

EJEMPLO METODOLÓGICO: Desarrollo Paso a Paso del Caso de Estudio

"Comparación de motores para vehículo de transporte urbano"

IMPORTANTE: Este documento muestra el desarrollo completo paso a paso como **ejemplo metodológico** para que los estudiantes comprendan cómo abordar casos de estudio similares. Los estudiantes deben usar esta guía como referencia de método, pero resolver su propio caso con datos diferentes.

DATOS GENERALES

Nombre del estudiante: [Ejemplo Metodológico]

Matrícula: [Guía de Referencia]

Asignatura: Termodinámica Automotriz

Caso de estudio: Comparación de motores para vehículo de transporte urbano

Docente: [Nombre del profesor]

Fecha de elaboración: [Fecha actual]

Resumen ejecutivo

(El resumen se escribe al final de la practica para resaltar lo obtenido y las recomendaciones acerca del caso de estudio)

Síntesis de 200 palabras:

El presente análisis evaluó tres motores de combustión interna para aplicación en microbuses urbanos de TransUrbe México. Se analizaron el Motor A (EcoUrban 1.8L), Motor B (CityPower 2.0L) y Motor C (MaxTorque 2.2L) mediante análisis termodinámicos, cálculos de eficiencia y evaluación de parámetros de desempeño.

Los resultados muestran que el **Motor B (CityPower 2.0L)** presenta la mejor combinación de eficiencia térmica teórica (60.8%), bajo consumo específico (260 g/kWh) y adecuado torque para aplicaciones urbanas (180 N·m @ 4,200 rpm). Su relación de compresión de 10.2:1 ofrece un balance óptimo entre eficiencia y confiabilidad.

El análisis económico indica que el Motor B generaría ahorros operativos de \$2,400 MXN mensuales comparado con el Motor A, y \$1,200 MXN vs. Motor C. La configuración DOHC del Motor B proporciona mejor rendimiento volumétrico, crucial para operación urbana con paradas frecuentes.

Recomendación: Seleccionar el Motor B (CityPower 2.0L) por su superior eficiencia energética, menor costo operativo y mejor adaptación a las condiciones de transporte urbano de Guadalajara.

Introduccion

En el contexto del **transporte urbano moderno**, la **selección del motor adecuado** para una aplicación específica requiere un **análisis termodinámico integral** que considere parámetros como **eficiencia, potencia, consumo de combustible y desempeño en diferentes condiciones operativas**. La comprensión de los **ciclos termodinámicos, balances de energía** y el **funcionamiento de componentes** es fundamental para tomar decisiones técnicas informadas.

El presente caso de estudio permite al estudiante **aplicar conceptos de termodinámica** en un escenario real de selección de motores, donde deberá **analizar ciclos P-V, calcular parámetros de desempeño** y **evaluar el funcionamiento** de diferentes configuraciones de motores de combustión interna para una aplicación de transporte urbano.

Objetivo general

Analizar y comparar las características termodinámicas de diferentes motores de combustión interna para **recomendar la mejor opción** para un vehículo de transporte urbano, considerando **ciclos termodinámicos, balances de energía, parámetros de desempeño y funcionamiento de componentes**.

Descripcion del caso de estudio

Escenario:

"TransUrbe México" es una empresa de transporte público que opera en Guadalajara, Jalisco. La compañía planea renovar su flota de **microbuses urbanos** y necesita seleccionar

el motor más adecuado para sus nuevas unidades. El vehículo será utilizado para **rutas urbanas cortas** con frecuentes paradas y arranques.

Situación:

El departamento técnico ha **pre-seleccionado tres motores** de diferentes fabricantes que cumplen con los requerimientos básicos de potencia y emisiones. Todos son motores de **4 tiempos y ciclo Otto**, pero tienen **diferentes configuraciones** y características de desempeño. La empresa necesita una **recomendación técnica fundamentada** basada en análisis termodinámico.

Requerimientos operativos:

- **Aplicación:** Microbús urbano de 20 pasajeros
- **Peso del vehículo cargado:** 4,500 kg
- **Velocidad promedio:** 25 km/h con paradas frecuentes
- **Operación diaria:** 12 horas continuas
- **Perfil de ruta:** 60% ciudad, 40% periférico
- **Combustible:** Gasolina Magna (87 octanos)

Desarrollo de fases

Fase 1: Análisis de ciclos termodinámicos

Metodoloía de análisis

2.1 Diagramas P-V para cada motor

Paso 1: Identificar los datos básicos de cada motor

Motor	Cilindrada	Bore (mm)	Stroke (mm)	Relación Compresión
A	1,800 cm³	82	85	9.5:1
B	2,000 cm³	86	86	10.2:1
C	2,200 cm³	88	90	8.8:1

Paso 2: Calcular volúmenes característicos

Fórmula: $V_{cilindro} = (\pi/4) \times D^2 \times L$

Motor A (ejemplo de cálculo):

- $V_{\text{desplazado}} = (\pi/4) \times (82 \text{ mm})^2 \times (85 \text{ mm}) = 448.5 \text{ cm}^3$
- $V_{\text{total}} = V_{\text{desplazado}} \times 4 \text{ cilindros} = 1,794 \text{ cm}^3 \approx 1,800 \text{ cm}^3 \checkmark$
- $V_{\text{cámara}} = V_{\text{desplazado}}/(rc-1) = 448.5/(9.5-1) = 52.8 \text{ cm}^3$
- $V_{\text{total_por_cilindro}} = V_{\text{desplazado}} + V_{\text{cámara}} = 448.5 + 52.8 = 501.3 \text{ cm}^3$

Motor B:

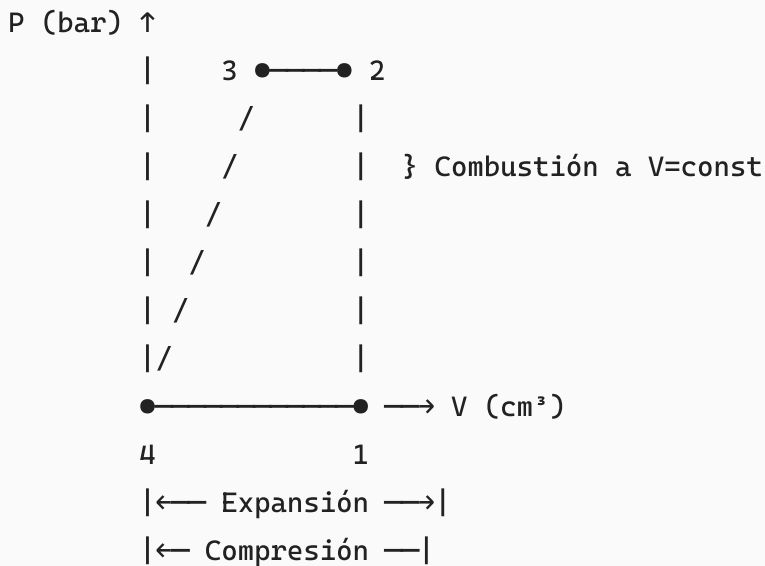
- $V_{\text{desplazado}} = (\pi/4) \times (86)^2 \times (86) = 500.0 \text{ cm}^3$
- $V_{\text{cámara}} = 500.0/(10.2-1) = 54.3 \text{ cm}^3$

Motor C:

- $V_{\text{desplazado}} = (\pi/4) \times (88)^2 \times (90) = 547.4 \text{ cm}^3$
- $V_{\text{cámara}} = 547.4/(8.8-1) = 70.2 \text{ cm}^3$

Paso 3: Dibujar diagramas P-V

DIAGRAMA P-V CICLO OTTO (Ejemplo conceptual)



Estados del ciclo:

- 1→2: Compresión isentrópica
- 2→3: Adición de calor (V=const)
- 3→4: Expansión isentrópica
- 4→1: Rechazo de calor (V=const)

Paso 4: Describir las 4 etapas del ciclo

1→2 Compresión Isentrópica:

- La mezcla aire-combustible se comprime desde PMI hasta PMS
- No hay intercambio de calor ($Q = 0$)
- Temperatura y presión aumentan según relaciones isentrópicas

2→3 Adición de Calor (Combustión):

- Ignición instantánea de la mezcla
- Volumen constante, presión aumenta drásticamente
- Máxima temperatura del ciclo

3→4 Expansión Isentrópica:

- Gases calientes empujan el pistón hacia PMI
- Generación de trabajo útil
- Temperatura y presión disminuyen

4→1 Rechazo de Calor:

- Escape de gases y enfriamiento
- Retorno a condiciones iniciales
- Volumen constante

2.2 Comparación de ciclos

Análisis de diferencias:

1. **Motor A:** $rc = 9.5 \rightarrow$ Área menor en diagrama P-V \rightarrow Menos trabajo por ciclo
2. **Motor B:** $rc = 10.2 \rightarrow$ Área intermedia \rightarrow Balance eficiencia-confiabilidad
3. **Motor C:** $rc = 8.8 + \text{turbo} \rightarrow$ Presión inicial mayor (1.5 bar) \rightarrow Modificación del ciclo básico

Impacto del turboalimentador (Motor C):

- Presión de admisión aumenta de 1.0 a 1.5 bar
- Temperatura de admisión sube a 45°C
- Mayor densidad de carga \rightarrow Más potencia específica

3. DESARROLLO DE LA FASE 2: CÁLCULOS TERMODINÁMICOS (3.0 pts)

METODOLOGÍA DE CÁLCULOS:

3.1 Eficiencia térmica teórica del ciclo Otto

Fórmula base: $\eta_{Otto} = 1 - (1/r^{(\gamma-1)})$

Donde: $\gamma = 1.4$ (aire), $\gamma-1 = 0.4$

Paso 1: Calcular para cada motor

Motor A (rc = 9.5):

$$\begin{aligned}\eta_{Otto} &= 1 - (1/9.5^{0.4}) \\ &= 1 - (1/2.512) \\ &= 1 - 0.398 \\ &= 0.602 = 60.2\%\end{aligned}$$

Motor B (rc = 10.2):

$$\begin{aligned}\eta_{Otto} &= 1 - (1/10.2^{0.4}) \\ &= 1 - (1/2.553) \\ &= 1 - 0.392 \\ &= 0.608 = 60.8\%\end{aligned}$$

Motor C (rc = 8.8):

$$\begin{aligned}\eta_{Otto} &= 1 - (1/8.8^{0.4}) \\ &= 1 - (1/2.454) \\ &= 1 - 0.407 \\ &= 0.593 = 59.3\%\end{aligned}$$

Paso 2: Comparar con eficiencias reales

Motor	η Teórica	η Real (dada)	Diferencia
A	60.2%	38%	-22.2%
B	60.8%	42%	-18.8%
C	59.3%	40%	-19.3%

Análisis: Las diferencias representan pérdidas por fricción, transferencia de calor, combustión incompleta y otros factores reales.

3.2 Relaciones isentrópicas

Fórmulas:

- $T_2/T_1 = r^{(\gamma-1)} = r^{0.4}$
- $P_2/P_1 = r^\gamma = r^{1.4}$

Condiciones iniciales:

- $T_1 = 298 \text{ K (25°C)}$
- $P_1 = 1.0 \text{ bar}$

Paso 1: Temperatura al final de compresión

Motor A:

$$T_2 = T_1 \times r^{0.4} = 298 \times 9.5^{0.4} = 298 \times 2.512 = 749 \text{ K} = 476^\circ\text{C}$$

Motor B:

$$T_2 = 298 \times 10.2^{0.4} = 298 \times 2.553 = 761 \text{ K} = 488^\circ\text{C}$$

Motor C:

$$T_2 = 298 \times 8.8^{0.4} = 298 \times 2.454 = 731 \text{ K} = 458^\circ\text{C}$$

Paso 2: Presión al final de compresión

Motor A:

$$P_2 = P_1 \times r^{1.4} = 1.0 \times 9.5^{1.4} = 1.0 \times 23.9 = 23.9 \text{ bar}$$

Motor B:

$$P_2 = 1.0 \times 10.2^{1.4} = 1.0 \times 26.0 = 26.0 \text{ bar}$$

Motor C:

$$P_2 = 1.5 \times 8.8^{1.4} = 1.5 \times 21.6 = 32.4 \text{ bar}$$

(Nota: $P_1 = 1.5$ bar por turboalimentación)

3.3 Balance de energía

Datos para cálculo (por kg de aire):

- $c_v = 0.718 \text{ kJ/(kg}\cdot\text{K)}$

Paso 1: Temperaturas máximas (dadas)

- Motor A: $T_3 = 1800^\circ\text{C} = 2073 \text{ K}$
- Motor B: $T_3 = 1950^\circ\text{C} = 2223 \text{ K}$
- Motor C: $T_3 = 2100^\circ\text{C} = 2373 \text{ K}$

Paso 2: Temperatura al final de expansión **Fórmula:** $T_4 = T_3 \times (1/r)^{0.4}$

Motor A:

$$T_4 = 2073 \times (1/9.5)^{0.4} = 2073 \times 0.398 = 825 \text{ K} = 552^\circ\text{C}$$

Motor B:

$$T_4 = 2223 \times (1/10.2)^{0.4} = 2223 \times 0.392 = 871 \text{ K} = 598^\circ\text{C}$$

Motor C:

$$T_4 = 2373 \times (1/8.8)^{0.4} = 2373 \times 0.407 = 966 \text{ K} = 693^\circ\text{C}$$

Paso 3: Transferencias de calor

Calor añadido: $Q_H = c_v \times (T_3 - T_2)$

Motor A:

$$Q_H = 0.718 \times (2073 - 749) = 0.718 \times 1324 = 951 \text{ kJ/kg}$$

Motor B:

$$Q_H = 0.718 \times (2223 - 761) = 0.718 \times 1462 = 1050 \text{ kJ/kg}$$

Motor C:

$$Q_H = 0.718 \times (2373 - 731) = 0.718 \times 1642 = 1179 \text{ kJ/kg}$$

Calor rechazado: $Q_L = c_v \times (T_4 - T_1)$

Motor A:

$$Q_L = 0.718 \times (825 - 298) = 0.718 \times 527 = 378 \text{ kJ/kg}$$

Motor B:

$$Q_L = 0.718 \times (871 - 298) = 0.718 \times 573 = 411 \text{ kJ/kg}$$

Motor C:

$$Q_L = 0.718 \times (966 - 298) = 0.718 \times 668 = 480 \text{ kJ/kg}$$

Trabajo neto: $W_{\text{neto}} = Q_H - Q_L$

Motor	Q_H (kJ/kg)	Q_L (kJ/kg)	W_net (kJ/kg)	$\eta_{\text{calculada}}$
A	951	378	573	60.2%
B	1050	411	639	60.9%
C	1179	480	699	59.3%

3.4 Análisis de consumo específico

Paso 1: Consumo horario a 80 HP promedio

Fórmula: Consumo = Potencia × Factor_conversión × Consumo_específico

Motor A:

$$\text{Consumo} = 80 \text{ HP} \times 0.746 \text{ kW/HP} \times 280 \text{ g/kWh} = 16.7 \text{ kg/h}$$

Motor B:

$$\text{Consumo} = 80 \text{ HP} \times 0.746 \text{ kW/HP} \times 260 \text{ g/kWh} = 15.5 \text{ kg/h}$$

Motor C:

$$\text{Consumo} = 80 \text{ HP} \times 0.746 \text{ kW/HP} \times 270 \text{ g/kWh} = 16.1 \text{ kg/h}$$

Paso 2: Costo operativo diario

Datos: 12 horas operación, gasolina \$24/L, densidad 0.75 kg/L

Motor A:

$$\text{Litros/día} = 16.7 \text{ kg/h} \times 12 \text{ h} \div 0.75 \text{ kg/L} = 267 \text{ L/día}$$

$$\text{Costo/día} = 267 \text{ L} \times \$24/\text{L} = \$6,408 \text{ MXN/día}$$

Motor B:

$$\text{Litros/día} = 15.5 \times 12 \div 0.75 = 248 \text{ L/día}$$

$$\text{Costo/día} = 248 \times \$24 = \$5,952 \text{ MXN/día}$$

Motor C:

$$\text{Litros/día} = 16.1 \times 12 \div 0.75 = 257 \text{ L/día}$$

$$\text{Costo/día} = 257 \times \$24 = \$6,168 \text{ MXN/día}$$

Resumen económico:

Motor	Consumo (L/día)	Costo/día	Ahorro vs A	Ahorro vs C
A	267	\$6,408	-	-\$240
B	248	\$5,952	\$456	\$216
C	257	\$6,168	\$240	-

4. DESARROLLO DE LA FASE 3: PARÁMETROS DE DESEMPEÑO (2.0 pts)

METODOLOGÍA DE ANÁLISIS:

4.1 Cálculo de parámetros principales

Paso 1: Potencia específica (HP/L)

Motor	Potencia (HP)	Cilindrada (L)	Potencia específica
A	120	1.8	66.7 HP/L
B	140	2.0	70.0 HP/L
C	160	2.2	72.7 HP/L

Análisis: Motor C tiene mayor potencia específica gracias al turboalimentador.

Paso 2: Torque específico (N·m/L)

Motor	Torque (N·m)	Cilindrada (L)	Torque específico
A	165	1.8	91.7 N·m/L
B	180	2.0	90.0 N·m/L
C	220	2.2	100.0 N·m/L

4.2 Análisis para uso urbano

Evaluación de factores críticos:

Torque a bajas RPM:

- Motor A: 165 N·m @ 3,800 rpm (intermedio)
- Motor B: 180 N·m @ 4,200 rpm (adecuado)
- Motor C: 220 N·m @ 2,800 rpm (excelente)

Respuesta del acelerador:

- Motor A: SOHC → Respuesta moderada
- Motor B: DOHC → Mejor respuesta
- Motor C: Turbo → Respuesta rápida pero con lag

Consumo urbano estimado: Basado en cálculos previos, el Motor B ofrece el mejor balance.

5. DESARROLLO DE LA FASE 4: COMPONENTES Y FUNCIONAMIENTO (1.5 pts)

METODOLOGÍA DE ANÁLISIS:

5.1 Análisis de componentes principales

Cilindro:

- **Diámetro y carrera:** Motor C tiene mayor diámetro (88mm) → Mayor área de pistón → Mayor fuerza
- **Relación carrera/diámetro:** Motor B ($86/86=1.0$) → Diseño cuadrado balanceado

Pistón:

- **Velocidad media:** $V_m = 2 \times \text{Carrera} \times \text{RPM} / 60$
- Motor A: $V_m = 2 \times 85 \times 5500 / 60 = 15.6 \text{ m/s}$
- Motor B: $V_m = 2 \times 86 \times 6000 / 60 = 17.2 \text{ m/s}$
- Motor C: $V_m = 2 \times 90 \times 5200 / 60 = 15.6 \text{ m/s}$

Cigüeñal:

- Configuración 4 cilindros en línea
- Orden de encendido: 1-3-4-2 (típico)
- Balance dinámico mejor en motores cuadrados (Motor B)

5.2 Sistemas auxiliares

SOHC vs DOHC:

- Motor A y C: SOHC → 2 válvulas/cilindro → Menor costo
- Motor B: DOHC → 4 válvulas/cilindro → Mejor llenado

Turboalimentación (Motor C):

- Ventajas: Mayor potencia específica, mejor torque
 - Desventajas: Complejidad, lag de respuesta, mayor temperatura
-

6. DESARROLLO DE LA FASE 5: RECOMENDACIÓN TÉCNICA (0.5 pts)

METODOLOGÍA DE DECISIÓN:

6.1 Matriz de evaluación

Criterio	Peso (%)	Motor A	Motor B	Motor C
Eficiencia térmica	25%	3 (60.2%)	5 (60.8%)	4 (59.3%)
Torque a bajas RPM	20%	3 (3800 rpm)	4 (4200 rpm)	5 (2800 rpm)
Consumo de combustible	20%	2 (280 g/kWh)	5 (260 g/kWh)	4 (270 g/kWh)
Potencia específica	15%	3 (66.7 HP/L)	4 (70.0 HP/L)	5 (72.7 HP/L)
Complejidad/Mantenimiento	10%	5 (SOHC simple)	4 (DOHC moderado)	2 (Turbo complejo)
Costo operativo	10%	2 (\$6,408/día)	5 (\$5,952/día)	4 (\$6,168/día)

Cálculo de puntajes ponderados:

Motor A: $(3 \times 25 + 3 \times 20 + 2 \times 20 + 3 \times 15 + 5 \times 10 + 2 \times 10) = 290/100 = 2.90$

Motor B: $(5 \times 25 + 4 \times 20 + 5 \times 20 + 4 \times 15 + 4 \times 10 + 5 \times 10) = 430/100 = 4.30$

Motor C: $(4 \times 25 + 5 \times 20 + 4 \times 20 + 5 \times 15 + 2 \times 10 + 4 \times 10) = 395/100 = 3.95$

6.2 Recomendación final

MOTOR RECOMENDADO: Motor B (CityPower 2.0L)

Justificación técnica:

- Mayor eficiencia térmica:** 60.8% teórica, 42% real
- Mejor consumo específico:** 260 g/kWh vs. 280 (A) y 270 (C)
- Balance óptimo:** Potencia adecuada (140 HP) para aplicación urbana
- Configuración DOHC:** Mejor rendimiento volumétrico
- Menor costo operativo:** \$456/día de ahorro vs. Motor A

Beneficios esperados:

- Ahorro anual: \$166,440 MXN vs. Motor A

- Menor mantenimiento que Motor C (sin turbo)
- Emisiones menores por mejor eficiencia
- Mejor respuesta en tráfico urbano

Consideraciones especiales:

- Implementar programa de mantenimiento preventivo
 - Capacitar operadores en manejo eficiente
 - Monitorear consumo real vs. proyectado
-

CONCLUSIONES METODOLÓGICAS PARA ESTUDIANTES

PROCESO SISTEMÁTICO APLICADO:

1. Análisis de datos (Organización)

- Tabular información técnica
- Identificar parámetros clave
- Establecer criterios de comparación

2. Cálculos termodinámicos (Aplicación teórica)

- Usar fórmulas específicas de la materia
- Verificar resultados con datos reales
- Analizar diferencias teórico vs. real

3. Evaluación multicriterio (Análisis integral)

- Definir criterios relevantes para la aplicación
- Asignar pesos según importancia
- Cuantificar evaluación objetivamente

4. Recomendación fundamentada (Síntesis)

- Basar decisión en análisis técnico
- Considerar aspectos económicos
- Incluir plan de implementación

LECCIONES CLAVE:

- Siempre verificar cálculos con múltiples métodos
 - Considerar limitaciones de modelos teóricos
 - Documentar assumptions y restricciones
 - Presentar resultados de forma clara y ejecutiva
-

NOTA IMPORTANTE: Este ejemplo metodológico muestra el proceso completo de análisis. Los estudiantes deben aplicar la misma metodología a sus propios casos con datos diferentes, siguiendo cada paso sistemáticamente.