



1. Datos Generales de la asignatura

Nombre de la asignatura:	Transferencia de Calor
Clave de la asignatura:	AOL-1326
SATCA¹:	4-1-5
Carrera:	Ingeniería Aeronáutica

2. Presentación

Caracterización de la asignatura

Esta asignatura aporta al perfil del Ingeniero Aeronáutico la capacidad para utilizar herramientas matemáticas, computacionales y métodos experimentales para aplicarlos a la resolución de problemas de transferencia de calor. Asimismo, le provee las herramientas necesarias para formular y desarrollar sistemas integrales para el aprovechamiento racional de fuentes diversas de energía.

Específicamente para la Ingeniería Aeronáutica, esta asignatura aporta al perfil del egresado en los puntos que se refieren a continuación:

- Identifica, formula y resuelve problemas complejos de ingeniería aeronáutica mediante el conocimiento del funcionamiento de sistemas, subsistemas, componentes y diversas partes que conforman las aeronaves y el uso de legislaciones, regulación y normas nacionales e internacionales vigentes para mantener las condiciones de aeronavegabilidad. (atributo 1 de CACEI).
- Diseña y desarrolla sistemas, partes, componentes y procesos aplicados en la industria aeronáutica, mediante el uso de herramientas matemáticas, físicas, experimentales y computacionales cumpliendo con las regulaciones de calidad vigentes. (atributo 2 CACEI).
- Evalúa el comportamiento y desempeño de sistemas, componentes, partes y materiales mediante la experimentación para analizar y establecer conclusiones a través de equipo especializado para el sector aeronáutico (atributo 3 CACEI).
- Comunica de manera asertiva las ideas para los diferentes niveles o ámbitos laborales, reconociendo sus responsabilidades éticas y morales de forma profesional en situaciones en donde se deba considerar el impacto de las soluciones de ingeniería en el contexto económico global, ambiental y social (atributo 4 y 5 CACEI).
- Colabora efectivamente en equipos de trabajo que establecen metas, planes, tareas, cumplen fechas límite y analizan riesgos y oportunidades para los distintos proyectos aeronáuticos multidisciplinarios (atributo 7 CACEI).
- Evalúa la factibilidad técnica, económica y de sustentabilidad para proyectos de inversión en el área aeronáutica.
- Implementa y administra los programas de mantenimiento de sistemas y componentes de las aeronaves y áreas afines para garantizar su óptima operación.

¹ Sistema de Asignación y Transferencia de Créditos Académicos



Intención didáctica

La asignatura consta de cinco temas y combina los contenidos conceptuales con ejemplos y problemas de aplicación, en ingeniería de procesos térmicos y aeronáuticos; en los que interviene la transferencia de calor con y sin cambio de fase. El enfoque sugerido para la materia requiere que las actividades prácticas, promuevan el desarrollo de habilidades tales como: identificación, manejo y control de variables y datos relevantes, planteamiento de hipótesis, trabajo en equipo, asimismo, propicien procesos intelectuales como inducción-deducción y análisis-síntesis con la intención de generar una actividad intelectual que sea integral.

Es necesario que el docente ponga atención y cuidado en estos aspectos en el desarrollo de las actividades de aprendizaje de esta asignatura.

En el primer tema se estudian los mecanismos fundamentales de la transferencia de calor y se analizan las diferentes características de las formas de transferencia de calor.

En el segundo tema se estudia el fenómeno de la conducción de calor en sus variantes dimensionales de estado estacionario y transitorio en diversas geometrías.

En el tercer tema se estudian los fundamentos de la convección natural y forzada. A partir del concepto de capa límite hidrodinámica de la mecánica de fluidos se aborda la teoría de la capa límite térmica para el análisis de la convección. Se definen los números adimensionales de importancia y se presentan correlaciones empíricas para casos representativos de convección forzada y natural en elementos aeronáuticos.

En el cuarto tema se aborda la transferencia de calor con cambios de fase haciendo énfasis en los procesos de licuefacción y congelación del agua sobre superficies de aeronaves.

En el quinto tema se presentan elementos para la selección de intercambiadores de calor y estudian los métodos de diseño y de análisis de los mismos. Se discute la necesidad de equipos de transferencia de calor más esbeltos y más ligeros para aeronáutica.

3. Participantes en el diseño y seguimiento curricular del programa

Lugar y fecha de elaboración o revisión	Participantes	Observaciones
Tecnológico de Estudios Superiores de Ecatepec, del 5 al 8 de noviembre de 2012	Representantes de los Institutos Tecnológicos de: Celaya, de Estudios Superiores de Ecatepec, Tlalnepantla, Saltillo, Apizaco, Tijuana, Superior de Irapuato, Hermosillo, Mexicali, Querétaro, Superior de Coacalco, Superior de Chalco, Superior de Matamoros, León, Chihuahua, San Luís Potosí, IPN, UNAQ,UANL,	Reunión Nacional De Diseño e Innovación Curricular para el Desarrollo y Formación de Competencias Profesionales de la Carrera de Ingeniería Aeronáutica
Desarrollo de Programas en Competencias Profesionales por los Institutos Tecnológicos del 12 de noviembre 2012 al 22	Representantes de los Institutos Tecnológicos de: Querétaro, Superiores de Ecatepec, Matamoros,	Elaboración del programa de estudio propuesto en la Reunión Nacional de Diseño e Innovación Curricular para la



de febrero de 2013	Hermosillo, Mexicali	Formación y Desarrollo de Competencias Profesionales de Ingeniería Aeronáutica del SNIT.
Instituto Tecnológico de Querétaro, del 25 al 28 de febrero de 2013	Representantes de los Institutos Tecnológicos de: Estudios Superiores de Ecatepec, Tlalnepantla, Saltillo, Apizaco, Tijuana, Superior de Irapuato, Hermosillo, Mexicali, Querétaro, Superior de Coacalco, Superior de Chalco, Superior de Matamoros, León, Chihuahua, IPN, UNAQ	Reunión Nacional de Consolidación del Programas en Competencias Profesionales de la Carrera de Ingeniería Aeronáutica.
Instituto Tecnológico Superior de Irapuato, del 4 al 7 de Diciembre 2018	Representantes de los Institutos Tecnológicos de: Estudios Superiores de Ecatepec, de Tijuana, Superior de Irapuato, de Veracruz, de Boca del Rio, de Tepic y de Zacatepec.	Reunión de Seguimiento Curricular de los Programas Educativos de; Ingeniería Aeronáutica, Ingeniería en Minería, Ingeniería en Diseño Industrial e Ingeniería en Biotecnología del Tecnológico Nacional de México.

4. Competencia(s) a desarrollar

Competencia(s) específica(s) de la asignatura
Aplica los conocimientos fundamentales de los mecanismos de transferencia de calor así como las herramientas matemáticas y de simulación necesarias para el análisis de procesos de intercambio de calor; proporcionando las bases de instalación y mantenimiento de los sistemas térmicos en la toma de decisiones.

5. Competencias previas

<ul style="list-style-type: none"> • Aplica las leyes de la Termodinámica a los sistemas de la industria aeronáutica donde ocurren conversiones de energía para cuantificar su comportamiento bajo diferentes condiciones operativas en términos de la eficiencia térmica o el coeficiente de realización. • Aplica las leyes y principios que rigen el comportamiento de los fluidos para el análisis de fenómenos orientados a la solución de problemas en ingeniería aeronáutica

6. Temario

No.	Temas	Subtemas
1	Mecanismos básicos del transporte de calor	1.1 Conducción 1.2 Convección 1.3 Radiación 1.4 Mecanismos combinados de transferencia de calor
2	Conducción	2.1 Conducción unidimensional estado estable 2.2 Conducción bidimensional estado estable 2.3 Conducción en estado transitorio

3	Análisis de la convección	3.1 Convección forzada en flujo interno 3.2 Convección forzada en flujo externo 3.3 Convección natural
4	Transferencia de calor con cambio de fase	4.1 Definiciones 4.2 Condensación pelicular sobre placas y cilindros 4.3 Solidificación sobre placas (congelación de agua) 4.4 Licuefacción sobre placas (descongelamiento de agua)
5	Equipo para transferencia de calor	5.1 Clasificación 5.2 El coeficiente global de transferencia de calor 5.3 Factores de suciedad 5.4 Método de la diferencia media logarítmica de temperatura 5.5 Método de la efectividad (NTU) 5.6 Análisis y diseño de intercambiadores 5.7 Procesos de intercambio de calor en aeronáutica 5.8 Intercambiadores de calor en aeronáutica

7. Actividades de aprendizaje de los temas

Tema 1: Mecanismos básicos del transporte de calor	
Competencias	Actividades de aprendizaje
<p>Específica(s):</p> <p>Explica las leyes de transferencia de calor para la solución de problemas en mecanismos básicos de ingeniería.</p> <p>Genéricas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de abstracción, análisis y síntesis. • Habilidad para buscar, procesar y analizar información procedente de diversas fuentes. • Capacidad de trabajo en equipo. • Habilidad para trabajar en forma autónoma. • Capacidad de aplicar los conocimientos en la práctica. • Capacidad crítica y autocrítica. 	<ul style="list-style-type: none"> • Investigar y ejemplificar acerca de los principios y conceptos relacionados con los mecanismos básicos para la transferencia de calor • Investigar acerca de la influencia de la temperatura en la conductividad térmica de los materiales y su impacto en la aeronáutica • Resolver problemas que involucren los tres principales mecanismos de transferencia de calor • Resolver problemas que involucren mecanismos combinados de transferencia de calor • Elaborar una práctica demostrativa sobre la conservación de la energía (primera ley de la termodinámica) aplicada al análisis de transferencia de calor • Resolver problemas de mecanismos básicos de transferencia de calor en donde se apliquen balances de energía • Participar en discusiones grupales de los temas investigados relativos al



	transporte de calor
Tema 2: Conducción	
Competencias	Actividades de aprendizaje
<p>Específica(s):</p> <p>Modela el Problema General de la Conducción de Calor para aplicarla en la solución de problemas reales.</p> <p>Genéricas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de abstracción, análisis y síntesis. • Habilidad para buscar, procesar y analizar información procedente de diversas fuentes. • Capacidad de trabajo en equipo. • Habilidad para trabajar en forma autónoma. • Capacidad de aplicar los conocimientos en la práctica. • Capacidad crítica y autocrítica. 	<ul style="list-style-type: none"> • Desarrollar una práctica demostrativa donde explique la transformación de la ecuación general de la conducción de calor, de coordenadas rectangulares a coordenadas cilíndricas y coordenadas esféricas • Resolver problemas de conducción de calor unidimensional estacionaria en placas planas, cilindros, esferas y superficies extendidas (aletas) • Describir el desarrollo analítico para la obtención de la ecuación de la conducción de calor en superficies extendidas • Resolver problemas de aplicación de los casos más comunes de geometrías que se presentan en aletas
Tema 3: Análisis de la convección	
Competencias	Actividades de aprendizaje
<p>Específica(s):</p> <p>Aplica los principios de la convección de calor para la solución de problemas utilizando las correlaciones empíricas.</p> <p>Genéricas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de abstracción, análisis y síntesis. • Habilidad para buscar, procesar y analizar información procedente de diversas fuentes. • Capacidad de trabajo en equipo. • Habilidad para trabajar en forma autónoma. • Capacidad de aplicar los conocimientos en la práctica. • Capacidad crítica y autocrítica. 	<ul style="list-style-type: none"> • Explicar los principios básicos y ecuaciones que gobiernan la transferencia de calor por convección. • Explicar el significado físico de los parámetros adimensionales más comunes utilizados en la transferencia de calor por convección • Resolver problemas de convección empleando las correlaciones empíricas • Resolver problemas en donde se evalúen los coeficientes de transferencia de calor por convección • Utilizar software de simulación para la solución de problemas de transferencia de calor por convección • Investigar los procesos de congelación y descongelamiento de agua sobre placas • Participar en discusiones grupales de los resultados derivados de la simulación y métodos analíticos

Tema 4: Transferencia de calor con cambio de fase	
Competencias	Actividades de aprendizaje
<p>Específica(s):</p> <p>Calcula el intercambio de calor y los coeficientes de convección en los equipos donde ocurren los procesos de cambio de fase.</p> <p>Genéricas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de abstracción, análisis y síntesis. • Habilidad para buscar, procesar y analizar información procedente de diversas fuentes. • Capacidad de trabajo en equipo. • Habilidad para trabajar en forma autónoma. • Capacidad de aplicar los conocimientos en la práctica. • Capacidad crítica y autocrítica. 	<ul style="list-style-type: none"> • Investigar acerca de los procesos de transferencia de calor en los que se presenta un cambio de fase • Analizar y explicar los conceptos fundamentales y los mecanismos básicos involucrados en los procesos de condensación • Investigar la transferencia de calor en procesos de congelación y descongelamiento de agua y su efecto sobre los elementos aeronáuticos. • Participar en discusiones grupales de los temas investigados
Tema 5: Equipo para transferencia de calor	
Competencias	Actividades de aprendizaje
<p>Específica(s):</p> <p>Aplica los principios y métodos actualizados para la evaluación, selección y diseño termo-hidráulico en los intercambiadores de calor.</p> <p>Genéricas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de abstracción, análisis y síntesis. • Habilidad para buscar, procesar y analizar información procedente de diversas fuentes. • Capacidad de trabajo en equipo. • Habilidad para trabajar en forma autónoma. • Capacidad de aplicar los conocimientos en la práctica. • Capacidad crítica y autocrítica. 	<ul style="list-style-type: none"> • Elaborar un reporte acerca de los tipos y características constructivas de los intercambiadores de calor, destacando los aplicados a la aeronáutica • Calcular el coeficiente global de transferencia de calor, tomando en cuenta el factor de suciedad. • Explicar el análisis térmico de los intercambiadores de calor utilizando la Diferencia Media Logarítmica de Temperatura (DTML) y Número de Unidades de Transferencia (NUT) • Resolver problemas de dimensionamiento de los intercambiadores de calor para aplicaciones específicas • Investigar y proponer una solución al problema de acumulación de hielo en algunas partes aerodinámicas • Participar en discusiones grupales de los temas investigados



8. Práctica(s)

- Determinar experimentalmente la conductividad térmica de un material sólido
- Obtener experimentalmente el coeficiente de convección sobre placas y cilindros
- Calcular la MLDT en un intercambiador de pruebas
- Calcular el coeficiente global de transferencia de calor en un intercambiador de calor
- Determinar la superficie de transferencia de calor en un intercambiador de calor experimental y obtener su eficiencia

9. Proyecto de asignatura

El objetivo del proyecto es demostrar el desarrollo y alcance de la(s) competencia(s) de la asignatura, considerando las siguientes fases:

- **Fundamentación:** marco referencial (teórico, conceptual, contextual, legal) en el cual se fundamenta el proyecto de acuerdo con un diagnóstico realizado, mismo que permite a los estudiantes lograr la comprensión de realidad/situación objeto de estudio para definir un proceso de intervención o hacer el diseño de un modelo.
- **Planeación:** con base en el diagnóstico en esta fase se realiza el diseño del proyecto por parte de los estudiantes con asesoría del docente; implica planificar un proceso: de intervención empresarial, social o comunitario, el diseño de un modelo, entre otros, según el tipo de proyecto, las actividades a realizar los recursos requeridos y el cronograma de trabajo.
- **Ejecución:** consiste en el desarrollo de la planeación del proyecto realizada por parte de los estudiantes con asesoría del docente, es decir en la intervención (social, empresarial), o construcción del modelo propuesto según el tipo de proyecto, es la fase de mayor duración que implica el desempeño de las competencias genéricas y específicas a formar.
- **Evaluación:** es la fase final que aplica un juicio de valor en el contexto laboral-profesión, social e investigativo, ésta se debe realizar a través del reconocimiento de logros y aspectos a mejorar se estará promoviendo el concepto de "evaluación para la mejora continua", la metacognición, el desarrollo del pensamiento crítico y reflexivo en los estudiantes.

Proyectos propuestos:

1. Selección y diseño termohidráulico de un intercambiador de calor de flujo continuo para una aplicación específica

10. Evaluación por competencias

Se sugiere que la evaluación se realice mediante las actividades enlistadas y se evalúe de la manera siguiente:

- Reporte de investigación dirigida-rúbrica
- Exámenes-calificación
- Reporte de prácticas realizadas-lista de cotejo
- Reporte de visitas industriales-lista de cotejo
- Exposición oral-rúbrica



- Proyecto-matriz de valoración

11. Fuentes de información

Básica

- Cengel, Y. A. (2007). *Transferencia de Calor y de Masa* (3a edición). México: McGraw-Hill.
- Holman, J. P. (1989). *Transferencia de Calor* (10a edición). México: CECSA.
- Incropera, F. P. y De Witt, D. P. (1999). *Fundamentos de Transferencia de Calor* (4a edición). México: Prentice Hall.
- Manrique, J. A. (2002). *Transferencia de Calor* (2a edición). México: Alfaomega.
- Mills, A. F. (1999). *Transferencia de Calor*. México: McGraw-Hill.
- Özisik, N. (1975). *Transferencia de Calor*. México: McGraw-Hill.
- Welty, J. R. (1988). *Transferencia de Calor Aplicada a la Ingeniería*. México: Limusa.

Complementarias

- Abernathy, F. (s. f.). Fundamentals of Boundary Layers. Video recuperado de <http://www.youtube.com/watch?v=fiPYDIVu4mo>, consultado en febrero de 2013.
- Chapman, A. J. (1990). *Transmisión de Calor* (3a edición). Ed. Bellisco.
- Kreith, F., Manglik, R. M., Bond, M. S. (2011). *Principles of Heat Transfer*. USA: Cengage Learning.
- Green, D. W., Perry, R. H. (2008). *Perry's Chemical Engineers' Handbook* (8a edición). New York: McGraw-Hill.
- Guyer, E. C. (1989). *Handbook of Applied Thermal Design*. New York: McGraw-Hill.
- Karlekar, B. V. y Desmond, R. M. (1985). *Transferencia de Calor*. México: Interamericana.
- Kays, W. M. y London, A. L. (1984). *Compact Heat Exchangers* (3a edición). New York: Krieger Publishing Company.
- Kern, D. Q. (1981). *Procesos de Transferencia de Calor*. México: CECSA.
- Levenspiel, O. (1996). *Flujo de Fluidos e Intercambio de Calor*. Barcelona: Reverté.
- Myers, G. E. (1971). *Analytical Methods in Conduction Heat Transfer*. New York: McGraw-Hill.
- MYTUSA (s. f.). Intercambiador de calor tipo coraza y tubos. Video recuperado de <http://www.youtube.com/watch?v=XLxYr9M3xrs>, consultado en febrero de 2013.
- Pysmenny, Y., Polupan, G., Carvajal, I. y Sánchez, F. (2007). *Manual para el cálculo de intercambiadores de calor y bancos de tubos aletados*. Barcelona: Reverté.
- Rohsenow, W. M. y Hartnett, J. P. (1973). *Handbook of Heat Transfer*. New York: McGraw-Hill.
- Schlichting, H. (1968). *Boundary Layer Theory* (6a edición). New York: McGraw-Hill.