



Resolución de Consejo Directivo **218 / 2022 - EXA -UNSa**  
EXPTE.Nº 8553/2008 - Aprobación programa de la asignatura  
TRANSFERENCIA DE CALOR Y MATERIA.  
**De: EXACTAS-Dirección de Docencia**



Salta,  
25/10/2022

**VISTO:** La presentación efectuada del Dr. Alejandro Luis HERNÁNDEZ, solicitando la aprobación del Programa de la asignatura “**Transferencia de Calor y Materia**”, como así también del Régimen de Regularidad y Promoción para las carreras: Licenciatura en Energías Renovables (plan 2005) y Licenciatura en Física (plan 2005); y

**CONSIDERANDO:**

Que, el citado Programa, el Régimen de Regularidad y Promoción, todos ellos obrantes en las presentes actuaciones, fueron sometidos a la opinión del Departamento de Física y de las respectivas Comisiones de Carreras.

Que, el despacho de la Comisión de Docencia e Investigación aconseja aprobar el programa analítico y el régimen de regularidad y promoción de la asignatura “**Transferencia de Calor y Materia**”.

Que, el Consejo Directivo en su Sesión Ordinaria celebrada el día 19 de Octubre de 2022, resuelve aprobar por unanimidad el despacho de Comisión de Docencia e Investigación.

POR ELLO, y en uso de las atribuciones que le son propias;

EL CONSEJO DIRECTIVO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS

(En su sesión ordinaria del día 19/10/2022)

**R E S U E L V E:**

ARTÍCULO 1º: Aprobar el Programa Analítico de la asignatura “**Transferencia de Calor y Materia**” como así también el Régimen de Regularidad y Promoción para las carreras: Licenciatura en Energías Renovables (Plan 2005) y Licenciatura en Física (Plan 2005), que como Anexo forma parte de la presente resolución.

ARTÍCULO 2º: Notifíquese fehacientemente a la Docente Responsable de la Cátedra: Dr. Alejandro Luis HERNÁNDEZ, Hágase saber, con copia, a las Comisiones de Carreras de: Licenciatura en Energías Renovables y Licenciatura en Física, al Departamento de Física, a la Secretaría de Coordinación Institucional, a la Secretaría




Resolución de Consejo Directivo **218 / 2022 - EXA -UNSa**  
EXPTE.Nº 8553/2008 - Aprobación programa de la asignatura  
TRANSFERENCIA DE CALOR Y MATERIA.  
**De: EXACTAS-Dirección de Docencia**



Salta,  
25/10/2022

Académica e Investigación de la Facultad, a la División Archivo y Digesto y al Departamento de Alumnos para su toma de razón, registro y demás efectos. Publíquese en la página web; siga a la Dirección de Consejo Directivo y Comisiones para su homologación.

MRM / sbb

  
Esp. Alejandra Paola del Olmo  
Secretaría de Coordinación Institucional  
Facultad de Ciencias Exactas - UNSa



  
Mag. GUSTAVO DANIEL GIL  
DECANO  
FACULTAD DE CS. EXACTAS - UNSa



Resolución de Consejo Directivo **218 / 2022 - EXA -UNSa**  
EXPTE.N° 8553/2008 - Aprobación programa de la asignatura  
TRANSFERENCIA DE CALOR Y MATERIA.  
De: **EXACTAS-Dirección de Docencia**



Salta,  
25/10/2022

## ANEXO EXA UNSA - EXP N° 8553/2008

**Asignatura:** Transferencia de Calor y Materia.

**Carreras:** Licenciatura en Energías Renovables Plan 2005. Licenciatura en Física, Plan 2005.

**Fecha de presentación:** 05/08/2022.

**Profesores:** Dr. Alejandro Hernández y Dr. Gonzalo Durán

**Modalidad de dictado:** cuatrimestral

**Objetivos de la asignatura:**

Se pretende que los alumnos adquieran conocimientos sobre:

Mecanismos de transferencia de calor en sólidos y fluidos.

Formulación de balances energéticos en 1, 2 y 3 dimensiones.

Técnicas analíticas y numéricas de resolución de las ecuaciones de difusión del calor y de masa en medios continuos.

Las termodinámicas racional y clásica de los procesos irreversibles.

Psicrometría.

### Contenidos Mínimos

La ecuación de la energía en sólidos y fluidos.

Transmisión de calor por conducción: casos estacionario y no estacionario, métodos analíticos y numéricos.

Transmisión de calor por convección. Capa límite térmica. Flujo totalmente desarrollado en conductos.

Convección natural externa. Convección natural en cavidades. Transferencia de calor por convección en régimen turbulento.

Transmisión de calor por radiación.

Ecuaciones de balance de especies. Difusión. Transferencia de masa en régimen de capa límite laminar en convección forzada y natural.

Termodinámica del aire húmedo.



Resolución de Consejo Directivo **218 / 2022 - EXA -UNSa**  
EXPT.E.Nº 8553/2008 - Aprobación programa de la asignatura  
TRANSFERENCIA DE CALOR Y MATERIA.  
De: **EXACTAS-Dirección de Docencia**



Salta,  
25/10/2022

Termodinámica del continuo. Procesos irreversibles. Relaciones de Onsager.

## **Desarrollo del programa analítico.**

### **PROGRAMA 2022**

#### **BOLILLA 1: Conducción de calor en sólidos en estado estacionario.**

Transferencia de calor por conducción en sólidos. Ley de Fourier. Propiedades térmicas de la materia. Conductividad térmica de sólidos, líquidos y gases. Sistemas aislantes. Ecuación de difusión del calor en coordenadas cartesianas, cilíndricas y esféricas. Condiciones de borde. Conducción unidimensional en estado estacionario: pared plana simple y compuesta y sistema radial sin generación interna de calor. Resistencia térmica: el símil eléctrico. Pared plana y sistema radial con generación interna de calor. Transferencia de calor desde superficies extendidas: aletas para aumentar la transferencia de calor. Análisis general de la conducción. Aletas de sección transversal uniforme. La aleta delgada sometida a diferentes condiciones de borde. Performance de las aletas: efectividad y eficiencia. Eficiencia global de la superficie extendida.

#### **BOLILLA 2: Conducción de calor en sólidos en estado estacionario bidimensional**

Transferencia de calor por conducción bidimensional en estado estacionario. Aproximaciones alternativas. El método analítico de separación de variables. Métodos numéricos de resolución. Ecuaciones en diferencias finitas: formulación matemática y física. Sistemas bi y tridimensionales. Soluciones a las ecuaciones en diferencias finitas. Métodos directo e interactivo. Método de inversión de matrices. Método iterativo de Gauss-Seidel.

#### **BOLILLA 3: Conducción de calor en sólidos en estado no estacionario.**

Modelo de la resistencia térmica interna despreciable. Rango de validez. Efectos espaciales. Conducción no estacionaria en una dimensión: la pared plana, el cilindro infinito y la esfera con convección superficial. Soluciones analíticas completas y aproximadas. Transferencia total de energía desde estas geometrías al fluido circundante. El sólido semi-infinito bajo condiciones de borde de temperatura superficial constante, flujo superficial constante, flujo superficial convectivo y



Salta,  
25/10/2022

excitación superficial periódica. Propagación en un sólido de una onda térmica de frecuencias diaria y anual. Efectos multidimensionales. Métodos numéricos en transferencia de calor por conducción no estacionaria: esquemas explícito e implícito. Discretización mediante balances de energía. El algoritmo de Thomas. Método de discretización de Crank-Nicolson. Generalización a 3 dimensiones.

#### **BOLILLA 4: Transferencia de calor por convección en flujo externo.**

Las capas límites convectivas: capa límite hidrodinámica y capa límite térmica. Ley de enfriamiento de Newton. Coeficientes de transferencia de calor por convección. Capa límite hidrodinámica laminar y turbulenta. Capa límite térmica laminar y turbulenta. Ecuaciones de capa límite para flujo laminar. Ecuaciones normalizadas. Parámetros de similitud. Forma funcional de las soluciones. El número de Nusselt. Significado físico de los números adimensionales. La placa plana en flujo paralelo. El método empírico: correlaciones entre números adimensionales. Flujo laminar sobre una placa plana isoterma: solución de semejanza. Flujo turbulento sobre una placa plana isoterma. Condiciones de capa límite mezclada. Placa plana con flujo de calor constante. Transferencia de calor por convección sobre cilindros y esferas. Flujo cruzado sobre un banco de tubos. Lechos empaquetados.

#### **BOLILLA 5: Transferencia de calor por convección en flujo interno.**

Transferencia de calor en conductos: región de entrada y región plenamente desarrollada. Condiciones de flujo. La velocidad media. Perfil de velocidad en la región plenamente desarrollada laminar. Gradiente de presión y factor de fricción en flujo plenamente desarrollado. Consideraciones térmicas. La temperatura media. Transferencia de calor por convección bajo condiciones plenamente desarrolladas. Balance de energía, consideraciones generales. Flujo de calor superficial constante. Temperatura superficial constante. Flujo laminar en tubos circulares. Análisis térmico en región completamente desarrollada. La región de entrada: soluciones para longitud de entrada térmica y longitud de entrada combinada. Flujo turbulento en tubos circulares. Tubos no circulares. Tubos anulares concéntricos.

#### **BOLILLA 6: Convección natural. Flujos externo e interno**

Consideraciones físicas de la convección natural. Ecuaciones gobernantes. La aproximación de Boussinesq. Consideraciones de similitud. Convección natural laminar sobre una superficie vertical. El efecto de la turbulencia en la transferencia de calor.



Resolución de Consejo Directivo **218 / 2022 - EXA -UNSa**  
EXPT.E.Nº 8553/2008 - Aprobación programa de la asignatura  
TRANSFERENCIA DE CALOR Y MATERIA.  
De: **EXACTAS-Dirección de Docencia**



Salta,  
25/10/2022

Correlaciones empíricas de convección natural externa sobre placas verticales, inclinadas y horizontales. El cilindro horizontal de gran longitud y la esfera. Convección natural dentro de canales de placas paralelas. Canales verticales y canales inclinados. Cavidades rectangulares. Espacios anulares: tubos y esferas concéntricas.

### **BOLILLA 7: Radiación térmica**

Características generales de la radiación térmica. El espectro de la radiación electromagnética. Intensidad de la radiación térmica. Intensidad y potencia emisiva espectrales de la radiación emitida. Potencia emisiva hemisférica total. Irradiación espectral y total de la radiación incidente. Radiosidad espectral y total. Radiación de cuerpo negro. Ley de distribución de Planck. Ley de desplazamiento de Wien. Ley de Stefan-Boltzmann. Radiación térmica y termografía. Emisión de banda. Emisión desde superficies reales. Absorción, reflexión y transmisión por superficies reales. Absortividad, Reflectividad y Transmisividad. Consideraciones especiales. Leyes de Kirchhoff. La superficie gris.

### **BOLILLA 8: Transferencia de calor por radiación.**

El factor de vista integral. Relaciones entre factores de vista. Factores de vista para geometrías bi y tridimensionales. Intercambio radiativo entre superficies grises difusas opacas dentro de cavidades. Intercambio radiativo neto en una superficie. Intercambio radiativo entre superficies. Resistencia térmica radiativa superficial y resistencia geométrica. Red térmica radiativa en cavidades de N superficies. Cavidades de dos superficies. Barreras radiantes. La superficie reradiante. Transferencia de calor multimodo.

### **BOLILLA 9: Transferencia de masa.**

Origen físico de la transferencia de masa. Composición de una mezcla de especies químicas. Ley de difusión de Fick. Difusividad de masa. Transferencia de masa en medios no estacionarios. Flujo difusivo. La aproximación de medio estacionario. Conservación de especies para un medio estacionario. La ecuación de difusión de masa. Difusión a través de un medio estacionario. Condiciones de borde en las interfaces. Evaporación y sublimación. Solubilidad de gases en líquidos y sólidos. Reacciones catalíticas superficiales. Difusión de masa con reacciones químicas homogéneas. Difusión no estacionaria. La capa límite de concentración de especies químicas. Coeficiente de transferencia de masa local y promedio. Ecuaciones de capa límite para



Resolución de Consejo Directivo **218 / 2022 - EXA -UNSa**  
EXPTE.Nº 8553/2008 - Aprobación programa de la asignatura  
TRANSFERENCIA DE CALOR Y MATERIA.  
**De: EXACTAS-Dirección de Docencia**



Salta,  
25/10/2022

flujo laminar. Similaridad de capa límite. Comparación de la forma funcional de las soluciones. La analogía de las transferencias de calor y materia.

### **BOLILLA 10: Termodinámica del aire húmedo. Psicrometría.**

El aire atmosférico. Características fundamentales del aire húmedo. Variables termodinámicas. Temperatura termodinámica de bulbo húmedo. Tablas para el aire húmedo. Relaciones de gas perfecto para cálculos aproximados. La carta psicrométrica. Procesos psicrométricos elementales: mezcla adiabática de dos corrientes de aire húmedo, calentamiento o enfriamiento sensible del aire húmedo, deshumidificación por enfriamiento, humidificación del aire húmedo y enfriamiento evaporativo. El psicrómetro y la medición de humedad. Teoría y uso práctico del psicrómetro. Correlación entre las temperaturas de bulbo húmedo termodinámica y psicrométrica.

### **BOLILLA 11: Termodinámica del continuo.**

Termodinámica racional: la primera y segunda ley de la termodinámica aplicada al continuo. Formulación integral y local del balance de energía y balance de especies químicas. Ecuaciones constitutivas. Termodinámica clásica de procesos irreversibles. Relaciones de Onsager. Comparación de ambas teorías. Termoelectricidad. Efecto Seebeck y efecto Peltier.

### **TRABAJOS PRACTICOS**

- 1) Conducción del Calor Unidimensional en Estado Estacionario
- 2) Superficies Extendidas – Aletas
- 3) Conducción de Calor en estado Transitorio
- 4) Transferencia de Calor por Convección
- 5) Transferencia de Calor por Convección en flujo externo
- 6) Transferencia de Calor por Convección en flujo interno
- 7) Transferencia de Calor por Convección Natural



Resolución de Consejo Directivo **218 / 2022 - EXA -UNSa**  
EXpte. N° 8553/2008 - Aprobación programa de la asignatura  
**TRANSFERENCIA DE CALOR Y MATERIA.**  
**De: EXACTAS-Dirección de Docencia**



Salta,  
25/10/2022

- 8) Transferencia de Calor por Radiación: Leyes Básicas y Propiedades Físicas Radiativas
- 9) Transferencia de Calor por Radiación: Intercambio Radiativo Entre Superficies
- 10) Termodinámica del aire Húmedo. Psicrometría.

### **LABORATORIOS**

- 1) Conducción unidimensional del calor de una barra de cobre.
- 2) Medición de capa límite hidrodinámica sobre placa plana.
- 3) Flujo de aire en conductos. Determinación de perfiles de velocidad y temperatura.
- 4) Determinación de valores de absorptancia solar y emitancia infrarroja de distintas superficies. Termo-grafía.
- 5) Mediciones psicrométricas. Temperaturas de bulbo seco y húmedo. Psicrometría.
- 6) Termoelectricidad. Ensayo de una celda Peltier.

### **Bibliografía**

- Incropera, F. & DeWitt, D., Fundamentals of Heat and Mass Transfer, 4rd Edition, 1999, John Wiley & Sons.
- Duffie and Beckman, Solar Engineering of Thermal Processes, 3rd Edition, 2006, Wiley Interscience, New York.
- Bejan A. Convection Heat Transfer, 2006. John Wiley and Sons.
- Patankar S. V. Numerical Heat Transfer and Fluid Flow, 1980, Mc Graw-Hill.
- Kuehn T. H., Ramsey J. W., Threlkeld J. L., Thermal Environmental Engineering, 3rd Edition, 1998, Prentice Hall.
- Threlkeld J. L., Ingeniería del Ámbito Térmico, 1973. Prentice Hall.





Resolución de Consejo Directivo **218 / 2022 - EXA -UNSa**  
EXPTE. Nº 8553/2008 - Aprobación programa de la asignatura  
**TRANSFERENCIA DE CALOR Y MATERIA.**  
**De: EXACTAS-Dirección de Docencia**



Salta,  
25/10/2022

- Cengel Y. A., Thermodynamics, 5st Edition, 2005. Mc Graw-Hill.

Libros de consulta:

- Bird R. B., Stewart W. E., Lightfoot E. N., Fenómenos de Transporte, 1992. Editorial Reverté S. A.

- Eckert E., Drake , Analysis of Heat and Mass Transfer, 1987. Hemisphere Publishing Corporation.

- Rohsenow W.M., Hartnett J.P., Ganic E.N., Handbook of Heat Transfer Fundamentals, 2nd Ed., 1985.

Mc Graw-Hill.

- Isachenko V., Osipova V., Sukomel A., Transmisión del Calor, 1973. Marcombo S. A.

- Treyball R. E., Operaciones de Transferencia de Masa, 2nd Edition, 1980. Mc Graw-Hill.

- Pizzetti C., Acondicionamiento del Aire y Refrigeración, 1ra Edición, 1971. Interciencia.

- Slattery J. C., Momentum, Energy, and Mass Transfer in Continua, 1981, 2nd edition. Krieger Pub Co.

- Haase R., Thermodynamic of Irreversible Processes, 1969. Reading, Mass. Addison-Wesley.

### Reglamento de Cátedra

① **Clases teóricas:** se dictarán 2 clases teóricas semanales donde se impartirán los conceptos fundamentales de cada tema incluido en el presente programa analítico las cuales no serán de carácter obligatorio. En estas clases se fomentará la participación activa de los alumnos mediante el debate de ideas y la discusión de contenidos, buscando relacionar los nuevos conceptos con los aprendidos en asignaturas relacionadas cursadas con anterioridad.



Resolución de Consejo Directivo **218 / 2022 - EXA -UNSa**  
EXPT.E.Nº 8553/2008 - Aprobación programa de la asignatura  
TRANSFERENCIA DE CALOR Y MATERIA.  
De: **EXACTAS-Dirección de Docencia**



Salta,  
25/10/2022

**Trabajos Prácticos:** se realizarán trabajos prácticos de resolución de problemas relacionados a cada tema del programa. Estos trabajos no son obligatorios por lo que no se exigirá ningún porcentaje de asistencia ni presentación de informe de resultados.


**Laboratorios:** se realizarán los laboratorios consignados en el programa los cuales son de carácter obligatorio, debiendo los alumnos asistir a las clases en que se desarrollen y aprobar la totalidad de los informes correspondientes.

Se realizarán dos evaluaciones parciales. En ellas se pedirá:

La resolución de problemas del tipo de los realizados en los trabajos prácticos o El planteo y resolución analítico/computacional (según corresponda) de un problema real de envergadura media. En este caso, se asignarán problemas distintos a cada alumno y tendrán un plazo extendido (entre una y dos semanas) para su resolución, según la dificultad del problema asignado.

En estas evaluaciones parciales se calificará de 1 a 100, y se aprobará con el 60 % de los puntos.

Se regularizará la asignatura aprobando los dos parciales o sus correspondientes recuperaciones y el 100% de los informes de laboratorio.

  
Esp. Alejandra Paola del Olmo  
Secretaria de Coordinación Institucional  
Facultad de Ciencias Exactas - UNSa



  
Mag. GUSTAVO DANIEL GIL  
DECANO  
FACULTAD DE CS. EXACTAS - UNSa