# AD.04.03.01 - Fundamentos de Transferencia de Calor en Sistemas Automotrices

## Contenido

1. [Introducción](#introducción)
2. [Desarrollo](#desarrollo)
   * [Transferencia de Calor vs Termodinámica](#transferencia-de-calor-vs-termodinámica)
   * [Conceptos Fundamentales](#conceptos-fundamentales)
   * [Primera Ley de la Termodinámica aplicada](#primera-ley-de-la-termodinámica-aplicada)
   * [Los Tres Mecanismos de Transferencia](#los-tres-mecanismos-de-transferencia)
   * [Aplicaciones en Ingeniería Automotriz](#aplicaciones-en-ingeniería-automotriz)
   * [Fórmulas Fundamentales](#fórmulas-fundamentales)
   * [Ejemplos Resueltos](#ejemplos-resueltos)
   * [Ejercicios Propuestos](#ejercicios-propuestos)
3. [Ejercicios de Reforzamiento](#ejercicios-de-reforzamiento)
4. [Conclusiones](#conclusiones)
5. [Bibliografía](#bibliografía)

## Introducción

La **transferencia de calor** es una disciplina fundamental en la ingeniería automotriz que se ocupa de la **rapidez o razón de transferencia de energía térmica**. En el contexto vehicular, el manejo eficiente del calor es crucial para:

* **Gestión térmica del motor:** Control de temperaturas operativas óptimas
* **Sistemas de climatización:** Calefacción y aire acondicionado vehicular
* **Refrigeración de componentes:** Radiadores, intercoolers, enfriamiento de frenos
* **Eficiencia energética:** Recuperación de calor residual y optimización térmica
* **Durabilidad de componentes:** Prevención de sobrecalentamientos y degradación térmica

A diferencia de la **termodinámica**, que se enfoca en los **estados de equilibrio** y las cantidades de energía transferida, la transferencia de calor se centra en la **velocidad** de estos procesos térmicos y los **mecanismos** que los gobiernan.

**Competencia a desarrollar:** *Comprender y aplicar los principios fundamentales de transferencia de calor para analizar y diseñar sistemas térmicos automotrices eficientes.*

## Desarrollo

### Transferencia de Calor vs Termodinámica

#### Distinción Fundamental

**Termodinámica:** - Se enfoca en la **cantidad de transferencia de calor** entre estados de equilibrio - Determina **cuánta energía** se transfiere cuando un sistema cambia de estado - **No indica el tiempo** requerido para el proceso - Ejemplo: *¿Cuánto calor debe extraerse para enfriar el refrigerante del motor de 90°C a 80°C?*

**Transferencia de Calor:** - Se interesa en la **rapidez o razón** (por unidad de tiempo) de la transferencia - Fundamental para el **diseño de equipos térmicos** automotrices - Analiza sistemas en **desequilibrio térmico** - Ejemplo: *¿Qué tan rápido se enfría el refrigerante y qué tamaño de radiador se necesita?*

#### Requisito Básico

El **requisito fundamental** para la transferencia de calor es la existencia de una **diferencia de temperatura** (). La energía térmica **siempre** se transfiere:

* Del medio de **mayor temperatura** al de **menor temperatura**
* El proceso se detiene cuando se alcanza el **equilibrio térmico**
* **Mayor gradiente de temperatura** → **mayor razón de transferencia**

### Conceptos Fundamentales

#### Formas de Energía Térmica

La **energía interna** () de un sistema comprende varias formas microscópicas:

**Energía Sensible:** - Asociada con la **energía cinética** de las moléculas - **Proporcional a la temperatura** del sistema - En automotriz: calor almacenado en el bloque del motor, refrigerante

**Energía Latente:** - Asociada con **cambios de fase** (sólido-líquido-gas) - Se requiere para **vencer fuerzas intermoleculares** - En automotriz: evaporación/condensación en sistemas A/C

**Energía Química:** - Energía de **enlaces moleculares** - En automotriz: energía almacenada en combustibles

#### Nomenclatura Térmica

**Cantidad de Calor Transferido:**

**Razón de Transferencia de Calor:**

Si es constante:

**Flujo de Calor:**

Donde es el área perpendicular a la dirección de transferencia.

### Primera Ley de la Termodinámica Aplicada

#### Principio de Conservación de Energía

La **Primera Ley** establece que la energía no se crea ni se destruye, solo cambia de forma:

#### Balance de Energía Térmica

Para análisis de transferencia de calor:

#### Aplicaciones Automotrices

**Sistemas Cerrados (Motor):** Para un bloque de motor con masa fija:

**Sistemas de Flujo Estacionario (Radiador):** Para refrigerante fluyendo a través del radiador:

Donde: - = gasto másico (kg/s) - = densidad del fluido - = velocidad promedio - = área de sección transversal

### Los Tres Mecanismos de Transferencia

#### 1. Conducción

La **conducción** es la transferencia de energía de partículas más energéticas a las menos energéticas mediante **interacción directa**.

**Características:** - Ocurre en **sólidos, líquidos y gases** - En sólidos: **vibraciones moleculares** + **electrones libres** - En fluidos: **colisiones moleculares** durante movimiento aleatorio

**Ley de Fourier:**

Para geometría plana:

Donde: - = conductividad térmica (W/m·K) - = área de transferencia (m²) - = espesor (m) - = diferencia de temperatura (K)

**Conductividad Térmica en Automotriz:** - **Metales** (bloque motor): W/m·K - **Aleaciones** (radiador): W/m·K  
- **Fluidos** (refrigerante): W/m·K - **Aislantes** (revestimientos): W/m·K

**Difusividad Térmica:**

Representa la **rapidez de propagación** del calor en el material.

#### 2. Convección

La **convección** es la transferencia entre una **superficie sólida** y un **fluido en movimiento**, combinando **conducción** y **movimiento del fluido**.

**Tipos de Convección:**

**Convección Forzada:** - Fluido forzado por medios externos (bombas, ventiladores) - Ejemplos: bomba de agua, ventilador del radiador

**Convección Natural:** - Movimiento inducido por **diferencias de densidad** debido a variaciones de temperatura - Ejemplos: enfriamiento natural del motor apagado

**Ley de Newton del Enfriamiento:**

Donde: - = coeficiente de transferencia por convección (W/m²·K) - = área superficial (m²) - = temperatura de la superficie (K) - = temperatura del fluido alejado (K)

**Valores Típicos de en Automotriz:** - **Convección natural** (aire): W/m²·K - **Convección forzada** (aire): W/m²·K - **Convección forzada** (agua/refrigerante): W/m²·K

#### 3. Radiación

La **radiación** es la energía emitida como **ondas electromagnéticas** debido a la temperatura del material.

**Características:** - **No requiere medio material** (funciona en el vacío) - **Velocidad de la luz** (modo más rápido) - Todos los cuerpos > 0 K emiten radiación térmica

**Ley de Stefan-Boltzmann:**

**Radiación Neta:**

Donde: - = emisividad (0 ≤ ε ≤ 1) - W/m²·K⁴ (constante Stefan-Boltzmann) - **Temperaturas en Kelvin absoluto**

**Emisividades Típicas:** - **Superficies metálicas pulidas**: - **Superficies oxidadas**: - **Superficies pintadas**:

### Aplicaciones en Ingeniería Automotriz

#### Sistema de Refrigeración del Motor

**Componentes y Mecanismos:** 1. **Bloque del motor**: Conducción desde cilindros al refrigerante 2. **Radiador**: Convección forzada aire-refrigerante 3. **Mangueras**: Conducción a través de las paredes 4. **Superficies exteriores**: Radiación al ambiente

#### Sistema de Climatización

**Evaporador (Interior del vehículo):** - **Convección forzada**: Aire del habitáculo → superficie del evaporador - **Cambio de fase**: Evaporación del refrigerante (energía latente)

**Condensador (Exterior del vehículo):** - **Cambio de fase**: Condensación del refrigerante - **Convección forzada**: Superficie → aire ambiente - **Radiación**: Superficies calientes → ambiente

#### Sistema de Frenos

**Discos de freno:** - **Generación de calor**: Energía cinética → térmica por fricción - **Conducción**: A través del disco de freno - **Convección**: Disipación al aire (natural y forzada) - **Radiación**: Significativa a altas temperaturas

### Fórmulas Fundamentales

#### Resistencia Térmica

**Analogía eléctrica** para análisis térmico:

**Conducción:**

**Convección:**

**Radiación:**

Donde:

#### Resistencias en Serie y Paralelo

**Serie:**

**Paralelo:**

### Ejemplos Resueltos

#### Ejemplo 1: Transferencia en Pared del Cilindro

**Problema:** La pared de un cilindro de motor tiene un espesor de 8 mm y está hecha de hierro fundido ( W/m·K). La superficie interior está a 180°C y la exterior (en contacto con refrigerante) a 95°C. El área de transferencia es 0.015 m². Calcular la razón de transferencia de calor por conducción.

**Solución:**

**Datos:** - mm m - W/m·K - , - m²

**Aplicando la Ley de Fourier:**

**Resultado:** kW

#### Ejemplo 2: Convección en Radiador Automotriz

**Problema:** Un radiador tiene una superficie de transferencia de 2.5 m² expuesta al aire. La temperatura superficial promedio es 85°C y el aire ambiente está a 25°C. Si el coeficiente de convección es 45 W/m²·K, calcular la transferencia de calor.

**Solución:**

**Datos:** - m² - - - W/m²·K

**Aplicando la Ley de Newton del Enfriamiento:**

**Resultado:** kW

#### Ejemplo 3: Radiación de Colector de Escape

**Problema:** Un colector de escape con área superficial 0.8 m² y emisividad 0.7 está a 400°C. Está rodeado por el compartimiento del motor a 80°C. Calcular la pérdida de calor por radiación.

**Solución:**

**Datos:** - m² - - K - K - W/m²·K⁴

**Aplicando la ecuación de radiación neta:**

**Resultado:** kW

### Ejercicios Propuestos

1. **Ejercicio 1:** Un intercooler de turbo tiene paredes de aluminio de 3 mm de espesor. Si la temperatura del aire caliente es 120°C y del aire frío 40°C, calcular la razón de transferencia por conducción. ( W/m·K, m²)
2. **Ejercicio 2:** Calcular el coeficiente de convección requerido en un radiador de 3 m² para disipar 15 kW cuando la diferencia de temperatura superficie-aire es 50°C.
3. **Ejercicio 3:** Comparar las pérdidas por radiación y convección de un múltiple de escape a 350°C con , m², rodeado por aire a 30°C con W/m²·K.

## Ejercicios de Reforzamiento

### Ejercicio de Reforzamiento 1

**Problema:** Un sistema de gestión térmica de batería en vehículo eléctrico debe mantener las celdas a temperatura óptima. Analizar la transferencia de calor en una placa de refrigeración:

* **Material:** Aluminio, W/m·K
* **Dimensiones:** 300 mm × 200 mm × 5 mm de espesor
* **Temperatura lado caliente:** 45°C (batería)
* **Temperatura lado frío:** 25°C (refrigerante)

Calcular: a) La razón de transferencia de calor por conducción b) La resistencia térmica de la placa c) El flujo de calor por unidad de área

**Solución:**

**a) Razón de transferencia de calor:**

**Datos:** - W/m·K - mm m - m² -

**b) Resistencia térmica:**

**c) Flujo de calor:**

### Ejercicio de Reforzamiento 2

**Problema:** Un radiador de aceite de transmisión debe disipar 5 kW mediante convección natural. Determinar el área superficial requerida si:

* **Temperatura superficie:** 90°C
* **Temperatura aire:** 35°C
* **Coeficiente convección natural:** 12 W/m²·K
* **Factor de seguridad:** 1.3

**Solución:**

**Datos:** - kW W - - - W/m²·K - Factor seguridad

**Área teórica requerida:**

**Área con factor de seguridad:**

**Resultado:** Se requiere un área superficial de **9.85 m²**

### Ejercicio de Reforzamiento 3

**Problema:** Análisis térmico comparativo de sistema de frenos. Un disco de freno genera 8 kW durante el frenado. Compare la disipación por convección y radiación:

**Condiciones:** - **Temperatura disco:** 300°C - **Temperatura ambiente:** 20°C - **Área efectiva:** 0.15 m² (cada cara) - **Emisividad:** 0.6 - **Coeficiente convección:** 80 W/m²·K (aire forzado)

**Solución:**

**Datos:** - K - K - m² (ambas caras) - - W/m²·K

**Disipación por convección:**

**Disipación por radiación:**

**Disipación total:**

**Análisis:** - **Convección:** 86.7% de la disipación total - **Radiación:** 13.3% de la disipación total - **Capacidad total:** 7.75 kW vs 8 kW generados - **Déficit:** 0.25 kW (necesario mejorar ventilación)

## Conclusiones

1. **Fundamentos aplicados:** Los principios de transferencia de calor son **esenciales** para el diseño y optimización de sistemas térmicos automotrices, desde la gestión térmica del motor hasta los sistemas de climatización y frenado.
2. **Mecanismos combinados:** En aplicaciones automotrices **raramente** ocurre un solo mecanismo de transferencia; la **conducción, convección y radiación** actúan simultáneamente, requiriendo análisis integral para optimización térmica.
3. **Diseño basado en resistencias térmicas:** La **analogía eléctrica** con resistencias térmicas proporciona una herramienta poderosa para el análisis y diseño de sistemas de gestión térmica vehicular, facilitando la identificación de cuellos de botella térmicos.
4. **Importancia de la convección forzada:** En sistemas automotrices, la **convección forzada** mediante ventiladores y bombas es frecuentemente el mecanismo **dominante** en la disipación de calor, siendo crucial para el dimensionamiento adecuado de equipos.
5. **Gestión térmica integral:** La **eficiencia energética** de vehículos modernos depende críticamicamente de una gestión térmica optimizada que considere la **recuperación de calor residual**, **minimización de pérdidas** y **control preciso de temperaturas operativas**.
6. **Consideraciones de diseño:** El análisis de transferencia de calor permite **predicir comportamientos térmicos**, **dimensionar componentes** apropiadamente y **prevenir fallas** por sobrecalentamiento, siendo fundamental para la confiabilidad y durabilidad vehicular.

## Bibliografía

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

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

Holman, J. P. (2010). *Heat transfer* (10th ed.). McGraw-Hill Education.

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

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

Wong, J. Y. (2001). *Theory of ground vehicles* (3rd ed.). John Wiley & Sons.

Reif, K. (Ed.). (2014). *Automotive handbook* (9th ed.). Robert Bosch GmbH.