



AD.04.02.03: Lectura de Transferencia de Calor - Conceptos Fundamentales y Mecanismos

Asignatura: Termodinámica Automotriz

Unidad IV: - Sistemas y Ciclos de Potencia de Gas

Índice

1. Introducción	2
2. Desarrollo	2
2.1. Termodinámica vs. Transferencia de Calor	2
2.2. Calor y Otras Formas de Energía	2
2.3. Primera Ley de la Termodinámica (Balance de Energía)	3
2.3.1. Aplicación del balance de energía	4
2.4. Mecanismos Básicos de Transferencia de Calor	4
2.4.1. A. Conducción	4
2.4.2. B. Convección	5
2.4.3. C. Radiación	6
2.5. Mecanismos Simultáneos de Transferencia de Calor	7
2.6. Aplicaciones en Ingeniería Automotriz	7
2.6.1. Sistema de Enfriamiento del Motor	7
2.6.2. Sistema de Frenos	8
2.6.3. Sistema de Escape	8
2.6.4. Aplicaciones Generales	8
3. Ejercicios de Reforzamiento	8
3.1. Ejercicio 1: Transferencia de Calor por Conducción	8
3.2. Ejercicio 2: Transferencia de Calor por Convección	9
3.3. Ejercicio 3: Transferencia de Calor por Radiación	9
3.4. Ejercicio 4: Aplicación Automotriz - Sistema de Enfriamiento	10
3.5. Ejercicio 5: Aplicación Automotriz - Sistema de Frenos	10
4. Conclusión	11
5. Bibliografía	12



1. Introducción

La **transferencia de calor** es una disciplina fundamental en la ingeniería que se ocupa de la **rapidez o razón de la transferencia de energía** como calor. A menudo se confunde con la **termodinámica**, pero es crucial entender su distinción para el desarrollo de competencias en **ingeniería automotriz**.

En el contexto automotriz, la **gestión térmica** es esencial para el rendimiento óptimo de sistemas como **motores de combustión interna**, **sistemas de enfriamiento**, **frenos**, **sistemas de climatización** y **componentes electrónicos**. El dominio de los principios de transferencia de calor permite a los ingenieros diseñar sistemas más **eficientes**, **duraderos** y **ambientalmente responsables**.

Esta lectura proporcionará una comprensión integral de los **conceptos fundamentales** de transferencia de calor, los **tres mecanismos básicos** (conducción, convección y radiación), y sus **aplicaciones prácticas** en la ingeniería automotriz, preparando al estudiante para enfrentar desafíos reales en el análisis y diseño de sistemas térmicos.

2. Desarrollo

2.1. Termodinámica vs. Transferencia de Calor

La distinción entre **termodinámica** y **transferencia de calor** es fundamental para comprender cómo abordar los problemas térmicos en ingeniería:

Termodinámica: Esta ciencia se enfoca en la **cantidad de transferencia de calor** que ocurre cuando un sistema pasa de un estado de equilibrio a otro. Por ejemplo, puede determinar cuánto calor debe transferirse para que el café en un termo se enfríe de 90°C a 80°C. Sin embargo, la termodinámica **no indica cuánto tiempo durará ese proceso**. Se interesa en los **estados de equilibrio** y los cambios entre ellos.

Transferencia de Calor: A diferencia de la termodinámica, la transferencia de calor se interesa en la **rapidez o razón (por unidad de tiempo)** a la que esta energía se transfiere. Su estudio es esencial en el diseño y evaluación de equipos de ingeniería, como **intercambiadores de calor**, **calderas**, **radiadores** y **sistemas de aire acondicionado**. La transferencia de calor se ocupa de sistemas donde existe un **desequilibrio térmico**.

El requisito básico para la transferencia de calor es la presencia de una **diferencia de temperatura**. La energía siempre se transfiere del medio con **temperatura más elevada al de temperatura más baja**, y este proceso se detiene cuando ambos alcanzan la misma temperatura. Cuanto mayor sea el **gradiente de temperatura** (diferencia de temperatura por unidad de longitud), mayor será la razón de transferencia de calor.

2.2. Calor y Otras Formas de Energía

La energía existe en diversas formas, como térmica, mecánica, cinética, potencial, eléctrica, magnética, química y nuclear, cuya suma constituye la **energía total (E)** de un sistema.

Energía Interna (U): Es la suma de todas las formas microscópicas de energía relacionadas con la estructura molecular y el grado de actividad molecular de un sistema.

- **Energía Sensible (o calor sensible):** La parte de la energía interna asociada con la energía cinética

de las moléculas. Es proporcional a la temperatura; a mayor temperatura, mayor energía cinética y, por ende, mayor **energía sensible**.

- **Energía Latente (o calor latente):** La energía interna asociada con la fase de un sistema. Se agrega energía para vencer las fuerzas moleculares durante un **cambio de fase** (por ejemplo, de sólido a gas), lo que eleva la energía interna del sistema en la nueva fase.
- **Energía Química (o de enlace):** Energía interna asociada con los **enlaces atómicos** en una molécula.
- **Energía Nuclear:** Energía interna asociada con los enlaces dentro del **núcleo del átomo**.

En la vida diaria, las formas sensible y latente de la energía interna a menudo se denominan simplemente “calor”. Sin embargo, en termodinámica se prefiere el término **energía térmica** para evitar confusiones con la “transferencia de calor”. No obstante, por convención, a la energía térmica se le llama **calor** y a su transferencia se le llama **transferencia de calor**.

Notación y unidades importantes:

- La **cantidad de calor transferido** se denota por **Q** (J o kJ)
- La **razón de transferencia de calor** (cantidad de calor transferido por unidad de tiempo) se denota por \dot{Q} y tiene unidades de J/s o W. Si \dot{Q} es constante, la cantidad total de calor transferido en un intervalo de tiempo Δt es $Q = \dot{Q}\Delta t$
- El **flujo de calor** (\dot{q}) es la razón de transferencia de calor por unidad de área perpendicular a la dirección de transferencia, expresado como $\dot{q} = \dot{Q}/A$ (W/m²)

2.3. Primera Ley de la Termodinámica (Balance de Energía)

La primera ley de la termodinámica, también conocida como el **principio de conservación de la energía**, establece que la energía no se crea ni se destruye, solo cambia de forma. Para cualquier sistema que experimenta un proceso, el **cambio neto en la energía total del sistema es igual a la diferencia entre la energía total que entra y la que sale**.

$$E_{entrada} - E_{salida} = \Delta E_{sistema} \quad (1)$$

En forma de razones (por unidad de tiempo):

$$\dot{E}_{entrada} - \dot{E}_{salida} = \frac{dE_{sistema}}{dt} \quad (2)$$

Para sistemas en **estado estacionario**, donde el estado del sistema no cambia con el tiempo ($\Delta E_{sistema} = 0$), el balance de energía se reduce a:

$$\dot{E}_{entrada} = \dot{E}_{salida} \quad (3)$$

En el análisis de transferencia de calor, el interés se centra en la **energía térmica**. Si se considera la conversión de otras energías (nuclear, química, mecánica, eléctrica) en energía térmica como **generación de calor** (E_{gen}), el balance de energía puede expresarse como:

$$Q_{entrada} - Q_{salida} + E_{gen} = \Delta E_{termica,sistema} \quad (4)$$



2.3.1. Aplicación del balance de energía

Sistemas cerrados (masa fija): Para la mayoría de los sistemas prácticos, la energía total se reduce a la **energía interna (U)**. Si el sistema es estacionario y solo hay transferencia de calor sin interacción de trabajo, el balance se simplifica a $Q = mc_v \Delta T$.

Sistemas de flujo estacionario: Muchos aparatos de ingeniería (calentadores de agua, **radiadores de automóviles**) involucran flujo de masa. En condiciones estacionarias, el contenido total de energía del **volumen de control** permanece constante ($\Delta E_{vc} = 0$). Si los cambios en las energías cinética y potencial son despreciables y no hay interacción de trabajo, el balance de energía se reduce a $\dot{Q} = \dot{m} \Delta h = \dot{m} c_p \Delta T$.

- El **gasto de masa** (\dot{m}) es la cantidad de masa que fluye por unidad de tiempo. Para flujo unidimensional en un tubo, $\dot{m} = \rho V A_c$ (kg/s).
- La **entalpía** (h) es una combinación de energía interna (u) y energía de flujo (Pv), útil para el análisis de fluidos en movimiento: $h = u + Pv$.

Balance de energía en la superficie: Una superficie no contiene volumen ni masa, por lo tanto, no almacena energía ni genera calor. Para una superficie, el balance de energía es $\dot{E}_{entrada} = \dot{E}_{salida}$. Esto es válido tanto para condiciones estacionarias como transitorias.

2.4. Mecanismos Básicos de Transferencia de Calor

El calor se puede transferir de tres modos diferentes: **conducción**, **convección** y **radiación**. Todos requieren una diferencia de temperatura y siempre ocurren del medio de mayor temperatura al de menor temperatura.

2.4.1. A. Conducción

La **conducción** es la **transferencia de energía de las partículas más energéticas de una sustancia a las adyacentes menos energéticas**, como resultado de la interacción entre ellas.

¿Dónde ocurre?: Puede tener lugar en sólidos, líquidos o gases.

- En **gases y líquidos**, se debe a las colisiones y la difusión de moléculas durante su movimiento aleatorio.
- En **sólidos**, se debe a la combinación de vibraciones de las moléculas en una red cristalina y al transporte de energía por parte de los **electrones libres**.

Factores que influyen: La razón de la conducción de calor depende de la **configuración geométrica**, el **espesor del medio**, el **material** y la **diferencia de temperatura**.

Ley de Fourier de la Conducción del Calor La razón de la conducción de calor a través de una capa plana es proporcional a la diferencia de temperatura y al área de transferencia, e inversamente proporcional al espesor:

$$\dot{Q}_{cond} = -kA \frac{dT}{dx} \quad (\text{W}) \quad (5)$$

Donde:



- **k** es la **conductividad térmica** del material ($\text{W/m} \cdot ^\circ\text{C}$ o $\text{W/m} \cdot \text{K}$)
- **A** es el área de transferencia de calor, siempre normal a la dirección de transferencia
- $\frac{dT}{dx}$ es el **gradiente de temperatura**. El signo negativo asegura que la transferencia de calor en la dirección x positiva sea una cantidad positiva, ya que el calor fluye en la dirección de la temperatura decreciente

Conductividad Térmica (k) Es una medida de la capacidad de un material para conducir calor:

- Un **valor elevado de k** indica un buen conductor de calor (ej. cobre, plata). Estos también suelen ser buenos **conductores eléctricos**.
- Un **valor bajo de k** indica un mal conductor o un **aislante** (ej. caucho, madera, aire).
- Los **gases puros** tienen baja conductividad térmica; aumenta con la temperatura y disminuye con la masa molar.
- Las **conductividades térmicas de los líquidos** suelen estar entre las de los sólidos y los gases, y a menudo decrecen al aumentar la temperatura (el agua es una excepción notable).
- En **sólidos**, las conductividades térmicas de los metales puros son elevadas debido a los **electrones libres**. Las **aleaciones metálicas** suelen tener conductividades térmicas mucho más bajas que los metales que las componen.
- La conductividad térmica de los materiales **varía con la temperatura**, aunque a menudo se evalúa a una temperatura promedio y se considera constante para simplificar los cálculos.
- Un material se considera **isotrópico** si tiene propiedades uniformes en todas las direcciones.

Difusividad Térmica (α) Representa cuán rápido se difunde el calor a través de un material:

$$\alpha = \frac{k}{\rho c_p} \quad (\text{m}^2/\text{s}) \quad (6)$$

Donde ρc_p es la **capacidad calorífica** (energía que almacena un material por unidad de volumen).

Una **alta difusividad térmica** indica una rápida propagación del calor.

2.4.2. B. Convección

La **convección** es el modo de transferencia de energía entre una **superficie sólida y el líquido o gas adyacente que está en movimiento**, e incluye los efectos combinados de la **conducción y el movimiento del fluido**. Cuanto más rápido se mueve el fluido, mayor es la transferencia de calor por convección.

Tipos de Convección **Convección Forzada:** El fluido es forzado a fluir sobre la superficie por medios externos, como un **ventilador**, una **bomba** o el **viento**.

Convección Natural (o Libre): El movimiento del fluido es causado por **fuerzas de empuje** inducidas por diferencias de densidad, las cuales son resultado de variaciones de temperatura dentro del fluido.



Convección con Cambio de Fase: Procesos como la **ebullición** o la **condensación** también se consideran convección debido al movimiento del fluido inducido durante el cambio de fase (ej. burbujas de vapor subiendo).

Ley de Newton del Enfriamiento La razón de la transferencia de calor por convección es proporcional a la diferencia de temperatura:

$$\dot{Q}_{conv} = hA_s(T_s - T_{\infty}) \quad (\text{W}) \quad (7)$$

Donde:

- **h** es el **coeficiente de transferencia de calor por convección** ($\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ o $\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$). No es una propiedad del fluido, sino un parámetro experimental que depende de la geometría de la superficie, la naturaleza y velocidad del movimiento del fluido, y sus propiedades.
- A_s es el área superficial a través de la cual ocurre la transferencia de calor por convección
- T_s es la temperatura de la superficie
- T_{∞} es la temperatura del fluido suficientemente alejado de la superficie

2.4.3. C. Radiación

La **radiación** es la **energía emitida por la materia en forma de ondas electromagnéticas (o fotones)**, resultado de cambios en las configuraciones electrónicas de átomos o moléculas.

Características de la radiación

- **No requiere un medio:** A diferencia de la conducción y la convección, la radiación puede transferir calor a través del **vacío** y es el modo más rápido de transferencia (a la velocidad de la luz). Un ejemplo es la energía del Sol que llega a la Tierra.
- **Radiación Térmica:** Es la forma de radiación emitida por los cuerpos debido a su temperatura. Todos los cuerpos a una temperatura superior al **cero absoluto** emiten radiación térmica.

Ley de Stefan-Boltzmann Expresa la razón máxima de radiación que puede emitirse desde una superficie a una temperatura termodinámica T_s (en K o R):

$$\dot{Q}_{emitida,max} = \sigma A_s T_s^4 \quad (\text{W}) \quad (8)$$

Donde σ es la **constante de Stefan-Boltzmann** ($5,67 \times 10^{-8} \text{W/m}^2 \text{K}^4$).

La superficie idealizada que emite radiación a esta razón máxima se llama **cuerpo negro**.

Propiedades Radiativas Emisividad (ε): La radiación emitida por las superficies reales es menor que la de un cuerpo negro a la misma temperatura. La emisividad ($0 \leq \varepsilon \leq 1$) es una medida de cuán cerca está una superficie de ser un cuerpo negro (para un cuerpo negro, $\varepsilon = 1$).

$$\dot{Q}_{emitida} = \varepsilon A_s T_s^4 \quad (\text{W}) \quad (9)$$



Absortividad (α): Es la fracción de la energía de radiación incidente sobre una superficie que es absorbida por ella ($0 \leq \alpha \leq 1$). Un cuerpo negro es un **absorbente perfecto** ($\alpha = 1$).

Ley de Kirchhoff de la Radiación: Establece que la emisividad y la absortividad de una superficie a una temperatura y longitud de onda dadas son **iguales**.

Radiación Neta La diferencia entre la radiación emitida por la superficie y la radiación absorbida. Si una superficie de emisividad ε y área A_s a temperatura T_s está rodeada por una superficie mucho más grande a temperatura T_{alred} , la razón neta de transferencia de calor por radiación es:

$$\dot{Q}_{rad} = \varepsilon A_s (T_s^4 - T_{alred}^4) \quad (W) \quad (10)$$

Es importante usar **temperaturas termodinámicas (absolutas)** en los cálculos de radiación.

Coeficiente Combinado de Transferencia de Calor ($h_{combinado}$): Se define para incluir los efectos tanto de la convección como de la radiación, especialmente cuando la radiación es significativa (ej. en **convección natural**), permitiendo expresar la razón total de transferencia de calor como $\dot{Q}_{total} = h_{combinado} A_s (T_s - T_{\infty})$.

2.5. Mecanismos Simultáneos de Transferencia de Calor

Aunque existen tres mecanismos, no siempre los tres pueden ocurrir simultáneamente en un mismo medio:

- **Sólidos Opacos:** Solo ocurre **conducción**. Sin embargo, en sus superficies expuestas a un fluido o a otras superficies, puede haber **convección y/o radiación**.
- **Sólidos Semitransparentes:** Pueden comprender **conducción y radiación**.
- **Fluidos Estáticos (sin movimiento masivo):** La transferencia de calor es por **conducción y, posiblemente, por radiación**.
 - Los **gases** son prácticamente transparentes a la radiación (actúan como el vacío).
 - Los **líquidos** suelen ser fuertes absorbentes de radiación.
- **Fluidos en Movimiento:** La transferencia de calor es por **convección y radiación**. La convección puede verse como una combinación de conducción y movimiento de fluido.
- **Vacío:** La transferencia de calor solo ocurre por **radiación**, ya que la conducción y la convección requieren de un medio material.

2.6. Aplicaciones en Ingeniería Automotriz

La transferencia de calor es omnipresente en la ingeniería automotriz. Algunos ejemplos clave incluyen:

2.6.1. Sistema de Enfriamiento del Motor

- **Conducción:** Transferencia desde los gases de combustión hacia las paredes del cilindro
- **Convección forzada:** Circulación del líquido refrigerante
- **Radiación:** Disipación de calor en el radiador



2.6.2. Sistema de Frenos

- **Conducción:** Transferencia de calor generado por fricción
- **Convección:** Enfriamiento por aire a través de discos ventilados
- **Radiación:** Pérdida de calor a altas temperaturas

2.6.3. Sistema de Escape

- **Conducción:** A través de las paredes del múltiple
- **Convección:** Hacia el aire circundante
- **Radiación:** Especialmente significativa a altas temperaturas

2.6.4. Aplicaciones Generales

- Diseño de **sistemas de calefacción y aire acondicionado**
- **Radiadores** de automóviles y **colectores solares**
- Determinación del espesor óptimo de **aislamiento** en componentes automotrices
- Gestión térmica de **componentes electrónicos** del vehículo

3. Ejercicios de Reforzamiento

3.1. Ejercicio 1: Transferencia de Calor por Conducción

Problema: Una ventana de vidrio tiene **1.5 m de alto, 0.8 m de ancho y un espesor de 0.5 cm**. Si las temperaturas de sus superficies interior y exterior son de **20 °C y 5 °C**, respectivamente, y la conductividad térmica del vidrio es **0.78 W/m·°C**, determine la razón de la pérdida de calor a través de esta ventana en estado estacionario.

Solución:

Primero, calculamos el área de transferencia de calor (A) y convertimos el espesor a metros:

- Área de la ventana (A) = alto × ancho = 1.5 m × 0.8 m = **1.2 m²**.
- Espesor del vidrio (L) = 0.5 cm = **0.005 m**.

Aplicamos la fórmula para la razón de conducción del calor a través de una capa plana:

$$\dot{Q}_{cond} = \frac{kA(T_1 - T_2)}{L} \quad (11)$$



Sustituyendo los valores:

$$\dot{Q}_{cond} = \frac{(0,78 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}) \times (1,2 \text{ m}^2) \times (20^\circ\text{C} - 5^\circ\text{C})}{0,005 \text{ m}} \quad (12)$$

$$= \frac{0,78 \times 1,2 \times 15}{0,005} \text{ W} \quad (13)$$

$$= \frac{14,04}{0,005} \text{ W} \quad (14)$$

$$= \mathbf{2808 \text{ W}} \quad (15)$$

Respuesta: La ventana está perdiendo **2808 W** de calor.

3.2. Ejercicio 2: Transferencia de Calor por Convección

Problema: Una persona está de pie en una habitación donde la temperatura del aire es de **22°C**. Si el área superficial expuesta de la persona es de **1.7 m²** y su temperatura superficial promedio es de **30°C**, determine la razón de transferencia de calor por convección de la persona al aire. Considere un coeficiente de transferencia de calor por convección de **6 W/m²·°C**.

Solución:

Aplicamos la Ley de Newton del Enfriamiento:

$$\dot{Q}_{conv} = h \times A_s \times (T_s - T_\infty) \quad (16)$$

Sustituyendo los valores:

$$\dot{Q}_{conv} = (6 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}) \times (1,7 \text{ m}^2) \times (30^\circ\text{C} - 22^\circ\text{C}) \quad (17)$$

$$= 6 \times 1,7 \times 8 \text{ W} \quad (18)$$

$$= \mathbf{81.6 \text{ W}} \quad (19)$$

Respuesta: La persona está perdiendo **81.6 W** de calor al aire por convección.

3.3. Ejercicio 3: Transferencia de Calor por Radiación

Problema: Un pequeño objeto esférico negro (con una emisividad de $\varepsilon = 1$, un cuerpo negro ideal) con un área superficial de $0,1 \text{ m}^2$ está a una temperatura de **150°C**. Este objeto está completamente rodeado por superficies que se encuentran a una temperatura uniforme de **25°C**. Determine la razón neta de transferencia de calor por radiación del objeto a sus alrededores.

Solución:

Para calcular la razón neta de transferencia de calor por radiación, es crucial usar **temperaturas absolutas (Kelvin)**.

- Convertimos T_s a Kelvin: $T_s \text{ (K)} = 150^\circ\text{C} + 273.15 = 423.15 \text{ K}$.

- Convertimos T_{alred} a Kelvin: $T_{alred} \text{ (K)} = 25^\circ\text{C} + 273.15 = 298.15 \text{ K}$.

Aplicamos la fórmula para la razón neta de transferencia de calor por radiación:



$$\dot{Q}_{rad} = \varepsilon \times A_s \times \sigma \times (T_s^4 - T_{alred}^4) \quad (20)$$

Sustituyendo los valores:

$$\dot{Q}_{rad} = 1 \times (0,1 \text{ m}^2) \times (5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4) \times [(423,15 \text{ K})^4 - (298,15 \text{ K})^4] \quad (21)$$

$$= 0,1 \times 5,67 \times 10^{-8} \times (3,200,770,630,06 - 789,230,670,06) \text{ W} \quad (22)$$

$$= 0,1 \times 5,67 \times 10^{-8} \times (2,411,539,960) \text{ W} \quad (23)$$

$$\approx \mathbf{136.6 \text{ W}} \quad (24)$$

Respuesta: El objeto está perdiendo aproximadamente **136.6 W** de calor por radiación a sus alrededores.

3.4. Ejercicio 4: Aplicación Automotriz - Sistema de Enfriamiento

Problema: El bloque de un motor de automóvil está fabricado de hierro fundido con una **conductividad térmica $k = 52 \text{ W/m}\cdot\text{K}$** . La pared del cilindro tiene un espesor de **8 mm**. Si la temperatura de la superficie interna (en contacto con los gases de combustión) es de **400°C** y la temperatura de la superficie externa (en contacto con el refrigerante) debe mantenerse a **90°C** para evitar la ebullición, determine la **razón de transferencia de calor por unidad de área** a través de la pared del cilindro.

Solución:

Para transferencia de calor por conducción unidimensional en estado estacionario:

$$\dot{q} = \frac{\dot{Q}}{A} = \frac{k(T_1 - T_2)}{L} \quad (25)$$

Sustituyendo los valores:

$$\dot{q} = \frac{(52 \text{ W/m}\cdot\text{K})(400 - 90)^\circ\text{C}}{0,008 \text{ m}} \quad (26)$$

$$= \frac{(52)(310)}{0,008} \quad (27)$$

$$= \mathbf{2,015,000 \text{ W/m}^2 = 2.015 \text{ MW/m}^2} \quad (28)$$

Respuesta: La razón de transferencia de calor por unidad de área es **2.015 MW/m²**, lo que demuestra la intensa transferencia de calor que debe gestionarse en un motor de combustión interna.

3.5. Ejercicio 5: Aplicación Automotriz - Sistema de Frenos

Problema: Durante una frenada intensa, un disco de freno alcanza una temperatura superficial de **350°C**. Si el disco tiene un área expuesta de $0,12 \text{ m}^2$ y una **emisividad $\varepsilon = 0,7$** , calcule la **razón de pérdida de calor por radiación** cuando la temperatura ambiente es de **30°C**.

Solución:

Convertimos a temperaturas absolutas:

$$\blacksquare T_s = 350^\circ\text{C} = 623,15\text{K}$$



$$\blacksquare T_{amb} = 30C = 303,15K$$

Aplicando la ley de Stefan-Boltzmann:

$$\dot{Q}_{rad} = \varepsilon \sigma A_s (T_s^4 - T_{amb}^4) \quad (29)$$

Sustituyendo los valores:

$$\dot{Q}_{rad} = (0,7)(5,67 \times 10^{-8})(0,12)[(623,15)^4 - (303,15)^4] \quad (30)$$

$$= (4,76 \times 10^{-9})[1,509 \times 10^{11} - 8,44 \times 10^9] \quad (31)$$

$$= (4,76 \times 10^{-9})[1,425 \times 10^{11}] \quad (32)$$

$$= \mathbf{678 \text{ W}} \quad (33)$$

Respuesta: El disco de freno pierde **678 W** por radiación, un mecanismo importante de enfriamiento a altas temperaturas.

4. Conclusión

La **transferencia de calor** constituye una disciplina fundamental para el ingeniero automotriz, proporcionando las herramientas teóricas y prácticas necesarias para el diseño, análisis y optimización de **sistemas térmicos** en vehículos modernos.

A través del estudio detallado de los **conceptos fundamentales** presentados en esta lectura, el estudiante ha adquirido comprensión sobre:

1. **La distinción crucial** entre termodinámica y transferencia de calor, donde la primera se enfoca en las **cantidades** de energía intercambiada entre estados de equilibrio, mientras que la segunda se centra en las **velocidades** de estos intercambios energéticos.
2. **Los tres mecanismos básicos** de transferencia de calor:
 - **Conducción:** Transferencia a través de materiales sólidos, gobernada por la **Ley de Fourier**
 - **Convección:** Transferencia entre superficies sólidas y fluidos en movimiento, descrita por la **Ley de Newton del Enfriamiento**
 - **Radiación:** Transferencia mediante ondas electromagnéticas, regida por la **Ley de Stefan-Boltzmann**
3. **Las aplicaciones prácticas** en sistemas automotrices, desde la gestión térmica del motor hasta el enfriamiento de frenos, demostrando la relevancia directa de estos principios en la ingeniería de vehículos.
4. **La importancia del balance de energía** basado en la Primera Ley de la Termodinámica para el análisis sistemático de sistemas térmicos complejos.

El dominio de estos conceptos prepara al futuro ingeniero para enfrentar los desafíos de la **eficiencia energética**, la **gestión térmica** y el **diseño sostenible** en la industria automotriz moderna. La capacidad de **cuantificar** y **predecir** los fenómenos de transferencia de calor es esencial para el desarrollo de tecnologías más **eficientes**, **seguras** y **ambientalmente responsables**.



En el contexto actual de **transición hacia la movilidad eléctrica** y **tecnologías limpias**, estos fundamentos cobran mayor relevancia para el diseño de **sistemas de propulsión alternativos**, **baterías**, **sistemas de climatización eficientes** y **componentes electrónicos** que definirán el futuro del transporte.

5. Bibliografía

Bergman, T. L., Lavine, A. S., Incropera, F. P., & DeWitt, D. P. (2017). *Fundamentals of heat and mass transfer* (8th ed.). John Wiley & Sons.

Çengel, Y. A. (2020). *Heat and mass transfer: Fundamentals and applications* (6th ed.). McGraw-Hill Education.

Çengel, Y. A., & Boles, M. A. (2019). *Termodinámica* (8ª ed.). McGraw-Hill Interamericana.

Heywood, J. B. (2018). *Internal combustion engine fundamentals* (2nd ed.). McGraw-Hill Education.

Holman, J. P. (2018). *Heat transfer* (10th ed.). McGraw-Hill Education.

Lienhard IV, J. H., & Lienhard V, J. H. (2019). *A heat transfer textbook* (5th ed.). Phlogiston Press.

Moran, M. J., Shapiro, H. N., Boettner, D. D., & Bailey, M. B. (2018). *Fundamentals of engineering thermodynamics* (9th ed.). John Wiley & Sons.

Payri, F., & Desantes, J. M. (Coords.). (2011). *Motores de combustión interna alternativos*. Editorial de la Universidad Politécnica de Valencia.

Stone, R. (2012). *Introduction to internal combustion engines* (4th ed.). SAE International.

White, F. M. (2016). *Heat and mass transfer* (2nd ed.). Addison-Wesley.