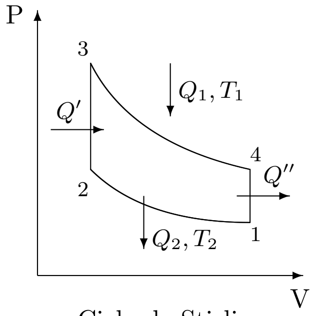
I Ciclo de Stirling: Nave espacial para explorar Júpiter.

El estudio detallado de la atmósfera del planeta Júpiter nunca ha sido algo fácil de realizar desde el punto de vista energético. Esto debido a que este planeta gigante tiene una característica muy singular, su atmósfera posee una capa de plasma cargada con corrientes eléctricas intensas llamada **plasmásfera**. Por esto los motores que impulsen la nave por el espacio no pueden ser eléctricos pero deben tener un gran rendimiento por razones obvias.
Para solucionar el problema se propone la implementación de un motor a combustión externa (que podría ser el mismo Sol) trabajando en base al ciclo de la figura, llamado ciclo de Stirling.



Ciclo de Stirling

1. Describa, en forma detallada, cada una de las etapas de una máquina de Stirling.

2. Bosqueje en un diagrama T-S las fases del ciclo, incluyendo sentido de giro y explique que representa el area encerrada y el area bajo la curva en ambos gráficos (justifique).

   Un inconveniente de este motor es la necesidad de un **regenerador** que tiene la propiedad de absorver calor (Q') y ceder calor (Q'') en las evoluciones a volumen constante del ciclo. En el ciclo teórico se supone un regenerador con 100 % de eficiencia *(devuelve todo el calor almacenado).*

3. Calcule la eficiencia del ciclo suponiendo un regenerador con el 100 % de efectividad, es decir $Q' = Q''$ y compare con la eficiencia máxima de Carnot. Asuma que solo en el primer ciclo es necesario aportar el calor externo Q_1, de allí en adelante se recupera en forma interna.

4. En que sentido se debe seguir el ciclo para que trabaje como refrigerador?. Describa las etapas del ciclo de refrigeración.

Solución:

Parte 1):

$1 \to 2$	Compresión isotérmica cediendo calor Q_2.
$2 \to 3$	Proceso isocórico, el gas absorve una cantidad de calor Q' del regenerador y aumenta su temperatura de T_2 a T_1, el regenerador queda totalmente descargado, en esta etapa el trabajo neto es cero (volumen constante).
$3 \to 4$	Expansión isotérmica, se absorve la cantidad Q_1.
$4 \to 1$	Proceso isocórico, el gas cede calor Q'' al regenerador cargandolo totalmente.

Parte 3):

El rendimiento de una máquina térmica es la razón entre el trabajo producido y el calor absorvido.

$$\eta_{maquina} = \frac{W_{cedido}}{Q_{absorvido}} \tag{1}$$

El trabajo producido según el gráfico será $W_{cedido} = Q_1 + Q' - Q_2 - Q''$, pero el regenerador posee un 100 % de eficiencia por lo que el trabajo queda $W_{cedido} = Q_1 - Q_2$

El calor absorvido en el primer ciclo es: $Q_{absorvido} = Q_1 + Q'$, pero queremos el rendimiendo en general, por lo que calculamos el rendimiento asumiendo que ya realizó el primer ciclo $Q_{absorvido} = Q_1$.

Por lo tanto,

$$\eta = \frac{Q_1 - |Q_2|}{Q_1} \Rightarrow \eta = 1 - \frac{|Q_2|}{Q_1} \tag{2}$$

La etapa 3-4 es isotérmica a T_1, y como es un ciclo cerrado, $\Delta U = 0 \Rightarrow Q_1 = W_{34}$

$$\begin{aligned} Q_1 &= \int_3^4 pdV \\ &= \int_{V_3}^{V_4} \frac{nRT_1}{V} dV \\ &= nRT_1 \ln \frac{V_4}{V_3} \end{aligned}$$

De manera análoga obtenemos:

$$Q_2 = nRT_2 \ln \frac{V_1}{V_2} \tag{3}$$

El rendimiento queda:

$$\eta = \frac{nRT_1 \ln \frac{V_4}{V_3} - nRT_2 \ln \frac{V_1}{V_2}}{nRT_1 \ln \frac{V_4}{V_3}} \tag{4}$$

Del Diagrama del ciclo se puede verificar que $V_1 = V_4$ y $V_2 = V_3$.

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{nRT_1 \ln \frac{V_1}{V_2} - nRT_2 \ln \frac{V_1}{V_2}}{nRT_1 \ln \frac{V_1}{V_2}} \\ \Rightarrow \eta &= 1 - \frac{T_2}{T_1} \end{aligned}$$

Con esto verificamos que el rendimiento del ciclo teórico de Stirling es el mismo rendimiento máximo dado por el ciclo de Carnot, eso si, suponiendo que se tiene un regenerador con un 100 % de eficiencia.