Tema Nro. 3
1º Ley de la Termodinámica

SISTEMAS CERRADOS

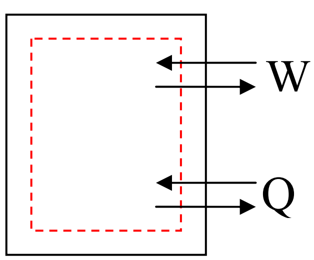
1. INTRODUCCIÓN

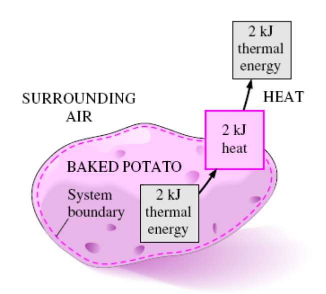
La 1º Ley de la Termodinámica: se basa en el principio de la conservación de la energía.

1º LEY DE LA TERMODINAMICA

SISTEMAS CERRADOS → Controlar masa Fija → $m = ctte$

GAS → Controlar los Volúmenes de Control → $m =$ variable





Q y W solo existen cuando cruzan la frontera.

2. TRANSFERENCIA DE CALOR $\rightarrow \Delta T$

Es la energía transferida de un cuerpo a otro por variación de temperatura.

2.1. CALOR: Es una forma de energía

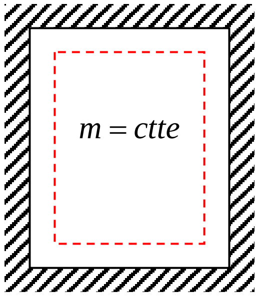
- Calor Sensible: se da en una fase $Q = mC_e\Delta T$ (solo cambio de temperatura)
- Calor Latente: se da cuando hay cambio de fase sin aumento de temperatura. (Vapor – líquido, sólido – líquido, etc.…)

$$Q_l = mL$$

- Equilibrio Calorífico $\Rightarrow \boxed{Q_g = Q_P}$

2.2. CALOR ADIABATICO $\Rightarrow Q = 0$

No existe absorción, ni perdida de calor. Para esto tiene que ser un sistema cerrado y aislado:



$\nexists$ transferencia de materia

$\nexists$ transferencia de energía

$Q = 0$

Si hay $W \Rightarrow \uparrow T \Rightarrow \Delta U$

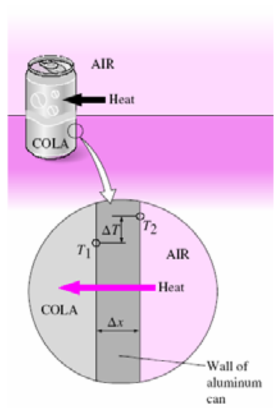
2.3. MECANISMOS DE TRANSFERENCIA DEL CALOR

2.3.1. CONDUCCION

Se de principalmente entre sólidos (principalmente metálicos). Se basa en la <u>ley de Fourier:</u>

$$\boxed{Q_{cond} = -K_T A \frac{dT}{dx}}; \text{ donde: } \begin{array}{l} K_t = \text{conducción térmica característica (para cada uno)} \\ \dfrac{dT}{dx} = \text{espesor de la pared} \end{array}$$

$$\text{Cuando varía con el tiempo} \left\{ \frac{dT}{dx} \; ó \; \frac{\Delta T}{\Delta x} \right\} \text{Permanece constante con el tiempo}$$



2.3.2. CONVECCION

Se presenta principalmente en gases. Se basa en la <u>ley de Newton</u>:

$$\boxed{Q_{conv} = hA\left(T_2 - T_1\right)}$$

$$\text{donde: } \begin{array}{l} A = \text{seccion transversal} \\ h = \text{coeficiente de transferencia de calor} \\ T = \text{temperatura del cuerpo } \left(2 = \text{mas caliente, } 1 = \text{mas frío}\right) \end{array}$$

2.3.3. RADIACION

Se presenta principalmente en sólidos y fluidos. Se baza en la ley de Stefen – Boltzan.

$$\boxed{Q_{rad} = \varepsilon\sigma\left(T_2^4 - T_1^4\right)}$$

donde:

$A =$ area de la seccion transversal

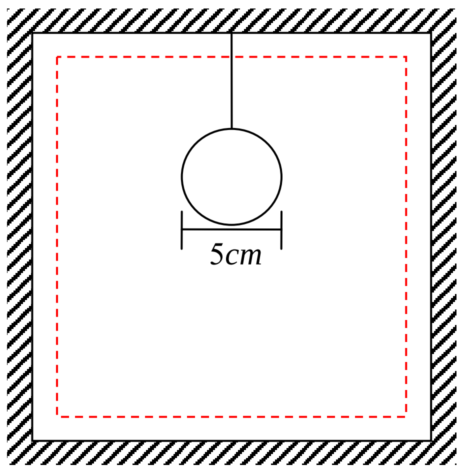
$T =$ temperatura del cuerpo

$\varepsilon =$ emisibilidad

$\sigma =$ ctte de stefan $= 5.64\times10^{-8}\dfrac{W}{m^2K^4}$

Ejemplos

1. Una bola esférica de 5cm cuya superficie se mantiene a una $T = 70^{o}C$, se suspende en la parte media de una habitación que se encuentra a $20^{o}C$ y esta aislada. Si el coeficiente de transferencia de calor por convección es $h = 15\frac{W}{m^2\,^{o}C}$ y la $\varepsilon = 0.8$, determina la taza total de transferencia de calor desde la bola.



$$Q_{conv} = hA\left(T_2 - T_1\right)$$

$$Q_{conv} = 15\frac{W}{m^2\,^{o}C} * 4\pi\left(0.025m\right)^2\left(70-20\right) = 5.89W$$

$$Q_{rad} = \varepsilon\sigma A\left(T_2^4 - T_1^4\right)$$

$$Q_{rad} = 0.8 * 5.67 * 10^{-8}\frac{W}{m^2K} * 4\pi\left(0.025m\right)^2\left(343^4 - 293^4\right) = 2.3W$$

$$Q_T = Q_{conv} + Q_{rad} = \left(5.89 + 2.3\right)W = \boxed{8.19W}$$

2. Si una persona desnuda se encuentra en un cuarto a 20ºC. determine la taza de transferencia de calor Total desde la persona, si el aire de la superficie expuesta y la temperatura de la piel de la persona son: $1.6m^2$ y $34^{o}C$ cada una y el coeficiente de transferencia de calor es $h = 6\frac{W}{m^2\,^{o}C}$ y la emisividad $\varepsilon = 0.95$

$$Q_{conv} = hA(T_2 - T_1) = 6*1.6m^2*(34-20) = 134.4W$$

$$Q_{rad} = \varepsilon\sigma A(T_2^4 - T_1^4) = 0.95*1.6m^2*5.67\times10^{-8}(307^4 - 293^4) = 130.38W$$

$$Q_T = 134.4 + 130.38 = \boxed{264.78W}$$

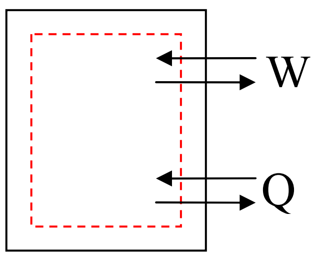
3. TRABAJO

Forma de energía asociada a una fuerza que actúa a lo largo de una distancia.

$$W = [\![KJ]\!]$$

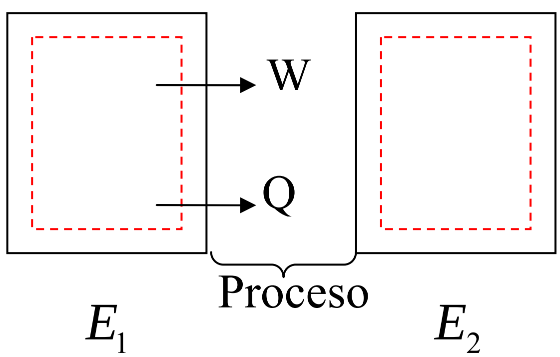
$$w = \frac{W}{m}\left[\!\left[\frac{KJ}{Kg}\right]\!\right]$$

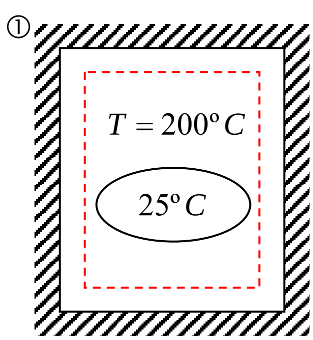
$$W^{o} = \frac{W}{t}\left[\!\left[\frac{KJ}{s}\right]\!\right]$$

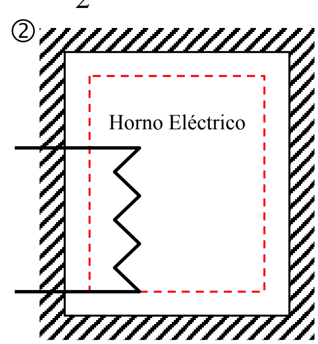


- Existen cuando están cruzando la frontera del sistema.
- Los sistemas poseen energía pero no transferencia de calor o trabajo.

El calor y el trabajo se asocian con un proceso no con un estado. *Q y W* son función de la trayectoria.





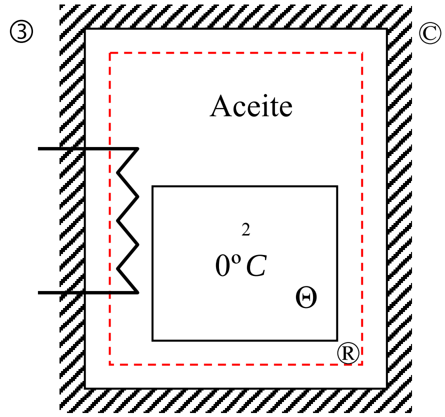


$W = 0$

$Q \neq 0$ ó decimos que existe

$W \neq 0$

$Q = 0$



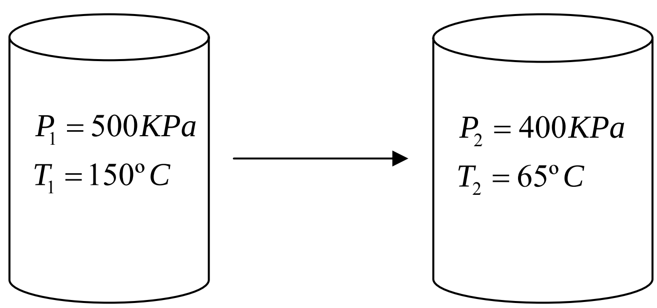
Sistema ®: $Q \neq 0 \;\; W = 0 \Rightarrow Q(-)$

Sistema Θ: $Q \neq 0 \;\; W = 0 \Rightarrow Q(+)$

Sistema ©: $Q = 0 \;\; W \neq 0 \Rightarrow W = (-)$

Ejemplos

1. Un tanque rígido contiene aire a $500 KPa$ y $150ºC$. Como resultado de la transferencia de calor a los alrededores, dentro del tanque disminuyen la temperatura a $65ºC$ y $P = 400 KPa$. Determine el trabajo de la frontera efectuado durante este proceso.



DATOS

$T_1 = 150^o C$

$P_1 = 500 KPa$

$T_2 = 65^o C$

$P_2 = 400 KPa$

$W = ?$

TANQUE RÍGIDO

$V = ctte; \;\; m = ctte$

$W = P \overset{0}{\cancel{dV}}$

$\boxed{W = 0}$

2. Una masa de $5Kg$ de vapor de agua saturada a $200KPa$ se calienta a presión *ctte.* hasta que la T=300ºC. Calcule el trabajo realizado por el vapor durante este proceso.

DATOS *(vapor de agua saturada)*

$m = 5Kg$

$P = 200KPa = ctte$

$T_2 = 300^o C$

$W = ?$

de tablas:

$T_{sat@P(0.2MPa)} = 120.23^o C$

$\upsilon = 0.857 \frac{m^3}{Kg}$

$T_2 = 300^o C$

$\upsilon_2 = 1.3162 \frac{m^3}{Kg}$

$$W = PdV$$

$$m = ctte \ (\text{cerrado})$$

$$V = m\upsilon$$

$$\Rightarrow W = P.d(m\upsilon)$$

$$W = Pm\int d\upsilon$$

$$W = Pm(\upsilon_2 - \upsilon_1)$$

$$W = 200KPa * 5Kg(1.3162 - 0.8857)\frac{m^3}{Kg}$$

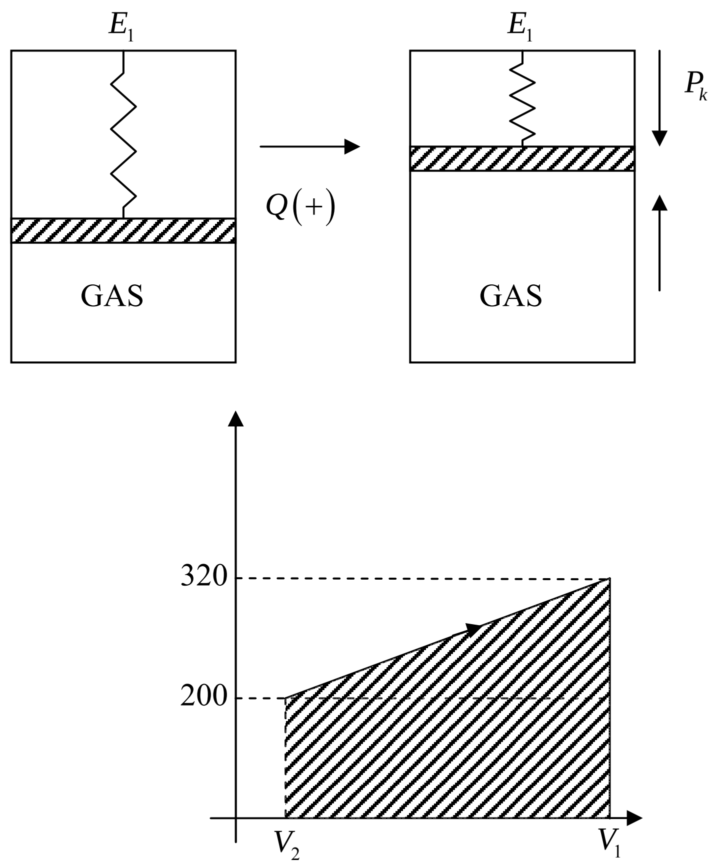
$$\boxed{W = 430.5KJ}$$

3. Un dispositivo de cilindro embolo, inicialmente contiene $0.05m^3$ de un gas a $200KPa$. En este estado un resorte lineal que contiene una constante de resorte de $K = 150\frac{KN}{m}$, toca el embolo pero no ejerce fuerza sobre él. Después se transfiere calor al gas provocando que el embolo ascienda y comprima al resorte de manera transversal, hasta que el volumen interior del cilindro se duplique. Si $A = 0.25m^2$, determine:

a) La P final dentro del cilindro.

DATOS

GAS	RESORTE
$V_1 = 0.05m^3$	$K = 150\frac{kN}{m}$
$P_1 = 200kPa$	$A_{emb} = 0.25m^2$
$V_2 = 2V_1$	



$$A P_f = \overbrace{A P_k}^{F} + \overset{0}{\cancel{emb}}$$

$$\frac{V}{x} P_f = Kx$$

$$P_f = \frac{K}{V} x^2$$

$$P_f = \frac{K}{V_2}\left(\frac{V}{A}\right)^2$$

$$P_f = \frac{150}{0.05} * \left(\frac{0.1-0.05}{0.25}\right)^2$$

$$P_f = 120 kPa$$

$$P_f = (120+200) kPa = \boxed{320 kPa}$$

b) El trabajo total efectuado por el gas.

$$A_{trian} = \frac{b*h}{2} = \frac{(0.1-0.05)(320-200)}{2} = 3$$

$$A_{cuad} = bh = (0.1-0.05)*200 = 10$$

$$\boxed{W_T = 13kJ}$$

$$W = \frac{1}{2}K\left(x_2^2 - x_1^2\right)$$

$$W = \frac{1}{2}K\left[\left(\frac{V_2}{A}\right)^2 - \left(\frac{V_1}{A}\right)^2\right]$$

$$W = 13kJ$$

4. FORMAS DE TRABAJO

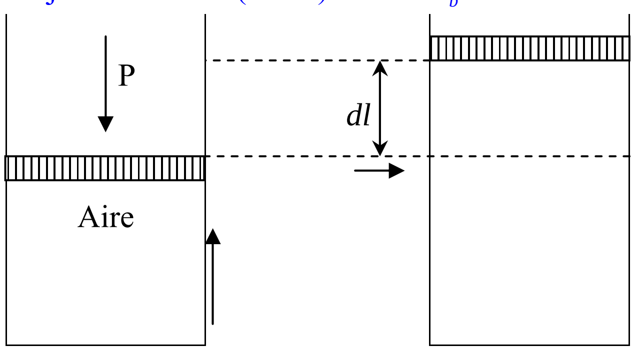
4.1. Trabajo Eléctrico W_e

$$W_e = VI\int dt = VI\Delta t$$

$$\text{si varía } V \text{ y } I = \int_1^2 VIdt$$

4.2. Trabajo Mecánico

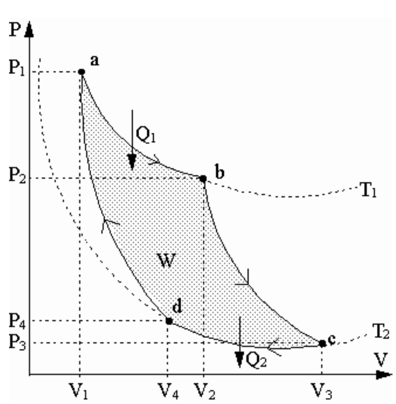
4.2.1. Trabajo de Frontera (doble) Móvil W_b



$$\text{Si } W = \overbrace{F}^{P\cdot A} \cdot s$$

$$W = P\cdot \underbrace{A\cdot s}_{V}$$

$$W_b = PV \rightarrow \text{Frontera Móvil}$$



$$dA = PdV$$

4.2.2. Trabajo Gravitacional

Si: $W = F \cdot s$

$W = m \cdot g \cdot s$

$W = m \cdot g \cdot dx$

$$\boxed{W = m \cdot g\left(x_2 - x_1\right)}$$

4.2.3. Trabajo de Aceleración

Si: $W = F \cdot s$

$W = m \cdot a \cdot s$

Si: $a = \dfrac{dv}{dt}; v = \dfrac{x}{dt}; x = vdt$

$W = m \cdot a \cdot dx$

$W = m \cdot a\left(x_2 - x_1\right)$

$W = \dfrac{1}{2}mv^2$

$$\boxed{W = \frac{1}{2}m\left(v_2^2 - v_1^2\right)}$$

4.2.4. Trabajo de Resorte

$W = F \cdot s$

si: $F = k \cdot x$ (ley de Hooke)

$W = k \cdot x \cdot dx$

$W = k\int xdx$

$W = k \cdot \dfrac{1}{2}x^2\Big|_1^2$

$$\boxed{W = \frac{1}{2}\left(x_2^2 - x_1^2\right)}$$

Ejemplos

1. En un sistema cilindro – pistón se tiene $40l$ de aire a una $P = 500kPa$ y $600K$ de temperatura. Determinar:

   a) La masa de aire considerando como gas ideal.

<u>DATOS</u>

$n = 1.4$

$m = ?$

$V = 40l$

$P = 500kPa$

$T = 600K$

$PV = nRT; PV = mRT$

$m = \dfrac{PV}{RT} \Rightarrow m = 0.116kg$

b) El trabajo que se realizara en el proceso si el sistema tiene un comportamiento según la expresión $PV^n = k$, tal que $V_2 = \frac{1}{2}V_1$ (suponer $n = 1.4$)

$$W = ?$$
$$W = PdV$$
$$P = \frac{k}{V^n}$$
$$W = k\int \frac{dV}{V^n}$$
$$W = \frac{P_2V_2 - P_1V_1}{1-n}$$
$$W = \frac{V_1\left(P_2/2 - P_1\right)}{1-n}$$
$$W = -15.975kJ$$

$$P_1V_1^n = P_2V_2^n$$
$$P_2 = P_1\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^n$$
$$P_2 = 500kPa\left(2\right)^{1.4}$$
$$P_2 = 1319.5kPa$$

2. $4kg$ de cierto gas están contenidos dentro de un dispositivo cilindro – pistón. El gas sufre un proceso para el que la relación P–V: $PV^{1.5} = k$
La $P_0 = 3bar; V_0 = 100lt; V_f = 200l$. La variación en la energía interna específica del gas en este proceso es $u_2 - u_1 = 4.6\frac{kJ}{kg}$.
No hay cambios significativos en las energías cinética y potencial. Determine la transferencia NETA de calor durante el proceso en kJ.

$$Q - W = \Delta U$$

DATOS

$P_0 = 3bar = 300kPa$

$V_0 = 100l$

$m = 4kg$

$$P_2 = P_1\left(\frac{V_1}{V_2}\right)^n = 300kPa\left(\frac{100}{200}\right)^{1.5}$$
$$P_2 = 106.066kPa$$

$$W = \frac{P_2V_2 - P_1V_1}{1-n} = \frac{106.066\left(0.2\right) - 300\left(0.1\right)}{1-1.5} = 17.57kJ$$
$$Q = \Delta U + W$$
$$\Delta U = m\left(u_2 - u_1\right)$$
$$\Delta U = 4kg\left(-4.6\frac{kJ}{kg}\right) = -18.4kJ$$
$$Q = -18.4 + 17.57$$
$$\boxed{Q = -0.83kJ}$$

3. Un gas esta contenido en un dispositivo cilindro – pistón como se muestra en la figura. Inicialmente la cara interna del pistón esta $x=0$ y el muelle no ejerce fuerza alguna sobre el pistón, como resultado de la transferencia de calor el gas se expande elevando el pistón hasta que su cara interior se encuentra en $x=0.05m$ y cesa el flujo de calor. La fuerza ejercida por el muelle sobre el pistón cuando el gas se expande varia linealmente con x según la ecuación $F=kx$; donde $k=10000\,{}^{N}\!/_{m}$. El rozamiento entre pistón y pared del cilindro es despreciable. Determinar:

a) Presión inicial del gas

$$\sum F_y = 0$$

$$P_{atm} * A + W = P_1 A$$

$$P_1 = \frac{mg}{A} + P_{atm}$$

$$P_1 = 100kPa + \frac{10kg * 9.8\,{}^{m}\!/_{s^2}}{0.078m^2} * \frac{kPa}{1000kPa}$$

$$\boxed{P_1 = 112.56kPa}$$

b) Trabajo realizado por el gas sobre el pistón

$$W = \int PdV \rightarrow dV = Adx$$

$$\sum F \Rightarrow$$

$$P_{atm} + kx + W_b = P_2 A$$

$$P_2 = P_{atm} + \frac{kx}{A} + \frac{mg}{A}$$

$$W = \int \left(P_{atm} + \frac{kx}{A} + \frac{mg}{A} \right) Adx$$

$$W = \int P_{atm} \cdot Adx + \int mg \cdot dx + \int kx \cdot dx$$

$$W = (100kPA)(0.0048m^2)(0.5-0) + 5*9.8*(0.5-0) + \left(10^4 \frac{N}{m}\right) * \frac{1}{2} * (0.5^2 - 0^2)$$

$$W = 54J =$$

c) Presión y temperatura final del sistema si $T = 300^{o}C$ (supones que el gas en el interior del cilindro es ideal) considerar como gas ideal caloríficamente perfecto con $C_p = 1\,{}^{KJ}\!/_{kg\cdot{}^{o}C}$.

$$P_f = ?; T_f = ?; T_0 = 300^{o}C$$

$$\text{GAS IDEAL} \Rightarrow PV = nRT$$

$$V_0 = 7.3l$$

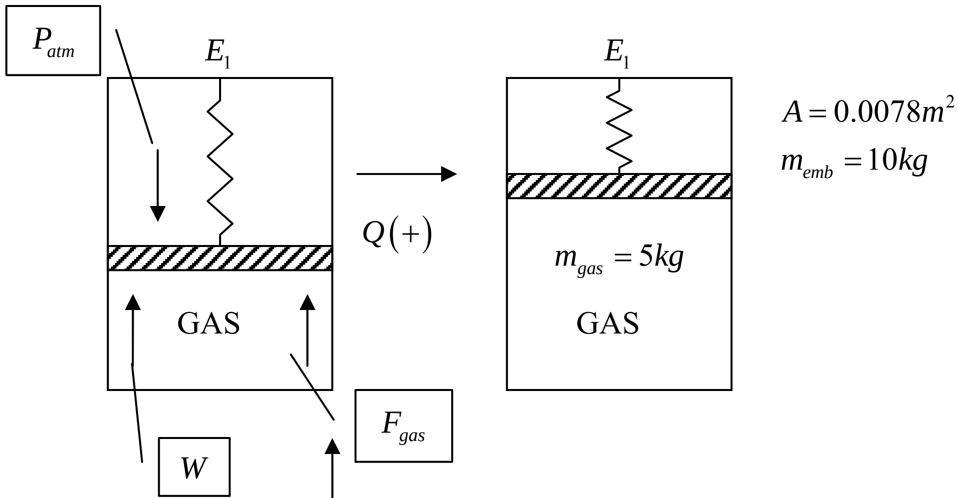
$$V = A \cdot x$$

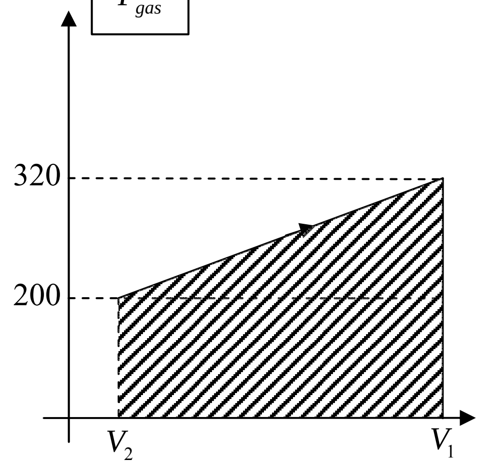
$$dV = A \cdot dx$$

$$V_f - V_0 = 7.69 * 10^{-3} m^3$$

d) La variación de U del sistema.

e) El calor transferido al sistema durante el proceso.





4. Un gas en un dispositivo cilindro – pistón, sufre un proceso de expansión para que la relación entre la presión y el volumen viene dado por $PV^n = k$ (proceso politrópico adiabático)
$P_0 = 3bar; V_0 = 0.1m^3$ y $V_f = 0.2m^3$. Determine el trabajo en kJ para el proceso, si:

a) $n = 1.5$

$PV^n = k$

$W = PV$ (frontera movil)

$$P_0 V_0^n = P_f V_f^n$$

$$P_f = P_0 \left(\frac{V_0}{V_f} \right)^n$$

Si:

$$W = PdV \rightarrow PV^n = k \Rightarrow P = \frac{k}{V^n}$$

reemplazo: $W = \frac{k}{V^n} dV$

$$W = k \int \frac{dV}{V^n}$$

$$W = k\int V^{-n} dV$$

$$W = k\left.\frac{V^{1-n}}{1-n}\right|_{^\wedge 1}^{2}$$

$$W = K_1\left(\frac{V_1^{1-n}}{1-n}\right) - K_2\left(\frac{V_2^{1-n}}{1-n}\right)$$

$$W = P_1V_1^{n} * \frac{V_1^{1-n}}{1-n} - P_2V_2 * V^{1-n}$$

$$\boxed{W = \frac{P_1V_1 - P_2V_2}{1-n}}$$

$$W = 17.6kJ$$

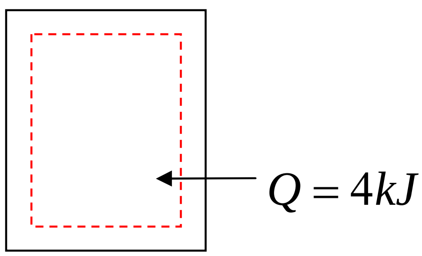
b) $30kJ$

5. BALANCE DE ENERGÍA

Proceso con transferencia de calor, sin interacción de trabajo.

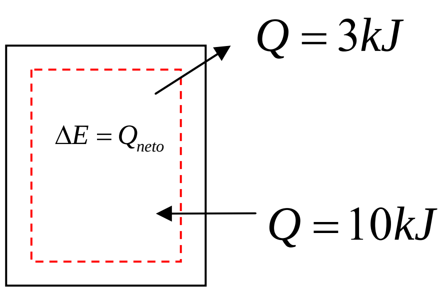
$$W = 0$$

Si:



$$Q = \Delta E$$

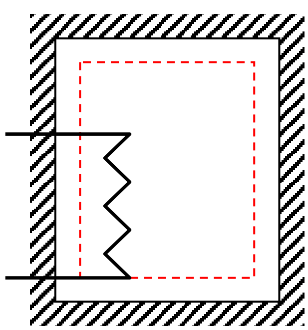
Si:



$$\Delta E = Q_{neto} = (10 - 3) = 7kJ$$

Proceso con interacción de trabajo sin transferencia de calor:

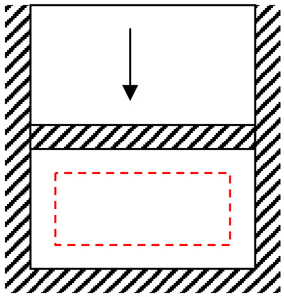
Si:



$$Q = 0$$

$$-W_e = \Delta E$$

Si:



$$Q = 0$$
$$-W_b = \Delta E$$

1º LEY DE LA TERMODINÁMICA

$$\boxed{Q - W = \Delta E} \rightarrow \text{cambio de la energia total del sistema } [\![kJ]\!]$$

$$\boxed{\Delta E = \Delta U + \Delta E_c + \Delta E_p}$$

$$\Delta U = m(u_2 - u_1)$$

$$\Delta E_c = \frac{1}{2} m\left(v_2^2 - v_1^2\right)$$

$$\Delta E_p = mg(z_2 - z_1)$$

En sistemas cerrados:

- $\Delta E_c = 0$, porque no hay variación en la velocidad.
- $\Delta E_p = 0$, porque no hay variación de la h (altura) con respecto del centro de gravedad.

POR LO TANTO:

$$\boxed{Q = W = \Delta U} \rightarrow 1^{o} \text{ Ley de la Termodinámica } (\text{para sistemas cerrados})$$

$$dq - dw = du$$

En un proceso cíclico:

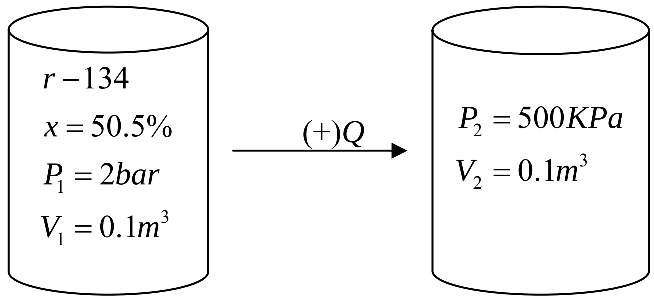
$$\Delta E = 0$$

$$\boxed{Q = W}$$

Ejemplos

1. Se suministra calor a tanque rígido, con refrigerante 134 de una calidad de 50.5% que esta a *2bar*, hasta que la presión llega a *5bar*. Determine:

   a) La masa del sistema.



$$\upsilon = \frac{V}{m} \rightarrow m = \frac{V}{\upsilon}$$

$$\upsilon = \upsilon_f + x \cdot \upsilon_{fg}$$

$$\upsilon = 0.0007532 + 0.505\left(0.0993 - 0.007532\right)$$

$$\upsilon = 0.5052 \, {}^{m^3}\!/_{kg}$$

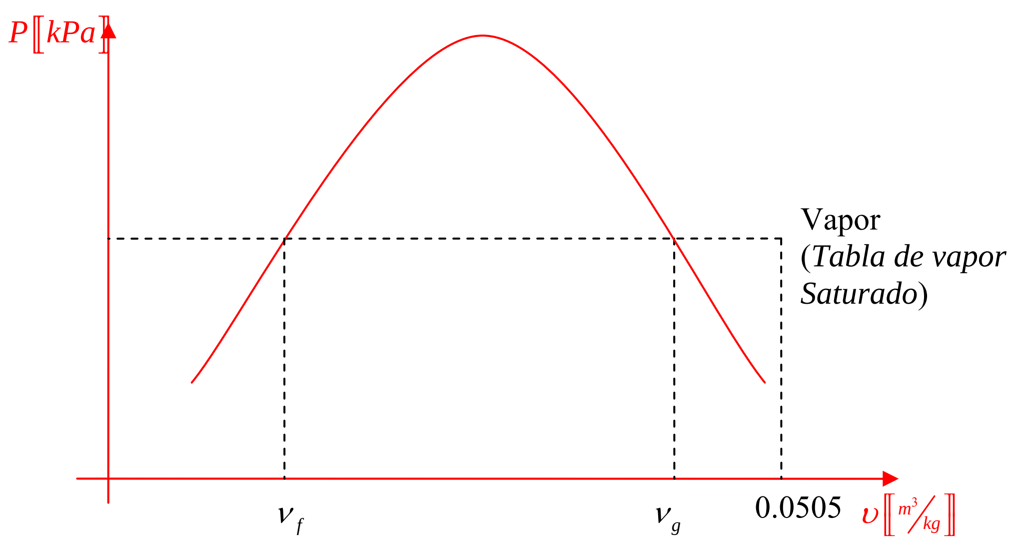
$$\Rightarrow m = \frac{V}{\upsilon} = \frac{0.1m^3}{0.5052 \, {}^{m^3}\!/_{kg}} = \boxed{1.979kg}$$

   b) El calor suministrado.

$$\upsilon = \upsilon_f + x \cdot \upsilon_{fg} = 130 \, {}^{kJ}\!/_{kg}$$

Como $P_2 = 500kPa$, no tengo la temperatura, entonces no se si es mezcla saturada o vapor.

Si $\upsilon_1 = \upsilon_2 = 0.05052 \, {}^{m^3}\!/_{kg}$



$u_2 = 275\, {}^{kJ}\!/\!_{kg}$

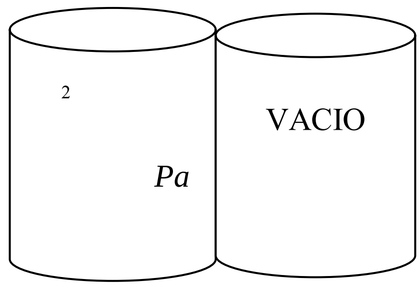
porque: $Q - \overset{0}{\cancel{W}} = \Delta U$

$Q = m(u_2 - u_1) = 1.979(275 - 130)$

$\boxed{Q = 286.95kJ}$

2. Un recipiente dividido en dos partes iguales con una separación al inicio, un lado del recipiente contiene $5kg$ de agua a $200kPA$ y 25ºC, mientras el otro se halla al vacío se retira la separación y el agua se expande en todo el recipiente, con lo que el agua intercambia calor con sus alrededores hasta que la temperatura en el recipiente vuelve a su valor inicial de 25ºC.

a) Volumen del recipiente



$25^{o}C$ por debajo de $T_{sat} = 120.23^{o}C$

$\upsilon = \frac{V}{m} \Rightarrow \upsilon = \upsilon_f \cdot m = 0.001061 * 5$

$\upsilon = 5.305 * 10^{-3}$

$\upsilon_{\text{recipiente}} = 1.061 * 10^{3} = \boxed{0.01061m^{3}}$

b) Presión final

$P_f = ?$

a $25^{o}C$ ese volumen es una MEZCLA su:

$\boxed{P_{sat} = 3.1.69kPa}$

c) Transferencia de calor para este proceso.

$Q - W = \Delta U$

$Q = m(u_2 - u_1)$

$Q = 0$

SISTEMAS ABIERTOS

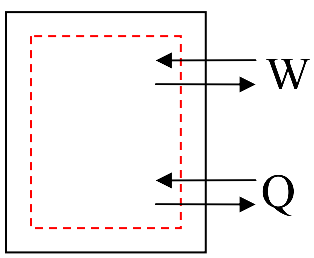
1. INTRODUCCIÓN

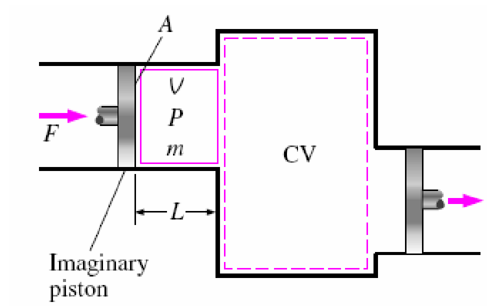
1º LEY DE LA TERMODINAMICA

↓

SISTEMAS CERRADOS → Controlar masa Fija → $m = ctte$

SISTEMAS ABIERTOS $= f(H)$ → Controlar los Volúmenes de Control → $m =$ variable





Toda materia que ingresa o que sale del volumen de control, modifica la energía.

masa → energía → trasportada al sistema

Toda masa tiene energía y al ingresar y / o al salir del volumen de control, existirá un cambio en la energía.

1.1. RELACIÓN DE FLUJO DE MASA (flujo másico) → $[\![\dot{m}]\!]\left[{}^{kg}/_{h};{}^{kg}/_{s}\right]$

$$\dot{m} = \frac{m}{t} \rightarrow \rho = \frac{m}{V}$$

$$\dot{m} = \frac{\rho V}{t}; \rightarrow V = A \cdot x$$

$$\dot{m} = \frac{\rho A x}{t}; \rightarrow \overline{v} = \frac{x}{t}$$

$$\dot{m} = \rho \overline{v} A; \rightarrow \rho = \frac{1}{\upsilon}$$

$$\boxed{\dot{m} = \frac{\rho \overline{v} A}{\upsilon}} \Rightarrow \text{Relacion flujo} - \text{masa o flujo másico}$$

1.2. RELACIÓN DE FLUJO VOLUMETRICO (flujo de volumen) $\rightarrow [\![\dot{v}]\!] \left[{}^{l}\!/_{s}; {}^{m^3}\!/_{h} \right]$

$$\dot{v} = \frac{V}{t} \rightarrow V = A \cdot x$$

$$\dot{v} = \frac{Ax}{t}; \rightarrow \overline{v} = \frac{x}{t}$$

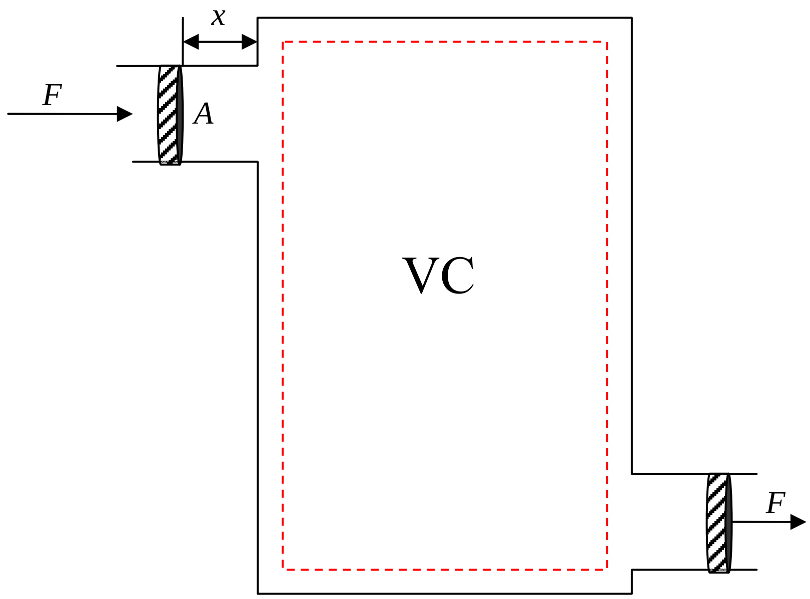
$$\boxed{\dot{v} = A \cdot \overline{v}}$$

$$\Rightarrow \overline{v} = \frac{A \cdot \dot{m} \cdot \upsilon}{\upsilon}$$

$$\dot{v} = \frac{A \cdot \dot{m} \cdot \upsilon}{A}$$

$$\boxed{\dot{m} = \dot{m} \cdot \upsilon} \Rightarrow \text{Relacion } \boxed{\dot{v} - \dot{m}}$$

1.3. TRABAJO DE FLUJO $\rightarrow [\![\dot{W}_{flujo}]\!] = {}^{kJ}\!/_{kg}$



$$W = F * x$$

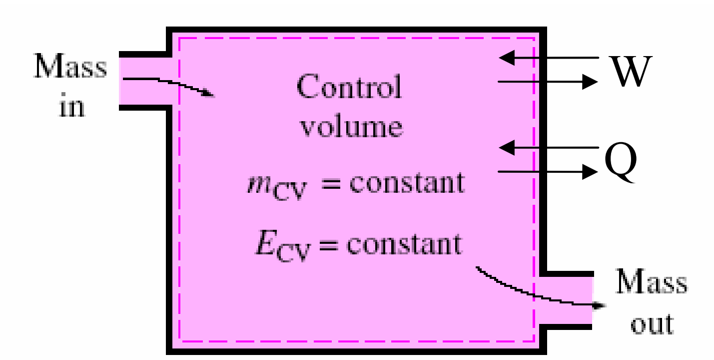
$$W = P * \underbrace{A * x}_{V} \rightarrow \left(* \frac{1}{m} \right)$$

$$\boxed{\dot{W}_{flujo} = P \cdot \upsilon} \rightarrow \text{Trabajo de Flujo}$$

$$\boxed{E_{\theta} = \mu + E_c + \dot{W}_{flujo}}$$

2. PROCESO DE FLUJO PERMANENTE

Decimos así cuando las propiedades dentro del volumen de control se mantienen constantes, no varían con el tiempo.



Balance de masa:

$$\boxed{\sum \dot{m}_e = \sum \dot{m}_s}$$

$$\frac{1}{\upsilon_1}\bar{v}_1 A_1 = \frac{1}{\upsilon_2}\bar{v}_2 A_2$$

Balance de energía:

$$q - W = \Delta h + \Delta E_c + \Delta E_p \begin{cases} \Delta E_c = \frac{1}{2}\left(\bar{v}_2^2 - \bar{v}_1^2\right) \\ \Delta E_p = g\left(h_2 - h_1\right) \end{cases}$$

Fórmula simple de la 1º ley de la termodinamica

$$\boxed{q - W = \Delta h} \xrightarrow{\text{cuando}} \begin{matrix} E_c = 0 \\ E_p = 0 \end{matrix}$$

2.1. BALANCE DE MASA

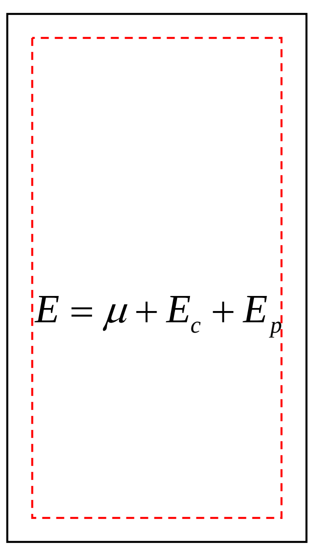
$$\sum \dot{m}_e - \sum \dot{m}_s = \sum \dot{m}_{VC}$$

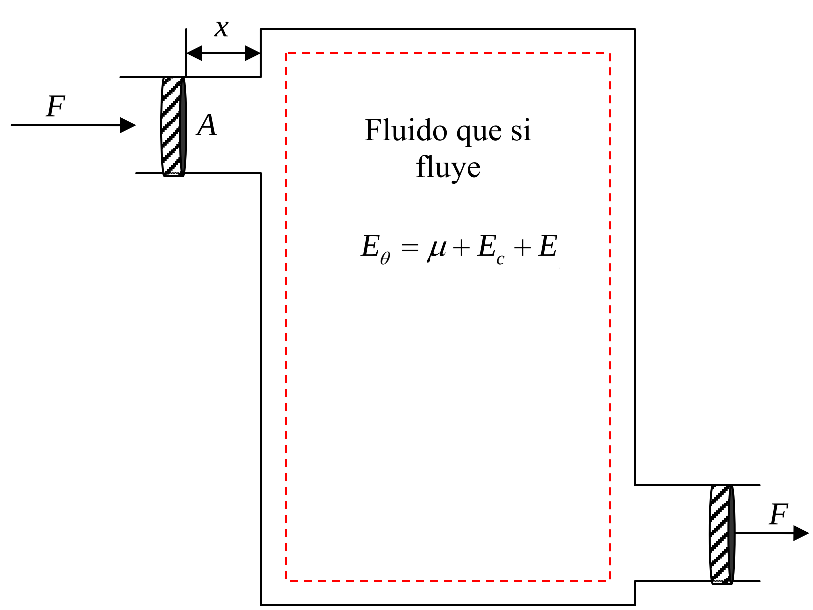
$$\sum \dot{m}_e = \sum \dot{m}_s$$

2.2. BALANCE DE ENERGÍA

$$\boxed{q - W + \sum E_e - \sum E_s = \Delta E_{VC}}$$

DIFERENCIAS ENTRE SISTEMAS



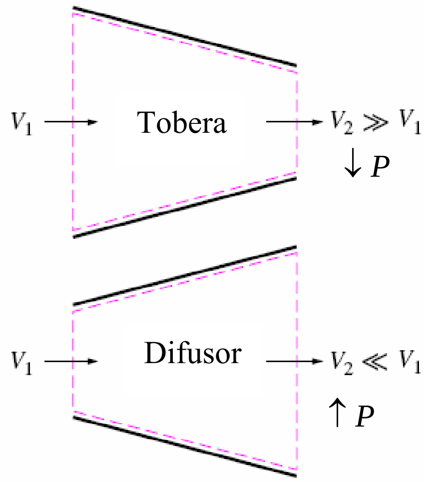


$$E_\theta = U + E_c + E_p + PV$$

$$E_\theta = h + E_c + E_p \rightarrow h = U + PV$$

3. DISPOSITIVOS DE FLUJO PERMANENTE

3.1. TOBERAS Y DIFUSORES



Aunque existe un intercambio de calor con el medio que rodea a estos dispositivos el tamaño de la tobera o el difusor es pequeño en comparación, por lo tanto decimos que:

$$\boxed{q = 0}$$

$$W = 0$$

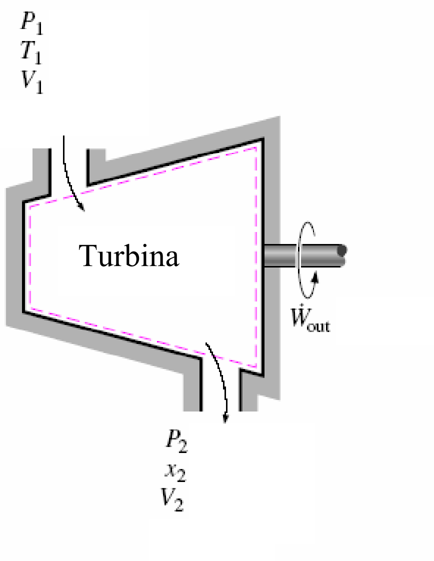
$$\boxed{E_c \neq 0} \rightarrow \text{la única variable que cambia}$$

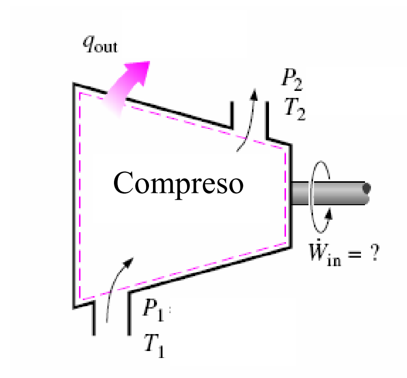
$$\Delta E_p = 0$$

$$\Rightarrow \overset{0}{\cancel{q}} - \overset{0}{\cancel{W}} = \Delta h + \Delta E_c + \overset{0}{\cancel{\Delta E_p}}$$

$$\boxed{\Delta h = -\Delta E_c} \rightarrow \text{Para toberas y difusores}$$

3.2. TURBINAS Y COMPRESORES





$q = 0$

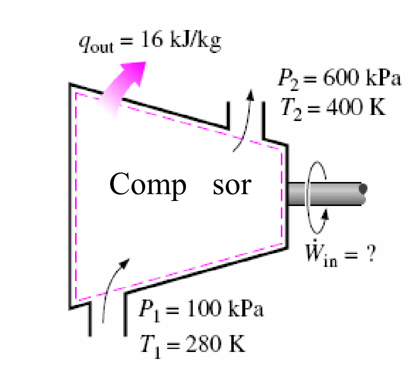
$\boxed{W \neq 0} \rightarrow$ es el único relevante en este proceso energético

$\Delta E_c = 0; \quad \Delta E_p = 0$

$\Rightarrow \boxed{\Delta h = W}$

Ejemplo

1. En un compresor se tiene aire a $500kPa$ y $280K$, el mismo se comprime permanentemente hasta $600kPa$ y $400K$. La relación de flujo masa del aire es $0.02\,{}^{kg}\!/_{s}$ y hay una perdida de calor de $16\,{}^{kJ}\!/_{kg}$ durante el proceso. Si se supone que los cambios en la energía cinética y potencial son despreciables, determine la entrada de potencia necesaria del compresor.



DATOS

$P_1 = 100kPa \qquad P_2 = 600kPa$

$T_1 = 280kPa \qquad T_2 = 400kPa$

$h_1 = 280.13\,{}^{kJ}\!/_{kg} \qquad h_2 = 400.98\,{}^{kJ}\!/_{kg}$

$\dot{m} = 0.02\,{}^{kg}\!/_{s} \qquad \Delta q = 16\,{}^{kJ}\!/_{kg}$

$$q - W = \Delta h + \cancel{\Delta E_c} + \cancel{\Delta E_p}$$

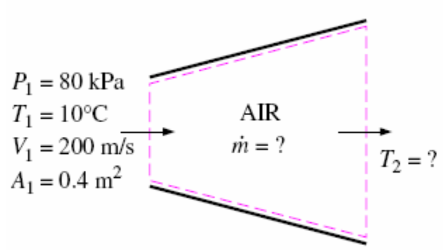
$$-W = \Delta h - q$$

$$-W = (h_2 - h_1) - q$$

$$W_e = -(400.98 - 280.13) + 16 = 136.85\,{}^{kJ}\!/_{kg}$$

$$\dot{W}_e = \dot{m} * W_e = 0.02\,{}^{\cancel{kg}}\!/_{s} * 138.85\,{}^{kJ}\!/_{\cancel{kg}} = 2.737kW$$

2. Aire a $10^{o}C$ y $80kPa$ entra de manera permanente en un difusor de una máquina de chorro con una $\overline{v}=200\, m/s$ y tiene un $A=0.4m^2$. El aire abandona el difusor a una velocidad muy pequeña comparada con el sistema.



a) Relación flujo–masa

$$P_1\upsilon = RT_1$$

$$\upsilon = \frac{RT_1}{P_1} = \frac{0.287\,\frac{m^3}{kg\cdot K} * 283K}{80kPa} = 1.0152\, kJ/kg$$

Relacion $\boxed{\dot{v}-\dot{m}}$

$$\dot{m} = \frac{1}{\upsilon_1}\overline{v}_1 A_1 = \frac{1}{1.0152} * 200 * 0.4$$

$$\boxed{\dot{m} = 78.802\, kg/s}$$

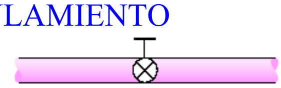
b) Temperatura del aire que sale del difusor.

$$\cancel{q} - \cancel{W} = \Delta h + \Delta E_c + \cancel{\Delta E_p}; \quad \mathrm{h}_{1@289K} = 283.136\, kJ/kg$$

$$\Delta h = -\Delta E_c \Rightarrow h_2 - h_1 = -\frac{1}{2}\left(\cancel{\overline{v}_2^2} - \overline{v}_1^2\right) \Rightarrow h_2 = -\frac{1}{2}\left(0-200^2\right) + 283.136$$

$$h_2 = 303.136 \Rightarrow \boxed{T_{2@h=303 kJ/kg} = 303K}$$

3.3. VALVULAS DE ESTRANGULAMIENTO



(a) An adjustable valve

$q = 0$

$W = 0$

$E_c = 0$

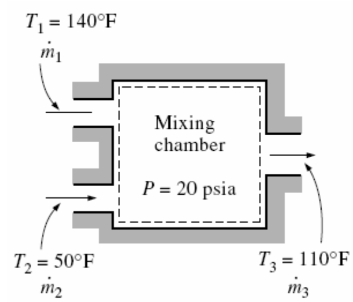
$E_p = 0$

$$q - W = \Delta h + \cancel{\Delta E_c} + \cancel{\Delta E_p}$$

$$\Delta h = 0$$

$\boxed{h_1 = h_2} \rightarrow$ Proceso Isotrópico o Isentrópico

3.4. CAMARA DE MEZCLA

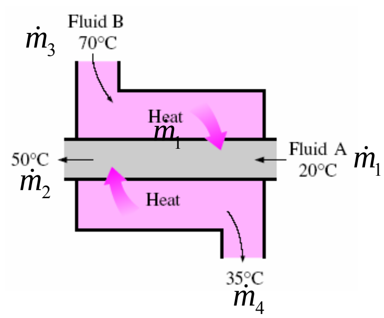


Balance de masa

$$\boxed{\sum \dot m_e = \sum \dot m_s}$$

$$m_1 + m_2 = m_3$$

3.5. INTERCAMBIADORES DE CALOR



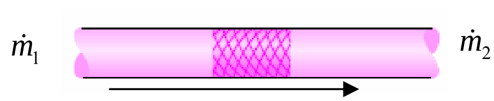
$$\boxed{q \neq 0}$$

$$W = 0$$

$$\Delta E_c = 0$$

$$\Delta E_p = 0$$

3.6. TUBERIA Y DUCTOS



$$\boxed{q \neq 0}$$

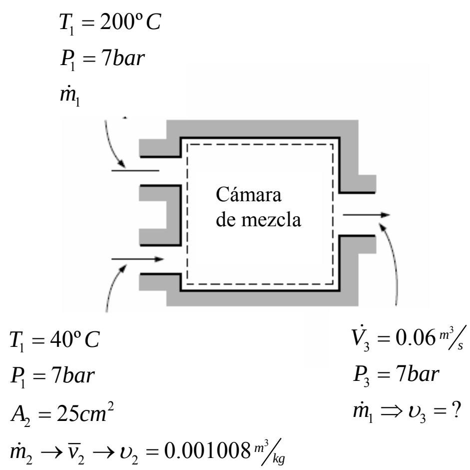
$$W = 0$$

$$\Delta E_c = 0$$

$$\boxed{\Delta E_p \neq 0}$$

Ejemplos

1. Un calentador de agua de alimentación que funciona en estado estacionario, tiene 2 entradas y una salida. En la e_1, el vapor de agua entra a $P_1 = 7bar;\ T_1 = 200^{o}C$ con $\dot{m}_e = 40\,{}^{kg}\!/\!_{s}$. En la e_2, el agua líquida a $P_2 = 7bar;\ T_2 = 40^{o}C$, ingresa a través de una superficie $A_2 = 25cm^2$ en la s_3 se tiene un $\overline{v}_3 = 0.06\,{}^{m^3}\!/\!_{s}$ de líquido saturado a $P_3 = 7bar$. Determinar:
    a. Los $\dot{m}_2$ y $\dot{m}_3$ en ${}^{kg}\!/\!_{s}$.



    b. Las $\overline{v}_2$ en ${}^{cm}\!/\!_{s}$.

$$\dot{m} = \frac{1}{\upsilon}\overline{v}A$$

$$\dot{V} = \dot{m}\upsilon$$

$$\dot{m}_3 = \frac{\dot{V}_3}{\upsilon_3} = \frac{0.06\,{}^{m^3}\!/\!_{s}}{0.001008\,{}^{m^3}\!/\!_{kg}}$$

$$\boxed{\dot{m}_3 = 54.1516\,{}^{kg}\!/\!_{s}}$$

$$\dot{m}_1 + \dot{m}_2 = \dot{m}_3$$

$$\dot{m}_2 = \dot{m}_3 - \dot{m}_1 = 59.524 - 40$$

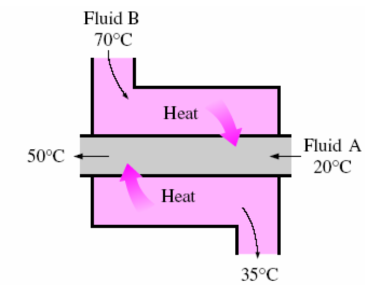
$$\dot{m}_2 = 19.524\,{}^{kg}\!/\!_{s}$$

$$\overline{v}_2 = \frac{\dot{m}\upsilon_2}{A_2}$$

$$\overline{v}_2 = \frac{19.524\,{}^{\cancel{kg}}\!/\!_{s} * 0.001008\,{}^{\cancel{m^3}}\!/\!_{s}}{0.0025m^2}$$

$$\overline{v}_2 = 5.7\,{}^{m}\!/\!_{s} = 570\,{}^{cm}\!/\!_{s}$$

2. Al condensador de una central eléctrica le entra vapor de agua a $0.01bar$ con $x = 0.95$ y el condensado sale a $0.1bar$ y $45ºC$. El H_2O de refrigeración entra al condensador como una corriente separada a $20ºC$ y sale también como líquido a $35ºC$ sin cambio en la presión. El calor transferido del condensador, ΔE_c y ΔE_p de las corrientes pueden despreciarse. Para un proceso en estado estacionario. Determinar:
   a. La relación de flujos de masa entre el agua de refrigeración y el vapor condensante.
   b. La velocidad de transferencia de energía desde el vapor condensante al H_2O de refrigeración en kJ/kg de vapor que pasa a través del condensador.



DATOS

$P_1 = 0.01bar \rightarrow \dot{m}_1 = ?$

$x = 0.95 \rightarrow \begin{cases} h_{f@0.01bar} = 191.83\, kJ/kg \\ h_{fg} = 2392.8\, kJ/kg \end{cases}$

$h_1 = h_f + x * h_{fg} = 2465\, kJ/kg$

$P_2 = 0.01bar \rightarrow \dot{m}_2 = ?$

$T = 45^{o}C \rightarrow h_{2@45°C} = 188.45\, kJ/kg$

$P_3 = P_4 \rightarrow \dot{m}_3 = ?$

$T_3 = 20^{o}C \rightarrow h_{f@20°C} = 83.96\, kJ/kg$

$P_4 = P_3 \rightarrow \dot{m}_3 = ?$

$T_3 = 35^{o}C \rightarrow h_{f@35°C} = 146.68\, kJ/kg$

Estado estacionario:

Balance de masa

$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 \rightarrow$ fluído caliente

$\dot{m}_3 = \dot{m}_4 \rightarrow$ fluído frío

Balance de energía

$$q - W + \sum E_e - \sum E_s = \overset{0}{\cancel{\Delta E_{VC}}}$$

$$E_\theta = h + \cancel{E_c} + \cancel{E_p}$$

$$\Delta E_\theta = \Delta H$$

$$\sum \dot{m}_e E_e = \sum \dot{m}_s E_s$$

$$\dot{m}_1 h_1 + \dot{m}_3 h_3 = \dot{m}_2 h_2 + \dot{m}_4 h_4$$

$$\dot{m}_1 h_1 + \dot{m}_3 h_3 = \dot{m}_1 h_2 + \dot{m}_3 h_4$$

$$\dot{m}_1 (h_1 - h_2) = \dot{m}_3 (h_4 - h_3)$$

$$\boxed{\frac{\dot{m}_3}{\dot{m}_1} = \frac{h_1 - h_2}{h_4 - h_3}} = \frac{2465 - 188.45}{146.68 - 83.96} = \boxed{36.3\, kJ/kg}$$

$$q - \cancel{W} = \Delta h + \cancel{\Delta E_c} + \cancel{\Delta E_p}$$

$$q = h_2 - h_1$$

$$q = 188.45 - 2465 = -2276.55\, kJ/kg$$