Última actualización: November 1, 2026

🗺️ Ruta de cuatro años · Año 4, Otoño

Sobre este curso

Este curso gratuito tiene 10 unidades y 6 laboratorios. Son los totales reales, no un programa más largo recortado.

Una comprobación es un número o un resultado de código en una página de curso que un script vuelve a calcular antes de publicar. El número impreso y el recalculado tienen que coincidir.

> Este es el esquema de un curso gratuito de autoestudio escrito por Saving Planets. No es un curso universitario, no otorga créditos académicos y ninguna institución participa.
>
> Su alcance sigue un curso semestral de último año de transferencia de calor para ingenieros. Se basa en los temas y la profundidad del libro en línea gratuito A Heat Transfer Textbook de Lienhard y Lienhard y de MIT 2.51 Intermediate Heat and Mass Transfer (gratis en MIT OpenCourseWare), que enlazamos donde ayudan. Ninguno de esos autores, centros u organismos respalda esta página.
>
> Lo que añadimos: cada unidad se vincula a trabajo real con una fuente pública citada (el balance energético de la Tierra de la NASA, Parker Solar Probe y las bombas de calor ENERGY STAR), cada número de la página se recalcula con un script de verificación antes de publicarse, y cada práctica tiene una simulación gratuita o una hoja de cálculo.
>
> Síguelo en orden. Cada unidad tiene objetivos, ideas clave, ecuaciones, ejemplos paso a paso, práctica con respuestas completas, errores comunes, tarjetas de estudio y un cuestionario. Tu progreso se guarda solo en este navegador.

Cómo ayuda este curso a salvar el planeta

El clima de la Tierra es un problema de transferencia de calor: entra luz solar, sale infrarrojo térmico, y la convección y la evaporación mueven calor entre ambos. La misma física decide cuánta energía desperdician nuestros edificios, motores y electrónica.

El aislamiento, las bombas de calor y los intercambiadores eficientes están entre las soluciones climáticas más baratas. Cada unidad termina con una breve sección con fuentes. Los valores que no proceden de una fuente se indican como valores de ejemplo o de libro.

Para docentes

Puedes enseñar este curso o dejar que un estudiante lo haga solo. Es gratis. Saving Planets no pone nota ni da crédito escolar.

- Esta página es el curso completo: 10 unidades y 6 laboratorios (AERO 440).
- Calcula 15 semanas, unas 6 a 9 horas por semana, incluidas las semanas de laboratorio.
- Sigue el calendario de 15 semanas. Lee la unidad, haz la práctica en papel y luego abre la respuesta. En una semana de laboratorio, haz el laboratorio o la versión en casa.
- Una comprobación es un número o un resultado de código en la página que un script vuelve a calcular antes de publicar. El número que ves y el recalculado tienen que coincidir.
- Usa Imprimir esta página, o descarga la guía de estudio en PDF. La hoja de fórmulas está cerca del final.
- Pregunta: ¿cómo ayuda esta unidad a las personas y al planeta? Cada unidad tiene un recuadro verde con un dato y su fuente.
- Copia la plantilla de guía docente y escribe el nombre de tu clase, el tiempo que tienes y las preguntas que harás. Abrir la plantilla de guía docente

Antes de empezar

Requisitos previos

- Termodinámica: balances de energía y primer y segundo principios.
- Mecánica de fluidos: capas límite, número de Reynolds y flujo en tuberías.
- Ecuaciones diferenciales: EDO de primer orden y separación de variables.
- Cálculo III: gradientes e integrales sobre áreas y volúmenes.

Cómo estudiar

- Dibuja el sistema y cada flecha de flujo de calor antes de escribir una ecuación.
- Usa kelvin para la radiación y diferencias de temperatura para la conducción y la convección.
- Convierte cada problema en una red de resistencias térmicas cuando puedas.
- Comprueba los números adimensionales (Bi, Re, Pr, Nu, Ra) para elegir la correlación correcta.
- Compara las respuestas con la experiencia diaria: una casa cálida, una taza que se enfría, una sartén caliente.
- Haz cada ejercicio en papel antes de abrir la respuesta, y repite los cuestionarios unos días después.

Qué necesitas

- Un ordenador o tableta para las simulaciones gratuitas de PhET Energy Forms and Changes, Blackbody Spectrum y Greenhouse Effect.
- Software de hoja de cálculo (sirve cualquiera gratuito), o Python.

- El libro en línea gratuito A Heat Transfer Textbook en un navegador web.
- Una calculadora.

Calendario sugerido de 15 semanas

Unas 6 a 9 horas por semana: lectura, problemas de práctica y, en las semanas de laboratorio, el laboratorio.

Semana	Unidad	Temas	Lectura
1	Modos de transferencia de calor y balances de energía	Modos y balances de energía	Lienhard AHTT
2	Conducción estacionaria y resistencia térmica	Resistencia térmica; Práctica A	Lienhard AHTT
3	Cilindros, esferas y aletas	Cilindros y radio crítico	Lienhard AHTT
4	Cilindros, esferas y aletas	Aletas; Práctica B	MIT 2.51
5	Conducción transitoria	Conducción transitoria; Práctica C	Lienhard AHTT
6	Convección forzada externa	Capas límite	MIT 2.51
7	Convección forzada externa	Correlaciones de placa plana; Práctica D; práctica de examen parcial	Lienhard AHTT
8	Flujo interno e intercambiadores de calor	Flujo interno	MIT 2.51
9	Flujo interno e intercambiadores de calor	Intercambiadores de calor	Lienhard AHTT
10	Convección natural y ebullición	Convección natural y ebullición	Lienhard AHTT
11	Fundamentos de la radiación	Fundamentos de la radiación; Práctica E	NASA Earth Observatory
12	Intercambio radiativo y pantallas	Factores de forma	Lienhard AHTT
13	Intercambio radiativo y pantallas	Pantallas y Parker Solar Probe	NASA Parker Solar Probe
14	Bombas de calor, edificios y el balance energético de la Tierra	Bombas de calor y balance de la Tierra; Práctica F	ENERGY STAR
15	Bombas de calor, edificios y el balance energético de la Tierra	Repaso; práctica para el final	MIT 2.51

Tu progreso

Marca las unidades y los laboratorios al terminarlos y haz los cuestionarios. El progreso y las puntuaciones se guardan solo en este navegador y nunca se nos envían.

Unidades

Modos de transferencia de calor y balances de energía

Conducción, convección y radiación, sus ecuaciones de flujo, y balances de energía en superficies y volúmenes de control.

Objetivos de aprendizaje

Al terminar esta unidad podrás:

- Nombrar los tres modos y sus leyes de flujo.
- Calcular los flujos de conducción, convección y radiación.
- Escribir un balance de energía en una superficie.
- Leer el balance energético de la Tierra como un balance de calor.

Conceptos clave

- La transferencia de calor es energía en tránsito debido a una diferencia de temperatura; la termodinámica dice cuánta, la transferencia de calor dice a qué ritmo.
- La conducción transporta energía a través de un sólido o un fluido en reposo por contacto molecular (ley de Fourier).
- La convección transporta energía entre una superficie y un fluido en movimiento (ley de enfriamiento de Newton, con un coeficiente de transferencia h).
- La radiación transporta energía mediante ondas electromagnéticas, no necesita medio y crece con T^4 en kelvin (ley de Stefan–Boltzmann).
- Una superficie no almacena energía, así que lo que llega por un modo debe salir por los demás.

Ecuaciones clave

$$q = kA\frac{\Delta T}{L}$$

`q=kA(Δ T)/(L)`

Ley de Fourier, pared plana

$$q = hA(T_s - T_\infty)$$

`q=hA(T_s-T_∞)`

Ley de enfriamiento de Newton

$$q = \varepsilon\sigma A(T_s^4 - T_{sur}^4)$$

`q=σ A(T_s^4-T_sur^4)`

Radiación neta hacia un entorno grande

$$\dot{E}_{in} - \dot{E}_{out} + \dot{E}_g = \dot{E}_{st}$$

```
E_in- E_out+ E_g= E_st
```

Balance de energía

Ejemplos resueltos paso a paso

Ejemplo 1.1 Un muro de hormigón de 0.2 m (k = 1.4 W/(m·K), ejemplo) de área 10 m² tiene una diferencia de 15 K. Halla q.

1. q = 1.4 × 10 × 15/0.2.

Respuesta: 1050 W.

Ejemplo 1.2 Una placa con ε = 0.9 a 400 K está en un entorno a 300 K. ¿Radiación neta por m²?

1. $0.9\sigma(400^4 - 300^4) = 0.9 \times 5.670374419 \times 10^{-8} \times 1.75 \times 10^{10}$.

Respuesta: 893 W/m².

Ejemplo 1.3 La NASA dice que cerca del 29% de la luz solar entrante se refleja y que la media global es de unos 340 W/m². ¿Cuánto se absorbe?

1. Reflejado: 0.29 × 340 = 98.6 W/m².
2. Absorbido: 340 − 98.6.

Respuesta: 241.4 W/m², coincide con los aproximadamente 240 W/m² de la NASA.

Problemas de práctica

Resuelve cada uno primero en papel y luego comprueba.

1. Repite el ejemplo del muro con k = 0.04 W/(m·K).

   30 W.

2. ¿Convección con h = 25 W/(m²·K), A = 2 m², ΔT = 40 K?

   2000 W.

3. ¿Por qué la radiación debe usar kelvin?

T^4 depende de la temperatura absoluta.

4. ¿Por qué 1360/4 es la insolación media global?

   El área de una esfera es 4 veces la de su disco de sombra: 1360/4 = 340 W/m².

Ideas erróneas comunes

Mito: Calor y temperatura son lo mismo.

En realidad: La temperatura es un estado; el calor es energía en tránsito.

Mito: La radiación necesita aire.

En realidad: Viaja a través del vacío.

Mito: h es una propiedad del material.

En realidad: Depende del flujo y de la geometría.

Tarjetas de estudio

Conducción

Transferencia de energía molecular a través de la materia.

Convección

Transferencia de una superficie a un fluido en movimiento.

Radiación

Intercambio de energía electromagnética.

h

Coeficiente de convección, W/(m²·K).

k

Conductividad térmica, W/(m·K).

Balance de superficie

Entrada = salida en una superficie.

Cuestionario de autoevaluación

1. q del muro de hormigón...

1050 W

105 W

4200 W

210 W

1050 W. 1.4 × 10 × 15/0.2.

2. La radiación escala con...

T^4 (K)

T (°C)

T^2

$\sqrt{T}$

T^4 (K). Stefan–Boltzmann.

3. La Tierra absorbe unos...

240 W/m^2

1360 W/m^2

29 W/m^2

0.8 W/m^2

240 W/m^2. NASA.

4. Modo que no necesita medio...

radiación

conducción

convección

ebullición

radiación. Ondas.

Repetir este cuestionario

Cómo ayuda esto a salvar el planeta

El NASA Earth Observatory dice que la irradiancia solar total es de unos 1360 W/m², con una media de unos 340 W/m² sobre el globo; cerca del 29% se refleja, el 23% lo absorbe la atmósfera y el 48% la superficie, así que la Tierra absorbe unos 240 W/m².

Para tener una temperatura estable, la Tierra debe radiar de vuelta al espacio los mismos 240 W/m² como infrarrojo térmico, el balance de calor al que vuelve este curso en la unidad 10.

En Saving Planets: Observación de la Tierra · Termodinámica

Fuentes: NASA Earth Observatory: Climate and Earth's Energy Budget (https://earthobservatory.nasa.gov/features/EnergyBalance)

Recursos de aprendizaje gratuitos

- J. H. Lienhard IV and J. H. Lienhard V, A Heat Transfer Textbook (free online edition) (https://ahtt.mit.edu/): Libro gratuito, capítulo 1.
- NASA Earth Observatory: Climate and Earth's Energy Budget (https://earthobservatory.nasa.gov/features/EnergyBalance): Explicación de la NASA.

☐ **Terminé esta unidad**

Conducción estacionaria y resistencia térmica

La ecuación del calor, conducción estacionaria unidimensional, redes de resistencias térmicas, paredes compuestas y aislamiento.

Objetivos de aprendizaje

Al terminar esta unidad podrás:

- Enunciar la ecuación del calor y su forma 1D estacionaria.
- Construir redes de resistencias en serie y en paralelo.
- Calcular la pérdida de calor a través de una pared compuesta.
- Cuantificar el ahorro debido al aislamiento.

Conceptos clave

- La ecuación del calor equilibra conducción, generación y almacenamiento; en régimen estacionario sin generación, una pared plana tiene un perfil de temperatura lineal.
- Cada capa actúa como una resistencia eléctrica: R = L/(kA) para la conducción, 1/(hA) para la convección.
- Las resistencias en serie se suman; el flujo de calor es el ΔT total dividido por la resistencia total, como una corriente.
- La mayor resistencia controla el flujo de calor, por eso el aislamiento (k bajo) es lo que más importa.
- La resistencia de contacto entre capas puede añadir una resistencia sorprendente en electrónica y uniones.

Ecuaciones clave

$$\nabla \cdot (k \nabla T) + \dot{q} = \rho c \frac{\partial T}{\partial t}$$

```
·(k T)+ q=ρ c( T)/( t)
```

Ecuación del calor

$$R_{cond} = \frac{L}{kA}$$

```
R_cond=L/kA
```

Resistencia de conducción

$$R_{conv} = \frac{1}{hA}$$

R_conv=1/hA

Resistencia de convección

$$q = \frac{T_{\infty,1} - T_{\infty,2}}{\sum R}$$

q=_∞,1-T_∞,2 R

Red en serie

Ejemplos resueltos paso a paso

Ejemplo 2.1 Una pared tiene aire interior (h = 8), 0.1 m de aislante (k = 0.04), 0.1 m de ladrillo (k = 0.7) y aire exterior (h = 25), todos valores de ejemplo. Halla la resistencia por m².

1. 1/8 + 0.1/0.04 + 0.1/0.7 + 1/25 = 0.125 + 2.5 + 0.1429 + 0.04.

Respuesta: 2.808 m²·K/W.

Ejemplo 2.2 Con 20 K entre interior y exterior, halla el flujo de calor y la pérdida a través de 100 m².

1. q" = 20/2.808 = 7.12 W/m².
2. q = 100 × 7.12.

Respuesta: 712 W.

Ejemplo 2.3 Quita el aislante. ¿Cuánto crece la pérdida?

1. R" = 0.3079 m²·K/W.
2. q" = 20/0.3079 = 64.97 W/m².

Respuesta: Unas 9.1 veces; el aislante reduce la pérdida un 89.0%.

Problemas de práctica

Resuelve cada uno primero en papel y luego comprueba.

1. Duplica el aislante a 0.2 m. ¿Nuevo q"?

   R" = 5.308, q" = 3.77 W/m².

2. ¿Qué capa domina en la pared original?

El aislante, 2.5 de 2.808 $m^2 \cdot K/W$.

3. Escribe R para dos capas en paralelo.

   $1/R = 1/R_1 + 1/R_2$.

4. ¿Forma de T(x) en una pared plana en régimen estacionario?

   Lineal.

Ideas erróneas comunes

Mito: Las capas delgadas nunca importan.

En realidad: Una capa delgada de k bajo puede dominar.

Mito: Las resistencias en serie se multiplican.

En realidad: Se suman.

Mito: Las películas de aire no añaden nada.

En realidad: La resistencia de convección es real.

Tarjetas de estudio

Resistencia térmica

ΔT por unidad de flujo de calor.

Ecuación del calor

Balance de energía en un sólido.

Pared compuesta

Capas en serie.

Aislamiento

Material de k bajo.

Resistencia de contacto

Resistencia en una interfaz.

Valor U

Coeficiente global, 1/R".

Cuestionario de autoevaluación

1. R" total...

2.808 $m^2 \cdot K/W$

2.5

0.308

28.08

2.808 m²·K/W. Suma las capas.

2. Pérdida a través de 100 m²...

712 W

71 W

6497 W

2000 W

712 W. 100 × 7.12.

3. Ahorro por aislamiento...

89.0%

50%

9.1%

25%

89.0%. 1 − 0.3079/2.808.

4. Las resistencias en serie...

se suman

se multiplican

se promedian

se anulan

se suman. Analogía con circuitos.

Repetir este cuestionario

Cómo ayuda esto a salvar el planeta

ENERGY STAR dice que una factura energética típica de un hogar estadounidense ronda los $1900 al año y casi la mitad va a calefacción y refrigeración.

La pared de ejemplo de esta unidad muestra por qué sellar y aislar va primero: añadir aislante redujo la pérdida por conducción en cerca de un 89%, así que cualquier sistema de calefacción tiene mucho menos calor que reponer.

En Saving Planets: Soluciones · Termodinámica

Fuentes: ENERGY STAR: Air-Source Heat Pumps (https://www.energystar.gov/products/air_source_heat_pumps)

Recursos de aprendizaje gratuitos

- J. H. Lienhard IV and J. H. Lienhard V, A Heat Transfer Textbook (free online edition) (https://ahtt.mit.edu/): Libro gratuito, capítulo 2.
- MIT OpenCourseWare 2.51 Intermediate Heat and Mass Transfer (Fall 2008) (https://ocw.mit.edu/courses/2-51-intermediate-heat-and-mass-transfer-fall-2008/): Clases gratuitas del MIT.

☐ **Terminé esta unidad**

Cilindros, esferas y aletas

Conducción radial, aislamiento de tuberías y radio crítico, superficies extendidas, eficiencia de aletas y refrigeración de electrónica.

Objetivos de aprendizaje

Al terminar esta unidad podrás:

- Calcular la resistencia de conducción radial.
- Hallar el radio crítico de aislamiento.
- Calcular el parámetro de aleta m y la eficiencia de aleta.
- Estimar el calor de una aleta.

Conceptos clave

- En un cilindro el área crece con el radio, así que el perfil de temperatura es logarítmico y R = ln(r_2/r_1)/(2πkL).
- Añadir aislante a un cable fino puede aumentar la pérdida de calor hasta que el radio exterior supera el radio crítico k/h.
- Las aletas añaden área donde h es bajo (normalmente gases), como en cilindros de motor, disipadores y radiadores.
- El parámetro de aleta m = √(hP/(kA_c)) fija la rapidez con que la temperatura de la aleta decae desde su base.
- La eficiencia de aleta compara el calor real con el calor si toda la aleta estuviera a la temperatura de la base.

Ecuaciones clave

$$R_{cyl} = \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi k L}$$

```
R_cyl=((r_2/r_1))/(2π kL)
```

Resistencia radial

$$r_{cr} = \frac{k}{h}$$

```
r_cr=k/h
```

Radio crítico (cilindro)

$$m = \sqrt{\frac{hP}{kA_c}}$$

`m=(hP)/(kA_c)`

Parámetro de aleta

$$\eta_f = \frac{\tanh(mL_c)}{mL_c}$$

`_f=((mL_c))/(mL_c)`

Eficiencia de aleta

Ejemplos resueltos paso a paso

Ejemplo 3.1 Aislamiento de tubería de r = 0.05 a 0.1 m, k = 0.04 W/(m·K), 1 m de largo, 100 K de diferencia (valores de ejemplo). Halla R y q.

1. R = ln 2/(2π × 0.04) = 2.758 K/W.
2. q = 100/2.758.

Respuesta: 36.3 W por metro.

Ejemplo 3.2 Una aleta de aguja de aluminio (k = 200) mide 5 mm de diámetro con h = 50 W/(m²·K) y una longitud efectiva de 20 mm. Halla η.

1. m = √(4h/(kD)) = √(200/1) = 14.14 m⁻¹.
2. mL = 0.2828.
3. η = tanh(0.2828)/0.2828.

Respuesta: 0.974.

Ejemplo 3.3 ¿Calor de esa aleta con un exceso de 50 K en la base?

1. A_f = πDL = 3.142 × 10⁻⁴ m².
2. q = ηhA_fθ = 0.974 × 50 × 3.142 × 10⁻⁴ × 50.

Respuesta: 0.765 W.

Problemas de práctica

Resuelve cada uno primero en papel y luego comprueba.

1. ¿Radio crítico para k = 0.04 y h = 8?

5 mm.

2. ¿Eficiencia de aleta con L = 40 mm?

   mL = 0.566, η = 0.905.

3. ¿Por qué las aletas sirven más para aire que para agua?

   El h bajo del aire hace del área el cuello de botella.

4. ¿Forma del perfil en una pared cilíndrica?

   Logarítmica.

Ideas erróneas comunes

Mito: Más aislante siempre ayuda.
En realidad: No por debajo del radio crítico.

Mito: Las aletas más largas siempre ayudan mucho.
En realidad: La eficiencia cae con la longitud.

Mito: Las aletas funcionan en cualquier medio.
En realidad: Compensan donde h es bajo.

Tarjetas de estudio

Radio crítico

k/h para cilindros.

Fin

Superficie extendida.

Eficiencia de aleta

Calor real sobre calor ideal de la aleta.

m

Parámetro de decaimiento de la aleta.

Disipador

Conjunto de aletas.

Perfil logarítmico

Temperatura estacionaria de un cilindro.

Cuestionario de autoevaluación

1. R de la tubería...

2.758 K/W

0.276

27.6

1.0

2.758 K/W. ln 2/(2π × 0.04).

2. Radio crítico...

5 mm

50 mm

0.5 mm

200 mm

5 mm. k/h.

3. Eficiencia de aleta...

0.974

0.5

0.283

1.2

0.974. tanh(mL)/mL.

4. Calor de la aleta...

0.765 W

7.65 W

76.5 W

0.0765 W

0.765 W. ηhAθ.

Repetir este cuestionario

Cómo ayuda esto a salvar el planeta

El calor se mueve igual en la pared de una tubería que en la corteza de un planeta: de lo caliente a lo frío, a través de resistencias en serie.

Aislar las tuberías de agua caliente y vapor es una de las medidas de eficiencia más sencillas en edificios e industria. Todos los valores de esta unidad son valores de libro de ejemplo.

En Saving Planets: Soluciones · Circuitos

Fuentes: J. H. Lienhard IV and J. H. Lienhard V, A Heat Transfer Textbook (free online edition) (https://ahtt.mit.edu/)

Recursos de aprendizaje gratuitos

- J. H. Lienhard IV and J. H. Lienhard V, A Heat Transfer Textbook (free online edition) (https://ahtt.mit.edu/): Libro gratuito, capítulo 4.
- MIT OpenCourseWare 2.51 Intermediate Heat and Mass Transfer (Fall 2008) (https://ocw.mit.edu/courses/2-51-intermediate-heat-and-mass-transfer-fall-2008/): Clases gratuitas del MIT.

☐ **Terminé esta unidad**

Conducción transitoria

El número de Biot, el modelo de capacidad concentrada, las constantes de tiempo y cuándo importan los gradientes espaciales de temperatura.

Objetivos de aprendizaje

Al terminar esta unidad podrás:

- Calcular el número de Biot.
- Usar el modelo concentrado cuando Bi < 0.1.
- Calcular una constante de tiempo térmica.
- Hallar el tiempo para alcanzar una temperatura objetivo.

Conceptos clave

- El número de Biot compara la resistencia de conducción interna con la resistencia de convección externa.
- Cuando Bi < 0.1, el cuerpo es casi uniforme en temperatura y el modelo concentrado funciona.
- En el modelo concentrado, el exceso de temperatura decae exponencialmente con constante de tiempo τ = ρcV/(hA).
- Para Bi mayores, usa soluciones en serie de un término o gráficas (Heisler) o un método numérico.
- Una gran capacidad calorífica frena la respuesta: los océanos y los muros gruesos son volantes térmicos.

Ecuaciones clave

$$Bi = \frac{hL_c}{k},\ L_c = V/A$$

`Bi=(hL_c)/(k),\ L_c=V/A`

Número de Biot

$$\tau = \frac{\rho c V}{hA}$$

`τ=(ρ cV)/(hA)`

Constante de tiempo

$$\frac{T - T_\infty}{T_i - T_\infty} = e^{-t/\tau}$$

`(T-T_∞)/(T_i-T_∞)=e^-t/τ`

Respuesta concentrada

$$t = \tau \ln \frac{\theta_i}{\theta}$$

`t=τ(θ_i)/(θ)`

Tiempo hasta un objetivo

Ejemplos resueltos paso a paso

Ejemplo 4.1 Una esfera de aluminio de 10 mm (k = 237, ρ = 2700, c = 900) se enfría en aire con h = 50. Halla Bi.

1. L_c = D/6 = 1.667 × 10^{-3} m.
2. Bi = 50 × 1.667 × 10^{-3}/237.

Respuesta: 3.52 × 10^{-4}, así que el modelo concentrado funciona.

Ejemplo 4.2 Halla τ para esa esfera.

1. τ = 2700 × 900 × 1.667 × 10^{-3}/50.

Respuesta: 81 s.

Ejemplo 4.3 ¿Cuánto tarda en enfriarse de 300 °C a 50 °C en aire a 20 °C?

1. θ_i = 280 K, θ = 30 K.
2. t = 81 ln(280/30) = 81 × 2.234.

Respuesta: 181 s.

Problemas de práctica

Resuelve cada uno primero en papel y luego comprueba.

1. ¿Fracción del exceso que queda tras un τ?

   e^{-1} = 0.368.

2. ¿Tiempo para reducir el exceso a la mitad?

$\tau \ln 2 = 56.1$ s.

3. Bi = 0.5. ¿Es válido el modelo concentrado?

   No; usa soluciones en serie o numéricas.

4. Duplica h. ¿Qué le pasa a τ?

   Se reduce a la mitad, a 40.5 s.

Ideas erróneas comunes

Mito: Bi es el número de Nusselt.
En realidad: Bi usa la k del sólido; Nu la del fluido.

Mito: El modelo concentrado sirve para cualquier tamaño.
En realidad: Solo cuando Bi < 0.1.

Mito: El enfriamiento es lineal en el tiempo.
En realidad: Es exponencial.

Tarjetas de estudio

Número de Biot

Resistencia interna sobre externa.

Capacidad concentrada

Modelo de temperatura uniforme.

Constante de tiempo

$\rho cV/(hA)$.

Gráfica de Heisler

Gráfica de la solución transitoria de un término.

Masa térmica

Capacidad calorífica que frena los cambios.

L_c

Longitud característica V/A.

Cuestionario de autoevaluación

1. Constante de tiempo...

81 s

8.1 s

810 s

181 s

81 s. ρcV/(hA).

2. Tiempo de enfriamiento hasta 50 °C...

181 s

81 s

56 s

300 s

181 s. $\tau \ln(280/30)$.

3. El modelo concentrado es válido cuando...

$Bi < 0.1$

$Bi > 1$

$Re > 5 \times 10^5$

$Nu < 1$

$Bi < 0.1$. Cuerpo uniforme.

4. Tras un τ...

queda 36.8%

queda 50%

queda 0%

queda 63.2%

queda 36.8%. e^{-1}.

Repetir este cuestionario

Cómo ayuda esto a salvar el planeta

El Earth Observatory de la NASA señala que la superficie de la Tierra promedia unos 15 °C, más de 30 °C por encima de lo que estaría sin atmósfera.

En el lenguaje de esta unidad, una gran capacidad calorífica significa una constante de tiempo larga; la capacidad calorífica de los océanos da al clima terrestre una respuesta lenta (una idea de libro, no una cifra de la NASA).

En Saving Planets: Océanos · Observación de la Tierra

Fuentes: NASA Earth Observatory: Climate and Earth's Energy Budget (https://earthobservatory.nasa.gov/features/EnergyBalance)

Recursos de aprendizaje gratuitos

- J. H. Lienhard IV and J. H. Lienhard V, A Heat Transfer Textbook (free online edition) (https://ahtt.mit.edu/): Libro gratuito, capítulo 5.
- MIT OpenCourseWare 2.51 Intermediate Heat and Mass Transfer (Fall 2008) (https://ocw.mit.edu/courses/2-51-intermediate-heat-and-mass-transfer-fall-2008/): Clases gratuitas del MIT.

☐ **Terminé esta unidad**

Convección forzada externa

Capas límite, números de Reynolds, Prandtl y Nusselt, correlaciones de placa plana y flujo sobre cilindros.

Objetivos de aprendizaje

Al terminar esta unidad podrás:

- Calcular Re, Pr y Nu.
- Usar la correlación laminar de placa plana.
- Hallar h y la tasa de calor.
- Comprobar la transición en Re ≈ 5 × 10⁵.

Conceptos clave

- Sobre una superficie se forman capas límite de velocidad y térmica; el calor cruza la fina capa de fluido lento por conducción.
- El número de Nusselt Nu = hL/k es el coeficiente de transferencia de calor adimensional.
- El número de Prandtl compara la difusividad de cantidad de movimiento y la térmica (unos 0.7 para el aire, unos 7 para el agua cerca de la temperatura ambiente, valores de libro).
- En una placa plana, el flujo suele ser laminar por debajo de Re ≈ 5 × 10⁵; la turbulencia eleva h.
- Las correlaciones son ajustes a experimentos; úsalas dentro de sus rangos indicados.

Ecuaciones clave

$$Re_L = \frac{VL}{\nu}$$

`Re_L=(VL)/(ν)`

Número de Reynolds

$$Nu_L = \frac{\bar{h}L}{k}$$

`Nu_L=( hL)/(k)`

Número de Nusselt

$$\overline{Nu}_L = 0.664 Re_L^{1/2} Pr^{1/3}$$

`_L=0.664Re_L^1/2Pr^1/3`

Placa plana laminar (promedio)

$$\overline{Nu}_L = 0.037 Re_L^{4/5} Pr^{1/3}$$

_L=0.037Re_L^4/5Pr^1/3

Placa plana turbulenta (promedio)

Ejemplos resueltos paso a paso

Ejemplo 5.1 Aire (ν = 1.5 × 10⁻⁵, k = 0.026, Pr = 0.71) fluye a 5 m/s sobre una placa de 0.5 m. Halla Re.

1. Re = 5 × 0.5/1.5 × 10⁻⁵.

Respuesta: 166667, laminar.

Ejemplo 5.2 Halla el Nu medio y h.

1. Nu = 0.664 × 166,667^½ × 0.71^⅓ = 0.664 × 408.2 × 0.892 = 241.8.
2. h = 241.8 × 0.026/0.5.

Respuesta: 12.6 W/(m²·K).

Ejemplo 5.3 ¿Calor de una placa de 0.5 × 1 m a 30 K por encima del aire?

1. q = 12.58 × 0.5 × 30.

Respuesta: 189 W.

Problemas de práctica

Resuelve cada uno primero en papel y luego comprueba.

1. Repite h a 10 m/s.

   Re = 333333, h = 17.8 W/(m²·K) (√2 veces mayor).

2. ¿Re a 1 m/s?

   33,333.

3. Nombra el h adimensional.

   Número de Nusselt.

4. ¿Por qué la turbulencia eleva h?

   La mezcla adelgaza la capa lenta junto a la pared.

Ideas erróneas comunes

Mito: Nu usa la k del sólido.

En realidad: Usa la k del fluido.

Mito: Una correlación sirve para todos los flujos.

En realidad: Comprueba el rango y la geometría.

Mito: h es constante a lo largo de una placa.

En realidad: El h local disminuye al crecer la capa.

Tarjetas de estudio

Número de Reynolds

Inercia sobre viscosidad.

Número de Prandtl

ν/α.

Número de Nusselt

hL/k.

Capa límite

Región delgada junto a la pared.

Correlación

Ajuste a experimentos.

Transición

De laminar a turbulento.

Cuestionario de autoevaluación

1. Re a 5 m/s...

166,667

16,667

1.67×10^6

6000

166,667. VL/ν.

2. h medio...

12.6 W/(m²·K)

126

1.26

242

12.6 W/(m²·K). Nu k/L.

3. Tasa de calor...

189 W

18.9 W

377 W

63 W

189 W. hAΔT.

4. Transición cerca de...

5×10^5

2300

10^3

10^9

5×10^5. Placa plana.

Repetir este cuestionario

Cómo ayuda esto a salvar el planeta

El Earth Observatory de la NASA dice que la convección lleva cerca del 5% de la energía solar entrante desde la superficie a la atmósfera, mientras que la evaporación lleva cerca del 25%.

La velocidad del viento fija h sobre océanos y tierra igual que la velocidad fija h en la placa de esta unidad, por eso los vientos determinan lo rápido que la superficie pierde calor.

En Saving Planets: Mecánica de fluidos · Océanos

Fuentes: NASA Earth Observatory: Climate and Earth's Energy Budget (https://earthobservatory.nasa.gov/features/EnergyBalance)

Recursos de aprendizaje gratuitos

- J. H. Lienhard IV and J. H. Lienhard V, A Heat Transfer Textbook (free online edition) (https://ahtt.mit.edu/): Libro gratuito, capítulos 6–7.
- MIT OpenCourseWare 2.51 Intermediate Heat and Mass Transfer (Fall 2008) (https://ocw.mit.edu/courses/2-51-intermediate-heat-and-mass-transfer-fall-2008/): Clases gratuitas del MIT.

☐ **Terminé esta unidad**

Flujo interno e intercambiadores de calor

Convección en tuberías, temperatura media, la correlación de Dittus–Boelter, tipos de intercambiadores de calor, LMTD y efectividad–NTU.

Objetivos de aprendizaje

Al terminar esta unidad podrás:

- Usar correlaciones laminares y turbulentas en tuberías.
- Calcular una diferencia de temperatura media logarítmica.
- Dimensionar un intercambiador de calor con UA y LMTD.
- Usar efectividad–NTU.

Conceptos clave

- En una tubería, la temperatura media (de mezcla) cambia a lo largo del tramo al entrar o salir calor.
- El flujo laminar plenamente desarrollado con temperatura de pared constante tiene Nu = 3.66; el flujo turbulento usa Dittus–Boelter (correlaciones de libro).
- Los intercambiadores a contracorriente superan a los de flujo paralelo porque la diferencia de temperatura se mantiene más uniforme.
- El método LMTD sirve para dimensionar cuando se conocen las cuatro temperaturas.
- El método ε-NTU sirve para evaluar cuando se desconocen las temperaturas de salida.

Ecuaciones clave

$$Nu_D = 0.023 Re_D^{4/5} Pr^{0.4}$$

`Nu_D=0.023Re_D^4/5Pr^0.4`

Dittus–Boelter (calentamiento)

$$\Delta T_{lm} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln(\Delta T_1 / \Delta T_2)}$$

`Δ T_lm=(Δ T_1-Δ T_2)/((Δ T_1/Δ T_2))`

Diferencia de temperatura media logarítmica

$$q = U A \Delta T_{lm}$$

`q=UAΔ T_lm`

Tasa de calor del intercambiador

$$\varepsilon = 1 - e^{-NTU} \ (C_r = 0)$$

`=1-e^-NTU\ (C_r=0)`

Efectividad, condensador o evaporador

Ejemplos resueltos paso a paso

Ejemplo 6.1 Agua (k = 0.6, Pr = 7, valores de libro) fluye con Re = 20000 en un tubo de 20 mm. Halla h.

1. Nu = 0.023 × 20,000^0.8 × 7^0.4 = 138.2.
2. h = 138.2 × 0.6/0.02.

Respuesta: Unos 4150 W/(m²·K).

Ejemplo 6.2 Contracorriente: caliente 90 → 50 °C, frío 20 → 40 °C. Halla la LMTD.

1. $\Delta T_1 = 90 - 40 = 50$ K; $\Delta T_2 = 50 - 20 = 30$ K.
2. LMTD = 20/ln(50/30).

Respuesta: 39.15 K.

Ejemplo 6.3 Con U = 500 W/(m²·K) y A = 2 m², halla q.

1. q = 500 × 2 × 39.15.

Respuesta: 39.2 kW.

Problemas de práctica

Resuelve cada uno primero en papel y luego comprueba.

1. ¿ε para NTU = 2 cuando una corriente condensa (C_r = 0)?

   $1 - e^{-2} = 0.865$.

2. ¿Nu laminar para temperatura de pared constante?

   3.66.

3. ¿Por qué preferir contracorriente?

ΔT más uniforme, más calor por área.

4. ¿Nu de Dittus–Boelter para Pr = 0.7, Re = 20000?

   55.0.

Ideas erróneas comunes

Mito: Usar el ΔT medio aritmético.

En realidad: Usa la media logarítmica.

Mito: ε puede superar 1.

En realidad: No puede.

Mito: Las correlaciones laminares sirven para flujo turbulento.

En realidad: Comprueba Re primero.

Tarjetas de estudio

LMTD

ΔT medio logarítmico.

NTU

UA/C_min.

Efectividad

Calor real sobre calor máximo.

Contracorriente

Corrientes en sentidos opuestos.

Ensuciamiento

Depósitos que añaden resistencia.

Dittus–Boelter

Correlación turbulenta en tuberías.

Cuestionario de autoevaluación

1. LMTD...

39.15 K

40 K

30 K

50 K

39.15 K. 20/ln(5/3).

2. q del intercambiador…

39.2 kW

3.92 kW

20 kW

78 kW

39.2 kW. UA LMTD.

3. ε con NTU 2…

0.865

0.5

0.98

2

0.865. 1 − e^{-2}.

4. h del agua…

≈ 4150 W/(m²·K)

≈ 41

≈ 415,000

≈ 1.4

≈ 4150 W/(m²·K). Nu k/D.

Repetir este cuestionario

Cómo ayuda esto a salvar el planeta

ENERGY STAR explica que una bomba de calor aire-aire mueve calor entre el aire interior y exterior en lugar de generarlo con combustible, usando intercambiadores de calor (serpentines) en ambos lados.

Mejores intercambiadores necesitan una diferencia de temperatura menor para mover el mismo calor, una de las razones por las que las bombas de calor modernas entregan más calor por unidad de electricidad.

En Saving Planets: Soluciones · Termodinámica

Fuentes: ENERGY STAR: Air-Source Heat Pumps (https://www.energystar.gov/products/air_source_heat_pumps)

Recursos de aprendizaje gratuitos

- J. H. Lienhard IV and J. H. Lienhard V, A Heat Transfer Textbook (free online edition) (https://ahtt.mit.edu/): Libro gratuito, capítulos 3 y 7.
- MIT OpenCourseWare 2.51 Intermediate Heat and Mass Transfer (Fall 2008) (https://ocw.mit.edu/courses/2-51-intermediate-heat-and-mass-transfer-fall-2008/): Clases gratuitas del MIT.

☐ **Terminé esta unidad**

Convección natural y ebullición

Flujo impulsado por flotación, números de Grashof y Rayleigh, correlaciones de placa vertical e introducción a la ebullición y la condensación.

Objetivos de aprendizaje

Al terminar esta unidad podrás:

- Calcular el número de Rayleigh.
- Usar una correlación de placa vertical.
- Comparar h natural y forzado.
- Describir la curva de ebullición.

Conceptos clave

- El fluido caliente es más ligero y sube; la flotación, no un ventilador, impulsa el flujo.
- El número de Rayleigh Ra = gβΔTL³/(να) cumple el papel que Re cumple en el flujo forzado.
- En una placa vertical, el flujo es laminar por debajo de Ra = 10⁹ aproximadamente (valor de libro).
- El h de convección natural en aire es de solo unos pocos W/(m²·K), así que la radiación suele ser comparable.
- La ebullición y la condensación mueven mucho calor con poco ΔT gracias al calor latente.

Ecuaciones clave

$$Ra_L = \frac{g\beta \Delta T L^3}{\nu \alpha}$$

Ra_L=(gβΔ TL^3)/(να)

Número de Rayleigh

$$\overline{Nu}_L = 0.59 Ra_L^{1/4}$$

_L=0.59Ra_L^1/4

Placa vertical laminar

$$\beta = 1/T$$

Coeficiente de expansión de gas ideal

$$Gr = Ra/Pr$$

Gr=Ra/Pr

Ejemplos resueltos paso a paso

Ejemplo 7.1 Una placa vertical de 0.3 m está 30 K por encima del aire ($\beta = 1/300\ K^{-1}$, $\nu = 1.6 \times 10^{-5}$, $\alpha = 2.2 \times 10^{-5}$, valores de ejemplo). Halla Ra.

1. $Ra = 9.80665 \times (1/300) \times 30 \times 0.3^3/(1.6 \times 10^{-5} \times 2.2 \times 10^{-5})$.

Respuesta: 7.52×10^7, laminar.

Ejemplo 7.2 Halla Nu y h con k = 0.026.

1. $Nu = 0.59 \times (7.52 \times 10^7)^{\wedge}¼ = 54.9$.
2. $h = 54.9 \times 0.026/0.3$.

Respuesta: 4.76 $W/(m^2 \cdot K)$.

Ejemplo 7.3 ¿Calor de una placa de 0.3 × 1 m?

1. $q = 4.76 \times 0.3 \times 30$.

Respuesta: 42.9 W.

Problemas de práctica

Resuelve cada uno primero en papel y luego comprueba.

1. Compara con el h forzado de 12.6 de la unidad 5.

   El forzado es unas 2.64 veces mayor.

2. ¿Límite laminar de Ra?

   Alrededor de 10^9.

3. ¿Por qué es tan eficaz la ebullición?

   El calor latente mueve energía con poco ΔT.

4. ¿β para un gas ideal a 300 K?

   $1/300\ K^{-1} = 3.33 \times 10^{-3}$.

Ideas erróneas comunes

Mito: La convección natural es despreciable.

En realidad: A menudo iguala a la radiación.

Mito: Ra usa la velocidad.

En realidad: Usa la flotación.

Mito: El h de ebullición es bajo.

En realidad: Está entre los más altos.

Tarjetas de estudio

Número de Rayleigh

Intensidad de la flotación.

Número de Grashof

Flotación sobre viscosidad.

β

Coeficiente de expansión.

Curva de ebullición

Flujo de calor frente a sobrecalentamiento de la pared.

Flujo de calor crítico

Flujo máximo de ebullición nucleada.

Condensación

Vapor a líquido sobre una pared fría.

Cuestionario de autoevaluación

1. Ra...

7.52×10^{7}

7.52×10^{9}

752

5×10^{5}

7.52×10^{7}. $g\beta\Delta TL^{3}/(\nu\alpha)$.

2. h...

4.76 W/(m²·K)

47.6

0.476

12.6

4.76 W/(m²·K). Nu k/L.

3. Calor...

42.9 W

429 W

4.29 W

189 W

42.9 W. hAΔT.

4. Motor de la convección natural...

la flotación

una bomba

radiación

caída de presión

la flotación. Diferencia de densidad.

Repetir este cuestionario

Cómo ayuda esto a salvar el planeta

El Earth Observatory de la NASA dice que la evaporación retira cerca del 25% de la energía solar entrante de la superficie y la convección cerca del 5%; el calor latente se libera cuando el vapor de

agua se condensa en nubes.

Con una insolación media de 340 W/m², esas partes son unos 85 y 17 W/m², los mismos procesos de cambio de fase y flotación que trata esta unidad.

En Saving Planets: Océanos · Observación de la Tierra

Fuentes: NASA Earth Observatory: Climate and Earth's Energy Budget (https://earthobservatory.nasa.gov/features/EnergyBalance)

Recursos de aprendizaje gratuitos

- J. H. Lienhard IV and J. H. Lienhard V, A Heat Transfer Textbook (free online edition) (https://ahtt.mit.edu/): Libro gratuito, capítulos 8–9.
- MIT OpenCourseWare 2.51 Intermediate Heat and Mass Transfer (Fall 2008) (https://ocw.mit.edu/courses/2-51-intermediate-heat-and-mass-transfer-fall-2008/): Clases gratuitas del MIT.

☐ **Terminé esta unidad**

Fundamentos de la radiación

Cuerpos negros, ley de Planck, ley de Wien, ley de Stefan–Boltzmann, emisividad, absortividad y ley de Kirchhoff.

Objetivos de aprendizaje

Al terminar esta unidad podrás:

- Hallar la longitud de onda pico de un cuerpo negro.
- Calcular la potencia emisiva.
- Usar emisividad y absortividad.
- Hallar la temperatura efectiva de un planeta.

Conceptos clave

- Un cuerpo negro absorbe toda la radiación y emite el máximo posible a cada temperatura y longitud de onda.
- Ley de Wien: la longitud de onda pico es inversamente proporcional a la temperatura absoluta.
- La potencia emisiva total crece como σT^4, así que duplicar la temperatura multiplica la emisión por 16.
- Las superficies reales emiten una fracción ε de la potencia del cuerpo negro; para una superficie gris $\alpha = \varepsilon$ (Kirchhoff).
- La radiación solar es de onda corta; la emisión de la Tierra es infrarroja de onda larga, por eso importan gases como el CO_2 y el vapor de agua.

Ecuaciones clave

$$\lambda_{max} T = 2898\ \mu m \cdot K$$

`_maxT=2898\ μ m· K`

Ley de desplazamiento de Wien

$$E_b = \sigma T^4$$

`E_b=σ T^4`

Stefan–Boltzmann

$$E = \varepsilon \sigma T^4$$

`E=σ T^4`

Superficie real

$$T_e = \left(\frac{\bar{S}(1-a)}{\sigma} \right)^{1/4}$$

`T_e=(( S(1-a))/(σ))^1/4`

Temperatura efectiva

Ejemplos resueltos paso a paso

Ejemplo 8.1 La NASA da al Sol unos 5800 K. Halla su longitud de onda pico.

1. 2898/5800.

Respuesta: 0.500 µm, luz visible.

Ejemplo 8.2 La Tierra absorbe unos 240 W/m² (NASA). Halla su temperatura efectiva.

1. T = (240/5.670374419 × 10⁻⁸)^¼.

Respuesta: 255.1 K, unos −18 °C (la NASA redondea a unos −20 °C).

Ejemplo 8.3 ¿Emisión de cuerpo negro de una superficie a 288 K?

1. σ × 288⁴.

Respuesta: 390 W/m².

Problemas de práctica

Resuelve cada uno primero en papel y luego comprueba.

1. ¿Longitud de onda pico a 288 K?

   10.06 µm, infrarrojo térmico.

2. ¿Razón de emisión cuando T se duplica?

   2⁴ = 16.

3. ¿Pico para un filamento de lámpara a 3000 K?

   0.966 µm, infrarrojo cercano.

4. Superficie gris con ε = 0.8: ¿α?

   0.8.

Ideas erróneas comunes

Mito: Caliente significa visible.

En realidad: Los objetos a temperatura ambiente brillan en infrarrojo.

Mito: Usar °C en σT^4.

En realidad: Usa kelvin.

Mito: Brillante significa frío.

En realidad: Un ε bajo significa que emite y absorbe poco.

Tarjetas de estudio

Cuerpo negro

Absorbente y emisor perfecto.

Ley de Wien

λ_max T = 2898 μm·K.

Emisividad

Emisión relativa al cuerpo negro.

Ley de Kirchhoff

α = ε para superficies grises.

Ley de Planck

Emisión espectral del cuerpo negro.

Temperatura efectiva

T equivalente de cuerpo negro.

Cuestionario de autoevaluación

1. Pico del Sol...

0.500 μm

10 μm

5 μm

0.05 μm

0.500 µm. 2898/5800.

2. Temperatura efectiva de la Tierra…

255 K

288 K

300 K

5800 K

255 K. (240/σ)^¼.

3. Duplicar T, la emisión…

×16

×2

×4

×8

×16. T^4.

4. Cuerpo negro a 288 K…

390 W/m²

240 W/m²

1360 W/m²

39 W/m²

390 W/m². σT^4.

Repetir este cuestionario

Cómo ayuda esto a salvar el planeta

El Earth Observatory de la NASA dice que la superficie del Sol está a unos 5800 K, que la temperatura radiativa efectiva de la Tierra es de unos −20 °C y que duplicar la temperatura de un objeto multiplica su energía radiada por 16.

La NASA también señala que el vapor de agua deja escapar la mayor parte del infrarrojo entre 8 y 14 µm, mientras que el dióxido de carbono absorbe más allá de unos 12–13 µm, cerca del borde de esa ventana.

En Saving Planets: Observación de la Tierra · Soluciones

Fuentes: NASA Earth Observatory: Climate and Earth's Energy Budget (https://earthobservatory.nasa.gov/features/EnergyBalance)

Recursos de aprendizaje gratuitos

- J. H. Lienhard IV and J. H. Lienhard V, A Heat Transfer Textbook (free online edition) (https://ahtt.mit.edu/): Libro gratuito, capítulo 10.
- PhET: Blackbody Spectrum (https://phet.colorado.edu/en/simulations/blackbody-spectrum): Simulación gratuita.

☐ **Terminé esta unidad**

Intercambio radiativo y pantallas

Factores de vista, reciprocidad, redes de superficies grises, placas paralelas, escudos de radiación y protección térmica en el espacio.

Objetivos de aprendizaje

Al terminar esta unidad podrás:

- Usar la reciprocidad de los factores de vista.
- Calcular el intercambio neto entre placas paralelas.
- Mostrar cómo un escudo reduce el flujo de calor.
- Estimar la radiación de un escudo caliente.

Conceptos clave

- El factor de vista F_{12} es la fracción de la radiación que sale de la superficie 1 y llega a la superficie 2.
- Reciprocidad: $A_1F_{12} = A_2F_{21}$; suma: los factores de vista desde una superficie suman 1.
- Las superficies grises intercambian calor mediante resistencias de superficie $(1 - \varepsilon)/(\varepsilon A)$ y resistencias espaciales $1/(A_1F_{12})$.
- Un escudo delgado de bajo ε entre dos placas añade resistencias y reduce mucho el intercambio; el aislamiento multicapa apila muchos.
- Un escudo térmico de cara al Sol se calienta, vuelve a radiar y protege lo que queda a su sombra.

Ecuaciones clave

$$A_1 F_{12} = A_2 F_{21}$$

`A_1F_12=A_2F_21`

Reciprocidad

$$q'' = \frac{\sigma(T_1^4 - T_2^4)}{1/\varepsilon_1 + 1/\varepsilon_2 - 1}$$

`q^=(σ(T_1^4-T_2^4))/(1/_1+1/_2-1)`

Placas paralelas

$$R_{surf} = \frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon A}$$

`R_surf=(1-)/( A)`

Resistencia de superficie

$$R_{space} = \frac{1}{A_1 F_{12}}$$

R_space=1A_1F_12

Resistencia espacial

Ejemplos resueltos paso a paso

Ejemplo 9.1 Placas paralelas grandes a 400 K y 300 K, ambas ε = 0.8. ¿Flujo neto?

1. Denominador: 1.25 + 1.25 − 1 = 1.5.
2. q'' = σ(400⁴ − 300⁴)/1.5.

Respuesta: 662 W/m².

Ejemplo 9.2 Inserta un escudo con ε = 0.05 en ambas caras.

1. Resistencia: 2 × (1.25 + 20 − 1) = 40.5.
2. q'' = σ × 1.75 × 10¹⁰/40.5.

Respuesta: 24.5 W/m², 27 veces menos.

Ejemplo 9.3 Una esfera pequeña (A_1 = 1 m²) está dentro de una envoltura de área 4 m². Halla F_{21}.

1. F_{12} = 1.
2. $F_{21} = A_1F_{12}/A_2$.

Respuesta: 0.25.

Problemas de práctica

Resuelve cada uno primero en papel y luego comprueba.

1. ¿Flujo de cuerpo negro en el límite de 1377 °C del escudo de la Parker?

   σ × 1650.15⁴ = 4.20 × 10⁵ W/m².

2. ¿Por qué un solo escudo con ε = 0.05 funciona tan bien?

   Sus dos resistencias de superficie suman unos 39.

3. ¿Suma de los factores de vista desde una superficie de un recinto?

   1.

4. ¿Qué es el MLI?

   Muchos escudos delgados de bajo ε apilados.

Ideas erróneas comunes

Mito: Los factores de vista son simétricos.
En realidad: Solo $A_1F_{12} = A_2F_{21}$.

Mito: Los escudos deben ser gruesos.
En realidad: Importa el bajo ε, no el espesor.

Mito: Las superficies negras son buenos escudos.
En realidad: Los escudos necesitan bajo ε.

Tarjetas de estudio

Factor de vista

Fracción de radiación interceptada.

Reciprocidad

$A_1F_{12} = A_2F_{21}$.

Radiosidad

Toda la radiación que sale de una superficie.

Escudo de radiación

Barrera de bajo ε.

MLI

Aislamiento multicapa.

Superficie gris

ε independiente de la longitud de onda.

Cuestionario de autoevaluación

1. Flujo entre placas...

662 W/m²

993 W/m²

24.5 W/m²

1000 W/m²

662 W/m². σΔT⁴/1.5.

2. Con escudo...

24.5 W/m²

331 W/m²

66 W/m²

2.45 W/m²

24.5 W/m². ÷ 40.5.

3. F_{21}...

0.25

1

4

0.5

0.25. Reciprocidad.

4. Los buenos escudos tienen...

ε bajo

ε alto

k alto

h alto

ε bajo. Emisores débiles.

Repetir este cuestionario

Cómo ayuda esto a salvar el planeta

La NASA dice que la Parker Solar Probe, lanzada el 12 de agosto de 2018, está protegida por un escudo de compuesto de carbono de 4.5 pulgadas (11.43 cm) que resiste casi 2500 °F (1377 °C) cuando la nave pasa a unos 3.9 millones de millas (6.2 millones de km) del Sol.

En 2021 la Parker se convirtió en la primera nave en atravesar la corona solar; su escudo mantiene en sombra los instrumentos que hay detrás, la misma idea que el escudo de radiación de esta unidad.

En Saving Planets: Diseño de naves espaciales · Observación de la Tierra

Fuentes: NASA Science: Parker Solar Probe (https://science.nasa.gov/mission/parker-solar-probe/)

Recursos de aprendizaje gratuitos

- J. H. Lienhard IV and J. H. Lienhard V, A Heat Transfer Textbook (free online edition) (https://ahtt.mit.edu/): Libro gratuito, capítulo 10.
- NASA Science: Parker Solar Probe (https://science.nasa.gov/mission/parker-solar-probe/): Página de la misión de la NASA.

☐ **Terminé esta unidad**

UNIDAD 10 · SEMANAS 14–15

Bombas de calor, edificios y el balance energético de la Tierra

COP de bombas de calor, límites de Carnot, pérdidas de calor de un edificio completo y el desequilibrio energético planetario medido desde el espacio.

Objetivos de aprendizaje

Al terminar esta unidad podrás:

- Calcular el COP de una bomba de calor y su límite de Carnot.
- Dimensionar la electricidad para una carga de calefacción.
- Convertir un desequilibrio de flujo en potencia total.
- Conectar los tres modos en un sistema.

Conceptos clave

- Una bomba de calor mueve calor de lo frío a lo caliente usando trabajo; su COP de calefacción es el calor entregado dividido por el trabajo.
- El COP de Carnot, T_h/(T_h − T_c), es un límite superior que baja cuando cae la temperatura exterior.
- La pérdida de calor de un edificio es su UA por la diferencia interior–exterior; el aislamiento reduce UA antes de comprar equipos.
- El desequilibrio energético de la Tierra es una pequeña diferencia entre dos grandes flujos, medida por satélites como los instrumentos CERES de la NASA.
- Todo sistema de este curso combina conducción, convección y radiación en una red de resistencias.

Ecuaciones clave

$$COP_h = \frac{Q_h}{W}$$

```
COP_h=(Q_h)/(W)
```

COP de calefacción

$$COP_{Carnot} = \frac{T_h}{T_h - T_c}$$

```
COP_Carnot=(T_h)/(T_h-T_c)
```

Límite de Carnot

$$Q = UA\Delta T$$

Q=UAΔ T

Pérdida de calor del edificio

$$P = \Delta F \cdot A_E$$

P=Δ F· A_E

Potencia del desequilibrio planetario

Ejemplos resueltos paso a paso

Ejemplo 10.1 ENERGY STAR dice que una bomba de calor puede entregar hasta tres veces más calor que la electricidad que usa. ¿Electricidad para 9 kW de calor?

1. W = 9/3.

Respuesta: 3 kW.

Ejemplo 10.2 ¿COP de calefacción de Carnot con entrega a 35 °C (308 K) y 0 °C (273 K) en el exterior?

1. 308/(308 − 273).

Respuesta: 8.8; los equipos reales alcanzan cerca de un tercio de eso.

Ejemplo 10.3 La NASA dice que el desequilibrio es algo más de 0.8 W/m². Con un área terrestre de 5.1 × 10¹⁴ m² (valor de libro), ¿potencia total?

1. 0.8 × 5.1 × 10¹⁴.

Respuesta: Unos 4.1 × 10¹⁴ W.

Problemas de práctica

Resuelve cada uno primero en papel y luego comprueba.

1. ¿La mitad de una factura energética anual de $1900?

Unos $950 para calefacción y refrigeración.

2. ¿COP de Carnot con −10 °C (263 K) exteriores y entrega a 308 K?

   6.84.

3. ¿Por qué aislar antes de comprar una bomba de calor?

   Un UA menor significa un equipo más pequeño y barato.

4. ¿Qué mide CERES?

   La energía radiante de la Tierra desde el espacio.

Ideas erróneas comunes

Mito: Un COP mayor que 1 viola la conservación de la energía.
En realidad: El calor se mueve, no se crea.

Mito: Bajar mucho las bombas de calor por la noche.
En realidad: ENERGY STAR aconseja un ajuste constante.

Mito: 0.8 W/m² es despreciable.
En realidad: Sobre toda la Tierra son unos 4×10^{14} W.

Tarjetas de estudio

COP

Calor entregado por unidad de trabajo.

COP de Carnot

Límite ideal.

UA

Conductancia global.

Desequilibrio energético

Absorbido menos emitido.

CERES

Instrumentos de balance radiativo de la NASA.

Bomba de calor

Mueve calor con trabajo.

Cuestionario de autoevaluación

1. Electricidad para 9 kW con COP 3...

3 kW

27 kW

9 kW

1 kW

3 kW. 9/3.

2. COP de Carnot...

8.8

3

1.13

35

8.8. 308/35.

3. Potencia del desequilibrio...

≈ 4.1×10^{14} W

≈ 4×10^{9} W

≈ 0.8 W

≈ 10^{20} W

≈ 4.1×10^{14} W. $0.8 \times 5.1 \times 10^{14}$.

4. Reducir UA mediante...

aislamiento

subir el COP

añadir aletas

pintar de negro

aislamiento. Resistencia.

Repetir este cuestionario

Cómo ayuda esto a salvar el planeta

ENERGY STAR dice que una bomba de calor aire-aire puede entregar hasta tres veces más energía térmica que la energía eléctrica que usa, porque mueve calor en lugar de generarlo.

El Earth Observatory de la NASA dice que la Tierra absorbe algo más de 0.8 W/m² más de lo que emite; los instrumentos CERES de la NASA miden el balance radiativo desde la órbita.

En Saving Planets: Soluciones · Observación de la Tierra

Fuentes: ENERGY STAR: Air-Source Heat Pumps (https://www.energystar.gov/products/air_source_heat_pumps) · NASA Earth Observatory: Climate and Earth's Energy Budget (https://earthobservatory.nasa.gov/features/EnergyBalance) · NASA Langley: CERES (Clouds and the Earth's Radiant Energy System) (https://ceres.larc.nasa.gov/)

Recursos de aprendizaje gratuitos

- ENERGY STAR: Air-Source Heat Pumps (https://www.energystar.gov/products/air_source_heat_pumps): Guía de ENERGY STAR.
- NASA Langley: CERES (Clouds and the Earth's Radiant Energy System) (https://ceres.larc.nasa.gov/): NASA CERES.

☐ **Terminé esta unidad**

Problemas

Estos problemas están dentro de cada unidad. Hazlos en papel y luego abre la respuesta.

1. Modos de transferencia de calor y balances de energía
   4 problemas
2. Conducción estacionaria y resistencia térmica
   4 problemas
3. Cilindros, esferas y aletas
   4 problemas
4. Conducción transitoria
   4 problemas
5. Convección forzada externa
   4 problemas
6. Flujo interno e intercambiadores de calor
   4 problemas
7. Convección natural y ebullición

4 problemas

8. Fundamentos de la radiación
   4 problemas
9. Intercambio radiativo y pantallas
   4 problemas
10. Bombas de calor, edificios y el balance energético de la Tierra
    4 problemas

El laboratorio (Heat transfer lab)

El laboratorio es la parte práctica del curso. Aquí es gratuito y solo para practicar, sin créditos.

Cada práctica se hace en una simulación gratuita o una hoja de cálculo, así que no hay riesgos de quemaduras ni eléctricos. No calientes, hiervas ni enciendas nada para este curso. Toma descansos de la pantalla, mantén una buena postura y aparta los cables de los pasillos.

Referencia de seguridad: OSHA: Walking-working surfaces (slip, trip and fall hazards) (https://www.osha.gov/walking-working-surfaces)

Práctica A: Flujo de calor y una calculadora de aislamiento de muros

SEMANA 2

Objetivo: Observa el flujo de calor entre objetos en PhET Energy Forms and Changes y luego calcula el flujo de calor de un muro para varios espesores de aislamiento.

$$q'' = \Delta T / R''$$

q^=Δ T/R^

Muro en serie

Procedimiento

1. En PhET Energy Forms and Changes, calienta un bloque y observa cómo fluye la energía hacia su vecino y el aire.
2. En una hoja de cálculo, introduce el muro de la unidad 2 sin aislamiento: R" = 0.3079 m²·K/W.
3. Añade capas de aislamiento de 0.05, 0.1 y 0.2 m (k = 0.04) y calcula q" para ΔT = 20 K.
4. Grafica q" frente al espesor y observa los rendimientos decrecientes.

Tabla de datos

Aislamiento (m)	R" (m²·K/W)	q" (W/m²)
0	0.3079	64.96
0.05	1.558	12.84
0.1	2.808	7.12
0.2	5.308	3.77

Valores de ejemplo calculados.

Cálculo de ejemplo

1. R"(0.05) = 0.3079 + 0.05/0.04 = 1.558.
2. q" = 20/1.558 = 12.84 W/m².

> **Seguridad**
>
> - Solo ordenador.

Alternativa en casa o virtual

- Sirve cualquier hoja de cálculo.

PhET: Energy Forms and Changes (https://phet.colorado.edu/en/simulations/energy-forms-and-changes)

Vínculo con el planeta: ENERGY STAR: casi la mitad de una factura energética típica de un hogar de $1900 se va en calefacción y refrigeración. ENERGY STAR: Air-Source Heat Pumps (https://www.energystar.gov/products/air_source_heat_pumps)

- [ ] **Completé este laboratorio (real o virtual)**

Práctica B: Explorador de eficiencia de aletas

SEMANA 4

Objetivo: Calcula la eficiencia de una aleta de aguja para varias longitudes y mira dónde deja de compensar alargarla.

$$\eta_f = \tanh(mL)/(mL)$$

`_f=mL/mL`

Eficiencia de aleta

Procedimiento

1. Introduce la aleta de la unidad 3: k = 200, D = 5 mm, h = 50, así que m = 14.14 m^{-1}.
2. Calcula η para L = 10, 20 y 40 mm.
3. Calcula el calor de la aleta para un exceso de 50 K en la base.
4. Cambia h a 200 y repite.

Tabla de datos

L (mm)	mL	η
10	0.1414	0.993
20	0.2828	0.974
40	0.5657	0.905

Valores de ejemplo calculados.

Cálculo de ejemplo

1. m = √(4 × 50/(200 × 0.005)) = 14.14 m^{-1}.
2. η(40 mm) = tanh(0.5657)/0.5657 = 0.905.

> **Seguridad**
>
> - Solo ordenador.

Alternativa en casa o virtual

- Sirve cualquier hoja de cálculo.

J. H. Lienhard IV and J. H. Lienhard V, A Heat Transfer Textbook (free online edition) (https://ahtt.mit.edu/)

Vínculo con el planeta: Aletas e intercambiadores eficientes permiten a las bombas de calor mover más calor por unidad de electricidad (ENERGY STAR). ENERGY STAR: Air-Source Heat Pumps (https://www.energystar.gov/products/air_source_heat_pumps)

- [ ] **Completé este laboratorio (real o virtual)**

Práctica C: Curva de enfriamiento concentrado

SEMANA 5

Objetivo: Modela en una hoja de cálculo el enfriamiento de la esfera de aluminio de la unidad 4 y compara una curva exacta con una solución paso a paso (Euler).

$$T = T_\infty + (T_i - T_\infty)e^{-t/\tau}$$

`T=T_∞+(T_i-T_∞)e^-t/τ`

Respuesta concentrada

Procedimiento

1. Introduce T_i = 300 °C, T∞ = 20 °C, τ = 81 s.
2. Calcula T en cada τ hasta 3τ.
3. Añade una columna de Euler con un paso de 5 s y compara.
4. Duplica h y repite.

Tabla de datos

t (s)	T (°C)
0	300
81	123.0
162	57.9
243	33.9

Valores de ejemplo calculados.

Cálculo de ejemplo

1. T(81) = 20 + 280e^{-1} = 123.0 °C.
2. T(243) = 20 + 280e^{-3} = 33.9 °C.

> **Seguridad**
>
> - Solo ordenador.

Alternativa en casa o virtual

- Sirve cualquier hoja de cálculo.

PhET: Energy Forms and Changes (https://phet.colorado.edu/en/simulations/energy-forms-and-changes)

Vínculo con el planeta: NASA: la superficie de la Tierra promedia unos 15 °C, más de 30 °C por encima de lo que estaría sin atmósfera. NASA Earth Observatory: Climate and Earth's Energy Budget (https://earthobservatory.nasa.gov/features/EnergyBalance)

- [ ] **Completé este laboratorio (real o virtual)**

Práctica D: Calculadora de convección en placa plana

SEMANA 7

Objetivo: Calcula Re y el h medio para aire sobre una placa de 0.5 m a varias velocidades.

$$\bar{h} = 0.664 \frac{k}{L} Re_L^{1/2} Pr^{1/3}$$

`h=0.664k/LRe_L^1/2Pr^1/3`

Placa laminar

Procedimiento

1. Introduce las propiedades del aire: ν = 1.5 × 10⁻⁵, k = 0.026, Pr = 0.71.
2. Calcula Re y h a 1, 5 y 10 m/s.
3. Comprueba que cada Re está por debajo de 5 × 10⁵.
4. Grafica h frente a √V.

Tabla de datos

V (m/s)	Re	h (W/(m²·K))
1	33,333	5.62
5	166,667	12.58
10	333,333	17.78

Valores de ejemplo calculados.

Cálculo de ejemplo

1. Re(1) = 1 × 0.5/1.5 × 10⁻⁵ = 33,333.
2. h(10) = 0.664 × 577.4 × 0.892 × 0.052 = 17.78.

> **Seguridad**
>
> - Solo ordenador.

Alternativa en casa o virtual

- Sirve cualquier hoja de cálculo.

MIT OpenCourseWare 2.51 Intermediate Heat and Mass Transfer (Fall 2008) (https://ocw.mit.edu/courses/2-51-intermediate-heat-and-mass-transfer-fall-2008/)

Vínculo con el planeta: NASA: la convección lleva cerca del 5% de la energía solar entrante desde la superficie. NASA Earth Observatory: Climate and Earth's Energy Budget (https://earthobservatory.nasa.gov/features/EnergyBalance)

- [ ] **Completé este laboratorio (real o virtual)**

Práctica E: Espectros de cuerpo negro

SEMANA 11

Objetivo: Usa PhET Blackbody Spectrum para ver la ley de Wien y luego comprueba los picos en una hoja de cálculo.

$$\lambda_{max} = 2898/T$$

_max=2898/T

Ley de Wien

Procedimiento

1. En PhET Blackbody Spectrum, selecciona el Sol, una lámpara y la Tierra.
2. Lee la longitud de onda pico en la gráfica.
3. Calcula 2898/T para 288, 3000 y 5800 K.
4. Calcula σT⁴ para cada uno.

Tabla de datos

T (K)	λ_max (μm)	σT⁴ (W/m²)
288	10.06	390
3000	0.966	4.59 × 10⁶
5800	0.500	6.42 × 10⁷

Valores calculados.

Cálculo de ejemplo

1. 2898/288 = 10.06 μm.
2. σ × 5800⁴ = 6.42 × 10⁷ W/m².

> **Seguridad**
>
> - Solo ordenador.

Alternativa en casa o virtual

- Funciona en un navegador web.

PhET: Blackbody Spectrum (https://phet.colorado.edu/en/simulations/blackbody-spectrum)

Vínculo con el planeta: NASA: el Sol está a unos 5800 K. NASA Earth Observatory: Climate and Earth's Energy Budget (https://earthobservatory.nasa.gov/features/EnergyBalance)

- [ ] **Completé este laboratorio (real o virtual)**

Práctica F: Efecto invernadero y balance energético

SEMANA 14

Objetivo: Explora PhET Greenhouse Effect y luego calcula la temperatura efectiva de la Tierra para varios albedos.

$$T_e = \left(\frac{S(1-a)}{4\sigma}\right)^{1/4}$$

`T_e=((S(1-a))/(4σ))^1/4`

Temperatura efectiva

Procedimiento

1. En PhET Greenhouse Effect, añade y quita nubes y gases de efecto invernadero y observa la temperatura.
2. En una hoja de cálculo, usa S = 1360 W/m² (NASA).
3. Calcula T_e para albedos de 0.25, 0.29 y 0.35.
4. Explica por qué T_e está por debajo del promedio superficial de 15 °C de la NASA.

Tabla de datos

Albedo	T_e (K)
0.25	259.0
0.29	255.4
0.35	249.9

Valores calculados.

Cálculo de ejemplo

1. (1360 × 0.71/(4σ))^¼ = 255.4 K.
2. 255.4 − 273.15 = −17.7 °C.

> **Seguridad**
>
> - Solo ordenador.

Alternativa en casa o virtual

- Funciona en un navegador web.

PhET: Greenhouse Effect (https://phet.colorado.edu/en/simulations/greenhouse-effect)

Vínculo con el planeta: NASA: cerca del 29% de la luz solar se refleja y la Tierra absorbe unos 240 W/m². NASA Earth Observatory: Climate and Earth's Energy Budget (https://earthobservatory.nasa.gov/features/EnergyBalance)

- [ ] **Completé este laboratorio (real o virtual)**

Series de práctica para exámenes

Cronométrate: unos 10 minutos por problema. Luego compara con las soluciones completas.

Ejercicios de práctica para el parcial (unidades 1–5)

1. ¿Convección desde 3 m² con h = 15 W/(m²·K), ΔT = 20 K?
    1. 15 × 3 × 20.

    Respuesta: 900 W.

2. ¿Flujo de calor a través de 0.15 m de aislamiento (k = 0.04) más 0.3079 m²·K/W de otras capas con ΔT = 20 K?
    1. R'' = 0.3079 + 3.75 = 4.058.
    2. 20/4.058.

    Respuesta: 4.93 W/m².

3. ¿Radio crítico para k = 0.1 y h = 10?
    1. k/h.

    Respuesta: 10 mm.

4. ¿τ para una esfera de aluminio de 20 mm, h = 50?
    1. 2700 × 900 × (0.02/6)/50.

    Respuesta: 162 s.

5. ¿Re para aire a 2 m/s sobre 0.5 m?
    1. $2 \times 0.5/1.5 \times 10^{-5}$.

    Respuesta: 66,667.

Serie final de práctica (unidades 1–10)

1. ¿LMTD para ΔT_1 = 60 K y ΔT_2 = 20 K?

1. 40/ln 3.

Respuesta: 36.4 K.

2. ¿ε para NTU = 1, C_r = 0?

    1. 1 − e⁻¹.

Respuesta: 0.632.

3. ¿Ra para la placa de la unidad 7 con L = 0.6 m?

    1. 7.52 × 10⁷ × 8.

Respuesta: 6.02 × 10⁸.

4. ¿Longitud de onda pico a 1000 K?

    1. 2898/1000.

Respuesta: 2.90 µm.

5. ¿Placas paralelas a 500 K y 300 K, ambas ε = 0.9?

    1. σ(500⁴ − 300⁴)/(2/0.9 − 1).

Respuesta: 2524 W/m².

6. ¿COP de calefacción de Carnot, entrega a 318 K, 268 K en el exterior?

    1. 318/50.

Respuesta: 6.36.

Hoja de fórmulas

$$q = kA\Delta T/L,\ q = hA\Delta T,\ q = \varepsilon\sigma A(T_s^4 - T_{sur}^4) \qquad R = L/(kA),\ R = 1/(hA),\ q = \Delta T/\sum R$$

$$R_{cyl} = \ln(r_2/r_1)/(2\pi kL),\ r_{cr} = k/h \qquad m = \sqrt{hP/(kA_c)},\ \eta_f = \tanh(mL)/(mL)$$

$$Bi = hL_c/k,\ \tau = \rho cV/(hA),\ \theta/\theta_i = e^{-t/\tau} \qquad Re = VL/\nu,\ Nu = hL/k,\ Nu = 0.664Re^{1/2}Pr^{1/3}$$

$$Nu = 0.023Re^{0.8}Pr^{0.4},\ \Delta T_{lm} = (\Delta T_1 - \Delta T_2)/\ln(\qquad Ra = g\beta\Delta TL^3/(\nu\alpha),\ Nu = 0.59Ra^{1/4}$$

$$\lambda_{max}T = 2898,\ E_b = \sigma T^4,\ A_1F_{12} = A_2F_{21} \qquad COP = Q_h/W,\ COP_C = T_h/(T_h - T_c),\ P = \Delta F$$

Constantes

Constante	Valor
Constante de Stefan–Boltzmann	σ = 5.670374419 × 10⁻⁸ W/(m²·K⁴)
Constante de Wien (valor de libro)	2898 μm·K
Gravedad estándar	g = 9.80665 m/s²
Aire cerca de 300 K (valores de libro)	k = 0.026 W/(m·K), ν = 1.5 × 10⁻⁵ m²/s, Pr = 0.71
Aluminio (valores de libro)	k = 237 W/(m·K), ρ = 2700 kg/m³, c = 900 J/(kg·K)
Superficie de la Tierra (valor de libro de texto)	5.1 × 10¹⁴ m²

Fuente: NIST: CODATA value, Stefan–Boltzmann constant (https://physics.nist.gov/cgi-bin/cuu/Value?sigma)

Textos y simulaciones gratuitos

Usa estos textos, clases y simulaciones gratuitos junto con el curso.

- J. H. Lienhard IV and J. H. Lienhard V, A Heat Transfer Textbook (free online edition) (https://ahtt.mit.edu/): Libro completo y gratuito de transferencia de calor.
- MIT OpenCourseWare 2.51 Intermediate Heat and Mass Transfer (Fall 2008) (https://ocw.mit.edu/courses/2-51-intermediate-heat-and-mass-transfer-fall-2008/): Clases y problemas gratuitos del MIT.
- NASA Earth Observatory: Climate and Earth's Energy Budget (https://earthobservatory.nasa.gov/features/EnergyBalance): Explicación gratuita de la NASA.
- PhET: Energy Forms and Changes (https://phet.colorado.edu/en/simulations/energy-forms-and-changes): El flujo de calor de forma interactiva.
- PhET: Blackbody Spectrum (https://phet.colorado.edu/en/simulations/blackbody-spectrum): Radiación térmica.
- PhET: Greenhouse Effect (https://phet.colorado.edu/en/simulations/greenhouse-effect): Balance de radiación.

Glosario

Albedo
Fracción de la luz solar reflejada.

Número de Biot
Resistencia térmica interna sobre externa.

Cuerpo negro
Absorbente y emisor perfecto.

Capa límite

Región delgada de flujo junto a la pared.

COP
Calor movido por unidad de trabajo.

Radio crítico
Radio de máxima pérdida de calor de un cilindro aislado.

Efectividad
Calor real sobre calor máximo del intercambiador.

Emisividad
Emisión relativa a un cuerpo negro.

Desequilibrio energético
Energía planetaria absorbida menos emitida.

Eficiencia de aleta
Calor real sobre calor ideal de la aleta.

Ley de Fourier
Ley de la tasa de conducción.

Intercambiador de calor
Dispositivo que mueve calor entre fluidos.

LMTD
Diferencia de temperatura media logarítmica.

Capacidad concentrada
Modelo transitorio de temperatura uniforme.

Número de Nusselt
Coeficiente de convección adimensional.

Número de Prandtl
Difusividad de cantidad de movimiento sobre difusividad térmica.

Escudo de radiación
Barrera de baja emisividad.

Número de Rayleigh
Intensidad del flujo por flotación.

Resistencia térmica
Diferencia de temperatura por flujo de calor.

Factor de vista
Fracción de radiación que intercepta una superficie.

Rúbrica de autoevaluación

No se otorga nota ni crédito. Úsala para valorar con honestidad dónde estás en cada unidad.

Nivel	Cómo se ve
4 · Dominio	Dibuja el sistema y la red de resistencias, comprueba los números adimensionales antes de elegir una correlación, usa kelvin para la radiación y explica los resultados con palabras sencillas.
3 · Competente	Resuelve las series de práctica y de examen con pequeños errores y comprueba las unidades.
2 · En desarrollo	Sigue los ejemplos resueltos pero confunde la k del sólido y del fluido, o usa °C en σT^4.
1 · Inicial	Mete números en las fórmulas sin un esquema ni un balance de energía; necesita repasar la unidad.

Ponderación sugerida si quieres una nota

Parte	Peso
Problemas de práctica	20%
Prácticas	25%
Serie de práctica de mitad de curso	25%
Serie de práctica final	30%

Apunta al nivel 3 o superior en cada unidad antes de pasar al siguiente curso.

Cursos relacionados

- Diseño de naves espaciales AERO 430
- Aviónica e ingeniería de sistemas AERO 450
- Propulsión AERO 410
- Todos los cursos