intercambio y de las caídas de presión en la circulación de fluidos

### 3.4: RENDIMIENTOS DE LAS CALDERAS

- Las pérdidas energéticas en el proceso de generación de vapor
- Rendimientos de combustión y de transmisión.
- Rendimiento global de la caldera
- Cálculo del rendimiento por el procedimiento directo y por pérdidas separadas

## **BLOQUE 4: Ciclos de turbinas de vapor**

### *OBJETIVOS ESPECÍFICOS*

- 4.1 Conocer los diferentes tipos de turbinas y comprender el funcionamiento de las turbinas de vapor*
- 4.2 Comprender los ciclos de Rankine con sus modificaciones de mejora energética y calcular los rendimientos de los mismos*
- 4.3 Conocer la importancia de los ciclos cogenerativos como proceso de integración y optimización energética*
- 4.4 Calcular por ordenador rendimientos y otras funciones energéticas*
- 4.5 Simular en ordenador supuestos prácticos de ciclos de vapor*

### CONTENIDOS

#### 4.1: CLASIFICACIÓN Y TIPOS DE TURBINAS

- La función de la turbina en el ciclo de Rankine
- La situación de las turbinas en el conjunto de las máquinas
- Conceptos fundamentales de las turbinas
- Constitución y características de las turbinas de vapor
- Aplicaciones de las turbinas de vapor
- Los diferentes criterios de clasificación

#### 4.2: CICLOS DE FUNCIONAMIENTO DE LAS TURBINAS DE VAPOR

- Tendencias y modificaciones del ciclo de Rankine
- Recalentamiento intermedio
- Ciclo de Ericsson o de aproximación al ciclo de Carnot
- Ciclo regenerativo

- Representaciones gráficas(Diagrama de Mollier)
- Rendimientos de los diferentes ciclos
- Ciclo cogenerativo
- Rendimiento global
- Ciclo binario

## **BLOQUE 5: Fundamentos de las turbomáquinas térmicas**

### *OBJETIVOS ESPECÍFICOS*

- 5.1 Conocer los diferentes tipos de turbomáquinas, sus características diferenciadoras y sus aplicaciones.*
- 5.2 Comprender el proceso termodinámico de transferencia de energía en las turbomáquinas.*
- 5.3 Comprender el proceso de escalonamiento de las turbomáquinas.*
- 5.4 Comprender el proceso termodinámico de expansión en las turbinas de acción y de reacción.*
- 5.5 Interpretar los diagramas básicos de funcionamiento de turbomáquinas*
- 5.6 Calcular rendimientos en los diferentes tipos de turbomáquinas.*
- 5.7 Definir los criterios de selección de turbomáquinas*

### CONTENIDOS

#### 5.1: CLASIFICACIÓN Y TIPOS DE TURBOMÁQUINAS TÉRMICAS

- La máquina térmica de fluido
- La situación de las turbomáquinas en el conjunto de las máquinas
- Turbomáquinas motoras y generadoras
- Aplicaciones características de las turbomáquinas

#### 5.2: ECUACIÓN FUNDAMENTAL DE LAS TURBOMÁQUINAS

- Formulación de la ecuación fundamental
- Ecuaciones energéticas en términos absolutos y relativos
- Aplicaciones a las turbinas y a los turbocompresores
- Entalpías de parada
- Grado de reacción de las turbomáquinas

#### 5.3: ESCALONAMIENTOS EN LAS TURBOMÁQUINAS

- Escalonamientos en las turbinas
- Rendimiento de los escalonamientos de acción y de reacción
- Rendimientos del escalón y del conjunto de la máquina
- Escalonamientos en los turbocompresores

#### 5.4: ESTUDIO DE LAS TURBINAS DE ACCIÓN

- Características de las turbinas de acción
- Escalonamiento de acción con presión constante en el rotor.
- Escalonamiento de acción con entalpía constante en el rotor
- Escalonamiento de velocidad. Rueda Curtis
- Representaciones gráficas

#### 5.5: ESTUDIO DE LAS TURBINAS DE REACCIÓN

- Características de las turbinas de reacción
- Escalonamiento de grado de reacción 0,5 con recuperación de velocidad de salida.
- Álabes torsionados.
- Triángulos de velocidad.
- Representaciones gráficas

## **BLOQUE 6: Motores de combustión interna**

### *OBJETIVOS ESPECÍFICOS*

- 6.1 Comprender el funcionamiento de los motores con movimiento alternativo y las diferencias de los ciclos de funcionamiento básicos.*
- 6.2 Comprender los procesos de carburación, inyección, distribución, ignición y combustión*
- 6.3 Calcular la potencia y comprender los medios para aumentarla*
- 6.4 Interpretar las curvas características de funcionamiento de los motores de combustión interna*
- 6.5 Seleccionar motores de combustión interna para aplicaciones básicas.*

### CONTENIDOS

#### 6.1: MOTORES DE MOVIMIENTO ALTERNATIVO

- Origen y análisis del mecanismo biela-manivela
- Presiones en el cilindro. Diagramas
- Distribución y períodos

#### 6.2: CICLO OTTO Y CICLO DIESEL

- Influencia del índice de compresión y la relación aire-combustible
- Diferencias entre proceso ideal y real

#### 6.3: CARBURACIÓN. FORMACIÓN Y RELACIÓN DE LA MEZCLA

- Sistema de carburación y medios para aumentar la relación aire combustible
- Inyección. Tipos de inyección. Aplicación para motores diesel y de gasolina

#### 6.4: CONDUCTOS DE ADMISIÓN Y ESCAPE

- Distribución. Válvulas y su situación
- Elementos auxiliares

#### 6.5: LA IGNICIÓN EN EL MOTOR DE GASOLINA

- Encendido por alta tensión.
- Temporización del encendido.
- Diseño de la cámara de combustión.
- Detonación

#### 6.6: POTENCIA. PÉRDIDAS Y RENDIMIENTOS

- Curvas características.
- Medios de aumentar la potencia

## 6.7: CRITERIOS DE SELECCIÓN DE MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA

### **BLOQUE 7: Turbinas de gas**

#### *OBJETIVOS ESPECÍFICOS*

- 7.1 Conocer la naturaleza de las turbinas de gas y sus aplicaciones*
- 7.2 Comprender los esquemas de funcionamiento*
- 7.3 Comprender las modificaciones al ciclo que mejoran el rendimiento y los tipos de ciclo*
- 7.4 Seleccionar turbinas de gas para aplicaciones concretas.*

#### CONTENIDOS

##### 7.1: CONSTITUCIÓN

- Turbinas de gas a volumen y presión constante
- Esquemas de funcionamiento
- Ciclos abiertos y cerrados
- Temperaturas y combustibles

##### 7.2: APLICACIONES

- Comparación con las turbinas de vapor
- Aplicaciones típicas
- Criterios de selección

### **BLOQUE 8: Introducción a la cogeneración con gas**

#### *OBJETIVOS ESPECÍFICOS*

- 8.1 Comprender el concepto de cogeneración y de trigeneración*
- 8.2 Conocer los diferentes sistemas de cogeneración*
- 8.3 Establecer diferentes sistemas de cogeneración*
- 8.4 Comprender el concepto de ciclo combinado con turbina de gas*
- 8.5 Establecer los diferentes sistemas de ciclo combinado con turbina de gas*
- 8.6 Seleccionar los elementos más adecuados para aplicaciones concretas*

#### CONTENIDOS

##### 8.1: COGENERACIÓN

- Producción combinada de calor y electricidad
- Concepto de cogeneración
- Producción combinada de calor, electricidad y frío
- Concepto de trigeneración

- Aprovechamiento de energía en cascada
- Concepto de energía total

## 8.2: CICLOS COMBINADOS DE GAS

- Concepto de ciclo combinado
- Configuraciones tecnológicas del ciclo combinado
- Descripción del proceso y de sus componentes
- Factores que afectan a la potencia y al rendimiento
- Alternativas de ciclo combinado
- Ventajas del ciclo combinado

## **BLOQUE 9: Máquinas soplantes**

### *OBJETIVOS ESPECÍFICOS*

- 9.1 Comprender el fenómeno de la compresión del aire y sus leyes*
- 9.2 Conocer los diferentes sistemas de compresión*
- 9.3 Establecer las diferencias entre los compresores en función de sus aplicaciones*
- 9.4 Establecer las diferencias de ventiladores en función de aplicaciones*
- 9.5 Interpretar curvas características de ventiladores y compresores*
- 9.6 Seleccionar compresores y ventiladores para aplicaciones concretas*

### CONTENIDOS

#### 9.1: COMPRESORES

- El aire atmosférico. Propiedades
- Compresión con y sin refrigeración
- Elección de presiones intermedias
- Compresor de pistón
- Clasificación de compresores
- Aplicaciones
- Curvas características

#### 9.2: VENTILADORES

- Clasificación
- Aplicaciones
- Curvas características

#### 9.3: APLICACIONES

- Criterios de selección
- Aplicaciones de compresores y ventiladores

## **b) BIBLIOGRAFÍA**

BÁSICA:

- ALEGRÍA, F. *Calderas de vapor*. Apuntes ETSI Minas, Madrid, 1999.
- ALEGRÍA, F. *Turbinas de vapor*. Apuntes ETSI Minas, Madrid, 1995.
- GONZÁLEZ-BAYLÍN, J. *Generadores y Motores Térmicos(Motores)*. Apuntes ETSI Minas, Madrid, 1990.
- MUÑOZ, M.; PAYRI, F. *Turbomáquinas Térmicas*. Servicio de Publicaciones de la ETSI Industriales, Madrid, 1994.

COMPLEMENTARIA:

- AGÜERA, J. *Termodinámica lógica y motores térmicos*. Ciencias 3, S.A., Madrid 1999.
- ALEGRÍA, F. et al. *Técnicas de conservación de energía en la industria (Calderas y turbinas)*. Servicio de Publicaciones del MINER, Madrid, 1982.
- BABCOCK & WILCOX. *Steam, its generation and Use*. Babcock & Wilcox, New York, 1992.
- COMBUSTION. *Fossil power systems*. Combustion Engineering, Windsor CT, 1993.
- CPCU. *Vapor de agua, teoría y aplicaciones*. Limusa, México D.F., 1987.

**c) PRÁCTICAS EN GRUPOS REDUCIDOS**

Consistirán en la realización de esquemas de supuestos de simulación, así como en la ejecución de los cálculos correspondientes para la obtención de las funciones energéticas planteadas.

Simulación de ciclos de vapor.

- Análisis de los elementos representativos de los principales equipos constituyentes del ciclo
- Representaciones gráficas de los elementos y de los ciclos completos en los diagramas T-S y H-S

Cálculos de las funciones energéticas de los ciclos de vapor.

- Energía aportada por la caldera en el calentamiento del agua, la vaporización, sobrecalentamiento y recalentamiento del vapor
- Energía útil generada por la turbina en todas sus fases de alta, media y baja presión
- Extracciones y tomas de vapor
- Influencia de la bomba de alimentación del agua
- Energía cedida al condensador
- Pérdidas energéticas en el proceso de expansión del vapor
- Rendimientos de los ciclos simple, con recalentamiento intermedio, regenerativo y cogenerativo.

Nº de alumnos por grupo: 10

**d) PROCEDIMIENTO DE EVALUACIÓN**

El examen de la asignatura constará de dos partes, una teórica, **T**, consistente fundamentalmente en preguntas cerradas o de contestación breve, pero sin renunciar a cuestiones de demostración o de desarrollo; y otra práctica, **P**, consistente en la resolución de una serie de ejercicios o supuestos prácticos. Cada una de estas pruebas se valorará de **0** a **10** puntos.

Se harán preguntas esporádicas en clase acerca de conceptos básicos y sencillos explicados en la misma. Cada pregunta correcta se valorará con **1** y la incorrecta con **0**. La nota global de clase, **C**, será la media de las puntuaciones obtenidas en las preguntas de clase. La realización de trabajos personales puede

contribuir a incrementar esta nota, bien formando parte de ella como una pregunta más, o bien sustituyendo preguntas erróneas o no contestadas. Pero en todo caso siempre será  $C \leq 1$ .

La nota final de la asignatura será:

$$N = (T+P)/2 + C$$

Cuando  $N$  supere el 10, podría pensarse en la posibilidad de conceder Matrícula de Honor, a criterio del profesor.