



Guía Docente:

INGENIERÍA TÉRMICA



FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS
UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID
CURSO 2014-2015



I.- IDENTIFICACIÓN

NOMBRE DE LA ASIGNATURA: Ingeniería Térmica
NÚMERO DE CRÉDITOS: 9
CARÁCTER: Obligatoria
MATERIA: Termodinámica e Ingeniería Térmica
MÓDULO: Ingeniería Industrial
TITULACIÓN: Grado en Ingeniería Química
SEMESTRE/CUATRIMESTRE: Anual (tercer curso)
DEPARTAMENTO/S: Ingeniería Química

PROFESOR/ES RESPONSABLE/S:

| Grupo A | |
|---|--|
| Teoría Seminario Tutoría | Profesora: MARÍA DOLORES ROMERO DÍAZ Departamento: Ingeniería Química Despacho: QA-152 e-mail: mdolores@quim.ucm.es |
| | Profesor: JUAN GARCÍA RODRÍGUEZ Departamento: Ingeniería Química Despacho: QA-143 e-mail: juangcia@quim.ucm.es |
| Prácticas | Coordinador: EDUARDO DÍEZ ALCÁNTARA Departamento: Ingeniería Química Despacho: QP B07 e-mail: ediezalc@quim.ucm.es |

II.- OBJETIVOS

■ **OBJETIVO GENERAL**

El objetivo de este curso es conocer los mecanismos básicos de la transmisión de calor y las ecuaciones básicas que se aplican en cada caso. Tomar conciencia de la importancia de los aislamientos y de la recuperación de calor así como modelar problemas relativos a la transmisión de calor y aprender a resolverlos.

■ **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Poder enumerar situaciones en las que se produzca transferencia de calor.
- Explicar el significado de términos como: calor, conducción, convección, radiación, coeficiente individual y global de transmisión de calor, flujo en contracorriente y en paralelo, perfil de temperatura, resistencia térmica.



- Conocer el principio de funcionamiento y el intervalo de aplicación de instrumentos de medida de temperatura y los agentes de calefacción y enfriamiento habituales.
- Saber aplicar la ley de Fourier a geometrías planas, cilíndricas y esféricas.
- Calcular el flujo de calor por conducción en un sólido o en un fluido en reposo.
- Determinar el perfil de temperatura en el espesor de un sólido o de un fluido en reposo donde no se dé convección.
- Saber analizar la conducción en el funcionamiento de superficies extendidas o aletas.
- Calcular el flujo de calor por conducción unidimensional en régimen no estacionario en la placa plana, cilindro y esfera.
- Saber aplicar el método de la resistencia interna despreciable.
- Saber aplicar otros métodos alternativos como los efectos espaciales.
- Conocer el fundamento del transporte de energía por convección y la definición de coeficiente individual de transmisión de calor.
- Establecer los números adimensionales más habituales que se utilizan para agrupar las variables implicadas en el transporte de calor por convección en flujo interno.
- Enumerar y explicar los principales efectos a tener en cuenta en el cálculo de coeficientes a partir de correlaciones experimentales.
- Presentar las principales correlaciones experimentales para flujo interno.
- Establecer y estimar los coeficientes de transmisión de calor en sistemas de geometría sencilla y de interés industrial por convección forzada
- Enumerar y explicar los principales efectos a tener en cuenta en el cálculo de coeficientes a partir de correlaciones experimentales.
- Identificar el mecanismo de convección natural en una determinada aplicación.
- Presentar las principales correlaciones experimentales para flujo externo.
- Evaluar el flujo de calor que se transmite en un líquido en ebullición.
- Evaluar el flujo de calor crítico en ebullición nucleada y calcular el coeficiente individual de T. C. en un líquido en ebullición.
- Calcular los coeficientes individuales de T. C. en un vapor condensante en función de la geometría y del tipo de condensación que se esté dando.
- Explicar el significado de términos como: Ebullición nucleada, ebullición en película, condensación en gotas, flujo anular, etc.
- Calcular la resistencia al transporte (coeficiente global de T. C.) en función de la resistencia de los fluidos y la geometría.
- Describir el método de diseño térmico de cambiadores (DTML): cálculo del área necesaria. Aplicar el método a cambiadores de tubos concéntricos, carcasa y tubos y placas y marcos.
- Realizar balances de materia y energía a un evaporador.



- Proponer acciones para mejorar la eficacia en evaporación.
- Evaluar la economía y el incremento útil de temperatura en un evaporador.
- Proponer las condiciones más adecuadas de operación en un evaporador.
- Conocer las distintas configuraciones de evaporadores más frecuentes en la industria química.
- Dimensionar térmicamente un evaporador.
- Conocer las leyes fundamentales que rigen la radiación térmica.
- Evaluar el flujo de calor que se transmite por radiación en una determinada aplicación.
- Determinar la temperatura de una superficie que intercambia calor por radiación con el ambiente.
- Explicar y definir términos como: radiación térmica, cuerpo negro, cuerpo gris, emisividad, superficie refractaria, factor de visión.
- Conocer el concepto de factor de visión.
- Determinar el intercambio de radiación entre superficies negras y refractarias en un recinto.
- Determinar el intercambio de radiación entre superficies grises y refractarias en un recinto así como entre superficies y gases.
- Identificar las secciones básicas de calderas y hornos.
- Estimar el flujo de calor transferido en un horno o caldera.
- Dimensionar de forma aproximada los hornos.

III.- CONOCIMIENTOS PREVIOS Y RECOMENDACIONES

■ CONOCIMIENTOS PREVIOS:

■ RECOMENDACIONES:

Se recomienda haber cursado las asignaturas “*Termodinámica Aplicada*” del 2º curso, 2º semestre (4º semestre) y “*Mecánica de Fluidos*” de 2º curso, 2º semestre (4º semestre).

IV.- CONTENIDOS

■ BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS CONTENIDOS:

Conducción. Convección natural y forzada. Cambio de fase. Radiación. Cambiadores de calor. Evaporadores y condensadores. Fuentes de energía: combustión. Hornos. Calderas de vapor.

**PROGRAMA:**

- Tema 1. Generalidades.** Introducción. Mecanismos de transmisión de calor. Leyes fundamentales. Medida de la temperatura. Agentes habituales de calefacción y enfriamiento.
- Tema 2. Transmisión de calor por conducción.** Ley de Fourier: conductividad térmica. Ecuación de conservación de energía. Conducción de calor a través de sólidos: unidimensional y multidimensional. Conducción de calor en régimen no estacionario. Resolución de problemas de transmisión de calor por métodos numéricos.
- Tema 3. Transmisión de calor por convección I.** Flujo interno. Introducción. Coeficientes individuales de transmisión de calor. Análisis dimensional. Efectos de entrada. Variación de las propiedades físicas con la temperatura. Régimen laminar. Régimen turbulento. Régimen de transición. Conducciones de sección no circular. Influencia de la convección natural. Fluidos no newtonianos. Metales líquidos.
- Tema 4. Transmisión de calor por convección II.** Flujo externo. Estimación de coeficientes de transmisión de calor en sistemas de geometría sencilla: placas planas, cuerpos cilíndricos, cuerpos esféricos. Estimación de coeficientes de transmisión de calor en sistemas de interés industrial: lechos fijos, bloques de tubos. Transmisión de calor por convección natural.
- Tema 5. Transmisión de calor con cambio de fase.** Introducción. Ebullición de líquidos sobre superficies sumergidas. Ebullición de líquidos en el interior de tubos. Condensación de vapores sobre superficies verticales y horizontales.
- Tema 6. Cambiadores de calor.** Conceptos básicos. Tipos de cambiadores. Coeficiente global de transmisión de calor. Factor de ensuciamiento. Cambiadores de calor de tubos concéntricos: ecuación básica de diseño. Cambiadores multitubulares. Número de unidades de transferencia. Cambiadores de calor compactos. Aletas. Cambiadores de placas. Consideraciones generales de diseño.
- Tema 7. Integración de calor.** Tecnología Pinch. Principios y objetivos del análisis Pinch. Requerimientos mínimos de calentamiento y enfriamiento. Construcción de curvas compuestas El punto Pinch. Algoritmo de la tabla problema. Gran curva compuesta. Mínimo número de intercambiadores. Diseño de red de intercambio de calor.
- Tema 8. Evaporación. Introducción.** Ecuación de diseño de un evaporador. Cálculo de un evaporador. Aprovechamiento de la energía: múltiples efectos, recompresión. Tipos de evaporadores.
- Tema 9. Transmisión de calor por radiación I.** Conceptos básicos. Naturaleza de la radiación térmica. Emisión de la radiación: cuerpo negro, ley de Planck, ley de Stefan-Boltzmann, emisividad. Recepción de la radiación: absorbancia, reflectancia y transmitancia. Transmisión de la radiación. Relación entre la intensidad de radiación y el flujo de radiación incidente o el poder emisor. Ley de Kirchhoff: superficies grises. Propiedades radiantes de las superficies reales. Radiación medioambiental.



Tema 10. Transmisión de calor por radiación II. Intercambio de energía radiante. Introducción. Factores de visión. Sistemas cerrados de superficies negras. Sistemas cerrados de superficies negras y superficies refractarias. Sistemas cerrados de superficies grises y superficies refractarias. Intercambio de radiación entre superficies y gases.

Tema 11. Hornos. Introducción. Factores en la transferencia de calor radiante. Receptor de calor. Fuente de calor.

V.- COMPETENCIAS

■ GENERALES:

- **CG1-III1:** Aplicar conceptos de termodinámica aplicada y transmisión de calor.
- **CG1-III7:** Utilizar los principios de máquinas y mecanismos

■ ESPECÍFICAS:

- **CE7-T12:** Reconocer los principios en que se basan los diferentes mecanismos de transmisión de calor.
- **CE7-T13:** Diseñar los equipos basados en la transmisión de calor: cambiadores de calor, evaporadores, condensadores.
- **CE7-T14:** Diseñar los equipos generadores de energía por combustión: hornos, calderas de vapor.
- **CE7-T15:** Medir los parámetros técnicos en equipos e instalaciones de transmisión de calor y su interpretación técnica.

■ TRANSVERSALES:

- **CT2-III:** Demostrar capacidad de análisis y síntesis.
- **CT3-III:** Organizar y planificar documentos y proyectos en el ámbito de la Ingeniería.
- **CT5-III:** Consultar, utilizar y analizar fuentes bibliográficas.
- **CT5-II2:** Usar bibliografía y bases de datos especializadas y de recursos accesibles a través de Internet.
- **CT6-III:** Utilizar programas informáticos para calcular, diseñar, simular, aproximar y predecir.
- **CT7-III:** Trabajar en equipo.
- **CT9-III:** Demostrar compromiso ético profesional.
- **CT10-III:** Integrar los conocimientos adquiridos y aplicarlos a la resolución de problemas.
- **CT11-III:** Aprender de forma autónoma.
- **CT13-III:** Demostrar iniciativa y creatividad para resolver nuevas situaciones.



VI. – HORAS DE TRABAJO Y DISTRIBUCIÓN POR ACTIVIDAD

| Actividad | Presencial (horas) | Trabajo autónomo (horas) | Créditos |
|---|--------------------|--------------------------|----------|
| Teoría | 39 | 63,5 | 4,1 |
| Seminarios | 21 | 36,5 | 2,3 |
| Tutorías | 4 | 6 | 0,4 |
| Laboratorio | 25 | 17,5 | 1,7 |
| Preparación de trabajos y exámenes | 6 | 6,5 | 0,5 |
| Total | 95 | 130 | 9 |

VII.- METODOLOGÍA

La práctica docente seguirá una metodología mixta basada en el aprendizaje cooperativo, el aprendizaje colaborativo y el autoaprendizaje. Esta metodología se desarrollará a través de clases teóricas, clases de seminarios, tutorías y trabajos dirigidos, y prácticas de laboratorio.

Las **clases teóricas** se desarrollarán en un solo grupo, formado por el conjunto de todos los estudiantes matriculados en la asignatura. 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.

Las **clases de seminario** 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 abordará tanto la resolución de problemas previamente propuestos como algunos temas de carácter complementario y eminentemente prácticos.

Las **tutorías y trabajos dirigidos** 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.

Las **prácticas de laboratorio** se desarrollarán en dos grupos formados cada uno de ellos por la mitad de los alumnos matriculados en la asignatura, a lo largo de todo el curso, en cuatro sesiones por cuatrimestre. En las prácticas de laboratorio se realizarán determinaciones experimentales donde se desarrollen tanto las competencias generales (CG1-MII1, CG1-MII7) como las específicas (CE7-T12, CE7-T15), y se interpretarán los resultados mediante la elaboración de informes, de acuerdo a las competencias transversales (CT2-III1, CT3-III1, CT5-III1, CT5-II2, CT6-III1 y CT7-III1). Así mismo se plantearán cuestiones por los profesores en el laboratorio.



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:

- Kreith, F. y Bohn, M.S., “*Principles of Heat Transfer*”, Harper & Row, 5ª Ed., New York, (1997). Ed. Castellano: “*Principios de transferencia de calor*”, 6ª Ed., Ed. Paraninfo, Madrid, 2001.
- Incropera, F.P. y de Witt, D.P., “*Introduction to Heat Transfer*”, John Wiley & Sons, 3ª Ed, New York, 1996. Ed. Castellano: “*Fundamentos de la transferencia de calor*”, Prentice Hall, 1999.
- Costa, E y col., “*Ingeniería Química 4. Transmisión de calor*”, Alhambra, Madrid, 1986.

■ COMPLEMENTARIA:

- Holman, J.P., “*Heat Transfer*”, McGraw-Hill, New York, 8ª Ed., 1997.
- Geankoplis, C.J., “*Transport processes and unit operation*”, 4ª ed., 2003.

IX.- EVALUACIÓN

El rendimiento académico del alumno así como la calificación final de la asignatura se obtendrá de forma ponderada, atendiendo a los porcentajes que se expresan a continuación y que se mantendrán en todas las convocatorias.

Tanto las tutorías dirigidas como las prácticas de laboratorio son obligatorias. Para poder realizar el examen final será necesario que el alumno haya participado al menos en el 70% de las actividades presenciales.

■ EXÁMENES ESCRITOS:

70 %

Convocatoria de junio: se realizarán dos exámenes parciales y un examen final comunes a todos los grupos.

Para superar esta convocatoria por parciales será necesario:

- a) Obtener una nota mínima de 10 sobre 20 en la suma de los dos exámenes parciales.
- b) Que en ninguno de los dos parciales la nota obtenida sea inferior a 4 sobre 10.
- c) Que la calificación total ponderada con el resto de actividades sea al menos de 5 sobre 10.
- d) Si la calificación obtenida en el primer parcial es inferior a 4, no se podrá presentar al segundo parcial, y tendrá que realizar el examen final con toda la asignatura.



Los alumnos que superen los dos exámenes parciales no estarán obligados a presentarse al examen final. Los exámenes constarán de preguntas y problemas sobre los contenidos impartidos durante el curso en las clases teóricas y seminarios.

En la convocatoria de septiembre se realizará un único examen final semejante al realizado en la convocatoria de junio. Quienes no aprueben la asignatura en junio deberán examinarse de todo el temario.

Competencias evaluadas: CG1-MII1, CG1-MII7, CE7-T12, CE7-T13, CE7-T14, CT2-III1 y CT10-III1.

■ **TRABAJO PERSONAL:** 5 %

Se propondrá 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.

Las calificaciones obtenidas por el alumno en junio por este concepto se mantendrán en la convocatoria de septiembre.

Competencias evaluadas: CG1-MII1, CG1-MII7, CE7-T12, CE7-T13, CE7-T14, CT2-III1, CT3-III1, CT5-II2, CT6-III1, CT9-III1 y CT13-III1.

■ **ACTIVIDADES DIRIGIDAS (TRABAJOS):** 10 %

Cada estudiante deberá desarrollar a lo largo de la asignatura un trabajo personalizado, cuya evolución se contrastará en las tutorías dirigidas.

Las calificaciones obtenidas por el alumno en junio por este concepto se mantendrán en la convocatoria de septiembre.

Competencias evaluadas: CG1-MII1, CG1-MII7, CE7-T12, CE7-T13, CE7-T14, CT2-III1, CT3-III1, CT5-II2, CT6-III1, CT7-III1, CT9-III1, CT11-III1 y CT13-III1.

■ **MEMORIAS DE LABORATORIO:** 15 %

La capacidad para efectuar determinaciones experimentales e interpretar los resultados se llevará a cabo sobre los informes elaborados y las cuestiones planteadas por los profesores en el laboratorio.

Las calificaciones obtenidas por el alumno en junio por este concepto se mantendrán en la convocatoria de septiembre.

Competencias evaluadas: CG1-MII1, CG1-MII7, CE7-T12, CE7-T15, CT2-III1, CT3-III1, CT5-III1, CT5-II2, CT6-III1, CT7-III1, CT9-III1 y CT13-III1.

Las calificaciones estarán basadas en la puntuación absoluta sobre 10 puntos y de acuerdo con la escala establecida en el RD 1125/2003.



PLANIFICACIÓN DE ACTIVIDADES – CRONOGRAMA

| TEMA | ACTIVIDAD | HORAS | GRUPOS | INICIO | FIN |
|--|-------------|-------|--------|------------|------------|
| Tema 1. Generalidades | Teoría | 6 | 1 | 1ª Semana | 3ª Semana |
| Tema 2. Transmisión de calor por conducción | Teoría | 4 | 1 | 4ª Semana | 5ª Semana |
| | Seminario | 4 | 2 | 6ª Semana | 7ª Semana |
| Tema 3. Transmisión de calor por convección I | Teoría | 3 | 1 | 8ª Semana | 9ª Semana |
| | Seminario | 2 | 2 | 9ª Semana | 10ª Semana |
| Tema 4. Transmisión de calor por convección II | Teoría | 3 | 1 | 10ª Semana | 11ª Semana |
| | Seminario | 2 | 2 | 11ª Semana | 12ª Semana |
| Tema 5. Transmisión de calor con cambio de fase | Teoría | 2 | 1 | 12ª Semana | 13ª Semana |
| | Seminario | 1 | 2 | 13ª Semana | |
| Tema 6. Cambiadores de calor | Teoría | 6 | 1 | 14ª Semana | 16ª Semana |
| | Seminario | 4 | 2 | 17ª Semana | 18ª Semana |
| Tema 7. Integración de calor | Teoría | 4 | 1 | 19ª Semana | 20ª Semana |
| | Seminario | 2 | 2 | 21ª Semana | |
| Tema 8. Evaporación | Teoría | 3 | 1 | 22ª Semana | 23ª Semana |
| | Seminario | 2 | 2 | 24ª Semana | |
| Tema 10. Transmisión de calor por radiación I | Teoría | 2 | 1 | 24ª Semana | 25ª Semana |
| | Seminario | 1 | 2 | 25ª Semana | |
| Tema 11. Transmisión de calor por radiación II | Teoría | 4 | 1 | 26ª Semana | 27ª Semana |
| | Seminario | 3 | 2 | 27ª Semana | 29ª Semana |
| Tema 12. Hornos | Teoría | 2 | 1 | 30ª Semana | |
| | LABORATORIO | 25 | 2 | Semana 10ª | Semana 15ª |
| | Tutorías* | 4 | 4 | | |

* La programación de las tutorías depende de la planificación global de todas las asignaturas del curso.



RESUMEN DE LAS ACTIVIDADES

| Actividad docente | Competencias asociadas | Actividad Profesor | Actividad alumno | Procedimiento de evaluación | P | NP | Total | C |
|--------------------|--|--|--|---|----|------|-------|----|
| Teoría | CG1-MII1;CG1-MII7 CE7-T12; CE7-T13; CE7-T14; CT2-III; CT10-III | Exposición de conceptos teóricos necesarios para resolver los casos prácticos | Toma de apuntes. Manejo del ordenador | Preguntas de examen sobre los contenidos expuestos en las clases teóricas | 39 | 63,5 | 102,5 | 70 |
| Seminarios | CG1-MII1; CG1-MII7 CE7-T12; CE7-T13 ; CE7-T14; CT2-III; CT3-III; CT5-II2; CT6-III; CT9-III; CT11-III; CT13-III | Resolución de ejemplos de casos prácticos y asesoramiento a los alumnos en los casos prácticos asignados | Toma de apuntes, manejo del ordenador. Aplicación de los conocimientos adquiridos en las clases teóricas | Calificación de los casos prácticos asignados, y preguntas de examen sobre la resolución de casos prácticos | 21 | 36,5 | 57,5 | 5 |
| Tutorías | CG1-MII1; CG1-MII7 CE7-T12; CE7-T13 CE7-T14; CT2-III; CT3-III; CT5-II2; CT6-III; CT7-III; CT9-III; CT11-III, CT13-III | Supervisión del progreso de los alumnos | Preparación de las preguntas para el profesor, asimilación y aplicación de las explicaciones recibidas | Valoración de la participación e interés de los alumnos | 4 | 6 | 10 | 10 |
| Laboratorio | CG1-MII1; CG1-MII7 CE7-T12; CE7-T15 CT2-III;CT3-III; CT5-III; CT5-II2; CT6-III; CT7-III CT9-III; CT13-III | Supervisión del buen manejo de los equipos de laboratorio | Realización de los experimentos, toma de datos y discusión de los resultados obtenidos | Valoración de la memoria de laboratorio y cuestiones planteados durante el transcurso de la práctica | 25 | 17,5 | 42,5 | 15 |
| Exámenes | CG1-MII1; CG1-MII7 CE7-T12; CE7-T13 CE7-T14 ; CT2-III; CT10-III | Propuesta, vigilancia y corrección del examen. Calificación del alumno | Estudio y realización del examen | Nota del examen | 6 | 6,5 | 12,5 | -- |

P : Presenciales; NP: no presenciales (trabajo autónomo); C: calificación