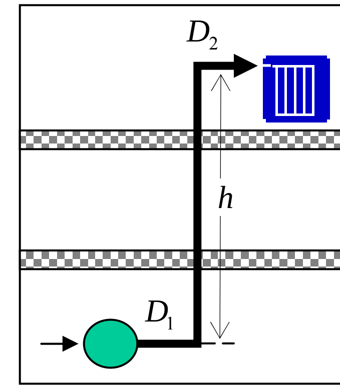
TEORÍA (3 puntos)

Ciclo frigorífico de Carnot. Explíquense sus características fundamentales y su funcionamiento

PROBLEMA 1 (3.5 puntos)



El sistema de calefacción de una vivienda tiene una bomba instalada en el sótano trabajando a 3 atm, la cual hace circular el agua caliente a 0.50 m/s a través de una tubería principal de D_1 = 10 cm de diámetro. Determinar la velocidad del agua y la presión en las tuberías (D_2 = 6 cm) de un piso situado h = 5 m más arriba, si la pérdida de carga es de 0.49 atm. (1 atm = 1013 mb)

PROBLEMA 2 (3.5) puntos)

Se dispone de una muestra de 0.14 moles de nitrógeno a 0 ºC ocupando un volumen de 2 litros dentro de un depósito cilíndrico cerrado por medio de un émbolo que puede desplazarse hacia arriba o hacia abajo para aumentar o disminuir la capacidad. El gas sufre los siguientes procesos:

* Se calienta de modo que se expande a presión constante hasta que su temperatura es de 367 ºC.

* Una vez alcanzada la temperatura de 367 ºC se sigue expandiendo pero de forma adiabática, hasta que su temperatura es de nuevo 0º C.

* Por último, sufre una compresión isotérmica hasta restituir el volumen inicial de 2 litros. Se pide:

a) Calcular las presiones máxima y mínima del ciclo del gas. Representar el ciclo en un diagrama p-V.

b) Calcular el trabajo y el calor en cada etapa del ciclo y su rendimiento.

c) Calcular la variación de entropía en cada etapa del ciclo.

Se supone que las tres etapas descritas son reversibles. En las condiciones dadas el nitrógeno se comporta como un gas ideal de coeficiente adiabático 1.4. Constante universal de los gases R = 8,314 J/(K·mol).

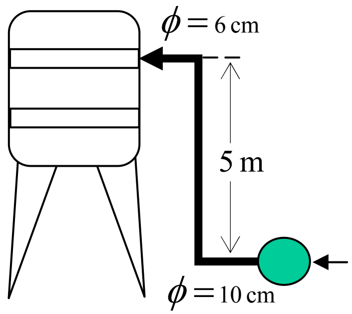
FUNDAMENTOS FÍSICOS DE LA INGENIERÍA. EXAMEN A4. MAYO 2010. MODELO B

TEORÍA (3 puntos)

Ciclo frigorífico de Carnot. Explíquense sus características fundamentales y su funcionamiento

PROBLEMA 1 (3.5 puntos)

Para subir agua a un depósito elevado a 5 m de altura se emplea una bomba que trabaja a 3 atm enviando el agua hacia arriba a través de una tubería de 10 cm de diámetro. La tubería de entrada al depósito elevado tiene un diámetro de 6 cm., y las pérdidas de cargas en total son de 0.49 atm. Determinar la velocidad del agua y la presión con que el agua entra en el depósito. Ayuda: 1 atm = 1013 mb.



PROBLEMA 2 (3.5) puntos)

Se dispone de una muestra de 0.14 moles de nitrógeno a 0 ºC ocupando un volumen de 39,45 litros dentro de un depósito cilíndrico cerrado por medio de un émbolo que puede desplazarse hacia arriba o hacia abajo para aumentar o disminuir la capacidad. El gas sufre los siguientes procesos:

* Se comprime isotérmicamente hasta que su volumen es de 2 litros.

* Después se calienta a presión constante, hasta que su temperatura es 367º C.

* Por último, el gas se expande adiabáticamente hasta restituir el volumen inicial de 39,45 litros. Se pide:

a) Calcular las presiones máxima y mínima del ciclo descrito por el gas. Representar el ciclo en un diagrama *p*-*V*.

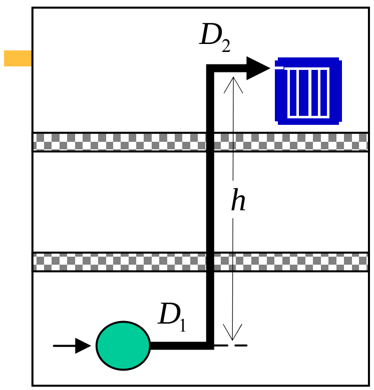
b) Calcular el trabajo y el calor en cada etapa del ciclo y su rendimiento.

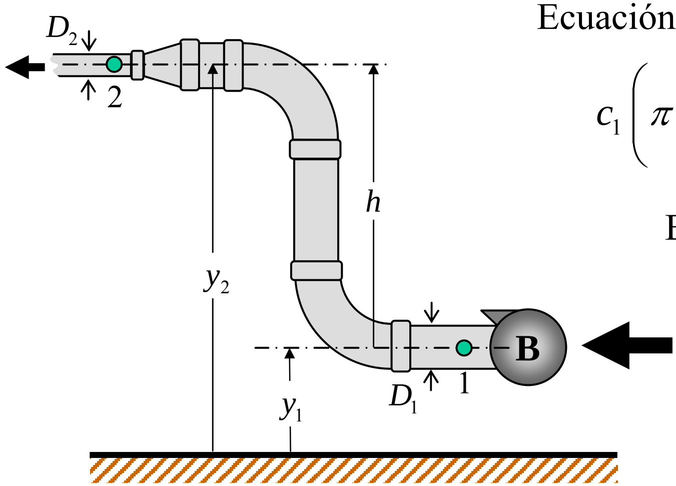
c) Calcular la variación de entropía en cada etapa del ciclo.

Se supone que las tres etapas descritas son reversibles. En las condiciones dadas el nitrógeno se comporta como un gas ideal de coeficiente adiabático 1.4. Constante universal de los gases R = 8,314 J/(K·mol).

PROBLEMA 1. MODELO A

El sistema de calefacción de una vivienda tiene una bomba instalada en el sótano trabajando a 3 atm, la cual hace circular el agua caliente a 0.50 m/s a través de una tubería principal de D_1 = 10 cm de diámetro. Determinar la velocidad del agua y la presión en las tuberías (D_2 = 6 cm) de un piso situado h = 5 m más arriba, si la pérdida de carga es de 0.49 atm. (1 atm = 1013 mb)





Ecuación de continuidad:

$$c_1\left(\pi\frac{D_1^2}{4}\right)=c_2\left(\pi\frac{D_2^2}{4}\right) \qquad c_2=\frac{D_1^2}{D_2^2}c_1=\frac{10^2}{6^2}0.5=1.4\ \text{m/s}$$

Ecuación de Bernoulli con corrección por pérdida de carga Π:

$$P_1+\frac{1}{2}\rho c_1^2+\rho g y_1-\Pi = P_2+\frac{1}{2}\rho c_2^2+\rho g y_2$$

$$P_2=P_1-\Pi+\frac{1}{2}\rho\left(c_1^2-c_2^2\right)+\rho\, g\,(y_1-y_2)$$

$$y_1-y_2=-h=-5\ \text{m}$$

$$P_2=2.543\cdot 10^5\ \text{Pa}+\frac{1}{2}1000\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\left(0.50^2-1.40^2\right)\frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}+1000\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}9.8\frac{\text{m}}{\text{s}^2}(-5)\,\text{m}$$

$$P_1=3\ \text{atm}\cdot 1.013\cdot 10^5\ \frac{\text{Pa}}{\text{atm}}=3.039\cdot 10^5\ \text{Pa}$$

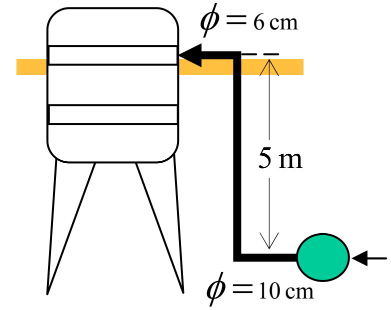
$$P_2=204408\ \text{Pa}=2.018\ \text{atm}$$

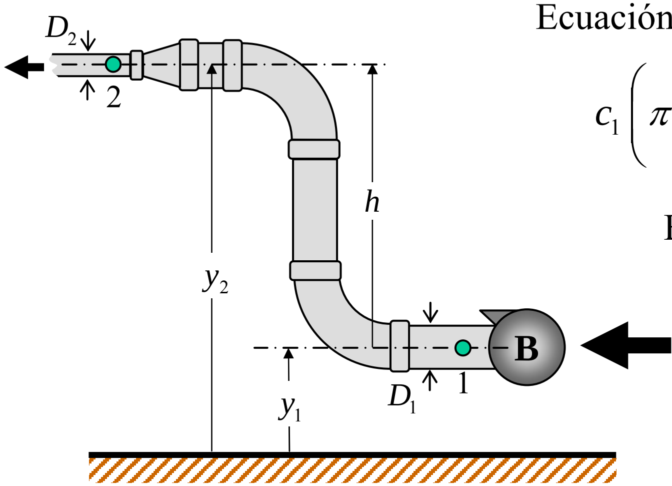
$$\Pi=0.49\ \text{atm}\cdot 1.013\cdot 10^5\ \frac{\text{Pa}}{\text{atm}}=0.496\cdot 10^5\ \text{Pa}$$

$$P_1-\Pi=2.543\cdot 10^5\ \text{Pa}$$

PROBLEMA 1. MODELO B

Para subir agua a un depósito elevado a 5 m de altura se emplea una bomba que trabaja a 3 atm enviando el agua hacia arriba a través de una tubería de 10 cm de diámetro. La tubería de entrada al depósito elevado tiene un diámetro de 6 cm., y las pérdidas de cargas en total son de 0.49 atm. Determinar la velocidad del agua y la presión con que el agua entra en el depósito. Ayuda: 1 atm = 1013 mb.





$$y_1 - y_2 = -h = -5 \text{ m}$$

$$P_1 = 3 \text{ atm} \cdot 1.013 \cdot 10^5 \frac{\text{Pa}}{\text{atm}} = 3.039 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

$$\Pi = 0.49 \text{ atm} \cdot 1.013 \cdot 10^5 \frac{\text{Pa}}{\text{atm}} = 0.496 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

$$P_1 - \Pi = 2.543 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$

Ecuación de continuidad:

$$c_1 \left(\pi \frac{D_1^2}{4} \right) = c_2 \left(\pi \frac{D_2^2}{4} \right)$$

Velocidad de entrada del agua en función de c_1

$$c_2 = \frac{D_1^2}{D_2^2} c_1 = \frac{100}{36} c_1 = \frac{25}{9} c_1 \text{ (m/s)}$$

Ecuación de Bernoulli con corrección por pérdida de carga Π:

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho c_1^2 + \rho g y_1 - \Pi = P_2 + \frac{1}{2}\rho c_2^2 + \rho g y_2$$

$$P_2 = P_1 - \Pi + \frac{1}{2}\rho\left(c_1^2 - c_2^2\right) + \rho\, g\,(y_1 - y_2)$$

$$P_2 = 2.543 \cdot 10^5 \text{ Pa} + \frac{1}{2} 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\left(c_1^2 - c_2^2\right)\frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} + 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}(-5)\text{ m}$$

$$c_1^2 - c_2^2 = c_1^2\left(1 - \frac{100}{36}\right) = -\frac{64}{36} c_1^2 = -\frac{16}{9} c_1^2$$

$$P_2 = 2.05 \cdot 10^5 - 556\, c_1^2 \text{ (Pa)}$$

Presión de entrada del agua en función de c_1

PROBLEMA 2. MODELO A

Se dispone de una muestra de 0.14 moles de nitrógeno a 0 ºC ocupando un volumen de 2 litros dentro de un depósito cilíndrico cerrado por medio de un émbolo que puede desplazarse hacia arriba o hacia abajo para aumentar o disminuir la capacidad. El gas sufre los siguientes procesos:

* Se calienta de modo que se expande a presión constante hasta que su temperatura es de 367 ºC.

* Una vez alcanzada la temperatura de 367 ºC se sigue expandiendo pero de forma adiabática, hasta que su temperatura es de nuevo 0º C.

* Por último, sufre una compresión isotérmica hasta restituir el volumen inicial de 2 litros. Se pide:

a) Calcular las presiones máxima y mínima del ciclo descrito por el gas. Representar el ciclo en un diagrama *p*-*V*. $T_1 = 0\,^{\circ}\mathrm{C} = 273\ \mathrm{K}$ $n = 0.14\ \mathrm{mol}$

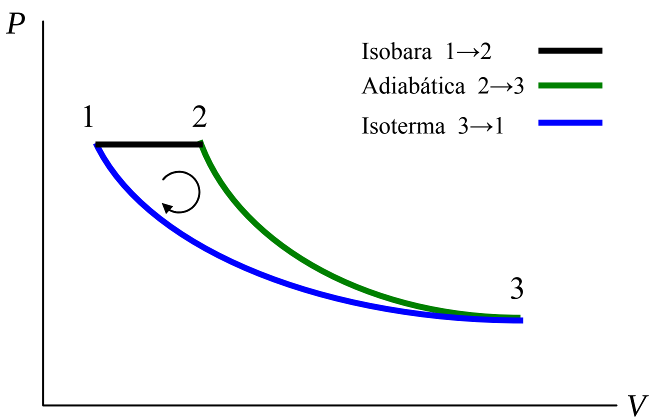
b) Calcular el trabajo y el calor en cada etapa del ciclo y su rendimiento.

c) Calcular la variación de entropía en cada etapa del ciclo.

Se supone que las tres etapas descritas son reversibles. En las condiciones dadas el nitrógeno se comporta como un gas ideal de coeficiente adiabático 1.4. Constante universal de los gases R = 8,314 J/(K·mol).

PROBLEMA 2. MODELO A

a) Calcular las presiones máxima y mínima del ciclo del gas. Representar el ciclo en un diagrama *p-V*.



$$P_1 = P_2$$

$$\left.\begin{array}{r} P_2\, V_2^{\gamma} = P_3\, V_3^{\gamma} \\ P_1\, V_1 = P_2\, V_1 = P_3\, V_3 \end{array}\right\} \quad \frac{V_2^{\gamma}}{V_1} = V_3^{\gamma-1} \qquad V_3 = \left(\frac{V_2^{\gamma}}{V_1}\right)^{\frac{1}{\gamma-1}}$$

Cálculos del resto de coordenadas *P, V, T*

$$P_1 = \frac{n\,R\,T_1}{V_1} = P_2 \qquad V_2 = \frac{n\,R\,T_2}{P_2} \qquad P_3 = \frac{n\,R\,T_3}{V_3}$$

Presión máxima — Presión mínima

Datos disponibles enunciado: $\gamma = 1.4$

$T_1 = T_3 = 0\,^{o}\mathrm{C} = 273\ \mathrm{K} \qquad n = 0.14\ \ \mathrm{mol}$

$T_2 = 367\,^{o}\mathrm{C} = 640\ \mathrm{K} \qquad V_1 = 2\,\mathrm{l} = 0.002\ \mathrm{m}^3$

	V (m3)	P (Pa)	T (K)
1	**0,00200**	158881	**273**
2	0,00469	158881	**640**
3	0,03945	8054	**273**

	W (J)	Q (J)	ΔS (J/K)
1→2	427,2	1495,1	3,47
2→3	1067,9	0,0	0,00
3→1	-947,6	-947,6	-3,47
Σ =	547,5	547,5	0,0

Rendimiento $\eta = \dfrac{W_{neto}}{Q_{isobaro12}} = \dfrac{547.5}{1495.1} = 0.366$

b) Trabajo y calor $c_p - c_v = R \ ;\ c_v = c_p/\gamma \quad \Rightarrow c_p = \dfrac{\gamma\,R}{\gamma-1} = 29.01\ \dfrac{\mathrm{J}}{\mathrm{K\cdot mol}}$

$$W_{isobaro12} = P_1\cdot(V_2 - V_1) \qquad Q_{isobaro12} = n\cdot c_p\cdot(T_2 - T_1)$$

$$W_{adiabatico23} = \frac{1}{\gamma-1}\left(P_2\cdot V_2 - P_3\cdot V_3\right) \qquad Q_{adiabático23} = 0$$

$$W_{isotermo31} = Q_{isotermo31} = n\,R\,T_1 \ln\frac{V_1}{V_3}$$

c) Variaciones de entropía $\longrightarrow$ $\Delta S_{23} = 0$ Adiabática reversible

$$\Delta S_{12} = \int \frac{\delta Q_{isob}}{T} = n\cdot c_p \int_1^2 \frac{dT}{T} = n\cdot c_p\, \ln\frac{T_2}{T_1}$$

$$\Delta S_{31} = \int \frac{\delta Q_{isot}}{T} = \frac{1}{T_1}\int \delta Q_{isot} = \frac{Q_{isot}}{T_1} = n\cdot R\ln\frac{V_1}{V_3}$$

PROBLEMA 2. MODELO B

Se dispone de una muestra de 0.14 moles de nitrógeno a 0 ºC ocupando un volumen de 39,45 litros dentro de un depósito cilíndrico cerrado por medio de un émbolo que puede desplazarse hacia arriba o hacia abajo para aumentar o disminuir la capacidad. El gas sufre los siguientes procesos:

* Se comprime isotérmicamente hasta que su volumen es de 2 litros.

* Después se calienta a presión constante, hasta que su temperatura es 367º C.

* Por último, el gas se expande adiabáticamente hasta restituir el volumen inicial de 39,45 litros. Se pide:

a) Calcular las presiones máxima y mínima del ciclo descrito por el gas. Representar el ciclo en un diagrama *p*-*V*.

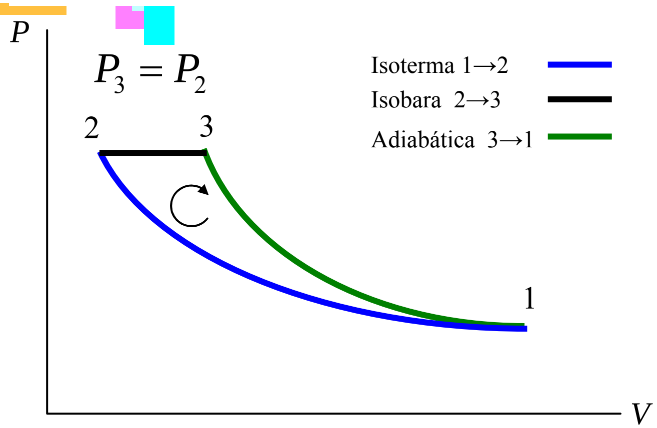
b) Calcular el trabajo y el calor en cada etapa del ciclo y su rendimiento.

c) Calcular la variación de entropía en cada etapa del ciclo.

Se supone que las tres etapas descritas son reversibles. En las condiciones dadas el nitrógeno se comporta como un gas ideal de coeficiente adiabático 1.4. Constante universal de los gases R = 8,314 J/(K·mol).

PROBLEMA 2. MODELO B

a) Calcular las presiones máxima y mínima del ciclo del gas. Representar el ciclo en un diagrama *p*-*V*.



$$T_3\, V_3^{\gamma-1} = T_1\, V_1^{\gamma-1} \qquad V_3 = \left(\frac{T_1}{T_3}\right)^{\frac{1}{\gamma-1}} V_1 \qquad \boxed{P_3 = \frac{n\,R\,T_3}{V_3} = P_2}$$

Presión máxima

Presión mínima

$$\boxed{P_1 = \frac{n\,R\,T_1}{V_1}} \qquad V_2 = \frac{P_1\,V_1}{P_2}$$

Datos disponibles enunciado: $\gamma = 1.4$

$T_1 = T_2 = 0\,^{\circ}\mathrm{C} = 273\ \mathrm{K}$ $\quad n = 0.14\ \ \mathrm{mol}$

$T_3 = 367\,^{\circ}\mathrm{C} = 640\ \mathrm{K}$ $\quad V_1 = 0.03945\ \mathrm{m}^3$

	V (m3)	P (Pa)	T (K)
1	**0,03945**	8054	**273**
2	0,002	158881	**273**
3	0,00469	158881	**640**

	W (J)	Q (J)	ΔS (J/K)
1→2	-947,6	-947,6	-3,47
2→3	427,2	1495,1	3,47
3→1	1067,9	0,0	0,00
Σ =	547,5	547,5	0,0

Rendimiento $\eta = \dfrac{W_{neto}}{Q_{isobaro23}} = \dfrac{547.5}{1495.1} = 0.366$

b) Trabajo y calor $c_p - c_v = R\ ;\ c_v = c_p/\gamma \Rightarrow c_p = \dfrac{\gamma\,R}{\gamma-1} = 29.01\ \dfrac{\mathrm{J}}{\mathrm{K\cdot mol}}$

$$W_{isotermo12} = Q_{isotermo12} = n\,R\,T_1 \ln\frac{V_2}{V_1}$$

$$W_{isobaro23} = P_3\cdot\left(V_3 - V_2\right) \qquad Q_{isobaro23} = n\cdot c_p\cdot\left(T_3 - T_2\right)$$

$$W_{adiabatico31} = \frac{1}{\gamma-1}\left(P_3\cdot V_3 - P_1\cdot V_1\right) \qquad Q_{adiabático31} = 0$$

c) Variaciones de entropía $\longrightarrow$ $\Delta S_{31} = 0$ Adiabática reversible

$$\Delta S_{12} = \int\frac{\delta Q_{isot}}{T} = \frac{1}{T_1}\int\delta Q_{isot} = \frac{Q_{isot}}{T_1} = n\cdot R\ln\frac{V_2}{V_1}$$

$$\Delta S_{23} = \int\frac{\delta Q_{isob}}{T} = n\cdot c_p\int_2^3\frac{dT}{T} = n\cdot c_p\ \ln\frac{T_3}{T_2}$$