# AD.04.02.01 - Ciclos Otto y Diesel: Análisis Comparativo de Motores Automotrices

## Contenido

1. [Introducción](#introducción)
2. [Desarrollo](#desarrollo)
   * [Ciclo Otto: Motores de Encendido por Chispa](#X6f575084e5000be5a96ab9bdad1c8ced72e9b9f)
   * [Ciclo Diesel: Motores de Encendido por Compresión](#X0b3ef0d7774450eb9b33fca14161098acf24d4b)
   * [Análisis Comparativo](#análisis-comparativo)
   * [Gráficos y Diagramas](#gráficos-y-diagramas)
   * [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

Los **motores de combustión interna** son el corazón de la industria automotriz moderna. Dos de los ciclos termodinámicos más importantes que rigen su funcionamiento son el **Ciclo Otto** y el **Ciclo Diesel**, que representan los fundamentos teóricos de los **motores de gasolina** y **motores diesel**, respectivamente.

Estos ciclos ideales nos permiten: - Comprender los principios fundamentales de operación de los motores - Calcular eficiencias teóricas máximas - Comparar el desempeño entre diferentes tipos de motores - Optimizar parámetros de diseño como la **relación de compresión** - Analizar el impacto de variables operativas en el rendimiento

**Competencia a desarrollar:** *Identificar y representar los ciclos termodinámicos Otto y Diesel, calculando eficiencia, potencia y parámetros de rendimiento durante los ciclos desarrollados en aplicaciones automotrices.*

## Desarrollo

### Ciclo Otto: Motores de Encendido por Chispa

#### Descripción del Ciclo

El **Ciclo Otto** es el modelo termodinámico idealizado que describe el funcionamiento de los **motores de gasolina** (encendido por chispa). Fue propuesto por Nikolaus Otto en 1876 y consta de **cuatro procesos termodinámicos**:

#### Los Cuatro Procesos del Ciclo Otto

**Proceso 1-2: Compresión Adiabática** - El **aire-combustible** se comprime sin intercambio de calor - **Aumento** de presión y temperatura - **Disminución** del volumen según la relación de compresión

**Proceso 2-3: Adición de Calor a Volumen Constante** - **Combustión instantánea** simulada por adición de calor - **Aumento drástico** de presión y temperatura - El **volumen permanece constante** (proceso isocórico)

**Proceso 3-4: Expansión Adiabática (Carrera de Potencia)** - Los **gases calientes** se expanden realizando **trabajo útil** - **Disminución** de presión y temperatura - **Aumento** del volumen

**Proceso 4-1: Rechazo de Calor a Volumen Constante** - **Expulsión** de gases de escape simulada - **Disminución** de presión a volumen constante - **Retorno** al estado inicial del ciclo

#### Parámetros Clave del Ciclo Otto

**Relación de Compresión ():**

Donde: - = Volumen al final de la admisión - = Volumen al final de la compresión

**Rango típico en motores de gasolina:** a

### Ciclo Diesel: Motores de Encendido por Compresión

#### Descripción del Ciclo

El **Ciclo Diesel** representa el funcionamiento idealizado de los **motores diesel** (encendido por compresión). Propuesto por Rudolf Diesel en 1892, se diferencia del ciclo Otto principalmente en el **proceso de combustión**.

#### Los Cuatro Procesos del Ciclo Diesel

**Proceso 1-2: Compresión Adiabática** - Solo **aire** se comprime sin intercambio de calor - **Mayor relación de compresión** que en Otto - **Temperatura final** suficiente para autoignición del combustible

**Proceso 2-3: Adición de Calor a Presión Constante** - **Inyección y combustión** progresiva del combustible - La **presión permanece constante** (proceso isobárico) - **Aumento** de volumen y temperatura

**Proceso 3-4: Expansión Adiabática (Carrera de Potencia)** - **Expansión** de gases calientes realizando **trabajo útil** - **Disminución** de presión y temperatura - **Aumento** del volumen

**Proceso 4-1: Rechazo de Calor a Volumen Constante** - **Expulsión** de gases de escape - **Disminución** de presión a volumen constante - **Retorno** al estado inicial

#### Parámetros Clave del Ciclo Diesel

**Relación de Compresión ():**

**Rango típico en motores diesel:** a

**Relación de Corte ():**

Donde: - = Volumen al final de la adición de calor - = Volumen al final de la compresión

### Análisis Comparativo

#### Tabla Comparativa Detallada

| **Característica** | **Ciclo Otto (Gasolina)** | **Ciclo Diesel** |
| --- | --- | --- |
| **Tipo de Encendido** | **Chispa eléctrica** (bujías) | **Autoencendido** por compresión |
| **Combustible** | **Gasolina** (C₈H₁₈) | **Diesel** (C₁₂H₂₃) |
| **Proceso de Combustión** | **Volumen constante** (isocórico) | **Presión constante** (isobárico) |
| **Relación de Compresión** | **8:1 a 12:1** | **14:1 a 25:1** |
| **Velocidad de Combustión** | **Muy rápida** (instantánea) | **Controlada** (progresiva) |
| **Temperatura Máxima** | **2200-2500 K** | **2000-2200 K** |
| **Presión Máxima** | **40-60 bar** | **60-100 bar** |
| **Eficiencia Térmica Típica** | **25-35%** | **35-45%** |
| **Aplicaciones Principales** | **Automóviles**, motocicletas | **Camiones**, autobuses, generadores |

#### Ventajas y Desventajas

**Motores Otto (Gasolina):**

**Ventajas:** - **Operación más suave** y silenciosa - **Mayor velocidad** de rotación (RPM) - **Menor peso** específico - **Arranque en frío** más fácil

**Desventajas:** - **Menor eficiencia térmica** - **Mayor consumo** de combustible - **Combustible más costoso**

**Motores Diesel:**

**Ventajas:** - **Mayor eficiencia térmica** - **Menor consumo** de combustible - **Mayor durabilidad** - **Combustible menos costoso**

**Desventajas:** - **Mayor ruido** y vibración - **Mayor peso** específico - **Arranque en frío** más difícil - **Mayores emisiones** de NOₓ y partículas

### Gráficos y Diagramas

#### Diagrama P-V Comparativo

P  
 │  
 │ Otto: 2 ──────── 3  
 │ │ │  
 │ │ │ Diesel: 2 ─── 3  
 │ │ │ │ │  
 │ │ │ │ │  
 │ 1 ──────── 4 1 ─── 4  
 │\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ V  
 V₂ V₁ V₂ V₃ V₁

#### Diagrama T-S Comparativo

T  
 │ Otto y Diesel  
 │ 3 ─────────────────  
 │ │ │  
 │ │ │  
 │ 2 4  
 │ │ │  
 │ 1 ─────────────────  
 │\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_ S  
 S₁=S₄ S₂=S₃

### Fórmulas Fundamentales

#### Eficiencia del Ciclo Otto

Donde: - = Eficiencia térmica del ciclo Otto - = Relación de compresión - = Relación de calores específicos ( para aire)

#### Eficiencia del Ciclo Diesel

Donde: - = Eficiencia térmica del ciclo Diesel - = Relación de compresión - = Relación de corte - = Relación de calores específicos

#### Trabajo Neto por Ciclo

**Para ambos ciclos:**

**Ciclo Otto:**

**Ciclo Diesel:**

#### Potencia del Motor

Donde: - = Potencia del motor (kW) - = Trabajo neto por ciclo (kJ) - = Velocidad del motor (RPM) - = Número de cilindros - = Número de revoluciones por ciclo (2 para motores de 4 tiempos)

### Ejemplos Resueltos

#### Ejemplo 1: Comparación de Eficiencia Otto vs Diesel

**Problema:** Comparar la eficiencia térmica de un motor Otto con y un motor Diesel con y . Usar .

**Solución:**

**Motor Otto:**

**Motor Diesel:**

**Conclusión:** El motor Diesel es más eficiente (64.6% vs 60.2%).

#### Ejemplo 2: Cálculo de Potencia de Motor Otto

**Problema:** Un motor de gasolina de 4 cilindros y 2.0 L opera a 3000 RPM con una eficiencia del 30%. Si cada cilindro produce 0.5 kJ de trabajo neto por ciclo, calcular la potencia del motor.

**Solución:**

**Datos:** - cilindros - kJ por cilindro por ciclo - RPM - (motor de 4 tiempos)

**Trabajo total por ciclo:**

**Potencia:**

**Resultado:** kW = 67 HP

### Ejercicios Propuestos

1. **Ejercicio 1:** Calcular la eficiencia de un motor Otto con relación de compresión 9:1 y compararla con un motor Diesel de relación de compresión 16:1 y relación de corte 1.8.
2. **Ejercicio 2:** Un motor de 6 cilindros produce 120 kW a 4000 RPM. Calcular el trabajo neto por cilindro por ciclo.
3. **Ejercicio 3:** Determinar el aumento porcentual de eficiencia al incrementar la relación de compresión de un motor Otto de 8:1 a 11:1.

## Ejercicios de Reforzamiento

### Ejercicio de Reforzamiento 1

**Problema:** Una flota de transporte está evaluando reemplazar sus camiones con motores Otto por motores Diesel. Compare el consumo de combustible teórico considerando:

* **Motor Otto:** Relación de compresión 10:1, eficiencia real 28%
* **Motor Diesel:** Relación de compresión 20:1, relación de corte 2.2, eficiencia real 38%
* **Poder calorífico gasolina:** 44 MJ/kg
* **Poder calorífico diesel:** 42 MJ/kg
* **Trabajo requerido:** 1000 kJ/s para cada camión

**Solución:**

**Consumo de combustible motor Otto:**

**Consumo de combustible motor Diesel:**

**Ahorro de combustible:**

**Conclusión:** Los motores Diesel consumen 22.8% menos combustible.

### Ejercicio de Reforzamiento 2

**Problema:** Un fabricante automotriz está desarrollando un motor Otto de alta compresión. Analizar el efecto de aumentar la relación de compresión de 9:1 a 12:1 en: a) Eficiencia térmica teórica b) Temperatura máxima del ciclo (T₁ = 300 K, T₂ calculada)

**Solución:**

**a) Eficiencias térmicas:**

**Para r = 9:1:**

**Para r = 12:1:**

**Aumento de eficiencia:**

**b) Temperaturas máximas (proceso adiabático 1-2):**

**Para r = 9:1:**

**Para r = 12:1:**

**Aumento de temperatura:**

### Ejercicio de Reforzamiento 3

**Problema:** Un taller automotriz necesita determinar las especificaciones de un sistema de enfriamiento para dos tipos de motores:

* **Motor A (Otto):** 4 cilindros, 2.5 L, 4000 RPM, eficiencia 32%
* **Motor B (Diesel):** 4 cilindros, 2.8 L, 2500 RPM, eficiencia 42%

Si ambos motores producen la misma potencia (80 kW), calcular el calor que debe disipar el sistema de enfriamiento de cada uno.

**Solución:**

**Para ambos motores:**

**Energía total suministrada:**

**Motor A (Otto):**

**Motor B (Diesel):**

**Calor a disipar:**

**Motor A:**

**Motor B:**

**Conclusión:** El motor Otto requiere disipar 53.8% más calor que el motor Diesel.

## Conclusiones

1. **Diferencias fundamentales:** Los ciclos Otto y Diesel difieren principalmente en el **proceso de combustión**: Otto a **volumen constante** vs Diesel a **presión constante**, lo que determina sus características operativas distintivas.
2. **Eficiencia térmica:** Los **motores Diesel** presentan **mayor eficiencia térmica** debido a su **mayor relación de compresión** y al **proceso de combustión a presión constante**, resultando en menor consumo de combustible por unidad de trabajo producido.
3. **Aplicaciones específicas:** Los **motores Otto** son ideales para aplicaciones que requieren **alta velocidad** y **operación suave** (automóviles, motocicletas), mientras que los **motores Diesel** son superiores para aplicaciones de **alto torque** y **eficiencia energética** (camiones, autobuses, maquinaria pesada).
4. **Parámetros de diseño críticos:** La **relación de compresión** es el parámetro más influyente en la eficiencia de ambos ciclos, pero está limitada por consideraciones prácticas como el **knock** en motores Otto y las **presiones máximas** en motores Diesel.
5. **Tendencias tecnológicas:** La industria automotriz está desarrollando **tecnologías híbridas** que combinan las ventajas de ambos ciclos, como motores de **encendido por compresión controlado** (HCCI) y sistemas de **inyección directa** en motores de gasolina.
6. **Consideraciones ambientales:** Aunque los motores Diesel son más eficientes, presentan **mayores desafíos** en términos de **emisiones de NOₓ y partículas**, mientras que los motores Otto tienen **menores emisiones** de estos contaminantes pero **mayor producción de CO₂** por su menor eficiencia.

## Bibliografía

Çengel, Y. A., & Boles, M. A. (2019). *Termodinámica* (9ª ed.). McGraw-Hill Education.

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

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

Ferguson, C. R., & Kirkpatrick, A. T. (2015). *Internal combustion engines: Applied thermosciences* (3rd ed.). John Wiley & Sons.

Borgnakke, C., & Sonntag, R. E. (2020). *Fundamentals of thermodynamics* (10th ed.). John Wiley & Sons.

Pulkrabek, W. W. (2003). *Engineering fundamentals of the internal combustion engine* (2nd ed.). Prentice Hall.

Martins, J. (2013). *Motores de combustão interna* (4ª ed.). Publindústria.