



Universidad Nacional de Misiones  
"2017 Año de las Energías Renovables"



## **CURSO DE POSGRADO Y CAPACITACION TRANSFERENCIA DE CALOR 60 HORAS – Mgter. Ing. Jorge R. BARRAL**

### **Programa Analítico**

**Capítulo 1:** Revisión de conceptos de transferencia de calor elemental.

La transferencia de calor y su relación con la termodinámica. Conducción del calor: ley de Fourier. Radiación térmica. Convección del calor. Circuitos térmicos. Balances de energía superficiales. Modos combinados de transferencia de calor. Respuesta térmica transitoria: modelo de la capacidad térmica global.

**Capítulo 2:** Conducción estacionaria unidimensional del calor.

Conductividad térmica. Resistencia por contacto. Conducción a través de una capa cilíndrica. Espesor crítico de aislamiento sobre un cilindro. Conducción a través de una capa esférica. Conducción con generación interna de calor. Utilización de aletas. Aletas de aguja. Resistencia térmica de las aletas y efectividad superficial. Análisis de otros tipos de aletas. Aletas de sección transversal variable. Funciones de Bessel.

**Capítulo 3:** Conducción multidimensional y no estacionaria

Ley de Fourier en forma vectorial. Condiciones de contorno e iniciales. Métodos de solución. Conducción estacionaria multidimensional: ecuación de Laplace y separación de variables. Factores de forma para la conducción. Conducción no estacionaria. Placa con resistencia superficial despreciable. El sólido semiinfinito. Enfriamiento por convección de placas, cilindros y esferas. Soluciones en forma de producto para la conducción no estacionaria multidimensional. Problemas de contorno en movimiento. Solución por métodos numéricos. Método de las diferencias finitas para conducción estacionaria y no estacionaria.

**Capítulo 4:** Fundamentos de la convección.

Mecanismo físico de la convección. Número de Nusselt. Clasificación de los flujos de fluidos: viscoso y no viscoso, externo e interno, compresible e incompresible, laminar y turbulento, natural y forzado, estacionario y no estacionario, unidimensionales y multidimensionales. Capa límite de velocidad. Esfuerzo cortante superficial. Capa límite térmica. Número de Prandtl. Flujos laminar y turbulento. Número de Reynolds. Transferencia de calor y cantidad de movimiento en flujo turbulento. Deducción de la ecuaciones diferenciales de la convección: conservación de masa, cantidad de movimiento y energía. Soluciones de las ecuaciones de convección para una placa plana. Ecuaciones adimensionales de la convección y semejanza. Formas funcionales de los coeficientes de fricción y de convección.

**Capítulo 5:** Convección externa forzada.



Fuerza de resistencia al movimiento y transferencia de calor en el flujo externo. Flujo paralelo sobre placas planas. Coeficientes de fricción y de transferencia de calor. Placa plana con tramo inicial no calentado. Flujo uniforme de calor. Flujo a través de cilindros y esferas. Flujo a través de bancos de tubos.

#### Capítulo 6: Convección interna forzada.

Velocidad media y temperatura media. Flujos laminares y turbulentos en tubos. Región de entrada. Análisis térmico. Casos de flujo de calor constante en la superficie y de temperatura superficial constante. Flujo laminar en tubos: caída de presión, perfil de temperaturas, flujo de calor constante y de temperatura constante en la superficie, flujo laminar en tubos no circulares. Flujo laminar en la región de entrada. Flujo Turbulento en tubos: superficies ásperas, región de entrada turbulenta, flujo turbulento en tubos no circulares, secciones anulares concéntricas. Mejoramiento de la transferencia de calor.

#### Capítulo 7: Convección natural.

Mecanismo físico de la convección natural. Ecuaciones del movimiento y número de Grashof. Convección natural sobre superficies: placas verticales a temperatura constante y flujo de calor constante, cilindros verticales, placas inclinadas, placas horizontales, cilindros horizontales y esferas. Convección natural desde superficies con aletas y placas de circuitos impresos. Convección natural dentro de recintos cerrados. Convección natural y forzada combinadas.

#### Capítulo 8: Ebullición y condensación

Transferencia de calor en la ebullición. Ebullición de estanque: regímenes y curva de ebullición, correlaciones de transferencia de calor y mejoramiento de la transferencia. Ebullición en flujo. Transferencia de calor en la condensación. Condensación de película: regímenes de flujo y correlaciones. Condensación de película dentro de tubos horizontales. Condensación por gotas.

#### Capítulo 9: Intercambiadores de calor.

Tipos de intercambiadores de calor. Balances de energía y del coeficiente global de transferencia de calor. Factor de incrustación. Análisis de los intercambiadores de calor. Método de la diferencia de temperatura media logarítmica. Intercambiadores a contraflujo. Intercambiadores de pasos múltiples y de flujo cruzado: uso de factores de corrección. Método de la efectividad-NTU. Selección de intercambiadores de calor: velocidad de transferencia de calor, costo, potencia de bombeo, tamaño y peso, tipo, materiales y otras consideraciones.

#### Capítulo 10: Radiación térmica

Física de la radiación: espectro electromagnético, superficies negras y reales. Intercambio de radiación entre superficies: Superficies negras y grises, factores de configuración, analogía de redes eléctricas. Intercambio entre superficies grises difusas. Radiación solar. Características direccionales de la radiación de una superficie: intensidad de radiación y

ley de Lambert, determinación de los factores de forma, propiedades direccionales de las superficies reales. Características espectrales de la radiación de una superficie: ley de Planck y las funciones fraccionarias. Transferencia de radiación a través de gases.

#### Bibliografía Básica

- Mills, A. F. *Transferencia de Calor*, Irwin, 1995.
- Çengel, Y. *Transferencia de calor*, McGrawHill, 2004.
- Incropera F. P. y DeWitt D. P. *Fundamentos de Transferencia de Calor 4ta Edición*, Prentice-Hall, 1999.
- Nellis G. y Klein S. *Heat Transfer*, Cambridge University Press, 2008
- Klein S. y Nellis G. *Mastering EES*, F-Chart Software, 2012.

#### Bibliografía de consulta

- Bergman, T. L.; Lavine, A. S.; Incropera, F. P.; DeWitt, D. P. *Fundamentals of heat and mass transfer 7th ed.*, John Wiley & Sons, 2011.
- Çengel, Yunus A. *Heat transfer : a practical approach*, McGraw-Hill, 1998
- Welty, J. R. *Transferencia de Calor Aplicada a Ingeniería*, Limusa, 1994.
- Ozisik, M. N. *Heat conduction 2nd ed.*, John Wiley & Sons, 1993.
- Bejan, A. *Convection heat transfer 2nd ed.*, John Wiley & Sons, 1995.
- Kays, W. M., Crawford M. E. *Convective heat and mass transfer 3rd ed.*, M, McGraw-Hill, 1993.
- Burmeister, L. C. *Convective heat transfer 2nd ed.*, John Wiley & Sons, 1993.
- Kakac, S.; Yener, Y. *Convective heat transfer 2nd ed.*, CRC Press, 1995.
- Siegel, R.; Howell, J. R. *Thermal radiation heat transfer 3rd ed.*, Taylor & Francis, 1992.
- Modest, M. F. *Radiative heat transfer*, McGraw-Hill, 1993.
- Haberman, R. *Elementary applied partial differential equations: with fourier series and boundary value problems 3rd ed.*, Prentice Hall, 1998.
- Abramowitz, Milton; Stegun, Irene A., Handbook of mathematical functions with formulas, graphs, and mathematical tables, : Gordon Press, 1970.
- Minkowycz, W.J.; Sparrow, E.M.; Schneider, G.B.; Pletcher, R.H. *Handbook of numerical heat transfer*, Wiley & Sons, 1988.
- Ozisik, M. N. *Finite difference methods in heat transfer*, CRC Pres, 1994.
- Rohsenow, W. M.; Hartnett, J. P. y Cho, Y. I. *Handbook of heat transfer - 3rd ed.*, McGraw-Hill – Mexico, 1998.
- Samarskii, A. A.; Vabishchevich, P. N. *Computational Heat Transfer, Volume 1, Mathematical Modelling*, J.Wiley, 1995.
- Samarskii, A. A.; Vabishchevich, P. N. *Computational Heat Transfer, Volume 2, The finite difference methodology*, J.Wiley, 1995.
- Kakac, S. *Boilers, evaporators, and condensers*, Wiley & Sons, 1991.



Universidad Nacional de Misiones  
"2017 Año de las Energías Renovables"



- Kakac, S.; Liu, H. *Heat exchangers: selection, rating and thermal design*. CRC Press, 1998.
- Vetterling, W.T.; Teukolsky S. A.; Press W. H. y Flannery B. P. *Numerical Recipes in Fortran, the Art of scientific computing , Second Edition*, Cambridge University Press, 1992.
- Vetterling, W.T.; Teukolsky S. A.; Press W. H. y Flannery B. P. *Numerical Recipes – Example Book (Fortran), Second Edition*, Cambridge University Press, 1992.

### **Software de aplicación**

Recomendados por el docente responsable del curso:

- EES – Engineering Equation Solver (2003), for Microsoft Windows Operating Systems, F-Chart Software.
- MATLAB® The Language of Technical Computing, Versión 7.4.0.287 (R2007a). The MathWorks, Inc.