Guía Docente:

TERMODINÁMICA APLICADA

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

I.- IDENTIFICACIÓN

NOMBRE DE LA ASIGNATURA: Termodinámica Aplicada
CARÁCTER: Obligatoria
MATERIA: Termodinámica e Ingeniería Térmica
MÓDULO: Ingeniería Industrial
TITULACIÓN: Grado en Ingeniería Química
SEMESTRE/CUATRIMESTRE: Segundo (segundo curso)
DEPARTAMENTO: Ingeniería Química

PROFESOR/ES RESPONSABLE/S:

Grupo A		
Teoría **Seminario** **Tutoría**	**Profesor:** **Departamento:** **Despacho:** **e-mail:**	Dr. GABRIEL OVEJERO ESCUDERO Ingeniería Química QA-151 govejero@quim.ucm.es
Teoría **Seminario** **Tutoría**	**Profesor:** **Departamento:** **Despacho:** **e-mail:**	Dr. JOSÉ MARÍA GÓMEZ MARTÍN Ingeniería Química QA-143 segojmgm@quim.ucm.es
Seminario	**Profesor:** **Departamento:** **Despacho:** **e-mail:**	Dr. EDUARDO DÍEZ ALCÁNTARA Ingeniería Química QA-171 ediezalc@quim.ucm.es

II.- OBJETIVOS

■ OBJETIVO GENERAL

El objetivo de este curso es el estudio de distintas aplicaciones de los principios termodinámicos a diferentes operaciones de separación, máquinas térmicas y procesos de la industria química.

El objetivo general es proporcionar al estudiante un conocimiento extenso y profundo sobre los principales métodos de estimación y cálculo de las propiedades termodinámicas relacionadas con el equilibrio entre fases y el equilibrio químico, así como estudiar los métodos de análisis termodinámicos (energéticos y exergéticos) para el diseño de sistema térmicos más eficientes.

■ OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Resolver problemas de fluidos reales utilizando ecuaciones volumétricas de estado.
- Identificar los criterios de equilibrio en sistemas sujetos a diferentes restricciones.
- Identificar las condiciones de equilibrio entre fases.
- Calcular la fugacidad de un compuesto puro.

- Utilizar la fugacidad en el cálculo del equilibrio líquido–vapor.
- Obtener los criterios del equilibrio entre fases en sistemas multicomponentes.
- Distinguir entre mezclas ideales y mezclas no ideales.
- Entender los conceptos de propiedades de exceso y coeficientes de actividad.
- Calcular la fugacidad de un compuesto en una mezcla multicomponente.
- Utilizar modelos de coeficientes de actividad, tanto si se dispone de datos experimentales como cuando se deben predecir en ausencia de datos experimentales.
- Saber elegir el modelo termodinámico más adecuado al sistema en estudio.
- Calcular el punto de burbuja, punto de rocío y vaporización parcial de sistemas ideales y no ideales.
- Comprender la importancia del equilibrio líquido–vapor en la operación de separación de la destilación.
- Calcular la solubilidad de un gas en un líquido.
- Calcular las composiciones de equilibrio cuando se mezclan dos líquidos parcialmente miscibles.
- Calcular las composiciones de equilibrio cuando se mezclas dos líquidos parcialmente miscibles y su vapor.
- Calcular la solubilidad de un soluto en una fase fluida.
- Calcular el equilibrio químico de un sistema monofásico con una sola reacción química.
- Calcular el equilibrio químico de un sistema multifásico con varias reacciones químicas.
- Calcular la entalpía de un compuesto puro en un sistema monofásico y en un sistema bifásico en equilibrio.
- Calcular la entalpía de mezclas multicomponentes en un sistema multifásico en condiciones de equilibrio.
- Calcular la exergía en sistemas cerrados y abiertos.
- Calcular la eficiencia exergética en diferentes sistemas.
- Realizar el análisis exergético de sistemas térmicos para la producción de potencia.
- Estudiar las variables que afectan a un sistema de combustión (poder calorífico, temperatura de llama, punto de rocío, etc.).
- Realizar los balances de materia y energía en un sistema de combustión.
- Calcular la exergía química de un proceso reactivo.
- Conocer el comportamiento del vapor de agua y obtener sus propiedades de tablas.
- Comprender los fundamentos de las máquinas térmicas utilizadas en los ciclos de potencia.
- Modelar termodinámicamente los dispositivos empleados para la generación de potencia.
- Calcular el rendimiento térmico en turbinas de vapor y de gas y conocer las modificaciones para mejorar su eficiencia.
- Calcular el coeficiente de operación en sistemas de refrigeración y conocer las modificaciones para mejorar su eficiencia.

III.- CONOCIMIENTOS PREVIOS Y RECOMENDACIONES

■ CONOCIMIENTOS PREVIOS

■ RECOMENDACIONES

Se recomienda haber cursado la asignatura "*Termodinámica y Cinética Química*" de 2º curso (primer semestre).

IV.- CONTENIDOS

■ BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS CONTENIDOS

Propiedades termodinámicas de los fluidos reales. Termodinámica del equilibrio entre fases. Equilibrio en las reacciones químicas. Análisis exergético de sistemas. Turbinas de vapor y gas. Máquinas frigoríficas.

■ PROGRAMA

Tema 1: **Termodinámica del equilibrio entre fases**

Estado de equilibrio. Criterios de equilibrio. El potencial químico. Equilibrio en un sistema multifásico cerrado. Ecuación de Gibbs-Duhem. La regla de las fases. Fugacidad y coeficiente de fugacidad. Sistemas ideales. Actividad y coeficiente de actividad.

Tema 2: Cálculo de fugacidad y coeficiente de fugacidad

Relaciones básicas. Ecuaciones de estado y expresiones de cálculo.

Tema 3: **Cálculo de coeficientes de actividad de mezclas líquidas**

Coeficientes de actividad a partir de las funciones de exceso. Ecuaciones de Wilson, NRTL y UNIQUAC. Estimación de coeficientes de actividad por métodos de contribución de grupos: UNIFAC. Coeficientes de actividad a partir de medidas experimentales de equilibrio.

Tema 4: Diagramas de equilibrio entre fases

Diagramas de equilibrio de componentes puros. Diagramas de equilibrio de mezclas binarias y ternarias. Diagramas de equilibrio de mezclas multicomponentes.

Tema 5: **Equilibrio líquido-vapor**

Razón de equilibrio líquido-vapor. Razones de equilibrio independientes de la composición. Razones de equilibrio dependientes de la composición. Solubilidad de gases en líquidos.

Tema 6: **Equilibrio líquido-líquido**

Miscibilidad y estabilidad termodinámica en el equilibrio líquido-líquido. Mezclas binarias. Mezclas ternarias y multicomponentes.

Tema 7: **Equilibrio líquido-sólido**

Solubilidad de sólidos en líquidos. Solubilidad de sólidos y líquidos en fluidos supercríticos.

Tema 8: **Entalpías de mezcla**

Entalpías molares de compuestos puros. Entalpías molares parciales de mezcla. Diagramas entálpicos de mezclas binarias. Entalpías de reacción

Tema 9: **Equilibrio químico**

Equilibrio químico en sistemas de una sola fase. Composiciones de equilibrio. Equilibrio químico de varias reacciones en una sola fase. Combinación de equilibrio químico y equilibrio entre fases.

Tema 10. **Termodinámica del vapor de agua**

Introducción. El agua en estado líquido. Vapor de agua saturado. Vapor de agua recalentado. Tablas y diagramas para el vapor de agua.

Tema 11: **Análisis exergético de sistemas**

Concepto de exergía. Balances exergéticos en sistemas cerrados. Balances exergéticos en sistemas abiertos. Eficacia exergética de equipos.

Tema 12: **Combustión**

Combustibles. Balances de materia en sistemas de combustión. Balances de energía. Poder calorífico de los combustibles. Temperatura de combustión adiabática. Balances de entropía. Análisis exergético de la combustión.

Tema 13: **Turbinas de vapor**

Introducción. Funcionamiento de una central térmica. El ciclo Rankine. El ciclo Rankine con recalentamiento intermedio del vapor. Ciclo de Rankine regenerativo. Sistemas de cogeneración.

Tema 14: **Turbinas de gas**

Introducción. Aplicaciones de la turbinas de gas. Ciclo de Brayton. Ciclos de Brayton modificados. Ciclos combinados: gas-vapor.

Tema 15: **Máquinas frigoríficas**

Introducción. Refrigeración por compresión de vapor. Tipos de refrigerantes. Sistemas de compresión en cascada. Refrigeración por absorción. La bomba de calor. Refrigeración por gas: Ciclo de Brayton inverso.

V.- COMPETENCIAS

GENERALES:

- **CG1-MII1:** Utilizar conceptos de materias básicas y tecnológicas que le capacite para el aprendizaje autónomo de nuevos métodos y teorías y para abordar nuevas situaciones.
- **CG4**: Resolver problemas en el área de la ingeniería con iniciativa, capacidad de decisión y razonamiento crítico.

- **ESPECÍFICAS:**
  - **CE7-T1**: Aplicar los Principios de la Termodinámica en diferentes tipos de sistemas.
  - **CE7-T2**: Plantear los criterios de equilibrio y estabilidad de los sistemas y saber aplicarlos a los equilibrios de fases, al equilibrio químico y a la combustión.
  - **CE7-T9**: Aplicar los Principios de la Termodinámica a diferentes tipos de sistemas industriales y tecnológicos.
  - **CE7-T10**: Calcular los parámetros y variables que definen el equilibrio entre fases y el equilibrio químico.
  - **CE7-T11**: Diseñar algunas instalaciones y dispositivos relacionados con el calor y el frío: turbinas de vapor y gas, máquinas frigoríficas.
- **TRANSVERSALES:**
  - **CT1**: Demostrar capacidad de análisis y síntesis
  - **CT2**: Demostrar capacidad para la resolución de problemas.
  - **CT5**: Gestionar adecuadamente la información disponible (bibliografía, bases de datos especializadas y recursos accesibles desde internet).
  - **CT8**: Demostrar capacidad para el razonamiento crítico y autocrítico.

VI. – HORAS DE TRABAJO Y DISTRIBUCIÓN POR ACTIVIDAD

Actividad	Presencial (horas)	Trabajo autónomo (horas)	Créditos
Teoría	30	55	3,4
Seminarios	15	27,5	1,7
Tutorías	4	6	0,4
Exámenes	12,5	---	0,5
Total	**61,5**	**88,5**	**6**

VII.- METODOLOGÍA

El tiempo lectivo del curso se divide en clases teóricas, seminarios y tutorías.

La **teoría** se desarrollará en un solo grupo, formado por el conjunto de todos los estudiantes matriculados en la asignatura. Las **clases teóricas** consistirán, de forma mayoritaria, en lecciones magistrales en las que se expondrán los conocimientos teóricos necesarios para resolver los ejemplos prácticos que se ven durante el curso.

Los **seminarios** se desarrollarán en dos grupos, cada uno de los cuales está formado por la mitad de los estudiantes matriculados en la asignatura. En estas clases se abordarán tanto la resolución de problemas previamente propuestos como algunos temas de carácter complementario y eminentemente prácticos.

Las **tutorías** se desarrollarán en cuatro grupos, cada uno de los cuales está formado por la cuarta parte de los estudiantes matriculados en la asignatura. En las tutorías se supervisará el progreso de los estudiantes en su **trabajo personalizado**, resolviendo sus dudas.

Se utilizará el **Campus Virtual** de la UCM como instrumento para poner a disposición de los estudiantes el material que se utilizará en las clases teóricas y de seminario, y como medio de comunicación entre el profesor y los estudiantes.

VIII.- BIBLIOGRAFÍA

BÁSICA:

- PRAUSNITZ, J.M.; LICHTENHALER, R.N. GOMES DE ACEVEDO, E.: "*Termodinámica molecular de los equilibrios de fases*", 3ª ed., Prentice-Hall, Madrid, 2000.
- SMITH, J.M., VAN NESS, H.C. ABBOTT, M.M.: "*Introducción a la Termodinámica en Ingeniería Química*". McGraw Hill de México; México. Traducción de la 5ª Ed. en inglés. 1997.
- MORAN, M.; SHAPHIRO, N.: "*Fundamentos de Termodinámica Técnic*a", Reverté, Barcelona, 2004.

COMPLEMENTARIA:

- REID, R.C.; PRAUSNITZ, J.M., POLING, B.E.: "*The Properties of Gases and Liquids*", 4ª ed., McGraw Hill Book Co.; New York, 1987.
- HOUGEN, O.A.; WATSON, K.M.; RAGATZ, R.A.: "*Principios de los Procesos Químicos. Tomo II. Termodinámica*", 2ª ed., Reverté; Barcelona, 1978.
- WALAS, S.M.: "*Phase Equilibria in Chemical Engineering*", Butterworth Publishers; Boston, MA. 1985.
- ÇENGEL, Y.A; BOLES, M.A.: "*Thermodynamics: an Engineering Approach*", 3ª ed., McGraw-Hill Book Co.; New York, 1998.
- DE LUCAS, A.: "*Termotecnia Básica para Ingenieros Químicos: Bases de Termodinámica Aplicada*", Ed. Universidad de Castilla-La Mancha, 2004.
- DE LUCAS, A.: "*Termotecnia Básica para Ingenieros Químicos: Procesos Termodinámicos y Máquinas*", Ed. Universidad de Castilla-La Mancha, 2004.

IX.- EVALUACIÓN

■ EXÁMENES ESCRITOS 70%

La evaluación de las competencias adquiridas en la asignatura (CG1-MII1, CG4, CE7-T1, CE7-T2, CE7-T9, CE7-T10, CE7-T11, CT1, CT2, CT8) se realizará mediante dos exámenes parciales escritos, de carácter principalmente práctico, que representan el 70% de la evaluación global. Uno de los exámenes se programará a la mitad del curso, aproximadamente, y el otro al finalizar éste. Los estudiantes que superen los dos exámenes parciales, con una nota de al menos 4,0 sobre 10,0 en cada uno de ellos, y cuya nota media sea al menos de 5,0 sobre 10,0, no estarán obligados a presentarse al examen final (convocatorias ordinaria y extraordinaria). Será necesario obtener una puntuación mínima de 5,0 puntos sobre 10,0 en el examen final para acceder a la calificación global de la asignatura. Para la convocatoria extraordinaria se mantendrán las notas del trabajo personal y de las actividades dirigidas.

■ TRABAJO PERSONAL 20%

La evaluación del trabajo de aprendizaje individual realizado por el estudiante se realizará teniendo en cuenta la destreza del estudiante en la resolución de problemas y ejercicios de un conjunto de problemas modelo de cada una de las partes de la asignatura, que deberán entregarse obligatoriamente antes de su discusión y resolución en las clases de seminario.
La evaluación permitirá conocer el grado de consecución de las competencias CG4, CE7-T2, CE7-T11, CT1, CT2, CT8. El trabajo personal representa el 20% de la evaluación global.

■ ACTIVIDADES DIRIGIDAS (TRABAJOS) 10%

Cada estudiante deberá desarrollar a lo largo de la asignatura un trabajo personalizado, propuesto por el profesor. El profesor valorará en las tutorías dirigidas tanto el trabajo como la exposición y el análisis crítico efectuado por sus compañeros. La evaluación permitirá conocer el grado de consecución de las competencias CG4, CT1, CT2, CT5, CT8. El trabajo de tutorías dirigidas representa el 10% de la evaluación global.

■ ASISTENCIA Y PARTICIPACIÓN ACTIVA EN LAS CLASES

Para poder acceder a la evaluación global de la asignatura, el estudiante debe haber participado al menos en el 70% de las actividades presenciales de aula (teoría y seminarios) y en el 100% de las tutorías asignadas.

PLANIFICACIÓN DE ACTIVIDADES – CRONOGRAMA 2009/2010

TEMA	ACTIVIDAD	HORAS	GRUPOS	INICIO	FIN
1. Termodinámica del equilibrio entre fases	Teoría	2	1	1ª semana	
	Seminario	1	2	1ª semana	
2. Cálculo de fugacidad y coeficiente de fugacidad	Teoría	3	1	2ª semana	3ª semana
	Seminario	1	2	2ª semana	
3. Cálculo de coeficientes de actividad de mezclas líquidas	Teoría	3	1	3ª semana	4ª semana
	Seminario	2	2	3ª semana	4ª semana
4. Diagramas de equilibrio entre fases	Teoría	1	1	5ª semana	
	Seminario	1	2	5ª semana	
5. Equilibrio líquido-vapor	Teoría	2	1	5ª semana	6ª semana
	Seminario	1	2	6ª semana	
6. Equilibrio líquido-líquido	Teoría	2	1	6ª semana	7ª semana
	Seminario	1	2	7ª semana	
7. Equilibrio líquido-sólido	Teoría	1	1	7ª semana	
8. Entalpías de mezcla	Teoría	2	1	8ª semana	
	Seminario	1	2	8ª semana	
9. Equilibrio químico	Teoría	2	1	9ª semana	
	Seminario	1	2	9ª semana	
10. Termodinámica del vapor de agua	Teoría	1	1	10ª semana	
	Seminario	1	2	10ª semana	
11. Análisis exergético de sistemas	Teoría	2	1	10ª semana	11ª semana
	Seminario	1	2	11ª semana	
12. Combustión	Teoría	1	1	11ª semana	

TEMA	ACTIVIDAD	HORAS	GRUPOS	INICIO	FIN
13. Turbinas de vapor	Teoría	3	1	12ª semana	13ª semana
	Seminario	2	2	12ª semana	13ª semana
14. Turbinas de gas.	Teoría	2	1	13ª semana	14ª semana
	Seminario	1	2	14ª semana	
15. Máquinas frigoríficas.	Teoría	3	1	14ª semana	15ª semana
	Seminario	1	2	15ª semana	
Tema 1 a Tema 15.	Tutoría	4	4	Semanas 5, 8, 11 y 14	

RESUMEN DE LAS ACTIVIDADES

Actividad docente	Competencias asociadas	Actividad Profesor	Actividad alumno	Procedimiento de evaluación	P	NP	Total	C
Teoría	CG1-MII1, CE7-T2, CE7-T9	Exposición verbal de las líneas maestras de cada tema del programa.	Atención y participación activa en el desarrollo de la clase.	Exámenes escritos.	30	55	85	
Seminarios	CG4, CE7-T2, CE7-T11, CT1, CT2, CT8	Planteamiento y resolución de cuestiones y problemas de carácter numérico.	Discusión y resolución de las cuestiones y problemas propuestos.	Resolución de las cuestiones y problemas propuestos y participación en su discusión.	15	27,5	42,5	20%
Tutorías	CG4, CT1,CT2, CT5, CT8	Supervisión del progreso de los estudiantes en su trabajo personal.	Desarrollo de su trabajo personal.	Valoración del trabajo realizado por el estudiante en el desarrollo del trabajo personal propuesto.	4	6	10	10%
Exámenes	CG1-MII1, CG4, CE7-T1, CE7-T2, CE7-T9, CE7-T10, CE7-T11, CT1, CT2, CT8	Diseño y corrección del examen. Calificación del alumno.	Realización del examen.	Examen.	12,5	---	12,5	70%
P : Presenciales; NP: no presenciales (trabajo autónomo); C: calificación								