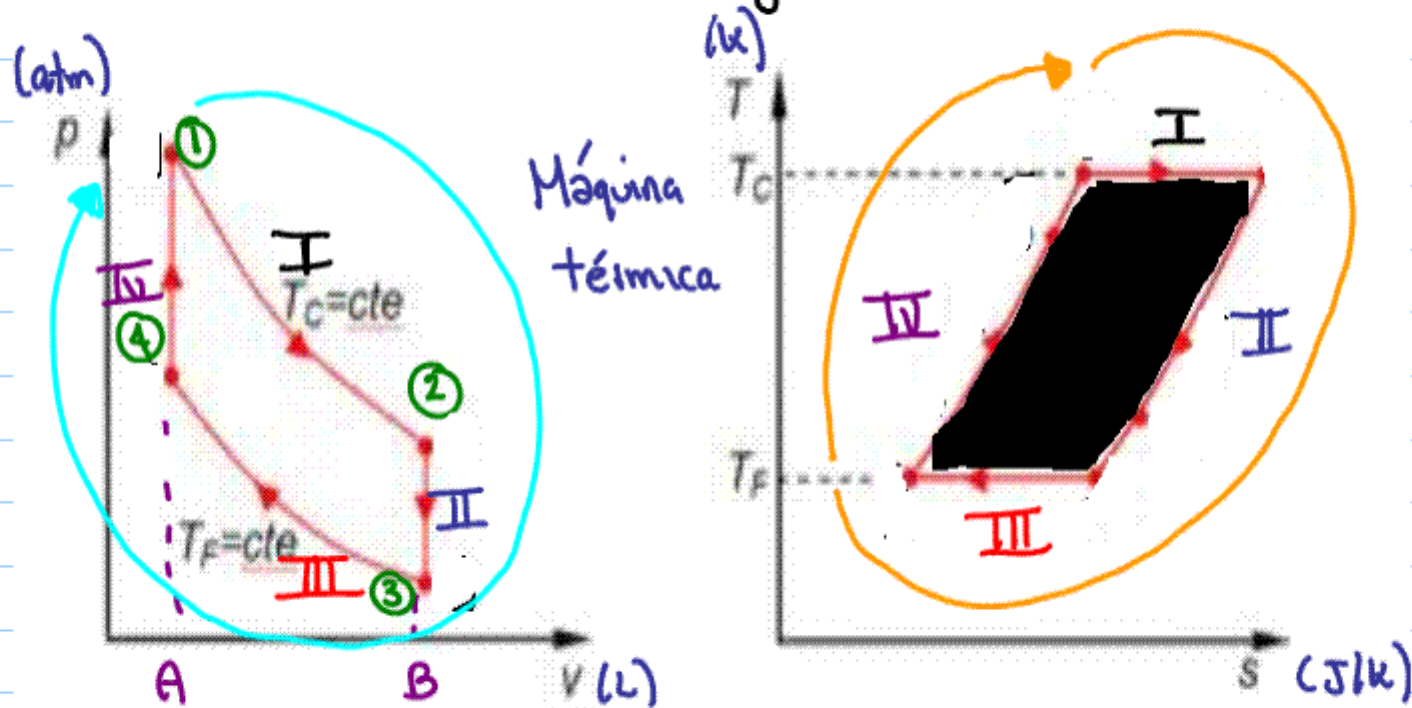


# Clase 27 18 Sep 2015

Título de la nota

21/09/2015

## Ciclo de Stirling



Máquina  
térmica

I Exp Isot. Rev.    II Enf. Isoc. Rev.

III Comp. Isot. Rev.    IV Calent. Isoc. Rev.

La eficiencia máxima del ciclo se puede calcular como máquina de Carnot.

$$\eta = \frac{T_C - T_F}{T_C} = 1 - \frac{T_F}{T_C}$$

Sin embargo la eficiencia del ciclo es menor que la eficiencia máxima

Primero hay que determinar que procesos absorben calor y que procesos ceden calor

$q_c = \text{endotérmico} = \text{absorbe calor} = \text{I y IV}$

$q_F = \text{exotérmico} = \text{cede calor} = \text{II y III}$

### Justificación

IV por calentamiento absorbe y I por expansión  $W = q$  ✓

II cede calor por enfriamiento y III por compresión  $-W = -q$  ✓

por lo tanto la eficiencia

$$\eta = \frac{q_c + q_f}{q_c} = 1 + \frac{q_f}{q_c} \quad V_3 = V_2 > V_4 = V_1$$

$$q_f = nRT_f \ln \frac{V_4}{V_3} + n\bar{C}_v(T_f - T_c) \quad V_4 = V_1$$

$$q_c = nRT_c \ln \frac{V_2}{V_1} + n\bar{C}_v(T_c - T_f) \quad V_3 = V_2$$

arreglando

$$= \frac{\cancel{n}RT_c \ln \frac{V_2}{V_1} + \cancel{n}\bar{C}_V(T_c - T_F) - \left[ \cancel{n}RT_F \ln \frac{V_4}{V_3} + \cancel{n}\bar{C}_V(T_F - T_c) \right]}{\cancel{n}RT_c \ln \frac{V_2}{V_1} + \cancel{n}\bar{C}_V(T_c - T_F)}$$

Stirling

$$= \frac{q_c + q_F}{q_c} = 1 + \frac{RT_F \ln \frac{V_4}{V_3} + \bar{C}_V(T_F - T_c)}{RT_c \ln \frac{V_2}{V_1} + n\bar{C}_V(T_c - T_F)}$$

por lo tanto

$$\eta_{\text{Stirling}} < \eta_{\text{m\u00e1xima}}$$

Comprobarlo con un ejercicio de ciclo de Stirling

con los siguientes datos (gas perfecto)

$$p_1 = 1 \text{ atm} \quad n = 5 \text{ mol } \text{N}_2$$

$$T_f = 273.15 \text{ K} \quad T_c = 313.15 \text{ K}$$

Expansión al doble del volumen inicial

Dibujar el ciclo Termodinámico  
y la máquina de Stirling

Dibujar gráficos de grado de avance

El ejemplo de clase era más simétrico

## I Predicción de variables

$$P_1 > P_4 > P_2 > P_3$$

$$V_4 = V_1 < V_2 = V_3$$

$$T_1 = T_2 > T_3 = T_4$$

orden del ciclo

I Exp. Isot. Rev.

II Enf. Isoc. Rev.

III Comp. Isot. Rev.

IV Calent. Isoc. Rev.

Fuente  
Caliente

Fuente  
Fría

## II Cálculo de variables

$$V_1 = \frac{nRT_C}{P_1} = \frac{(5 \text{ mol})(0.082 \text{ atmL/molK})(313.15 \text{ K})}{1 \text{ atm}} = 128.39 \text{ L}$$

$$V_2 = 2V_1 = 2(128.39 \text{ L}) = 256.78 \text{ L}$$

$$P_2 = P_1 \left( \frac{V_1}{V_2} \right) = 1 \text{ atm} \left( \frac{V_1}{2V_1} \right) = 0.5 \text{ atm}$$

$$P_3 = P_2 \left( \frac{273.15 \text{ K}}{313.15 \text{ K}} \right) = 0.5 \text{ atm} \left( \frac{273.15 \text{ K}}{313.15 \text{ K}} \right) = 0.43 \text{ atm}$$

$$V_3 = V_2 = 256.78 \text{ L} \quad V_4 = V_1 = 128.39 \text{ L}$$

$$P_4 = P_3 \left( \frac{V_3}{V_4} \right) = 0.43 \text{ atm} \left( \frac{256.78 \text{ L}}{128.39 \text{ L}} \right) = 0.87 \text{ atm}$$



### III Cuadro de Variables

		P(atm)	V(L)	T(K)
I	1	1	128.39	313.15
	2	0.5	256.78	313.15
II	3	0.43	256.78	273.15
	4	0.87	128.39	273.15

A large bracket on the right side of the table, labeled with the Roman numeral IV, spans all four rows of data.

## IV Cálculo de Funciones

I Exp. Isot. Rev. ✓

$$\Delta U = 0 \quad \Delta H = 0$$

$$\Delta S = nR \ln \frac{V_2}{V_1} = 28.81 \text{ J/K}$$

$$Q = W = (\Delta S)(T) = (28.81 \text{ J/K})(313.15 \text{ K}) = 9023.14 \text{ J}$$

II Entf. Isoc. Rev. ✓

$$W = 0 \quad Q = \Delta U = n\bar{c}_V (T_F - T_C) = -4157 \text{ J}$$

$$\Delta H = n\bar{c}_P (T_F - T_C) = -5919.8 \text{ J}$$

$$\Delta S = n\bar{c}_V \ln \frac{T_F}{T_C} = -14.2 \text{ J/K}$$

### III Comp. Isot. Rev.

$$\Delta H = 0$$

$$\Delta U = 0$$

$$Q = W = nRT_F \ln \frac{V_4}{V_3} = -7870.57 \text{ J}$$

$$\Delta S = nR \ln \frac{V_4}{V_3} = -28.81 \text{ J/K}$$

### IV Calent. Isoc. Rev.

$$W = 0$$

$$Q = \Delta U = n\bar{c}_V (T_C - T_F) = 4157 \text{ J}$$

$$\Delta H = n\bar{c}_P (T_C - T_F) = 5919.8 \text{ J}$$

$$\Delta S = n\bar{c}_V \ln \frac{T_C}{T_F} = 14.2 \text{ J/K}$$

## IV Cuadro de Funciones

### Funciones Termodinámicas

	$\Delta U$ (J)	$\Delta H$ (J)	$\Delta S$ (J/K)	Q (J)	W (J)
I	0	0	28.81	9023.14	9023.14
II	-4157	-5819.8	-14.2	-4157	0
III	0	0	-28.81	-7870.57	-7870.57
IV	4157	5819.8	14.2	4157	0
Total	0	0	0	1152.57	1152.57

$$Q \approx W$$

## Cálculo de eficiencia

$$\eta_{m\acute{o}xima} = 1 - \frac{T_F}{T_C} = 1 - \frac{273.15}{313.15} = 0.1277$$

$$\therefore \eta_{m\acute{o}xima} = 12.77\%$$

$$\eta_{\text{Stirling}} = 1 + \frac{q_F}{q_C} = 1 + \frac{\bar{C}_V (T_F - T_C) + R T_F \ln \frac{V_4}{V_3}}{\bar{C}_V (T_C - T_F) + R T_C \ln \frac{V_2}{V_1}}$$

$$\% \eta_{\text{Stirling}} = 1 + \frac{q_F}{q_C} = \frac{q_{II} + q_{III}}{q_I + q_{IV}} \times 100$$

$$1 + \frac{(-41575 - 7870.575)}{(9023.14 + 41575)} \times 100$$

$$1 - \frac{12027.57}{13180.14} \times 100 = 8.74\%$$

Se comprueba  $\% \eta_{\text{maxima}} > \% \eta_{\text{Stirling}}$

de otra forma como máquina térmica

$$\% \eta_{\text{Stirling}} = \frac{W_{\text{ciclo}}}{q_{\text{entrada térmica}}} = \frac{1152.57 \text{ J}}{9023.14 \text{ J} + 4157 \text{ J}} \times 100$$

= 8.74%. Resultado semejante al anterior

También es posible el cálculo como COP (coef de operación)

$$\text{COP}_{\text{refrigerador}} = \frac{q_{\text{exotérmico}}}{W_{\text{acido}}}$$

$\text{COP} > 1$  en este caso  $q_{\text{exotérmico}} = q_{\text{II}} + q_{\text{III}}$

$$W_{\text{acido es negativo}} = -1152.57 \text{ J}$$

$$\text{COP}_{\text{ref}} = \frac{-(4157 \text{ J} + 7870.57 \text{ J})}{-1152.57 \text{ J}} = 10.43$$



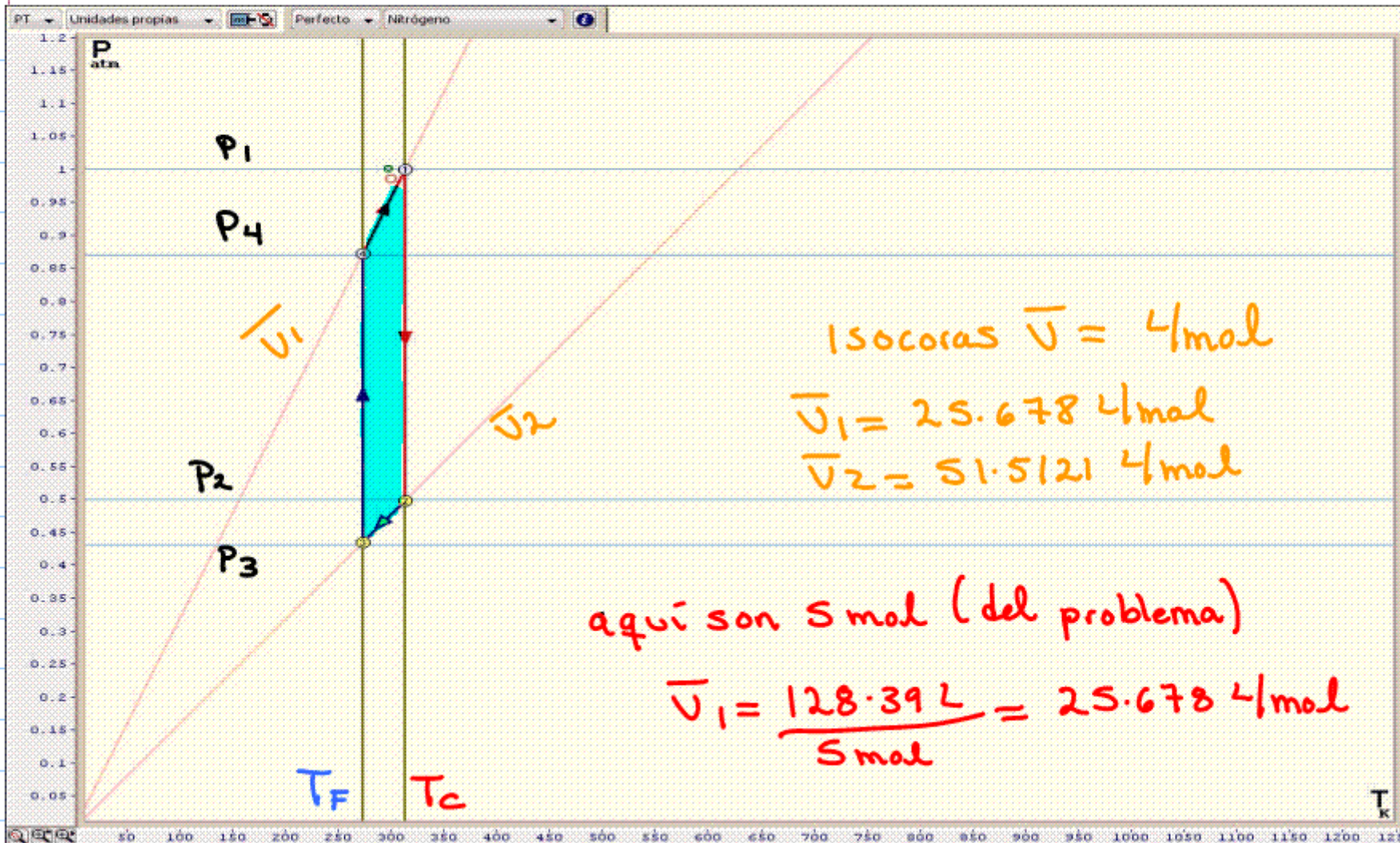
$$\text{COP bomba calorimétrica} = - \frac{q_{\text{endo}}}{w_{\text{ciclo}}}$$

$$\text{COP bomba} = - \frac{q_{\text{I}} \text{ y } q_{\text{IV}}}{w_{\text{ciclo}}} = - \left( \frac{9023.14 \text{ J} + 4157 \text{ J}}{-1152.57 \text{ J}} \right)$$

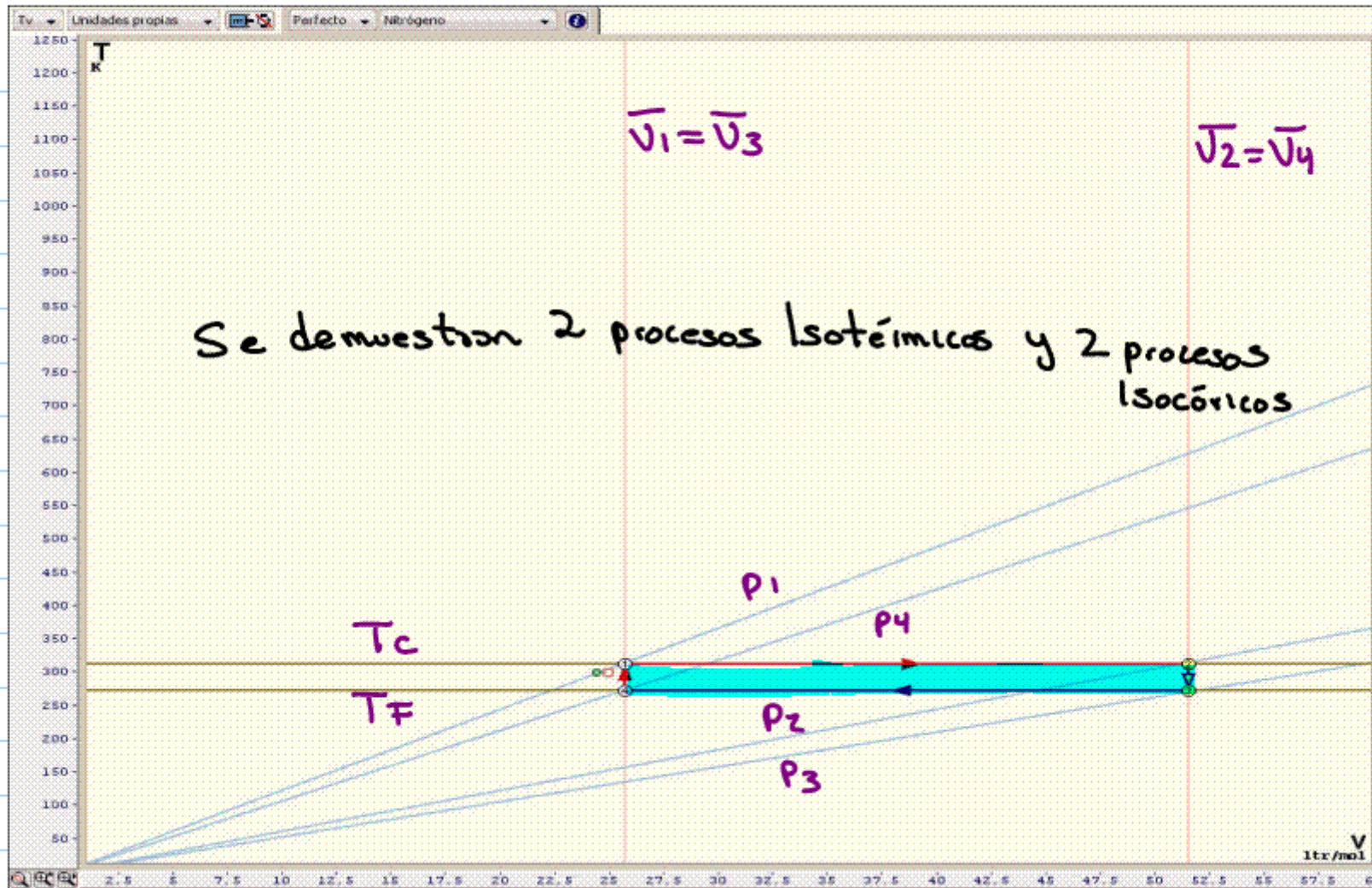
$$\text{COP bomba} = 11.43$$

$$\text{COP}_{\text{REF}} < \text{COP}_{\text{bomba}}$$


# Diagrama P vs T



# Diagrama T vs V



# Diagrama T vs $\bar{H}$

