



UNIDAD 4

PRIMER PRINCIPIO PARA SISTEMAS ABIERTOS

Bibliografía: Morán, Michel J. ; Shapiro, Howard N. ;
“Fundamentos de Termodinámica Técnica”

Cengel, Yunus A.; Boles, Michael A.; “Termodinámica”



PRIMER PRINCIPIO PARA SISTEMAS ABIERTOS

4.A. Primer principio de la Termodinámica para sistemas abiertos.

Volumen de control. Balance de masa. Ecuación del primer principio para sistemas abiertos en flujo no estable. Flujo estable o estacionario. Balance de masa y energía para sistemas abiertos en flujo estable. Trabajo de circulación, representación gráfica.

Parte I

4.B. Aplicaciones del primer principio para sistemas abiertos.

Aplicación del primer principio para sistemas abiertos en flujo estable a procesos en una tobera, en una turbina, en un compresor, en un intercambiador de calor, en una caldera, en un tabique poroso o estrangulación, en un fluido por una tubería.

Parte II

4.C. Entalpía. Entalpía propiedad termodinámica, entalpía del gas ideal y no ideal. Algunas propiedades de la entalpía. Comparación entre la energía interna y la entalpía.

4.D Transformaciones o Procesos.

LO VEREMOS EN LA PRÓXIMA SEMANA



PRIMER PRINCIPIO PARA SISTEMAS ABIERTOS

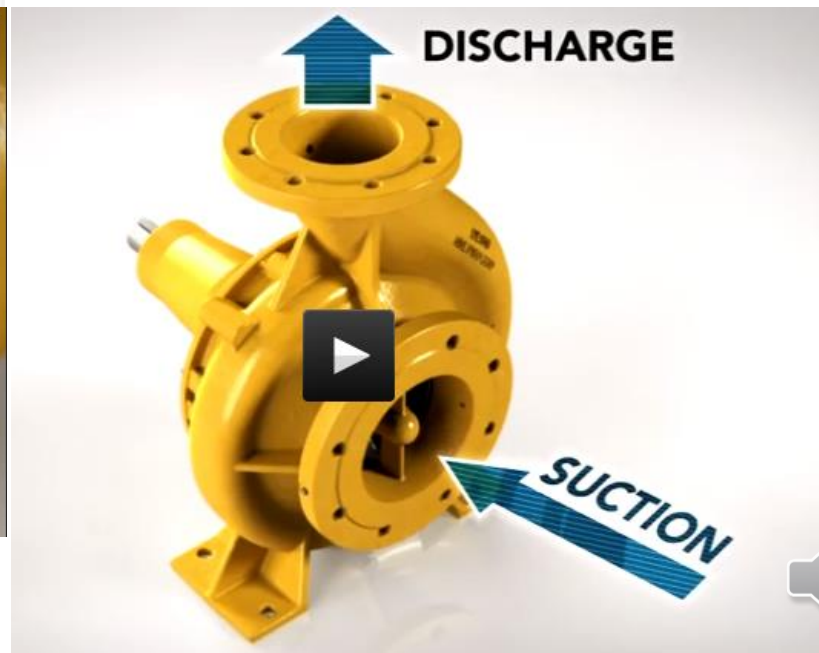
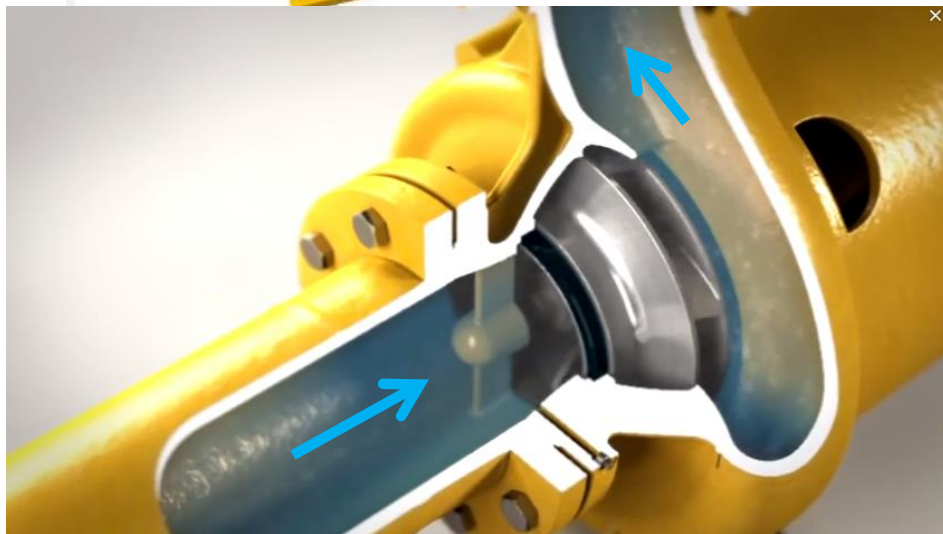
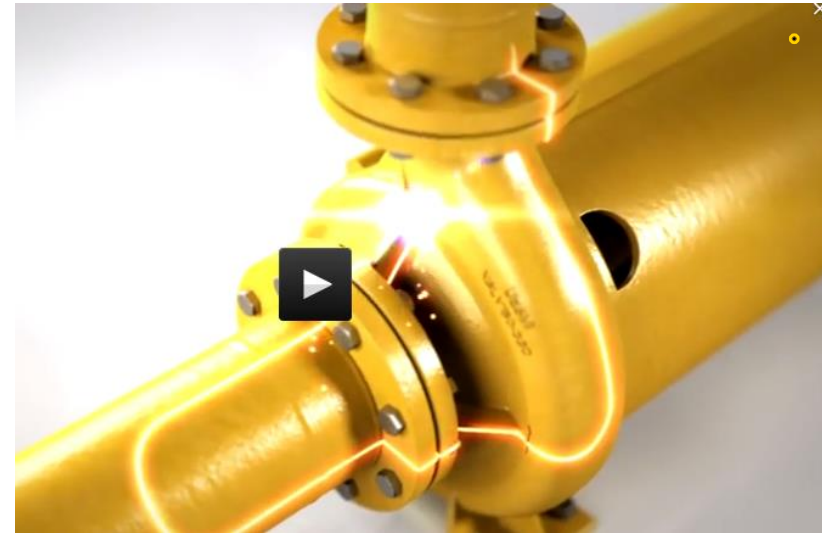
**Sistema abierto o
VOLUMEN DE
CONTROL**

**Intercambia
con el medio** $\left\{ \begin{array}{l} \checkmark \text{ Masa} \\ \checkmark \text{ Energía} \end{array} \right.$

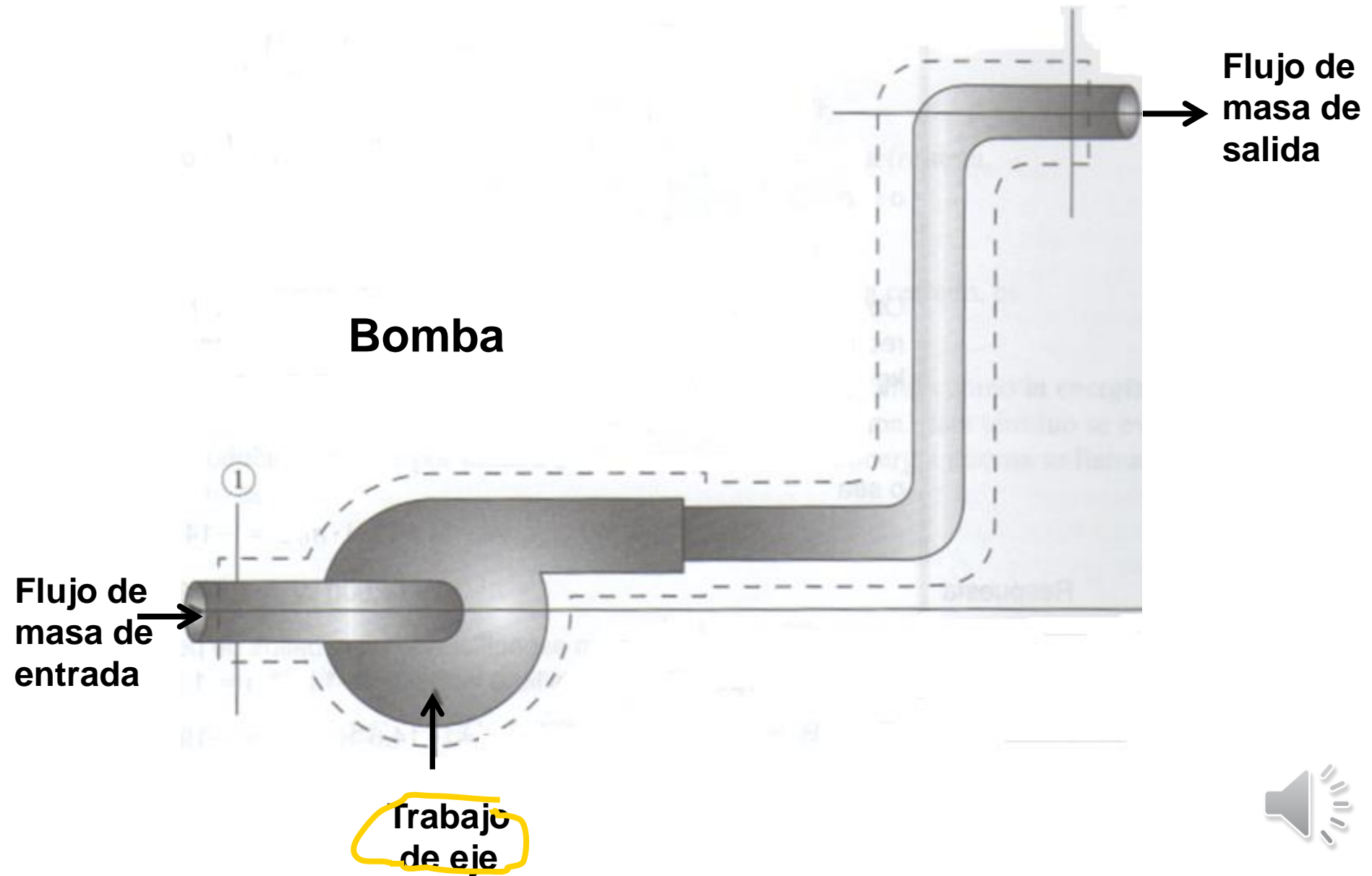


Bomba

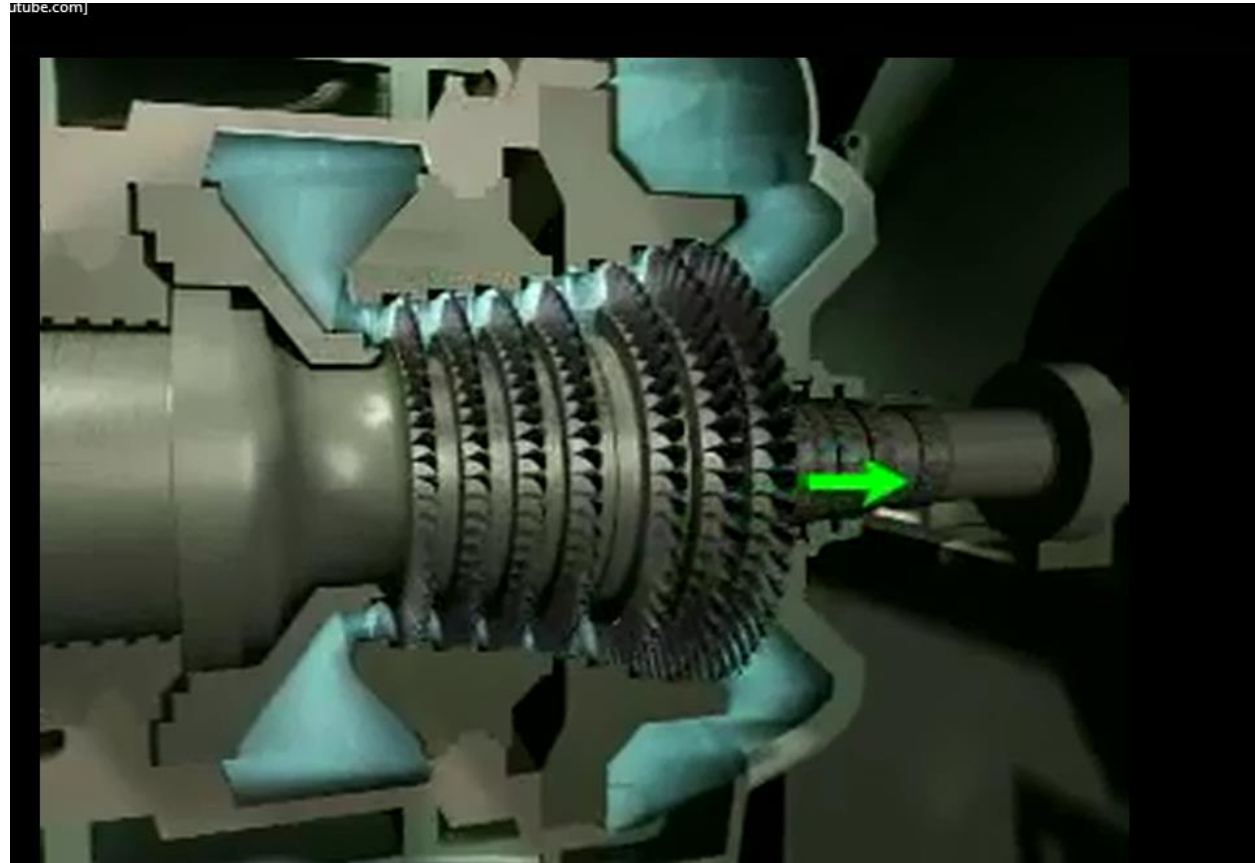
Bomba centrífuga / autocebante / para agua de mar / c
NSLH



EJEMPLOS:

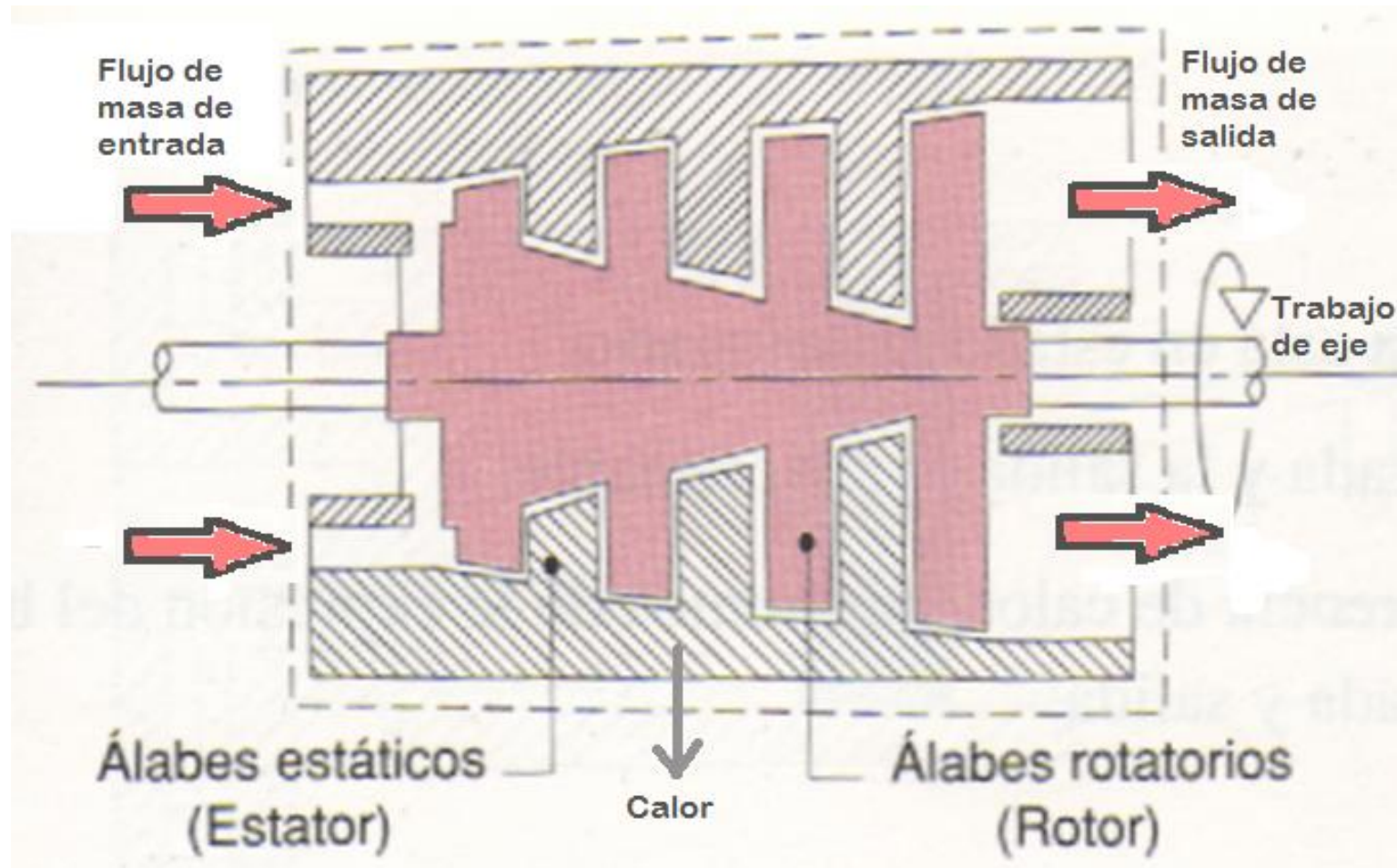


Turbina

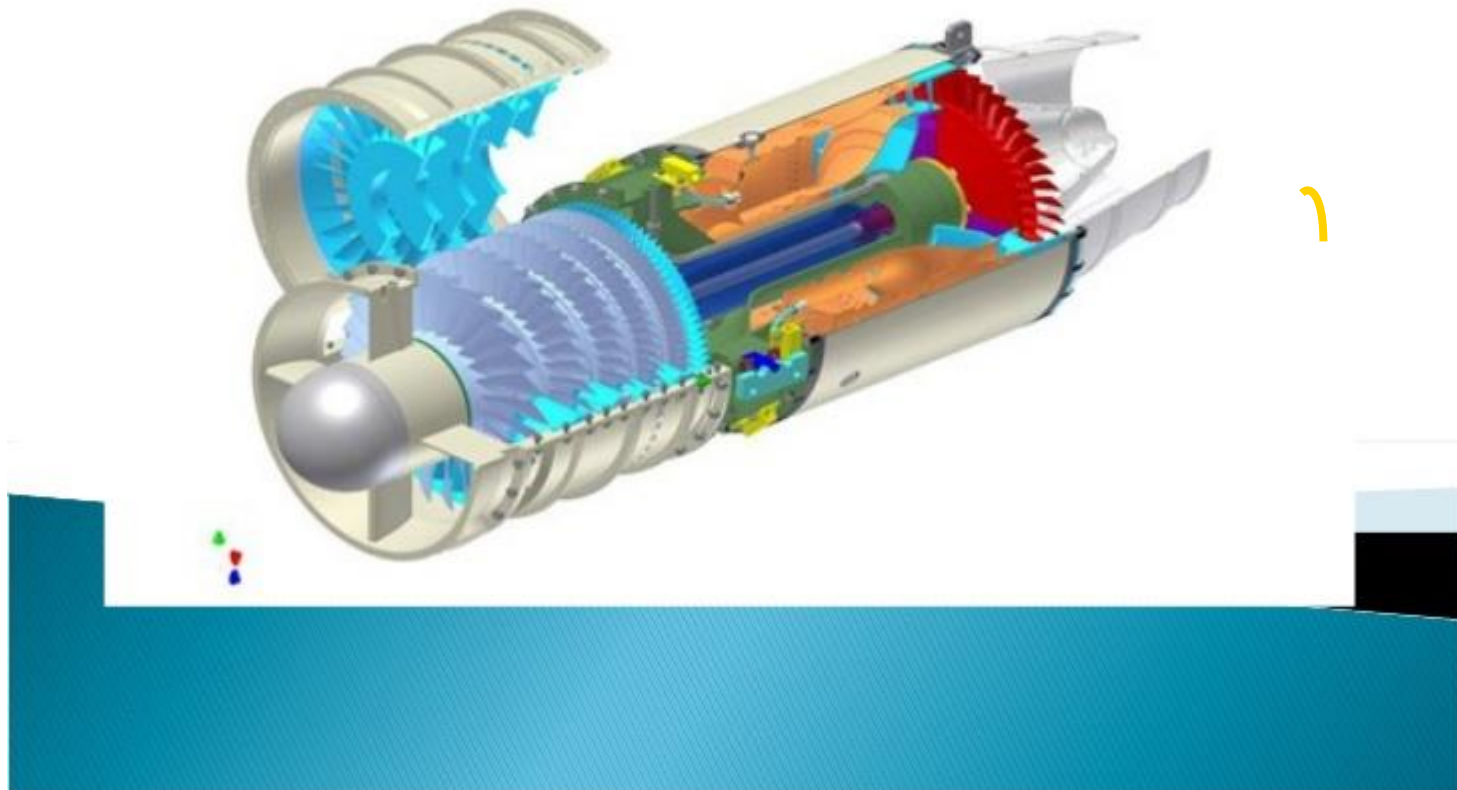


EJEMPLOS:

Turbina de flujo axial

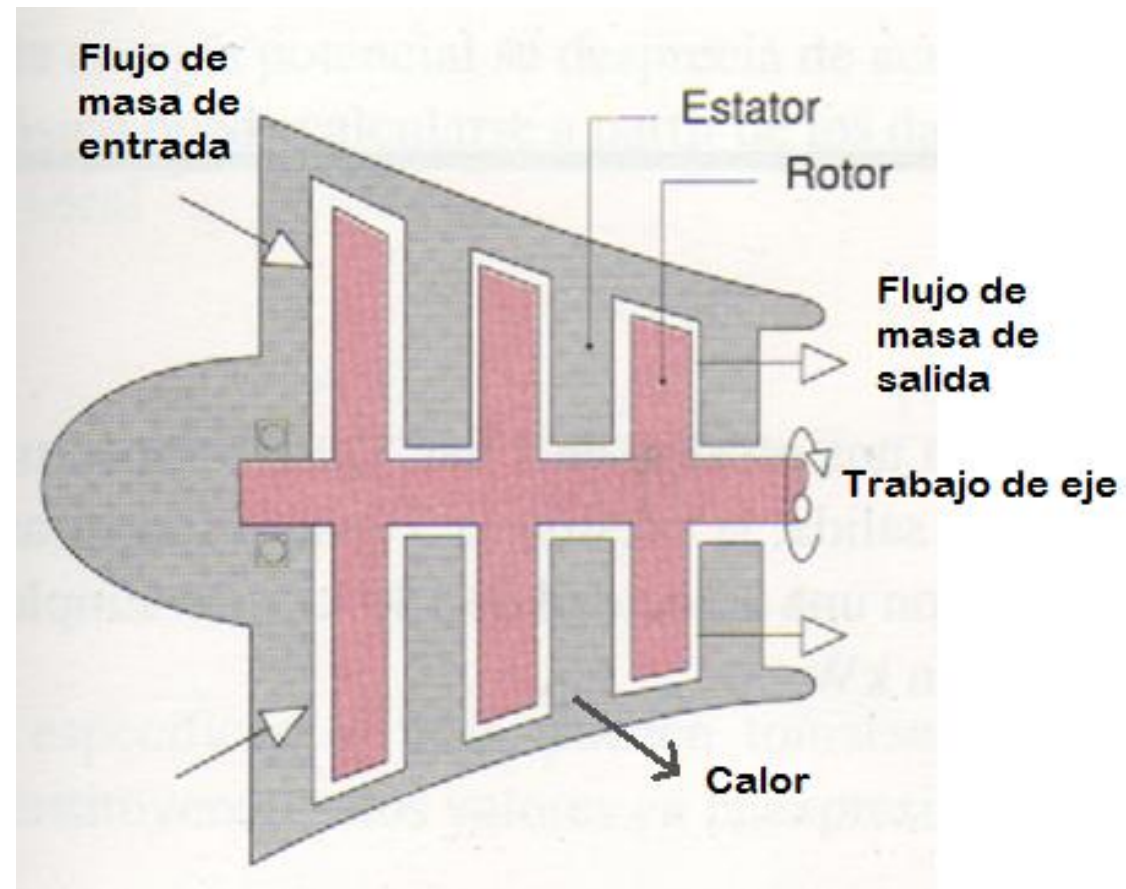


Compresor axial

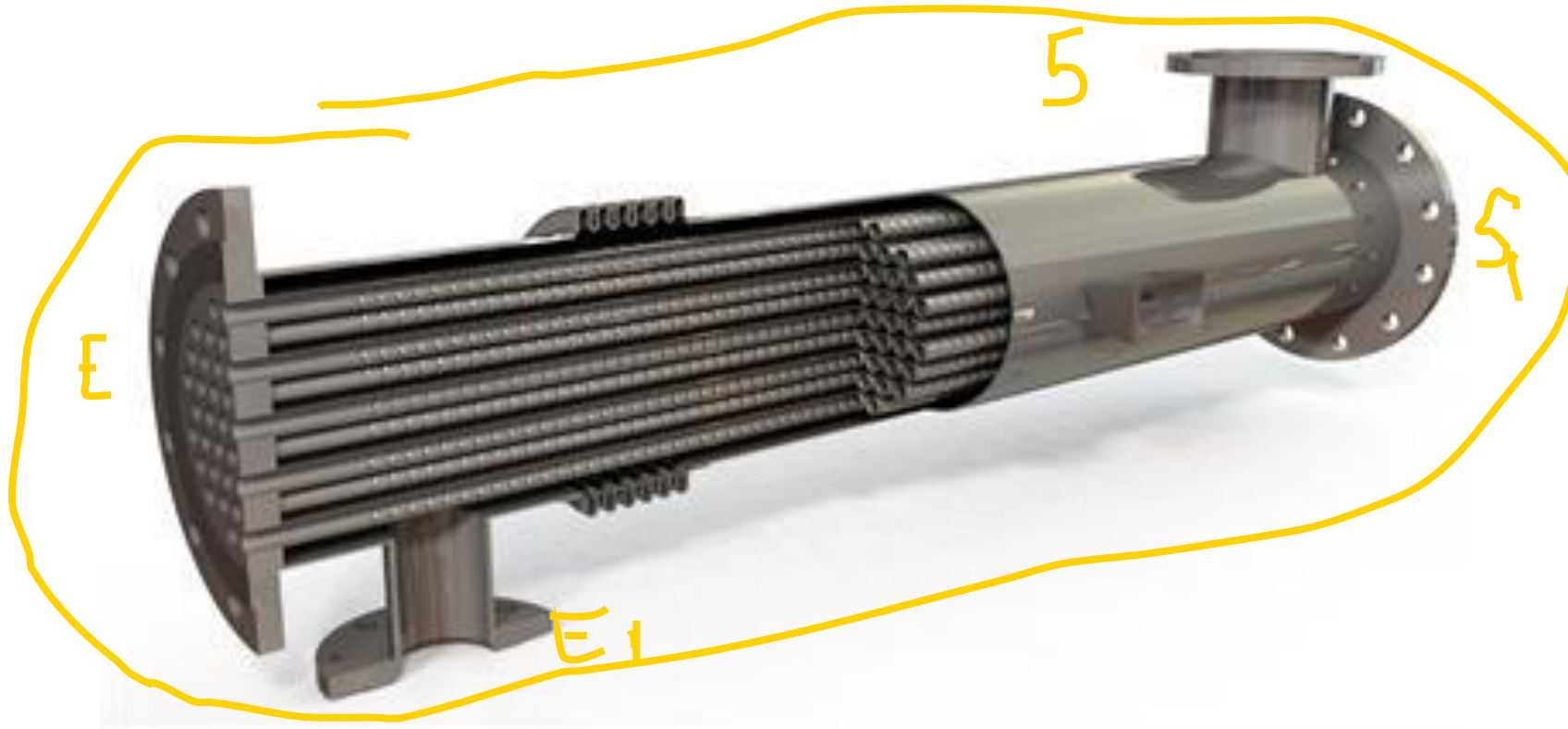


EJEMPLOS:

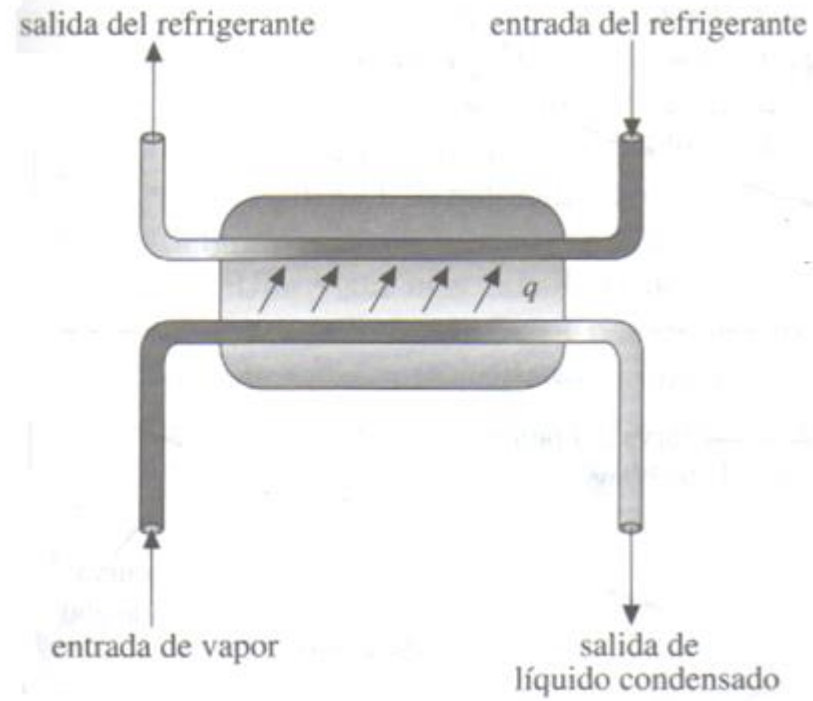
Compresor rotativo de flujo axial



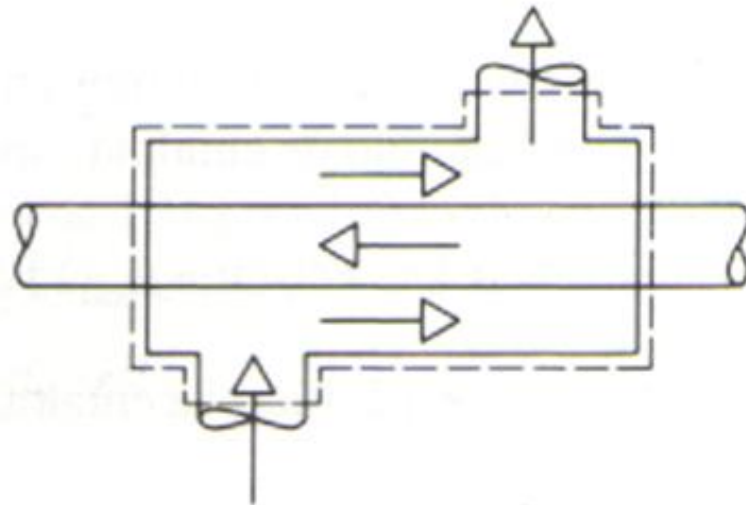
Intercambiador de calor



EJEMPLOS:



Condensador



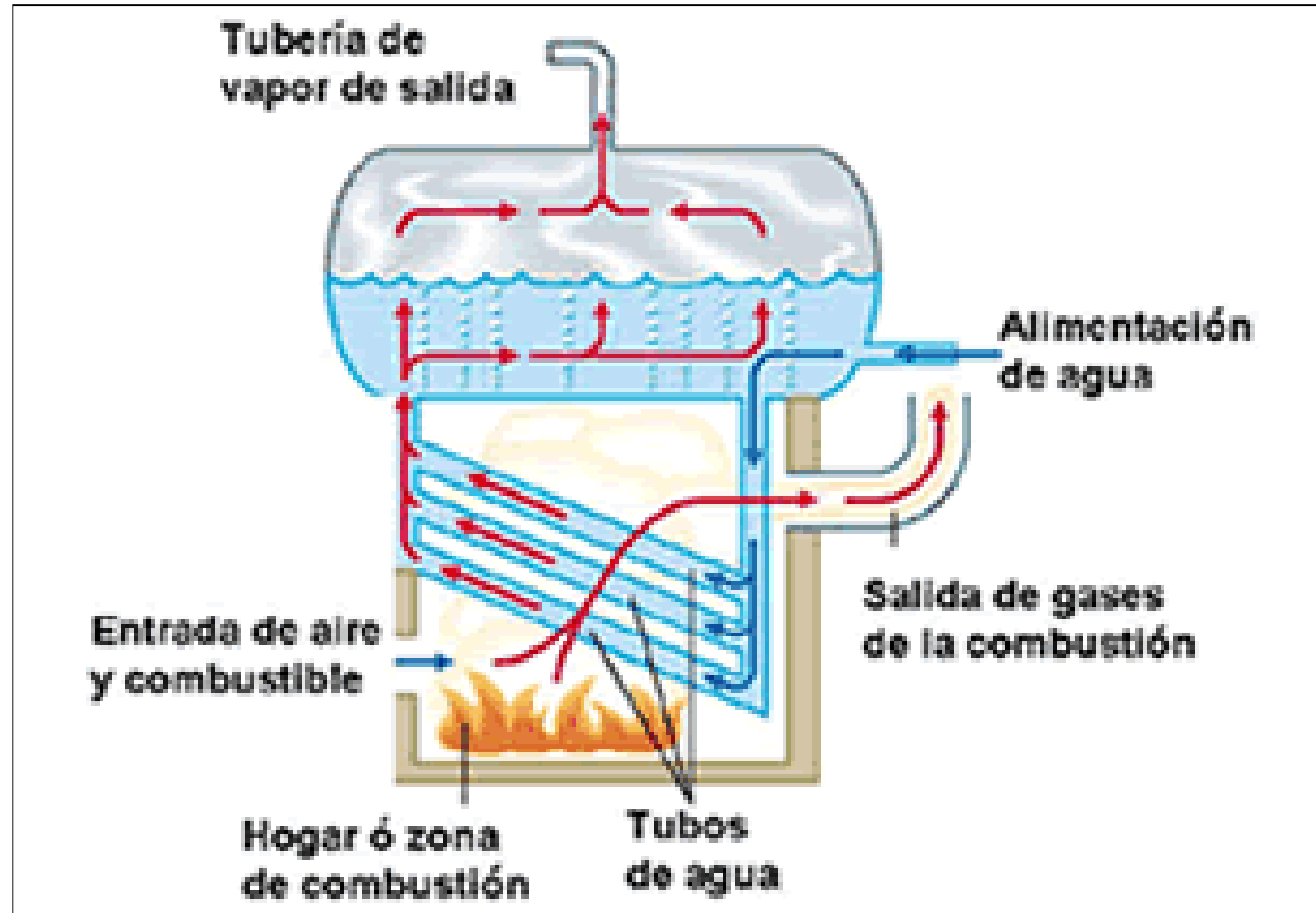
Intercambiador de calor



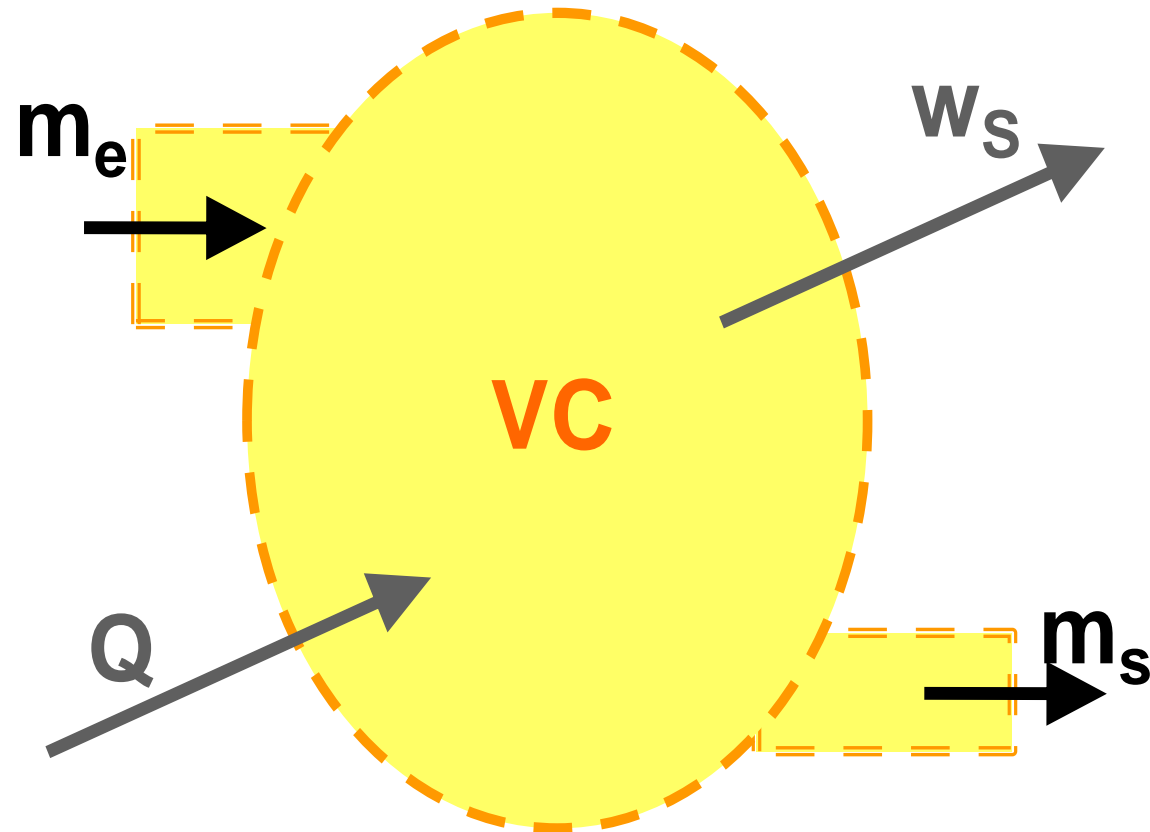
Caldera



Caldera



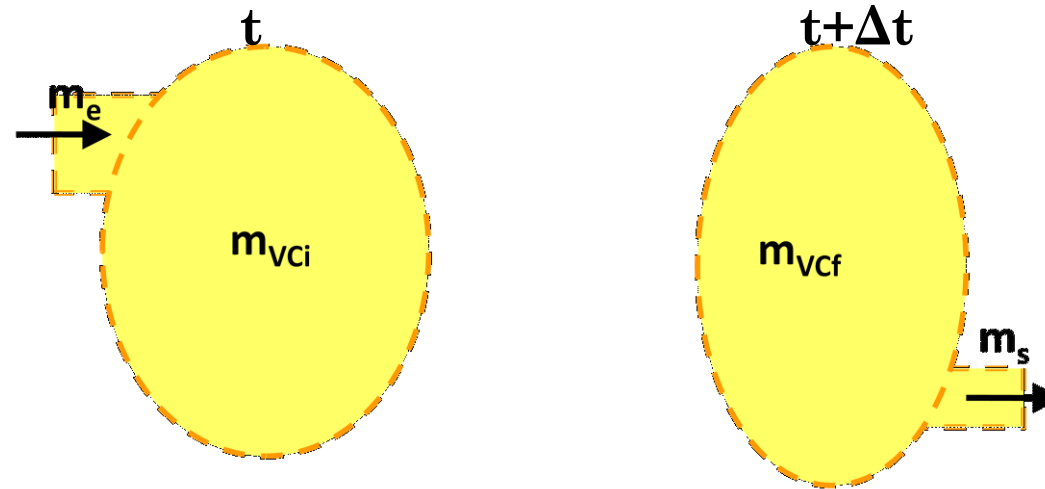
ESQUEMA DE UN SISTEMA ABIERTO O VOLUMEN DE CONTROL



BALANCE DE MASA EN UN VOLUMEN DE CONTROL



BALANCE DE MASA EN UN VOLUMEN DE CONTROL



(Puede cambiar la “forma”, pero la masa es constante)

Se toma un sistema de masa fija “m” en 2 instantes: t y t+Δt .

$$m = m_{VC}(t) + m_e = m_{VC}(t+\Delta t) + m_s$$

(se incluye la zona de entrada en “t” y la de salida en “t+Δt”)

de modo que se cumple que:

$$m_e + m_{VCi} = m_s + m_{VCf}$$

$$m_{VCf} - m_{VCi} = m_e - m_s$$

$$\Delta m_{VC} = m_e - m_s$$



Si en el VC hay varias zonas en las que entra o sale masa:

$$\Delta m_{VC} = \sum m_e - \sum m_s \quad \left. \vphantom{\sum m_e} \right\} \text{BALANCE DE MASA}$$

Siendo Δm_{VC} el cambio de masa contenida en un volumen de control con varias entradas y salidas a lo largo de un intervalo de tiempo

BALANCE DE MASA DEL VC REFERIDO A LA UNIDAD DE TIEMPO:

$$\frac{dm_{VC}}{dt} = \sum_e \dot{m}_e - \sum_s \dot{m}_s$$

Que se expresa como:

Velocidad de
cambio de la masa
contenida en el VC

=

Flujo másico
total que entra
al VC

-

Flujo másico
total que sale
del VC



FLUJO MÁSICO Y FLUJO VOLUMÉTRICO

\dot{m} { FLUJO MÁSICO → Cantidad de masa que circula atravesando perpendicularmente por una superficie dada, en la unidad de tiempo.

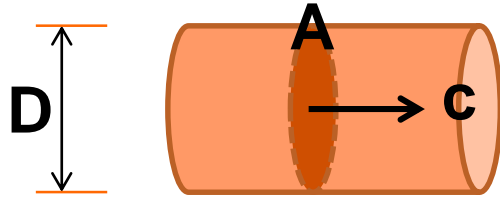
\dot{V} { FLUJO VOLUMÉTRICO → Volumen de un fluido que circula atravesando perpendicularmente por una superficie dada, en la unidad de tiempo.

Si δ : densidad, sabemos que $\delta = m/V = 1/v \rightarrow m=V/v$

De igual modo,

$$\dot{m} = \dot{V} / v$$

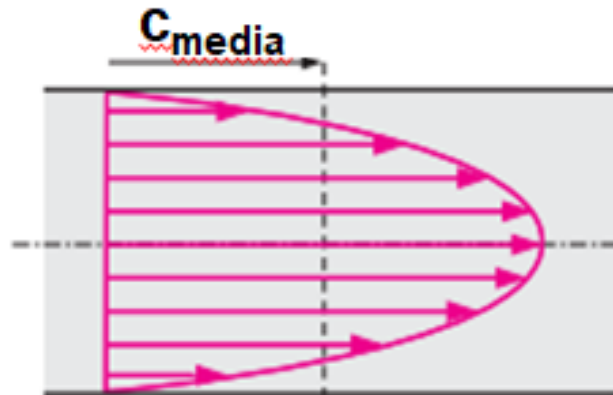
FLUJO MÁSICO EN UNA TUBERÍA



Si un fluido circula por un ducto de sección transversal A , con una velocidad media “ c ”, y su volumen específico “ v ” es uniforme en toda la sección, resulta:

$$\dot{m} = \dot{V} / v = A c / v$$

- Si se trata de una tubería circular $A = \pi D^2 / 4$ siendo D : diámetro del tubo.
- Si la velocidad “ c ” es perpendicular a la sección “ A ”, el flujo se denomina **UNIDIMENSIONAL**.



Dentro de las tuberías la velocidad no es uniforme, debido a que el fluido se adhiere a la pared. Por eso “ c ” representa la velocidad media.

BALANCE DE ENERGÍA EN UN VOLUMEN DE CONTROL

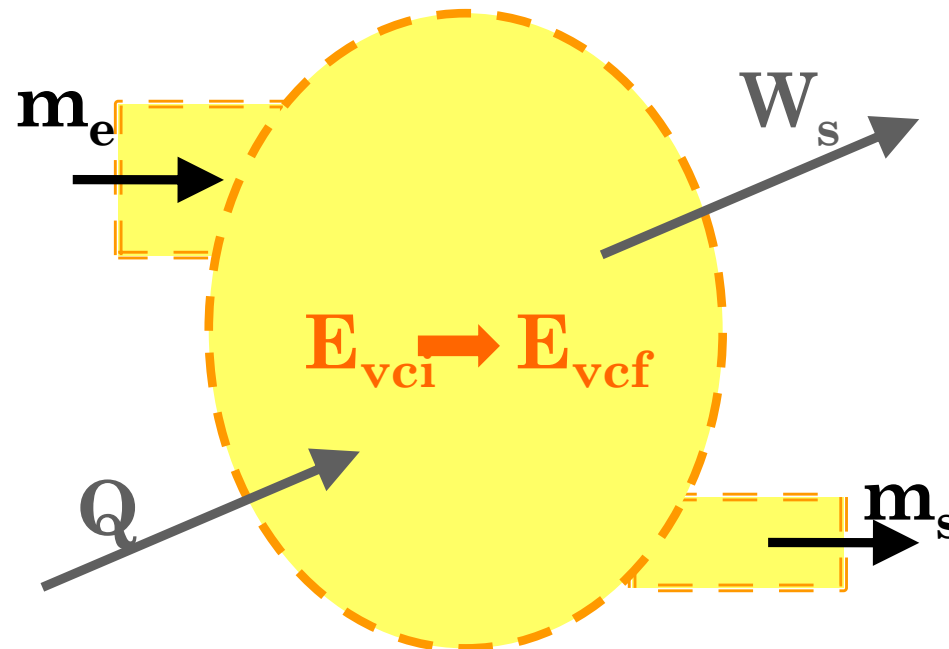


BALANCE DE ENERGÍA EN UN VOLUMEN DE CONTROL

Sistema
abierto o
VOLUMEN DE
CONTROL

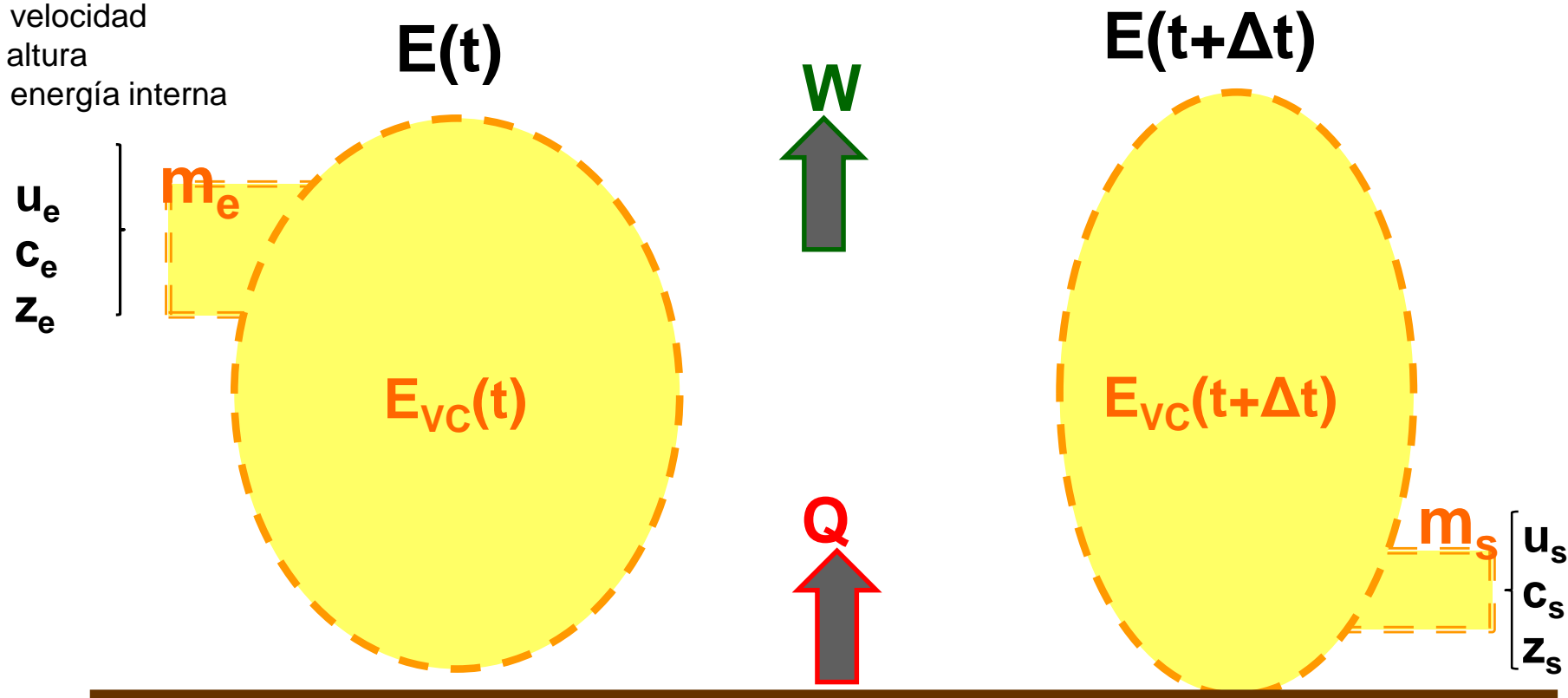
Intercambia
energía
con el medio

- como Calor
- como Trabajo
- con las Masas de Entrada y salida



BALANCE DE ENERGÍA EN UN VOLUMEN DE CONTROL

C: velocidad
Z: altura
U: energía interna



Se toma un sistema de masa fija en 2 instantes: t y $t + \Delta t$.

Se incluye la zona de entrada en “ t ” y la de salida en “ $t + \Delta t$ ”, de modo que se cumple que (1° Ppio Sistemas cerrados o de masa fija):

$$E(t + \Delta t) - E(t) = Q - W$$

$$E(t) = E_{VC}(t) + m_e(u_e + \frac{1}{2} c_e^2 + g z_e)$$

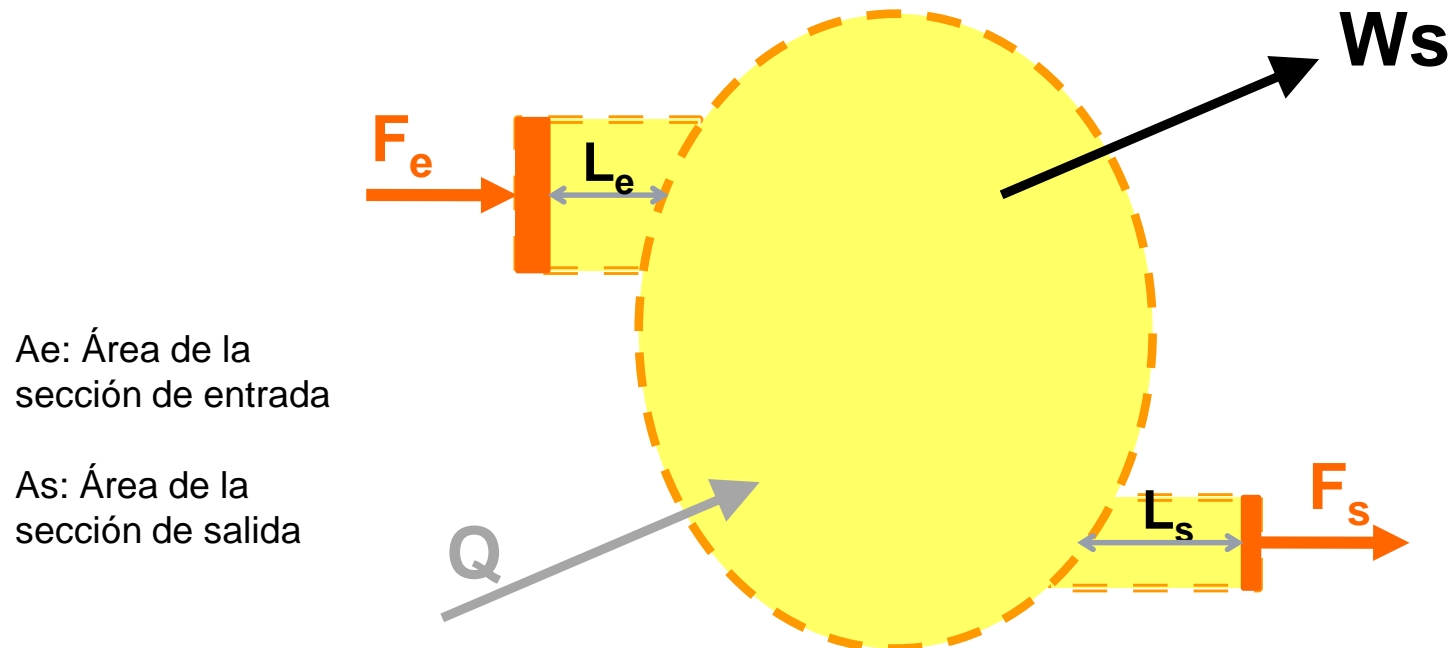
$$E(t + \Delta t) = E_{VC}(t + \Delta t) + m_s(u_s + \frac{1}{2} c_s^2 + g z_s)$$



BALANCE DE ENERGÍA EN UN VOLUMEN DE CONTROL

W está compuesto por:

- El que realiza el medio para ingresar m_e
- El que recibe el medio cuando sale m_s
- El que sale del sistema como un eje que gira y por desplazam. de los límites: W_s



$$W = F_s L_s + W_s - F_e L_e = P_s A_s L_s + W_s - P_e A_e L_e =$$

$$W = P_s V_s + W_s - P_e V_e$$

$$W = P_s m_s v_s + W_s - P_e m_e v_e$$



BALANCE DE ENERGÍA EN UN VOLUMEN DE CONTROL

$$E(t+\Delta t) - E(t) = Q - W$$

$$E(t) = E_{VC}(t) + m_e(u_e + \frac{1}{2} c_e^2 + g z_e)$$

$$E(t+\Delta t) = E_{VC}(t+\Delta t) + m_s(u_s + \frac{1}{2} c_s^2 + g z_s)$$

$$W = P_s m_s v_s + W_s - P_e m_e v_e$$

$$E_{VC}(t+\Delta t) + m_s(u_s + \frac{1}{2} c_s^2 + g z_s) - [E_{VC}(t) + m_e(u_e + \frac{1}{2} c_e^2 + g z_e)] = \\ = Q - W_s + P_e m_e v_e - P_s m_s v_s$$

$$[E_{VC}(t+\Delta t) - E_{VC}(t)] + m_s \left(\overset{h_s : \text{entalpía de salida}}{u_s + P_s v_s} + \frac{1}{2} c_s^2 + g z_s \right) - \\ - m_e \left(\overset{h_e : \text{entalpía de entrada}}{u_e + P_e v_e} + \frac{1}{2} c_e^2 + g z_e \right) = Q - W_s$$

$$E = U + E_c + E_p + E_e + E_m + E_s ; \text{ Si VC es sc y está en reposo } \Rightarrow E_{VC} = U_{VC}$$

$$U_{VC}(t+\Delta t) - U_{VC}(t) = \Delta U_{VC}$$

$$\Delta U_{VC} + m_s \left(\overset{h_s}{u_s + P_s v_s} + \frac{1}{2} c_s^2 + g z_s \right) - m_e \left(\overset{h_e}{u_e + P_e v_e} + \frac{1}{2} c_e^2 + g z_e \right) = Q - W_s$$

BALANCE DE ENERGÍA EN UN VOLUMEN DE CONTROL

Expresión del 1° Principio para sistemas abiertos:

$$\Delta U_{vc} + m_s(h_s + \frac{1}{2} c_s^2 + g z_s) - m_e(h_e + \frac{1}{2} c_e^2 + g z_e) = Q - W_s$$

Dividiendo por Δt y tomando límite para $\Delta t \rightarrow 0$

$$\frac{dU}{dt}_{vc} + \dot{m}_s(h_s + \frac{1}{2} c_s^2 + g z_s) - \dot{m}_e(h_e + \frac{1}{2} c_e^2 + g z_e) = \dot{Q} - \dot{W}_s$$

\downarrow \downarrow \swarrow \swarrow

dm_s/dt dm_e/dt dQ/dt dW_s/dt

VOLUMEN DE CONTROL EN ESTADO ESTACIONARIO:

ESTADO ESTACIONARIO

$$\left\{ \begin{array}{l} \dot{m}_e = \dot{m}_s = \dot{m} \\ \text{Propiedades VC constantes con el tiempo} \\ \dot{Q} \text{ y } \dot{W}_s \text{ Constantes con el tiempo} \end{array} \right.$$

Luego: $\dot{m}_e = \dot{m}_s = \dot{m}$ y $(dU/dt)_{vc} = 0$

Expresión del balance de masa para sistemas abiertos en estado estacionario:

$$\Delta \dot{m}_{vc} = \dot{m}_e - \dot{m}_s = 0$$

Expresión del 1° Principio para sistemas abiertos en estado estacionario:

$$\dot{m} \left[(h_s - h_e) + \frac{1}{2} (c_s^2 - c_e^2) + g (z_s - z_e) \right] = \dot{Q} - \dot{W}_s$$

Sólo por un eje que gira



TRABAJO DE CIRCULACIÓN W_c

Es el que intercambian con el medio los equipos por los que circula masa (Sistemas abiertos), como turbinas, bombas y compresores.

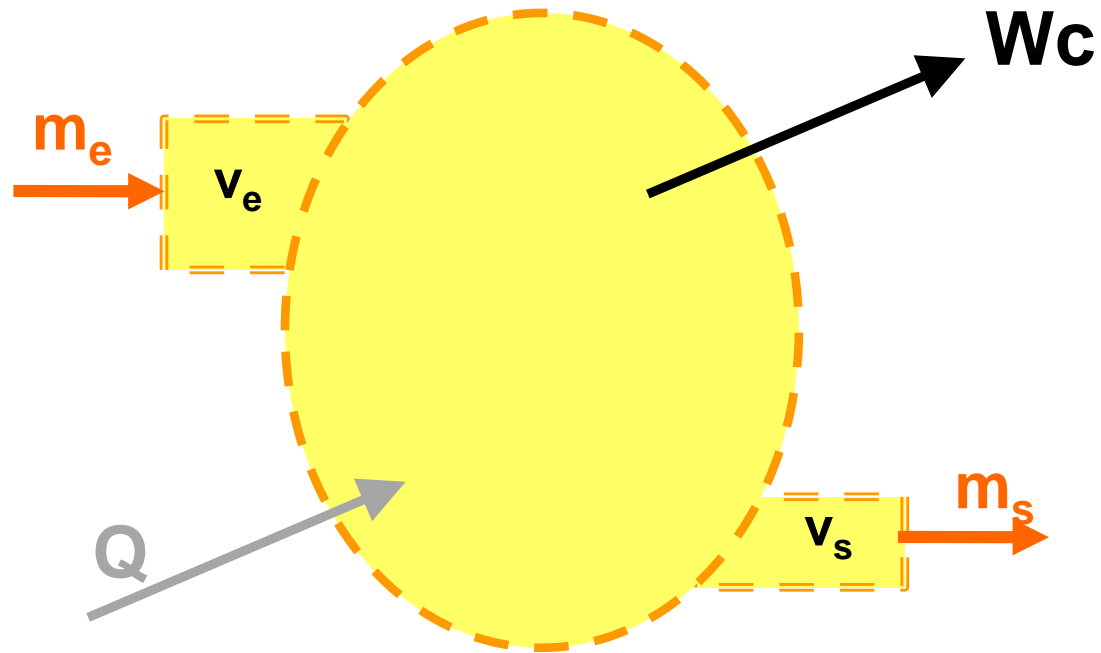
Si son equipos rotativos, en estado estacionario, el trabajo se intercambia a través de un eje que gira (W_c)

W está compuesto por:

- El que realiza el medio para ingresar m_e
- El que recibe el medio cuando sale m_s
- El que sale del sistema como un eje que gira : W_s ó W_c



TRABAJO DE CIRCULACIÓN



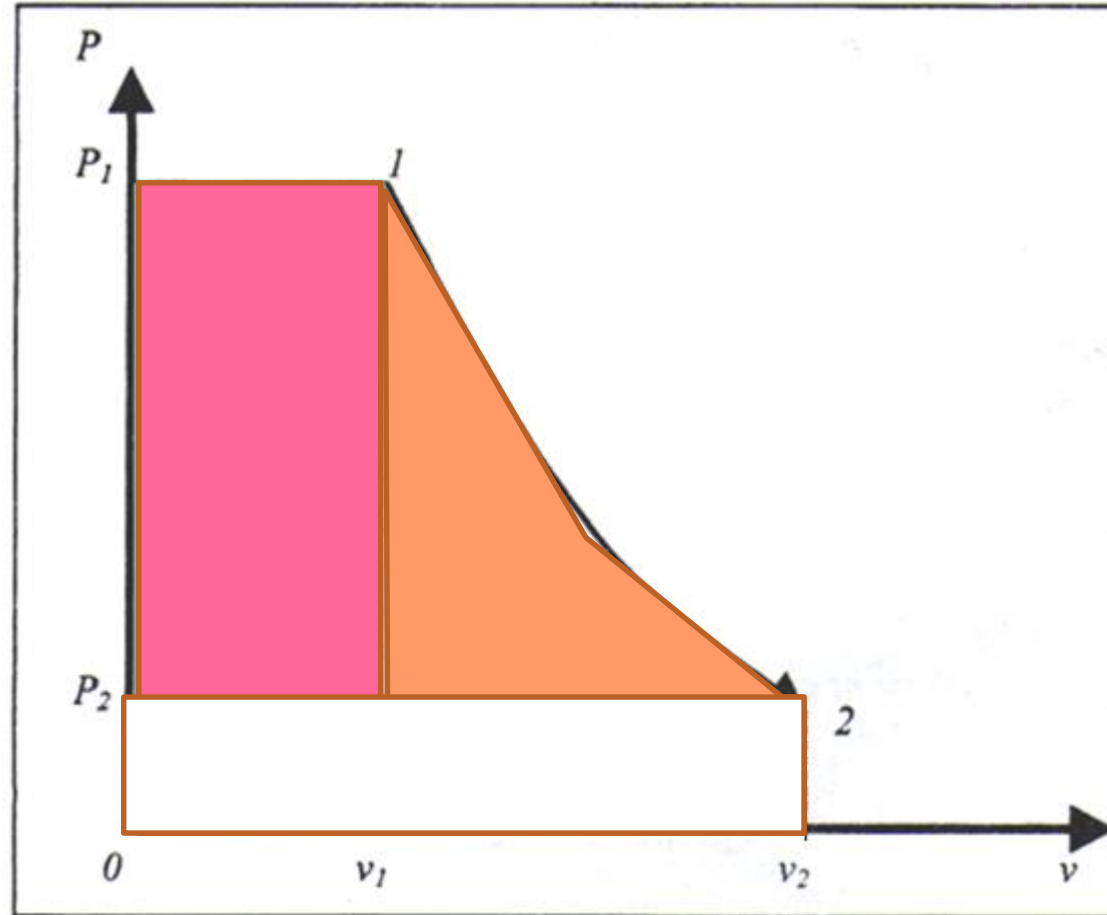
$$W = P_s m_s v_s + W_c - P_e m_e v_e$$

O sea:
$$W = P_2 V_2 + W_c - P_1 V_1$$

$$W_c = \int P dV + P_1 V_1 - P_2 V_2$$



TRABAJO DE CIRCULACIÓN



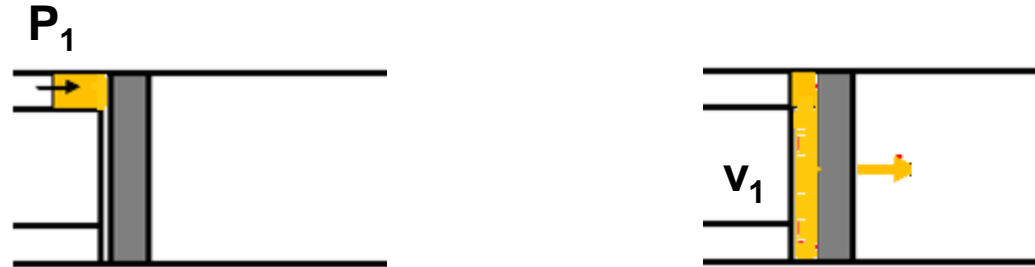
$$W_c = \int P \, dv + P_1 V_1 - P_2 V_2 =$$
$$\text{Area } P_1, 1, 2, P_2 = - \int V \, dP$$

$$W_c = - \int V \, dP$$

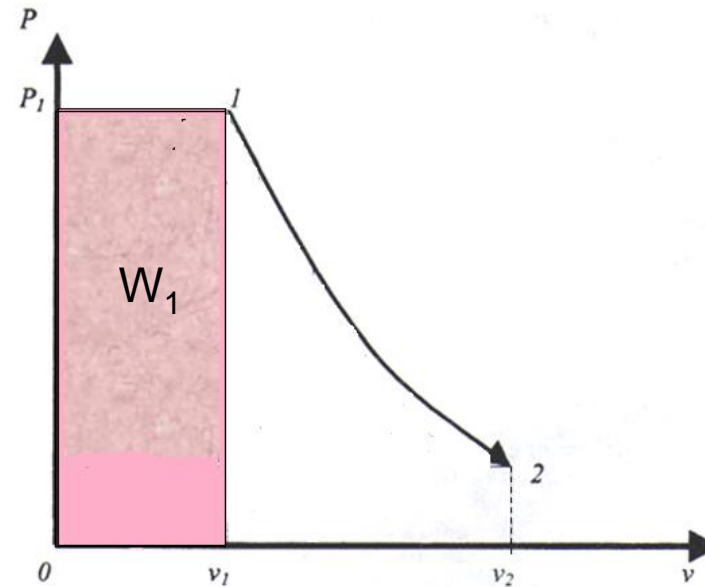


TRABAJO DE CIRCULACIÓN

1 -Ingreso de la unidad de masa del fluido al VC

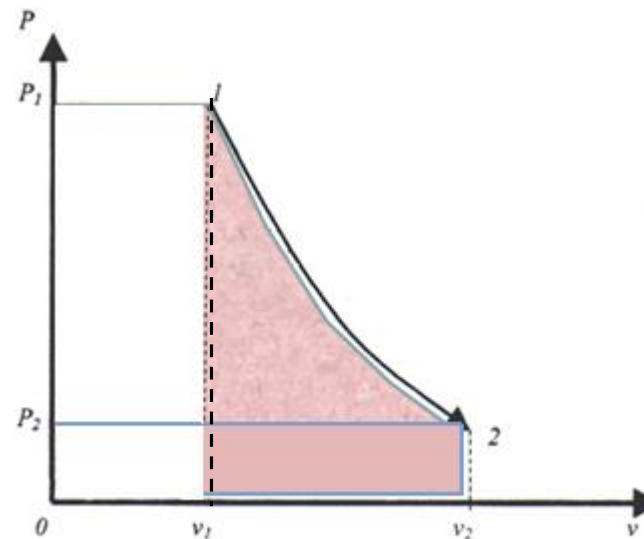
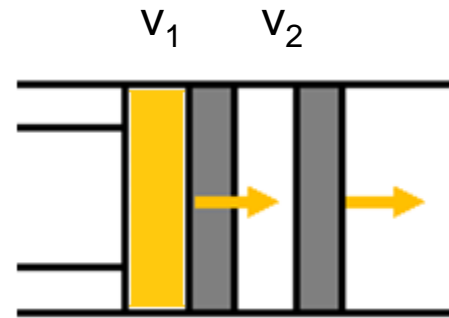


$$W_1 = \int_{v=0}^{v=v_1} P_1 dv = P_1 v_1$$



TRABAJO DE CIRCULACIÓN

2 –Expansión en el VC

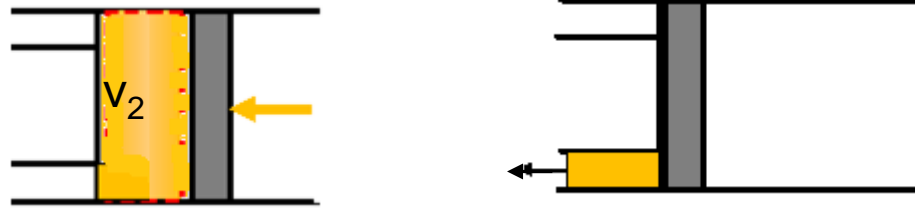


$$W_2 = \int_{v=v_1}^{v=v_2} P dv$$



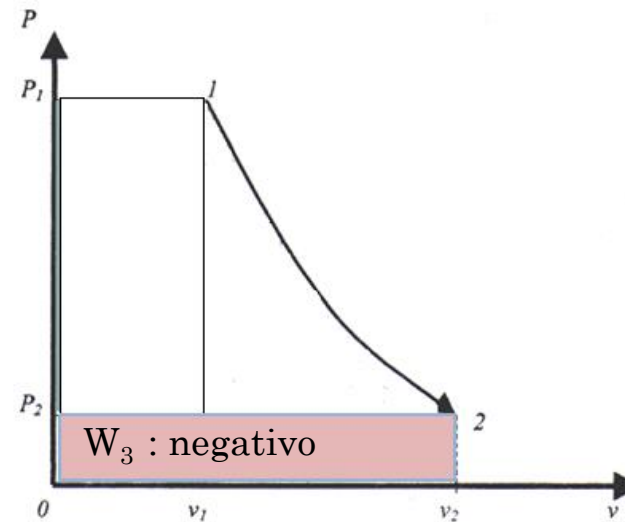
TRABAJO DE CIRCULACIÓN

1 -Egreso de la unidad de masa del fluido del VC

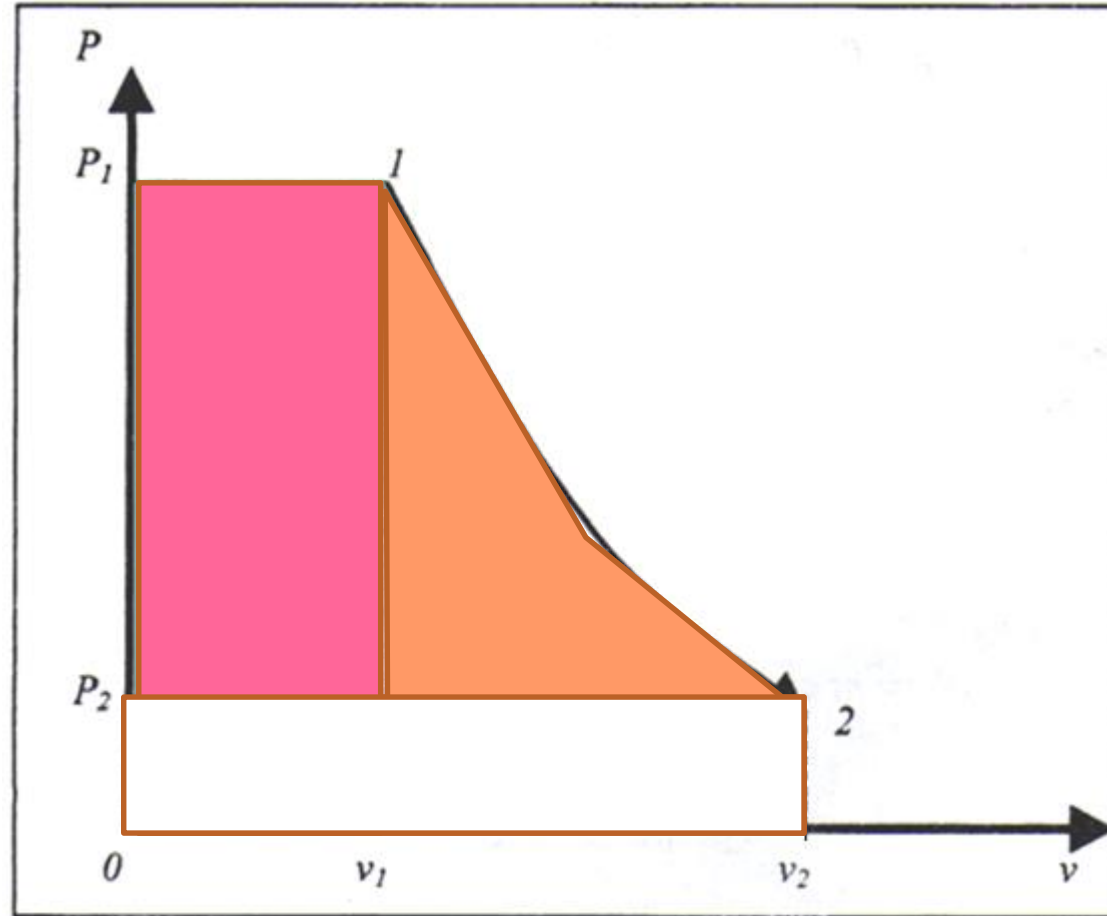


P_2

$$W_3 = \int_{v=v_2}^{v=0} P_2 dv = -P_2 v_2$$



TRABAJO DE CIRCULACIÓN



$$W_c = W_1 + W_2 + W_3 = P_1 v_1 + \int P dv - P_2 v_2 =$$
$$\text{Area } P_1, 1, 2, P_2 = - \int v dP$$

$$W_c = - \int v dP$$

(kJ/kg)



FIN PARTE I

