

# CICLO DIÉSEL

---



Área Académica:  
Ingeniería Mecánica

Profesor (a):  
M en C. Arturo Cruz Avilés  
Dr. Martín Ortiz Domínguez

Periodo:  
Enero – Junio 2024



# Ciclo Diésel

---

## Resumen

Un ciclo Diésel ideal es un modelo simplificado de lo que ocurre en un motor diésel. En un motor de esta clase, a diferencia de lo que ocurre en un motor de gasolina la combustión no se produce por la ignición de una chispa en el interior de la cámara.

**Palabras clave:** ciclo, Diésel, motor, ignición.

## Abstract

An ideal Diesel cycle is a simplified model of what happens in a diesel engine. In an engine of this class, unlike what occurs in a gasoline engine, combustion is not produced by the ignition of a spark inside the chamber.

**Key words:** Cycle, Diesel, engine, ignition.



# Introducción

Un ciclo Diésel ideal es un modelo simplificado de lo que ocurre en un motor diésel. A diferencia de lo que ocurre en un motor de gasolina la combustión no se produce por la ignición de una chispa en el interior de la cámara. En su lugar, aprovechando las propiedades químicas del gasóleo, el aire es comprimido hasta una temperatura superior a la de autoignición del gasóleo y el combustible es inyectado a presión en este aire caliente, produciéndose la combustión de la mezcla.

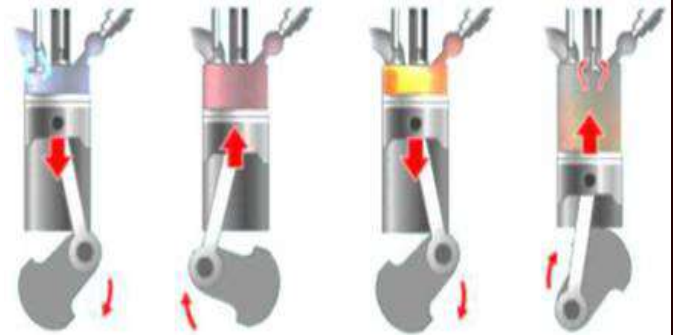


Figura 1. Ciclo Diésel.

# Objetivo

---

El alumno comprenderá el funcionamiento de un motor Diésel, al igual que las fases, procesos reversibles del ciclo, eficiencia térmica, relación de compresión, relación de fin de la inyección y la relación de calores específicos.

# Fases

Las fases de operación de este motor son las siguientes:

- 1→2 Calentamiento a presión constante.
- 2→3 Expansión adiabática.
- 3→4 Enfriamiento a volumen constante.
- 4→1 Compresión adiabática.

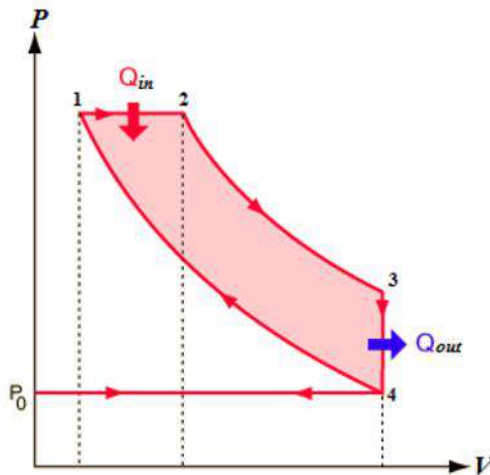


Figura 2. Esquema de los procesos reversibles del ciclo Diesel.

Al analizar el ciclo Diésel ideal, podemos despreciar en el balance los procesos de admisión y de escape a presión constante 1→2 y a volumen constante 3→4, ya que al ser idénticos y reversibles, en sentido opuesto, todo el calor y el trabajo que se intercambien en uno de ellos, se cancela con un término opuesto en el otro. Teniendo en cuenta que la eficiencia del ciclo Diésel está dada por la expresión

$$\eta_t = \frac{Q_{in} - Q_{out}}{Q_{in}}. \quad (1)$$

El ciclo de Diesel es el que se puede emplear para aproximarse al funcionamiento de un motor de combustión interna encendido por chispa. Tomando como base la unidad de masa del gas, se tiene para el

ciclo de Diesel que  $Q_{in} = \int_{T_1}^{T_2} C_p dT$ . Asimismo, para el calor cedido  $Q_{out} = \int_{T_4}^{T_3} C_v dT$ .

$$Q_{out} = C_V (T_3 - T_4), \quad (2)$$

$$Q_{in} = C_P (T_2 - T_1). \quad (3)$$

Sustituyendo las Ecs. (2) y (3) en la Ec. (1), se obtiene:

$$\eta_t = 1 - \frac{C_V (T_3 - T_4)}{C_P (T_2 - T_1)} = 1 - \frac{1 (T_3 - T_4)}{k (T_2 - T_1)} = 1 - \frac{1}{k} \frac{T_4 \left( \frac{T_3}{T_4} - 1 \right)}{T_1 \left( \frac{T_2}{T_1} - 1 \right)}. \quad (4)$$

Por otro lado, para los procesos adiabáticos,

$$P_1 V_1^k = C_1, \quad (5)$$

$$P_4 V_4^k = C_1, \quad (6)$$

$$P_2 V_2^k = C_2, \quad (7)$$

$$P_3 V_3^k = C_2. \quad (8)$$

Debido a que la Ec. (5) es igual a la Ec. (6) y la Ec. (7) es igual a la Ec. (8), resulta

$$P_1 V_1^k = P_4 V_4^k, \quad (9)$$

$$P_2 V_2^k = P_3 V_3^k. \quad (10)$$

Dado que la sustancia de trabajo es un gas ideal con calores específicos constantes, se tiene, para los procesos isotérmicos

$$P_1 = \frac{nRT_1}{V_1}, \quad (11)$$

$$P_3 = \frac{nRT_3}{V_3}, \quad (13)$$

$$P_2 = \frac{nRT_2}{V_2}, \quad (12)$$

$$P_4 = \frac{nRT_4}{V_4}. \quad (14)$$

Sustituyendo las Ecs. (11)-(14) en las Ecs. (9) y (10), resulta en:

$$\frac{nRT_1}{V_1} V_1^k = \frac{nRT_4}{V_4} V_4^k, \quad (15)$$

$$\frac{nRT_2}{V_2} V_2^k = \frac{nRT_3}{V_3} V_3^k. \quad (16)$$

Simplificando las Ecs. (15) y (16), se obtiene:

$$T_1 V_1^{k-1} = T_4 V_4^{k-1}, \quad (17)$$

$$T_2 V_2^{k-1} = T_3 V_3^{k-1}. \quad (18)$$

Las Ecs. (17) y (18), se pueden reescribir como:

$$\frac{T_4}{T_1} = \left( \frac{V_1}{V_4} \right)^{k-1}, \quad (19)$$

$$\frac{T_3}{T_2} = \left( \frac{V_2}{V_3} \right)^{k-1}. \quad (20)$$

De las Ecs. (19) y (20), se tiene:

$$\frac{T_3}{T_4} = \frac{T_2}{T_1} \frac{\left( \frac{V_2}{V_3} \right)^{k-1}}{\left( \frac{V_1}{V_4} \right)^{k-1}} = \frac{T_2}{T_1} \left( \frac{V_2 V_4}{V_1 V_3} \right)^{k-1}. \quad (21)$$

Considerando que P1 y P2 (ver Figura 2). Asimismo, de las Ecs. (11) y (12),

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{\frac{P_2 V_2}{nR}}{\frac{P_1 V_1}{nR}} = \frac{V_2}{V_1}. \quad (22)$$

Sustituyendo las Ecs.(19), (21) y (22) en la Ec. (4) de la eficiencia térmica resulta en:

$$\eta_t = 1 - \frac{C_V (T_3 - T_4)}{C_P (T_2 - T_1)} = 1 - \frac{1}{k} \frac{(T_3 - T_4)}{(T_2 - T_1)} = 1 - \frac{1}{k} \left( \frac{V_1}{V_4} \right)^{k-1} \frac{\left( \frac{V_2}{V_1} \left( \frac{V_2 V_4}{V_1 V_3} \right)^{k-1} - 1 \right)}{\left( \frac{V_2}{V_1} - 1 \right)}. \quad (23)$$

$$\eta_t = 1 - \frac{C_V (T_3 - T_4)}{C_P (T_2 - T_1)} = 1 - \frac{1 (T_3 - T_4)}{k (T_2 - T_1)} = 1 - \frac{1}{k} \left( \frac{V_1}{V_4} \right)^{k-1} \left( \frac{\left( \frac{V_2}{V_1} \right)^k - 1}{\frac{V_2}{V_1} - 1} \right). \quad (24)$$

Considerando la relación de compresión:

$$r_c = \frac{V_4}{V_1} \quad (25)$$

y la relación de inyección:

$$r_f = \frac{V_2}{V_1} \quad (26)$$

Finalmente sustituyendo las Ecs. (25) y (26) en la Ec. (24) de la eficiencia térmica para el ciclo Diésel:

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{r_c^{k-1}} \left( \frac{r_f^k - 1}{k(r_f - 1)} \right). \quad (27)$$

De la definición de calor tenemos:

$$dQ = TdS \quad (28)$$

Los procesos 1-4 y 2-3, son procesos adiabáticos, donde no se permite la entrada o salida de calor, para ilustrarlo, basta con emplear la Ec. (28), al no entrar o salir calor  $dQ = 0$ , para que esta condición se cumpla, la entropía debe de ser constante, es decir  $S = cte$ , es por esta razón que cuando se dibuja el diagrama T-S para un ciclo Diesel, este tiene dos curvas constantes de entropía como se puede apreciar en la Figura 3.

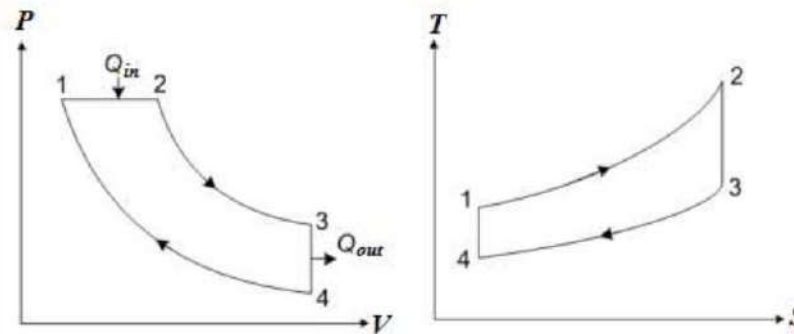


Figura 3 Esquemas equivalentes P-V y T-S.

# Ejemplo

La eficiencia térmica para un ciclo Diesel, de aire estándar con una relación de compresión de  $r_c = 8.3$  y una relación de inyección de  $r_f = 6.1$  es lo más cercano a:

## Solución

Ciclo de Diesel

$\eta_t$  = Eficiencia térmica

$r_c$  = Relación de compresión

$r_f$  = Relación de fin de la inyección

$k = 1.4$  = Relación de calores específicos

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{r_c^{k-1}} \left[ \frac{r_f^k - 1}{k(r_f - 1)} \right]$$

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{(8.3)^{1.4-1}} \left[ \frac{(6.1)^{1.4} - 1}{(1.4)(6.1-1)} \right] = 1 - \frac{1}{(8.3)^{0.4}} \left[ \frac{12.57-1}{(1.4)(5.1)} \right] = 1 - \frac{1}{2.33} \left( \frac{11.57}{7.14} \right) = 1 - 0.695 = 0.30$$

# Ejercicio

En un ciclo Diésel de aire estándar con una relación de inyección de  $r_f = 5.9$  y una relación de compresión de  $r_c = 8.3$ , calcule la eficiencia térmica para el ciclo Diésel.

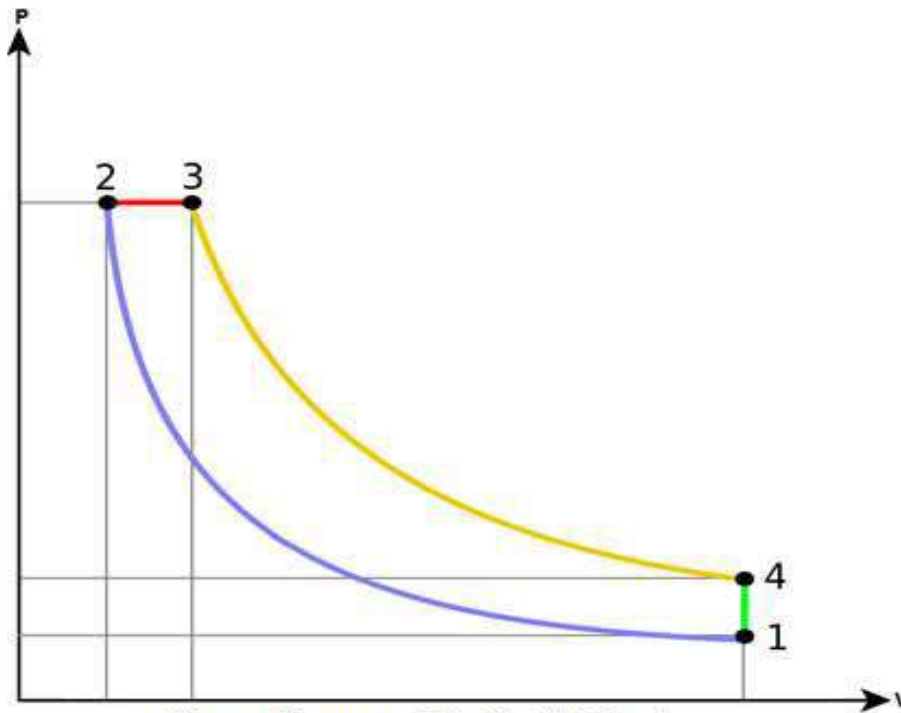


Figura. Diagrama P-V del ciclo Diésel.  
Fuente: Elaboración propia.

# Conclusión

---

Se puede concluir que los beneficios que otorgan los motores diésel a los vehículos de transporte es su capacidad de generación de potencia y electricidad; así como su eficiencia en el consumo de combustible y aunque a simple vista, es un combustible ligeramente más caro a la larga reduce los costos de operación en el motor con referencia a la gasolina.

# Referencias

- 1.- Norton, R. L. (1999). Diseño de Máquinas. Estado de México, México: Prentice Hall Hispanoamérica, S. A.
- 2.- Shigley, J. E., and Mischke, C. R. (1989). Mechanical Engineering Design. New York, US: MacGraw-Hill.
- 3.- Madayag, A. F. (1969). Metal Fatigue: Theory and Design. New York, US: John Wiley & Sons.
- 4.- Dowling, N. E. (1993). Mechanical Behavior of Materials. New York-Englewood Cliffs, US: Prentice Hall.
- 5.- Juvinall, R. C., and Marshek, K. M. (1991). Fundamentals of Machine Component Design. New York, US: John Wiley & Sons.
- 6.- Norton, R. L. (1999). Design of Machinery: An Introduction to the Synthesis and Analysis of Mechanisms and Machines. New York, US: McGraw-Hill.