

Tarea 3 Termodinamica

Jose Benjamín Junemann y Erick Raasch

18 de noviembre de 2025

1. Ciclo de Otto Ideal

El ciclo de Otto se corresponde como la base de la mayoría de los motores térmicos utilizados en automóviles. Por su parte, el análisis termodinámico de un ciclo de Otto real resulta complejo debido a las irreversibilidades y pérdidas propias del proceso. A raíz de estas complicaciones, una forma de facilitar el estudio es recurrir a un modelo idealizado, conocido como **ciclo Otto ideal**, el cual se describe mediante cuatro procesos internamente reversibles que permiten comprender su comportamiento fundamental.

1.1. Etapas del Ciclo

1. **Compresión isentrópica (1–2):** Durante este primer proceso el pistón se desplaza hacia arriba, comprimiendo la mezcla aire–combustible. Al ser un proceso **isentrópico**, es decir, adiabático y reversible, no existe transferencia de calor entre el sistema y el entorno. Este comportamiento se describe mediante la relación:

$$PV^\gamma = \text{cte}, \quad \gamma = \frac{c_p}{c_v},$$

2. **Adición de calor a volumen constante (2–3):** En este segundo proceso se idealiza la combustión, donde se supone que la mezcla se inflama instantáneamente mediante una chispa, liberando así energía en forma de calor. Como el pistón se encuentra momentáneamente en el punto muerto superior, el volumen permanece constante, pero la presión y la temperatura aumentan significativamente.

3. **Expansión isentrópica (3–4):** Nuevamente se trata de un proceso **isentrópico**. Aquí el gas realiza trabajo al empujar el pistón mientras se expande adiabáticamente y de forma reversible. Al aumentar el volumen, la presión y la temperatura disminuyen según:

$$PV^\gamma = \text{cte}.$$

4. **Rechazo de calor a volumen constante (4–1):** Finalmente, el pistón regresa al punto muerto inferior y se elimina el calor residual hacia el entorno. El volumen se mantiene constante mientras la presión y la temperatura del gas disminuyen. Este proceso cierra el ciclo termodinámico, dejando el sistema listo para una nueva compresión.

2. Diagramas del Ciclo

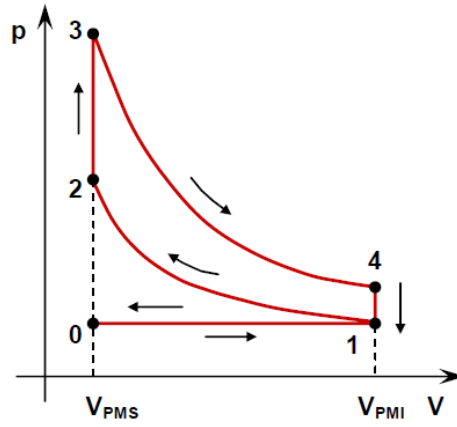


Figura 1: Diagrama P-V

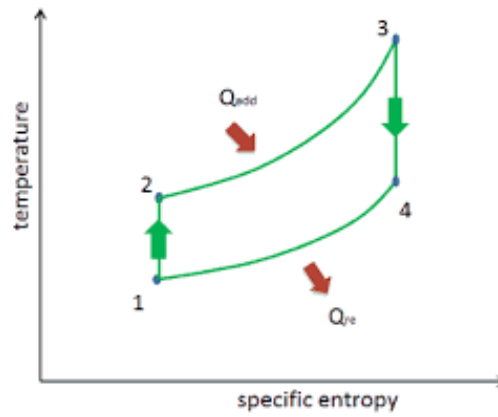


Figura 2: Diagrama T-S

3. Variación de Entropía

Para un gas ideal, la variación de entropía entre dos estados cualesquiera puede calcularse mediante

$$\Delta S = nc_v \ln\left(\frac{T_f}{T_i}\right) + nR \ln\left(\frac{V_f}{V_i}\right),$$

1. **Proceso 1 \rightarrow 2: Compresión isentrópica**

Este proceso es adiabático y reversible; por definición, la entropía permanece constante. Por tanto,

$$\Delta S_{1 \rightarrow 2} = 0.$$

2. **Proceso 2 \rightarrow 3: Adición de calor a volumen constante**

Aplicando la expresión general y notando que $V_3 = V_2$ obtenemos:

$$\begin{aligned}\Delta S_{2 \rightarrow 3} &= nc_v \ln\left(\frac{T_3}{T_2}\right) + nR \ln\left(\frac{V_3}{V_2}\right) \\ &= nc_v \ln\left(\frac{T_3}{T_2}\right) + 0\end{aligned}$$

3. **Proceso 3 \rightarrow 4: Expansión isentrópica**

Al igual que la compresión inicial, es un proceso adiabático y reversible. Por ello:

$$\Delta S_{3 \rightarrow 4} = 0.$$

4. **Proceso 4 \rightarrow 1: Rechazo de calor a volumen constante**

En este tramo el sistema expulsa calor a volumen constante por tanto $V_1 = V_4$:

$$\begin{aligned}\Delta S_{4 \rightarrow 1} &= nc_v \ln\left(\frac{T_1}{T_4}\right) + nR \ln\left(\frac{V_1}{V_4}\right) \\ &= nc_v \ln\left(\frac{T_1}{T_4}\right) + 0\end{aligned}$$

Sumando las cuatro etapas se obtiene la variación neta de entropía en el ciclo:

$$\begin{aligned}\Delta S_{\text{ciclo}} &= 0 + nc_v \ln\left(\frac{T_3}{T_2}\right) + nc_v \ln\left(\frac{T_1}{T_4}\right) + 0 \\ &= nc_v \left(\ln\left(\frac{T_3 T_1}{T_2 T_4}\right) \right)\end{aligned}\tag{1}$$

Por otro lado para un ciclo de Otto ideal se cumple que:

$$\frac{T_3 T_1}{T_2 T_4} = 1$$

Sustituyendo en (1) se obtiene finalmente:

$$\Delta S_{\text{ciclo}} = 0.$$

Este resultado es consistente con el modelo del ciclo Otto ideal, el cual asume procesos internamente reversibles y, por tanto, una variación neta de entropía igual a cero.

Ahora bien, para corroborar, se puede hacer el ejercicio de calcular la entropía en cada proceso del ciclo. Supongamos el ciclo de Otto de un gas ideal fijo, trabajando con 1 mol del mismo y que presenta las siguientes propiedades:

$$R = 8,314 \text{ J/mol}\cdot\text{K}, \quad \gamma = 1,4$$

Ademas conocemos la siguiente relación

$$c_v = \frac{R}{\gamma - 1} = 20,785 \text{ J/mol}\cdot\text{K}$$

y se nos presentan los valores de la temperatura y volumen en cada proceso:

$$\begin{aligned}T_1 &= 300 \text{ K}, & T_2 &= 690,5 \text{ K}, & T_3 &= 2000 \text{ K}, & T_4 &= 869,2 \text{ K} \\ V_1 &= 2,4942 \times 10^{-2} \text{ m}^3, & V_2 &= 3,563 \times 10^{-3} \text{ m}^3, & V_3 &= V_2, & V_4 &= V_1\end{aligned}$$

Para hallar la entropía de cada proceso usamos la formula presentada anteriormente:

Proceso 1→2: Compresión isentrópica

$$\Delta S_{1 \rightarrow 2} = n c_v \ln \left(\frac{T_2}{T_1} \right) + n R \ln \left(\frac{V_2}{V_1} \right)$$

$$\Delta S_{1 \rightarrow 2} = 20,785 \ln \left(\frac{690,5}{300} \right) + 8,314 \ln \left(\frac{3,563 \times 10^{-3}}{2,4942 \times 10^{-2}} \right) = 0$$

Proceso 2→3: Adición de calor a volumen constante

$$\Delta S_{2 \rightarrow 3} = n c_v \ln \left(\frac{T_3}{T_2} \right)$$

$$\Delta S_{2 \rightarrow 3} = 20,785 \ln \left(\frac{2000}{690,5} \right) = 20,94 \text{ J/K}$$

Proceso 3→4: Expansión isentrópica

$$\Delta S_{3 \rightarrow 4} = n c_v \ln \left(\frac{T_4}{T_3} \right) + n R \ln \left(\frac{V_4}{V_3} \right)$$

$$\Delta S_{3 \rightarrow 4} = 0$$

Proceso 4→1: Rechazo de calor a volumen constante

$$\Delta S_{4 \rightarrow 1} = n c_v \ln \left(\frac{T_1}{T_4} \right)$$

$$\Delta S_{4 \rightarrow 1} = 20,785 \ln \left(\frac{300}{869,2} \right) = -20,94 \text{ J/K}$$

Ahora si queremos calcular la variación neta de entropía del ciclo basta con calcular la suma de las entropías durante cada proceso:

$$\begin{aligned} \Delta S_{\text{total}} &= \Delta S_{1 \rightarrow 2} + \Delta S_{2 \rightarrow 3} + \Delta S_{3 \rightarrow 4} + \Delta S_{4 \rightarrow 1} \\ &= 0 + 20,94 + 0 - 20,94 = 0 \end{aligned}$$

Notamos que el valor de la variación de entropía total es 0, misma que se corresponde con la teoría presentada con anterioridad.

Referencias

- [1] Connor, N. (2020, enero 11). *Qué es el ciclo de Otto – pV, diagrama de Ts – definición*. Thermal Engineering. Recuperado de <https://www.thermal-engineering.org/es/que-es-el-ciclo-de-otto-pv-diagrama-de-ts-definicion>
- [2] Moreno, A., & Torres, M. (2021). *Termodinámica*. 3Ciencias. Recuperado de <https://3ciencias.com/wp-content/uploads/2021/12/Termodin>

Se utilizó apoyo de apuntes de clases y la IA para la aclaración de conceptos, búsqueda de información y la redacción de esta tarea.