

AD.04.01.01: Lectura de Ciclos Termodinámicos

Asignatura: Termodinámica Automotriz
Unidad IV: - Sistemas y Ciclos de Potencia de Gas

Introducción a los ciclos termodinámicos

Los **ciclos termodinámicos** son secuencias de **procesos** que transforman **energía térmica** en **trabajo mecánico**, o viceversa. Son la base de funcionamiento de **máquinas térmicas** como **motores de combustión interna**, refrigeradores y bombas de calor. Comprender estos ciclos es fundamental para el **análisis** y **diseño** de **sistemas energéticos** en la **ingeniería automotriz**.

En esta lectura, exploraremos los **ciclos ideales** de **Carnot**, **Otto** y **Diesel**, que sirven como **modelos teóricos** para entender los límites y el comportamiento de los motores reales.

1. El ciclo de Carnot: el límite ideal

El **ciclo de Carnot** es un **ciclo termodinámico ideal** y **reversible** que opera entre dos **fuentes de calor** a **temperaturas constantes**. Es de suma **importancia teórica** porque establece el **límite superior de eficiencia** para cualquier **máquina térmica** que opere entre esas dos temperaturas. Aunque no es realizable en la práctica, sirve como **referencia** para evaluar el **rendimiento** de los ciclos reales.

El **ciclo de Carnot** consta de cuatro **procesos reversibles**:

- **Expansión Isotérmica (1-2):** El **fluido de trabajo absorbe calor** (Q_H) de una **fente a alta temperatura** (T_H) mientras se **expande**, realizando **trabajo**.

- Ecuación del calor absorbido:

$$Q_H = T_H \Delta S_{12}$$

- **Expansión Adiabática (2-3):** El fluido se expande **sin intercambio de calor**, **disminuyendo su temperatura** de T_H a T_L mientras realiza **trabajo**.

- Ecuación de la relación de temperaturas y volúmenes:

$$T_2 V_2^{\gamma-1} = T_3 V_3^{\gamma-1}$$

- **Compresión Isotérmica (3-4):** El fluido **cede calor** (Q_L) a un **sumidero a baja temperatura** (T_L) mientras se **comprime**, requiriendo **trabajo**.

- Ecuación del calor cedido:

$$Q_L = T_L \Delta S_{34}$$

- **Compresión Adiabática (4-1):** El fluido se comprime **sin intercambio de calor**, **aumentando su temperatura** de T_L a T_H mientras se le **aplica trabajo**.

- Ecuación de la relación de temperaturas y volúmenes:

$$T_4 V_4^{\gamma-1} = T_1 V_1^{\gamma-1}$$



La **eficiencia térmica** del **ciclo de Carnot** (η_{Carnot}) se define como:

$$\eta_{Carnot} = 1 - \frac{T_L}{T_H}$$

Donde T_L es la **temperatura absoluta** del **sumidero de calor** y T_H es la **temperatura absoluta** de la **fente de calor**.

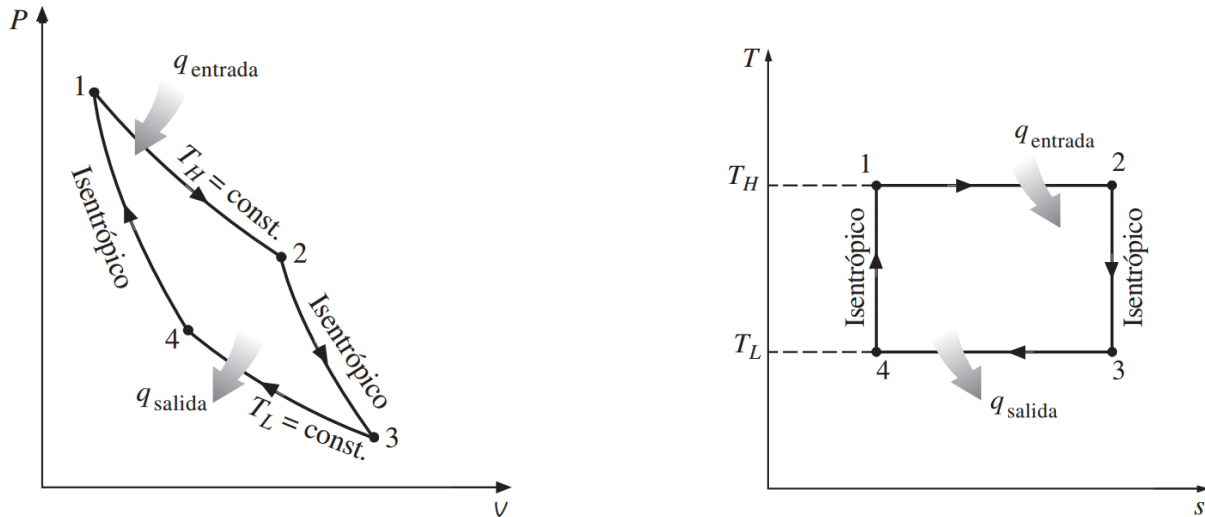


Figura 1: Diagramas P-V (izquierda) y T-S (derecha) del ciclo de Carnot. Fuente: Çengel, Y. A., Boles, M. A. (2011). Termodinámica.

2. El ciclo de Otto: motores de gasolina

El **ciclo de Otto** es el **modelo ideal** para los **motores de encendido por chispa** (**motores de gasolina**). Se compone de cuatro **procesos internamente reversibles**, dos **adiabáticos** y dos **isocóricos** (**volumen constante**).

- **Compresión Adiabática (1-2):** El **aire-combustible** se **comprime sin intercambio de calor**, **aumentando su temperatura y presión**.

- **Relación de compresión (r):**

$$r = \frac{V_1}{V_2}$$

- **Adición de Calor a Volumen Constante (2-3):** Se simula la **combustión**, donde se **añade calor** (Q_{in}) al sistema a **volumen constante**, **elevando drásticamente la presión y temperatura**.

- **Calor añadido:**

$$Q_{in} = mc_v(T_3 - T_2)$$

- **Expansión Adiabática (3-4):** Los **gases calientes** se **expanden**, realizando **trabajo** sobre el **pistón** y **disminuyendo su temperatura y presión**.

- **Rechazo de Calor a Volumen Constante (4-1):** Se simula la **expulsión de gases de escape**, donde se **cede calor** (Q_{out}) al ambiente a **volumen constante**, **disminuyendo la presión**.

- **Calor rechazado:**

$$Q_{out} = mc_v(T_4 - T_1)$$



La **eficiencia térmica** del **ciclo de Otto** (η_{Otto}) se expresa como:

$$\eta_{Otto} = 1 - \frac{1}{r^{\gamma-1}}$$

Donde r es la **relación de compresión** y γ es la **relación de calores específicos** (c_p/c_v).

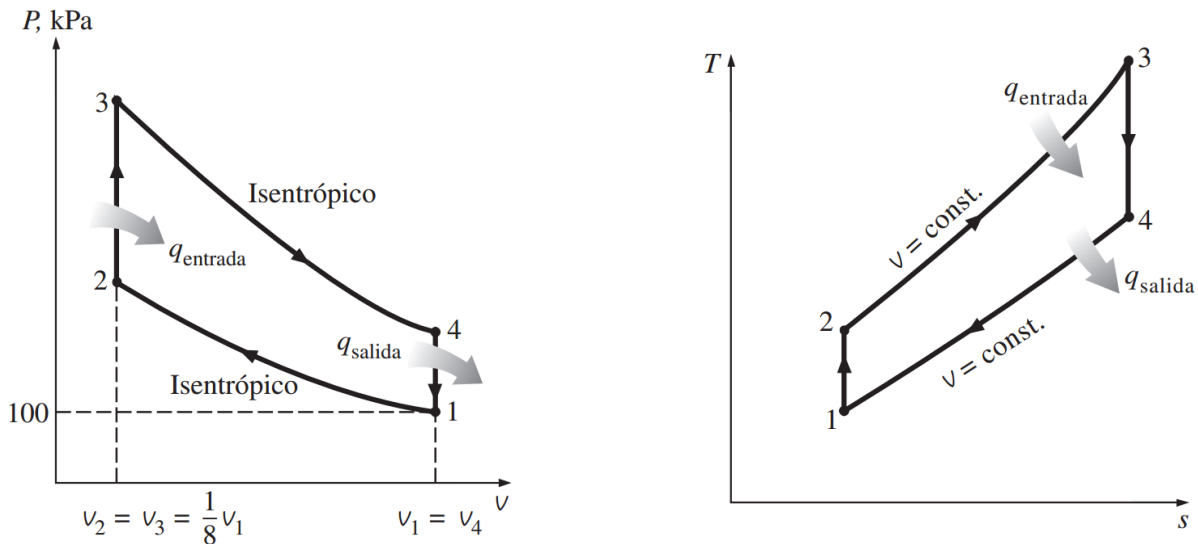


Figura 2: Diagramas P-V (izquierda) y T-S (derecha) del ciclo de Otto. Fuente: Çengel, Y. A., & Boles, M. A. (2011). *Termodinámica*.

3. El ciclo Diesel: motores de encendido por compresión

El **ciclo Diesel** es el **modelo ideal** para los **motores de encendido por compresión** (**motores diésel**). A diferencia del **ciclo de Otto**, la **adición de calor** ocurre a **presión constante**.

- **Compresión Adiabática (1-2):** El **aire** se **comprime sin intercambio de calor**, **aumentando su temperatura y presión**.
- **Adición de Calor a Presión Constante (2-3):** Se simula la **combustión**, donde se **añade calor** (Q_{in}) al sistema a **presión constante**, **elevando el volumen y la temperatura**.

• **Calor añadido:**

$$Q_{in} = mc_p(T_3 - T_2)$$

- **Expansión Adiabática (3-4):** Los **gases calientes** se **expanden**, realizando **trabajo** sobre el **pistón** y **disminuyendo su temperatura y presión**.
- **Rechazo de Calor a Volumen Constante (4-1):** Se simula la **expulsión de gases de escape**, donde se **cede calor** (Q_{out}) al ambiente a **volumen constante**, **disminuyendo la presión**.

• **Calor rechazado:**

$$Q_{out} = mc_v(T_4 - T_1)$$

La **eficiencia térmica** del **ciclo Diesel** (η_{Diesel}) se calcula con la siguiente fórmula:

$$\eta_{Diesel} = 1 - \frac{1}{r^{\gamma-1}} \left[\frac{r_c^\gamma - 1}{\gamma} \right]$$

Donde r es la **relación de compresión** y r_c es la **relación de corte** (relación de volúmenes al final y al inicio de la adición de calor a presión constante).

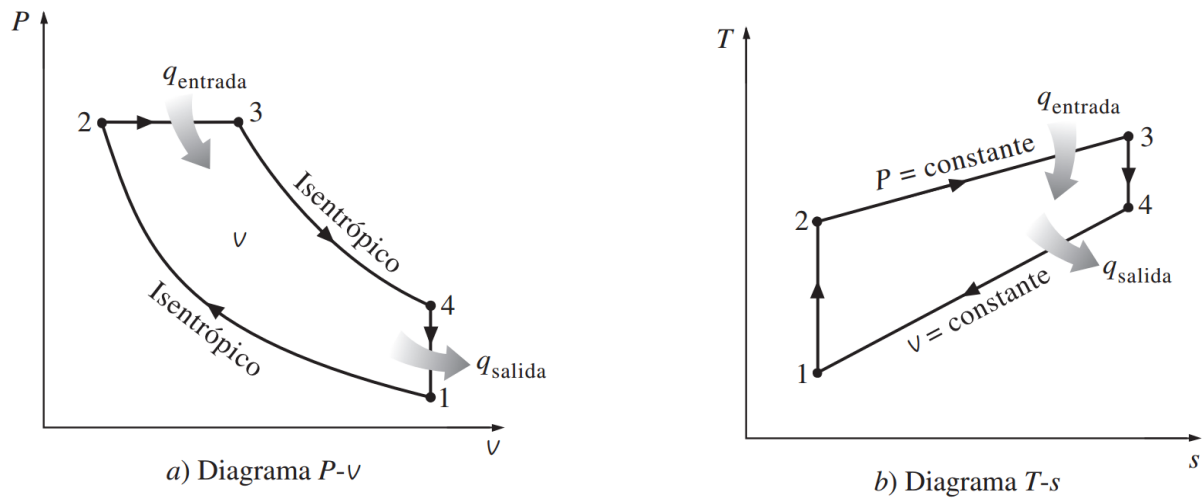


Figura 3: Diagramas P-V (izquierda) y T-S (derecha) del ciclo de Diesel. Fuente: Çengel, Y. A., Boles, M. A. (2011). Termodinámica.

4. Comparación de ciclos y parámetros clave en motores

Aunque los **ciclos de Otto y Diesel** son **modos ideales**, su **comparación** nos permite entender las **diferencias fundamentales** en el **diseño** y **operación** de los **motores de gasolina y diésel**.

Característica	Ciclo de Otto (Gasolina)	Ciclo Diesel (Diésel)
Combustión	Por chispa (bujía)	Por compresión (autoignición)
Adición de Calor	A volumen constante	A presión constante
Combustible	Gasolina	Diésel
Relación de Compresión	Típicamente más baja (8:1 a 12:1)	Típicamente más alta (14:1 a 25:1)
Eficiencia	Depende fuertemente de la relación de compresión	Depende de la relación de compresión

Parámetros Clave en Motores de Combustión Interna:

- **Potencia** (W): **Tasa** a la que se realiza **trabajo**. En motores, se refiere a la **potencia generada** por el motor.

- Ecuación general de potencia:

$$W = \frac{\text{Trabajo}}{\text{Tiempo}}$$

- **Cilindrada** (V_d): **Volumen total desplazado** por todos los **pistones** en un ciclo. Es un **indicador del tamaño del motor**.

- Ecuación de cilindrada unitaria:

$$V_d = \frac{\pi D^2}{4} L$$

Donde D es el **diámetro del cilindro** y L es la **carrera del pistón**.

- **Rendimiento** (**Eficiencia**): **Relación** entre el **trabajo útil obtenido** y la **energía suministrada**. Puede ser **térmica**, **mecánica** o **volumétrica**.



Conclusión

Los **ciclos de Carnot, Otto y Diesel** son **pilares fundamentales** en la **termodinámica aplicada** a la **ingeniería automotriz**. Aunque son **idealizaciones**, proporcionan las **herramientas conceptuales y analíticas** para entender el **funcionamiento**, las **limitaciones** y las **oportunidades de mejora** en los **motores de combustión interna**. La **comprensión** de sus **procesos**, **eficiencias** y los **parámetros clave** asociados es **esencial** para el **análisis** y **diseño** de **sistemas energéticos eficientes y sostenibles**.

Referencias Bibliográficas

- Çengel, Y. A., & Boles, M. A. (2011). *Termodinámica* (6a. ed.). McGraw-Hill.
- Moran, M. J., Shapiro, H. N., Boettner, D. D., & Bailey, M. B. (2018). *Fundamentals of Engineering Thermodynamics* (9th ed.). Wiley.
- Payri, F., & Desantes, J. M. (Coords.). (2011). *Motores de combustión interna alternativos*. Editorial de la UPV.

