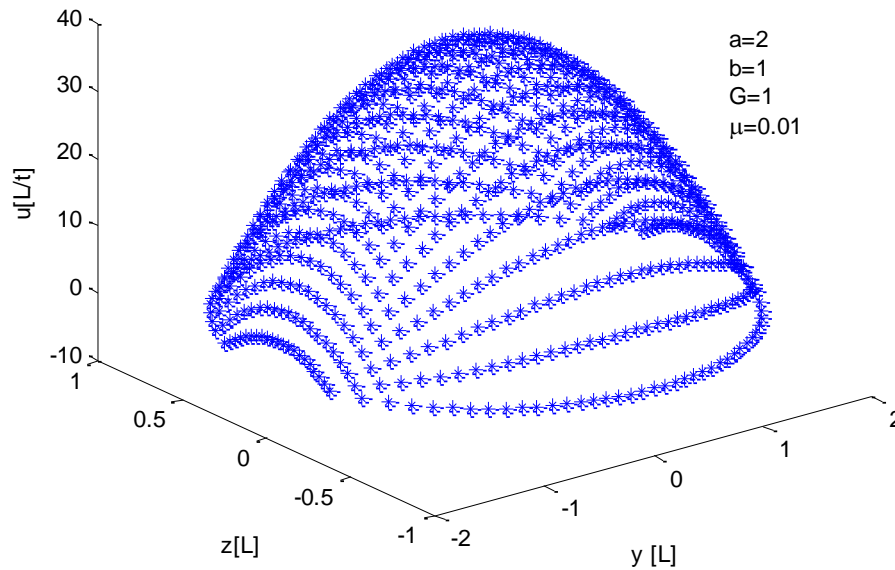


1era ley para sistemas abiertos (volúmenes de control)

Termodinámica I
Juan E. Tibaquirá

Flujo de masa y caudal

- $\dot{m} = \rho VA$
- $\dot{V} = VA$
- V es la velocidad promedio en el ducto. Recordemos que la velocidad en el ducto es función del área.



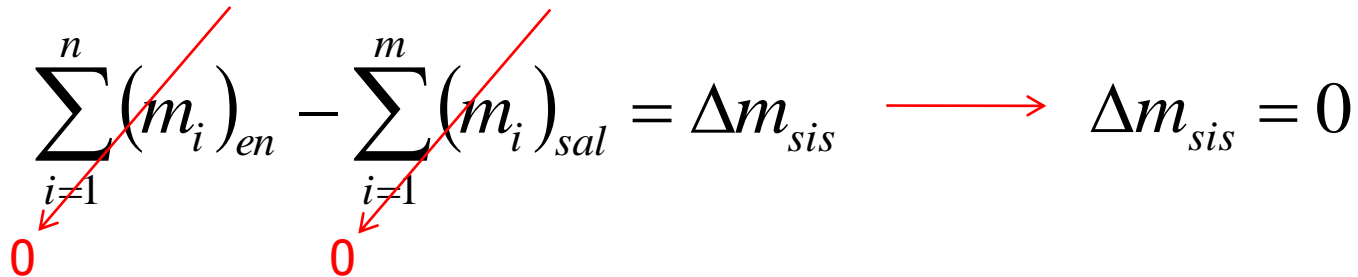
Ecuación de conservación de masa

Sistema abierto o volumen de control:

$$\sum_{i=1}^n (m_i)_{en} - \sum_{i=1}^m (m_i)_{sal} = \Delta m_{sis}$$

$$\sum_{i=1}^n \left(\dot{m}_i \right)_{en} - \sum_{i=1}^m \left(\dot{m}_i \right)_{sal} = \frac{dm_{vc}}{dt}$$

Sistema cerrado:

$$\sum_{i=1}^n (m_i)_{en} - \sum_{i=1}^m (m_i)_{sal} = \Delta m_{sis} \longrightarrow \Delta m_{sis} = 0$$


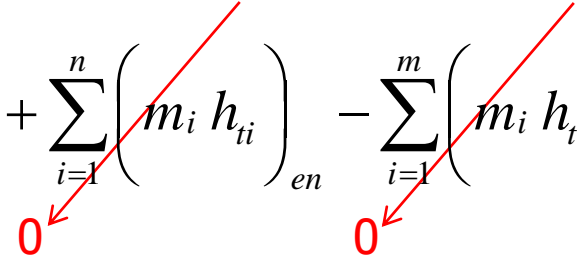
Ecuación de energía

Sistemas abiertos o volúmenes de control:

$$Q_{vc} - W_{vc} + \sum_{i=1}^n \left(m_i h_{ti} \right)_{en} - \sum_{i=1}^n \left(m_i h_{ti} \right)_{sal} = \Delta E_{vc}$$

$$\dot{Q}_{vc} - \dot{W}_{vc} + \sum_{i=1}^n \left(\dot{m}_i h_{ti} \right)_{en} - \sum_{i=1}^n \left(\dot{m}_i h_{ti} \right)_{sal} = \frac{dE_{vc}}{dt}$$

Sistema cerrado:

$$Q_{sis} - W_{sis} + \sum_{i=1}^n \left(m_i h_{ti} \right)_{en} - \sum_{i=1}^m \left(m_i h_{ti} \right)_{sal} = \Delta E_{sis}$$


$$Q_{1-2sis} - W_{1-2sis} = E_2 - E_1$$

Proceso de estado estable flujo estable (PEEFE)

- Ninguna propiedad termodinámica cambia con respecto al tiempo dentro del volumen de control ($W_b=0$). Las propiedades pueden cambiar de un punto a otro en el VC, pero en un punto dado permanecen constantes con el tiempo.
- Ninguna propiedad termodinámica cambia con respecto al tiempo en las entradas o salidas de la superficie de control. Aunque estas propiedades pueden ser distintas entre una entrada y una salida.
- Interacciones de flujo de calor (\dot{Q}) y potencia (\dot{W}) con los alrededores también permanecen constantes con el tiempo.

Ecuación de conservación de masa

Sistema abierto (volumen de control) - PEEFE:

$$\sum_{i=1}^n \left(\dot{m}_i \right)_{en} - \sum_{i=1}^m \left(\dot{m}_i \right)_{sal} = \frac{dm_{vc}}{dt} \longrightarrow \sum_{i=1}^n \left(\overset{\circ}{m}_i \right)_{en} - \sum_{i=1}^n \left(\overset{\circ}{m}_i \right)_{sal} = 0$$

PEEFE de una sola entrada y una sola salida:

$$\overset{\circ}{m}_1 = \overset{\circ}{m}_2$$

Ecuación de energía para un PEEFE

Sistema abierto (volumen de control) - PEEFE:

$$\dot{Q}_{vc} - \dot{W}_{vc} + \sum_{i=1}^n \left(\dot{m}_i h_{ti} \right)_{en} - \sum_{i=1}^n \left(\dot{m}_i h_{ti} \right)_{sal} = \frac{dE_{vc}}{dt}$$

0

$$\dot{Q}_{vc} - \dot{W}_{vc} = \sum_{i=1}^n \left(\dot{m}_i h_{ti} \right)_{sal} - \sum_{i=1}^n \left(\dot{m}_i h_{ti} \right)_{en}$$

Recordando que: $h_t = h + \frac{V^2}{2} + gz$

$$\dot{Q}_{vc} - \dot{W}_{vc} = \sum_{i=1}^n \left(\dot{m}_i \cdot \left(h + \frac{V^2}{2} + gz \right) \right)_{sal} - \sum_{i=1}^n \left(\dot{m}_i \cdot \left(h + \frac{V^2}{2} + gz \right) \right)_{en}$$

Ecuación de energía para un PEEFE

$$\dot{Q}_{vc} - \dot{W}_{vc} = \sum_{i=1}^n \left(\dot{m}_i \cdot \left(h + \frac{V^2}{2} + gz \right) \right)_{sal} - \sum_{i=1}^n \left(\dot{m}_i \cdot \left(h + \frac{V^2}{2} + gz \right) \right)_{en}$$

Para un PEEFE de una sola entrada y una sola salida:

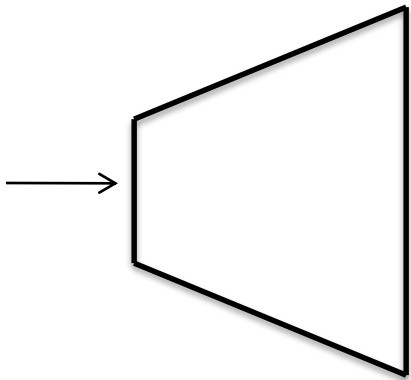
$$\dot{Q}_{vc} - \dot{W}_{vc} = \dot{m} \cdot \left(h_2 - h_1 + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2} + g \cdot (z_2 - z_1) \right)$$

$$\dot{Q}_{vc} - \dot{W}_{vc} = \dot{m} (\Delta h + \Delta ec + \Delta ep) \quad [kJ / s]$$

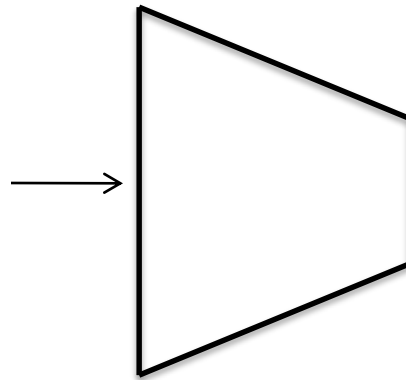
$$q_{vc} - w_{vc} = (\Delta h + \Delta ec + \Delta ep) \quad [kJ / kg]$$

Toberas y difusores

- Tobera: convierte la energía de presión en velocidad
- Difusor: convierte la energía de velocidad en presión



Flujo supersónico: tobera
Flujo subsónico: difusor



Flujo supersónico: difusor
Flujo subsónico: tobera



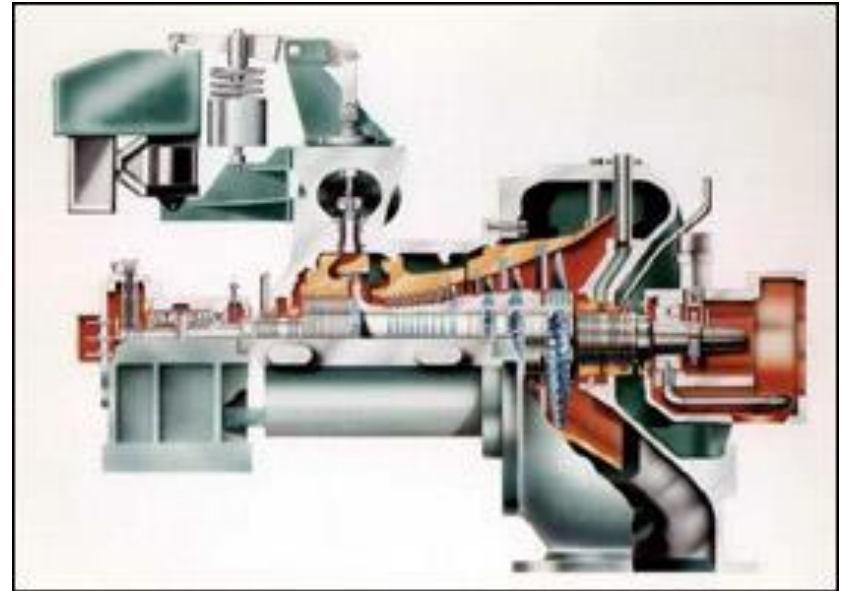
$$M = \frac{V}{c} \quad \text{Número de Mach}$$

$$\overset{\circ}{m}_1 = \overset{\circ}{m}_2$$

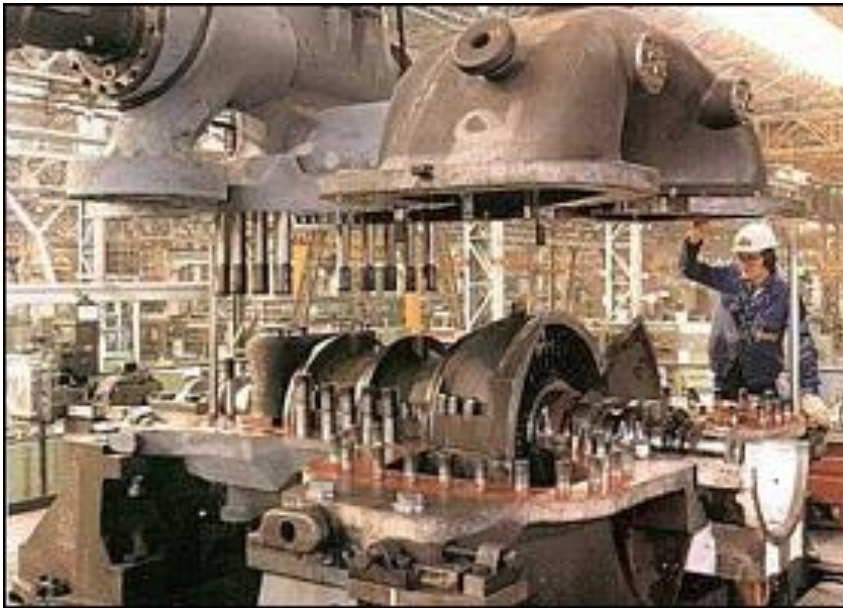
$$\overset{\circ}{Q}_{vc} - \overset{\circ}{W}_{vc} = \overset{\circ}{m}(\Delta h + \Delta ec + \Delta ep) \quad [kJ / s]$$

Turbinas

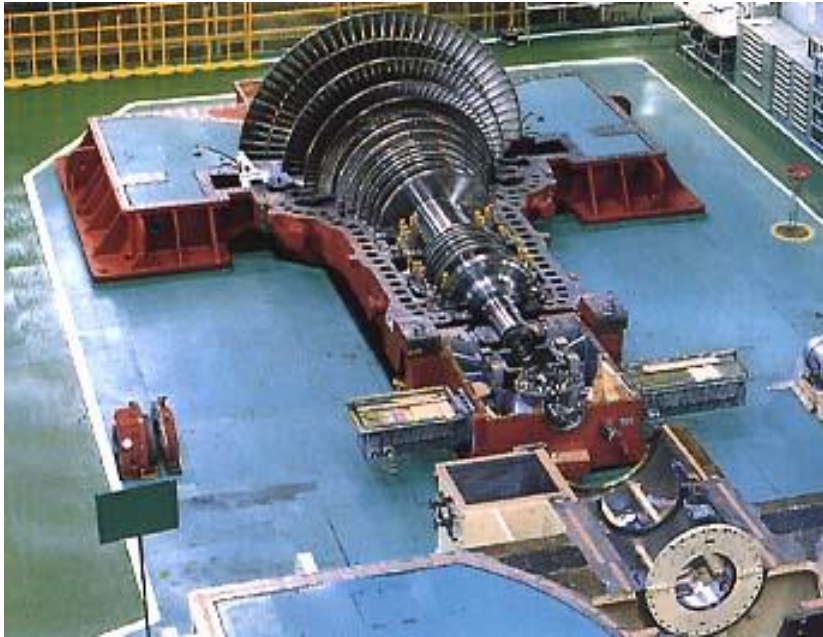
Turbina de vapor



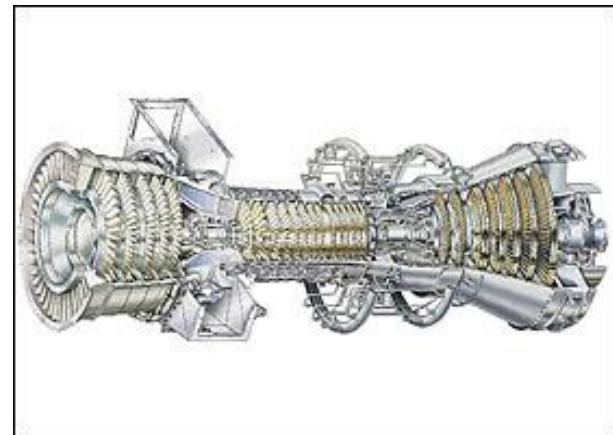
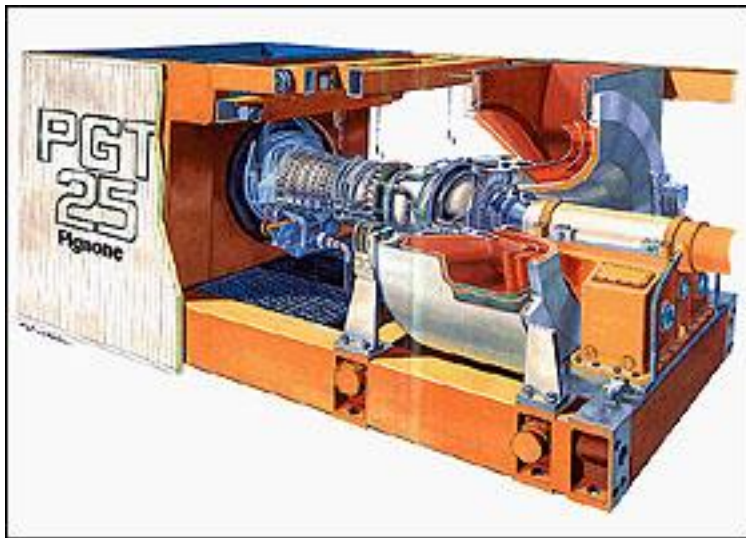
Turbina de vapor II



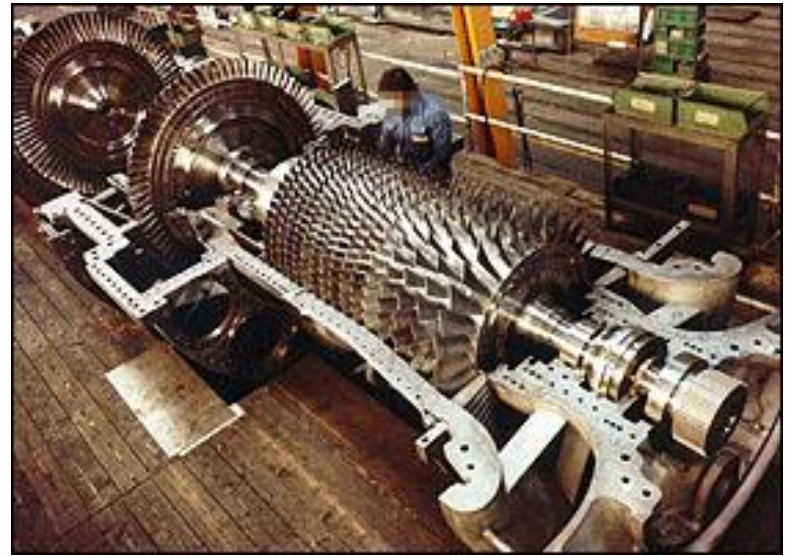
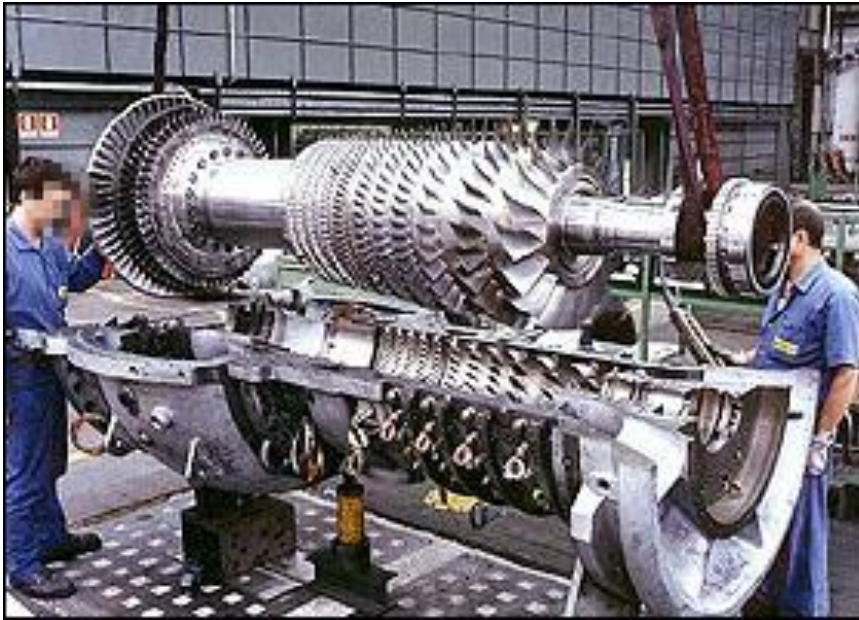
Tubina de vapor III



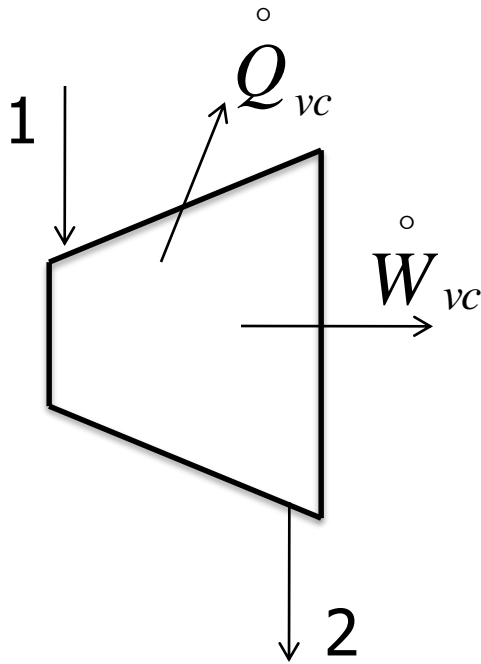
Turbina de gas



Turbinas de gas II



Turbinas



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

$$\dot{Q}_{vc} - \dot{W}_{vc} = \dot{m}(\Delta h + \Delta ec + \Delta ep) \quad [kJ / s]$$

Entra vapor a una turbina a una presión de 2 MPa y 300°C a una velocidad de 50 m/s. El vapor deja la turbina a 15 kPa, calidad del 90% y una velocidad de 200 m/s. Entre la entrada y la salida de la turbina existe una diferencia de 3 m, y durante el proceso se disipa calor a razón de 30 kJ/s. Si el flujo de masa de vapor es 25000 kg/h, encuentre:

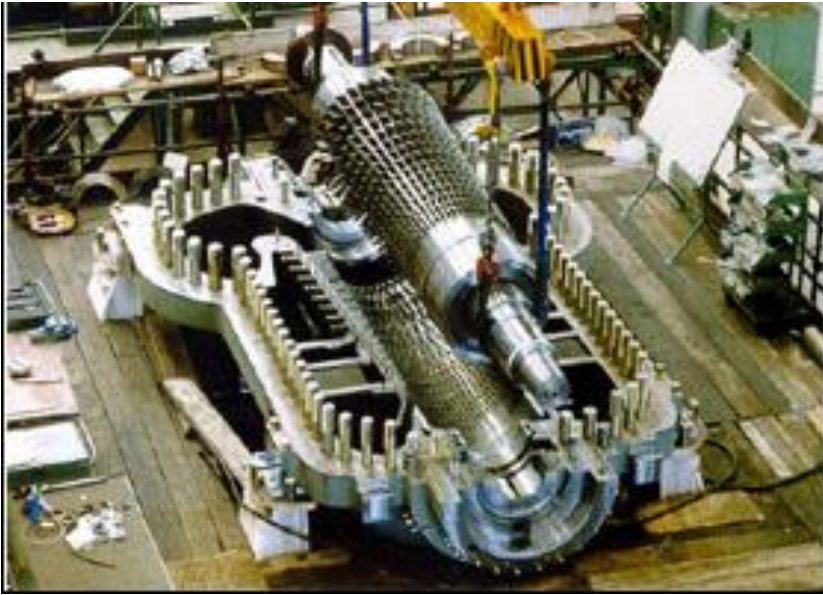
La potencia generada por la turbina en kW.

Despreciando cambios en la energía cinética, la energía potencial y la transferencia de calor a los alrededores, calcule nuevamente la potencia

Compresores y bombas

Compresores

Dispositivo utilizado para elevar la presión de gases



Axial



Centrífugo

Compresores II



Alternativo horizontal

Compresor centrífugo

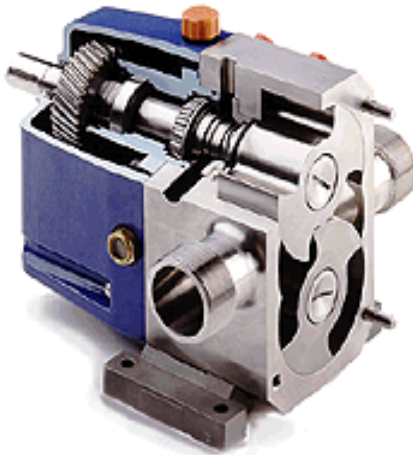


Bombas

Dispositivo utilizado para elevar la presión de líquidos



Engranajes

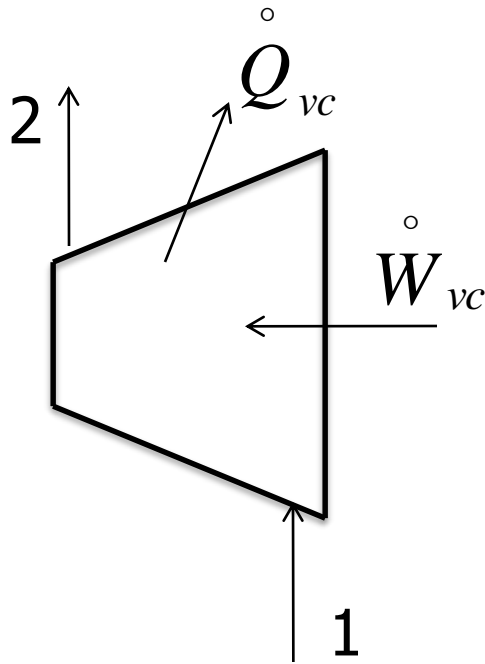


Lóbulos



Centrífugas

Compresores



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

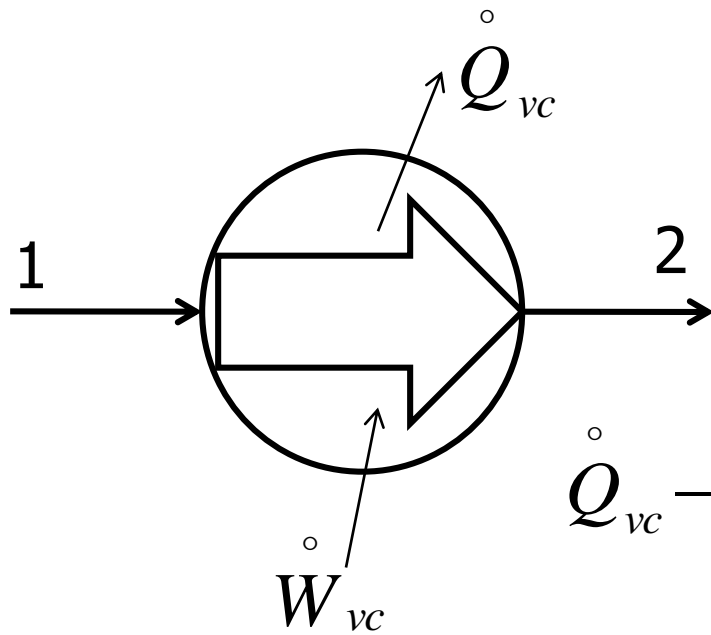
$$\dot{Q}_{vc} - \dot{W}_{vc} = \dot{m}(\Delta h + \Delta ec + \Delta ep) \quad [kJ / s]$$

Se comprime aire desde 1 atm y 15°C hasta una presión de 1 MPa, durante el proceso de compresión el aire es enfriado por agua que circula por la carcasa del compresor a una relación de 20 kJ/kg. La relación de flujo de volumen del aire en la entrada es de 140 m³/min, y el requerimiento de potencia del compresor es de 520 kW, determine:

El flujo de masa de aire

b. Temperatura a la salida del compresor

Bombas



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

$$\dot{Q}_{vc} - \dot{W}_{vc} = \dot{m}(\Delta h + \Delta ec + \Delta ep) \quad [kJ / s]$$

Intercambiadores de calor

Intercambiador de calor de coraza y tubos

Tubos



Corazas

Caldera pirotubular (Intercambiador de calor)



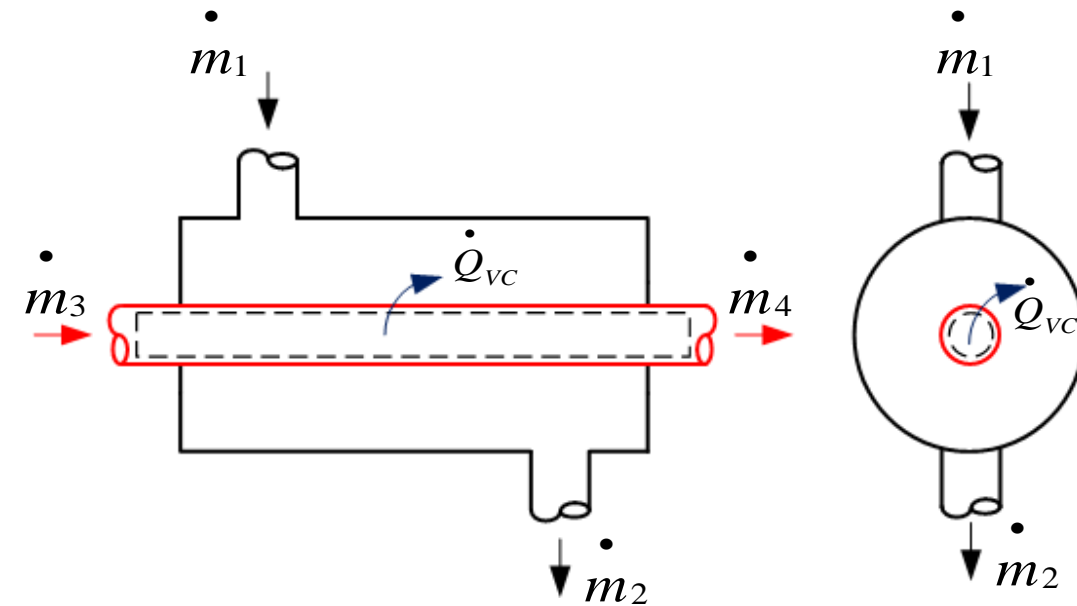
Caldera pirotubular (Intercambiador de calor)



Caldera acuotubular (Intercambiador de calor)



Intercambiadores de calor



Continuidad:

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

$$\dot{m}_3 = \dot{m}_4$$

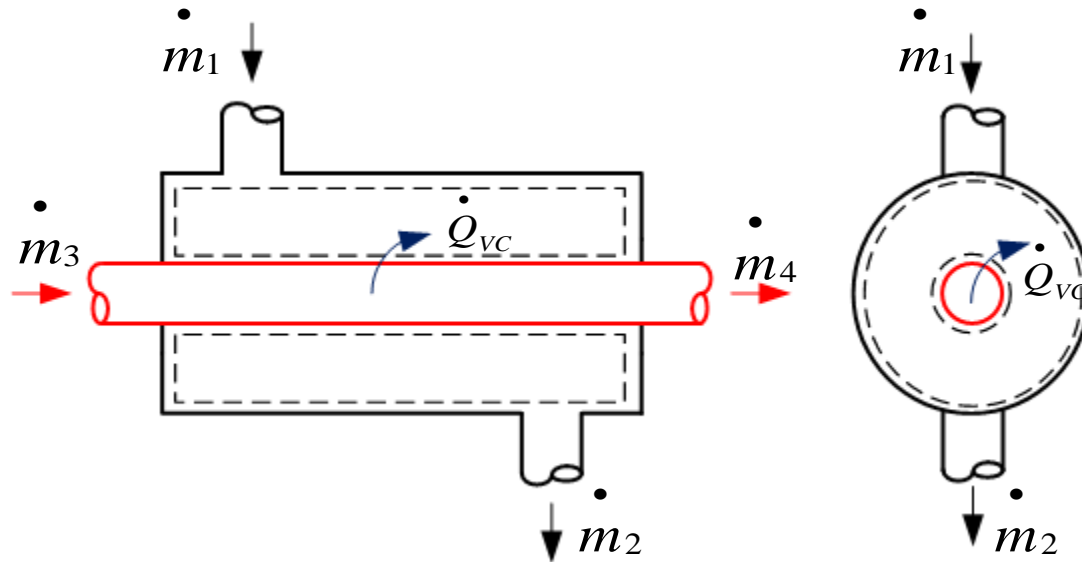
Primera ley (fluido caliente):

$$\dot{Q}_{vc} - \dot{W}_{vc} = \sum_{i=1}^n \left(\dot{m}_i \cdot \left(h + \frac{V^2}{2} + gz \right) \right)_{sal} - \sum_{i=1}^n \left(\dot{m}_i \cdot \left(h + \frac{V^2}{2} + gz \right) \right)_{en}$$

0

$$\dot{Q}_{vc} = \dot{m}_3 (h_4 - h_3) \quad [kJ / s]$$

Intercambiadores de calor



Continuidad:

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

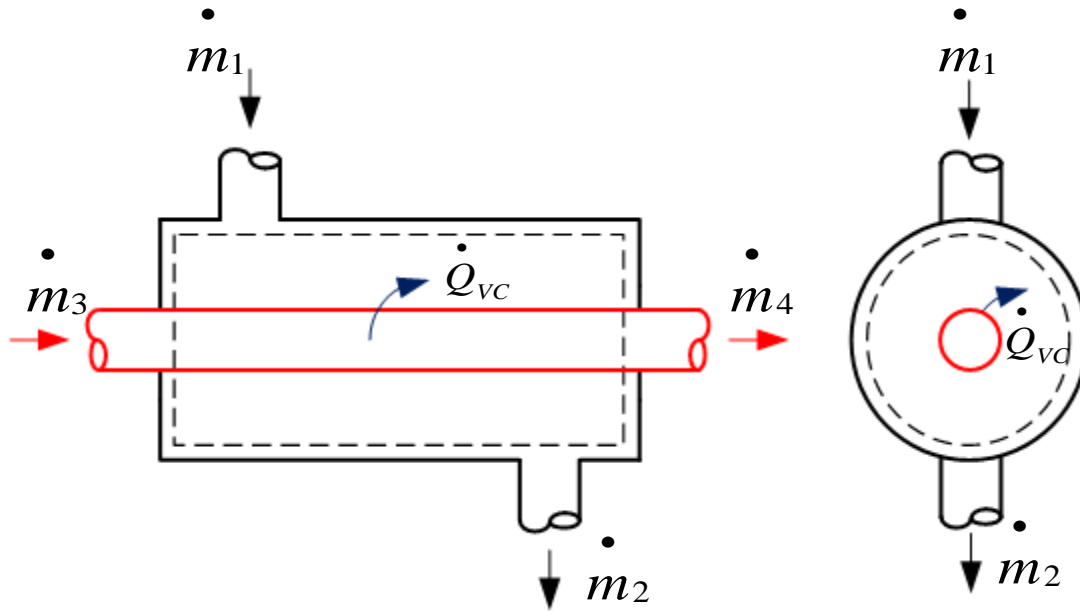
$$\dot{m}_3 = \dot{m}_4$$

Primera ley (fluido frio):

$$\dot{Q}_{vc} - \dot{W}_{vc} = \sum_{i=1}^n \left(\dot{m}_i \cdot \left(h + \frac{V^2}{2} + gz \right) \right)_{sal} - \sum_{i=1}^n \left(\dot{m}_i \cdot \left(h + \frac{V^2}{2} + gz \right) \right)_{en}$$

$$\dot{Q}_{vc} = \dot{m}_1 (h_2 - h_1) \quad [kJ / s]$$

Intercambiadores de calor



Continuidad:

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

$$\dot{m}_3 = \dot{m}_4$$

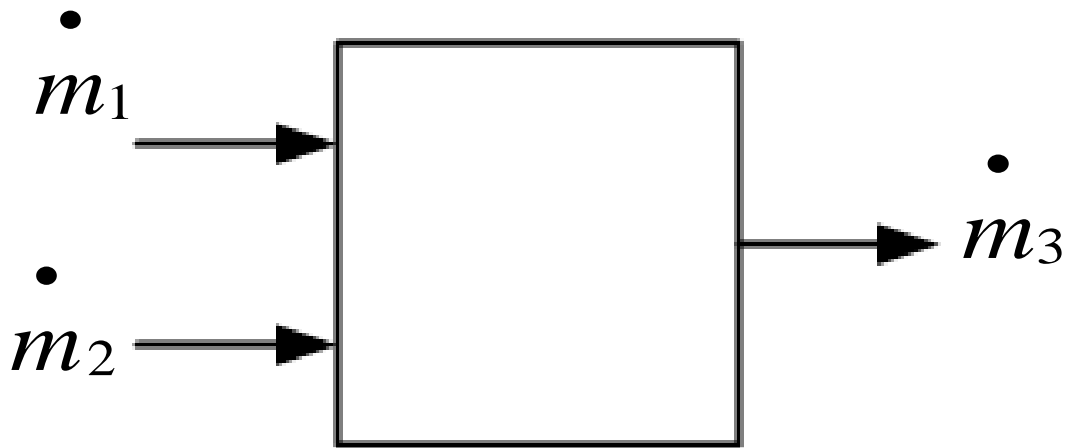
Primera ley:

$$\dot{Q}_{vc} - \dot{W}_{vc} = \sum_{i=1}^n \left(\dot{m}_i \cdot \left(h + \frac{V^2}{2} + gz \right) \right)_{sal} - \sum_{i=1}^n \left(\dot{m}_i \cdot \left(h + \frac{V^2}{2} + gz \right) \right)_{en}$$

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

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

Cámaras de mezcla



Continuidad:

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

Primera ley:

$$\dot{Q}_{vc} - \dot{W}_{vc} = \sum_{i=1}^n \left(\dot{m}_i \cdot \left(h + \frac{V^2}{2} + gz \right) \right)_{sal} - \sum_{i=1}^n \left(\dot{m}_i \cdot \left(h + \frac{V^2}{2} + gz \right) \right)_{en}$$

Note: Red arrows point from the zero below \dot{Q}_{vc} and the zero below \dot{W}_{vc} to the text '0' below the equation.

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

Válvulas



Seguridad



Bajo ruido

Válvulas



Válvulas



Continuidad:

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

Primera ley:

$$\dot{Q}_{vc} - \dot{W}_{vc} = \sum_{i=1}^n \left(\dot{m}_i \cdot \left(h + \frac{V^2}{2} + gz \right) \right)_{sal} - \sum_{i=1}^n \left(\dot{m}_i \cdot \left(h + \frac{V^2}{2} + gz \right) \right)_{en}$$

Red arrows point from the \dot{Q}_{vc} and \dot{W}_{vc} terms to a '0' below them, indicating they are zero for a valve.

$$h_1 = h_2$$

Las válvulas son dispositivos isoentálpicos

Ciclos termodinámicos

Ciclo Rankine simple

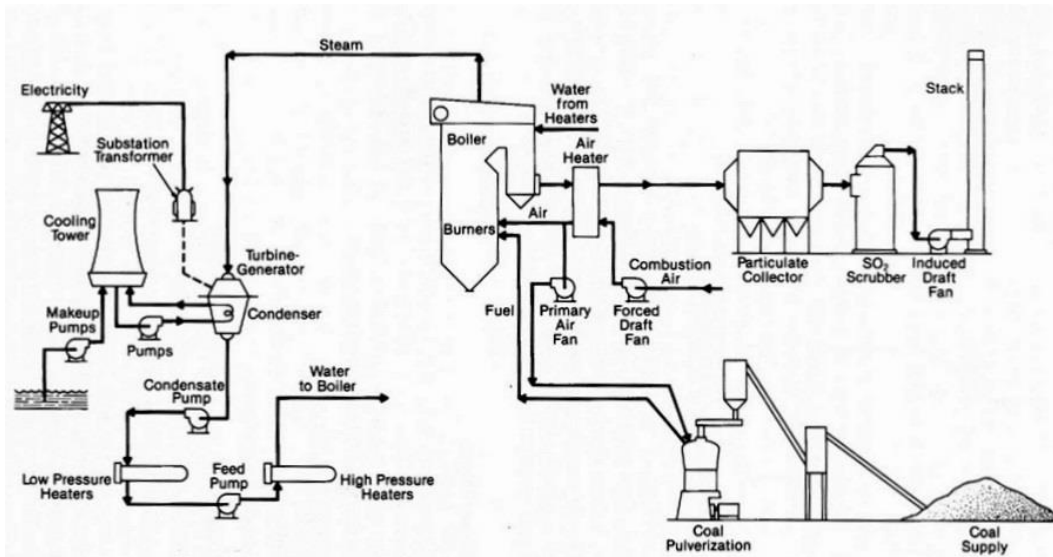
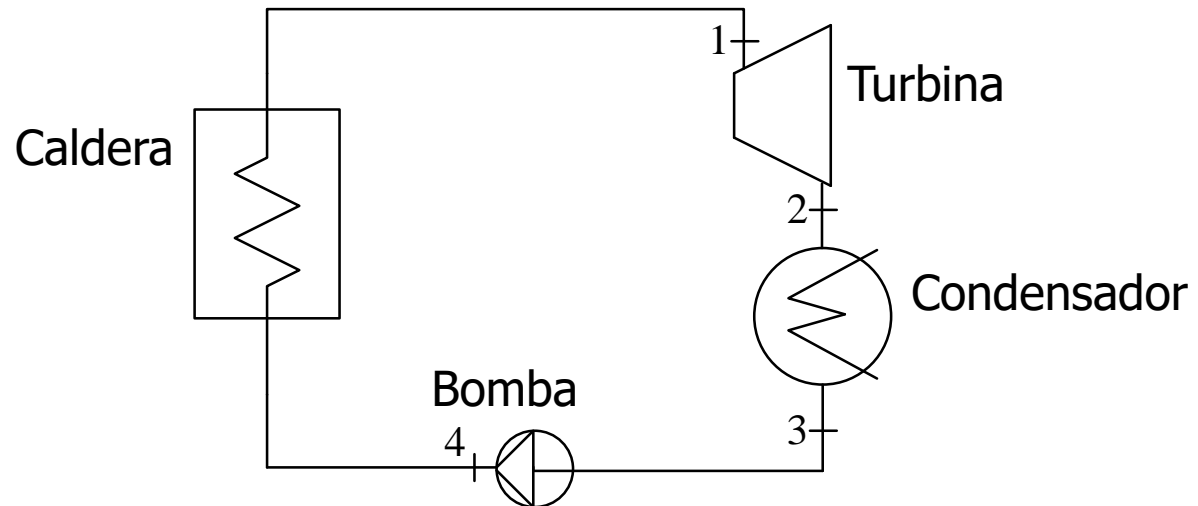
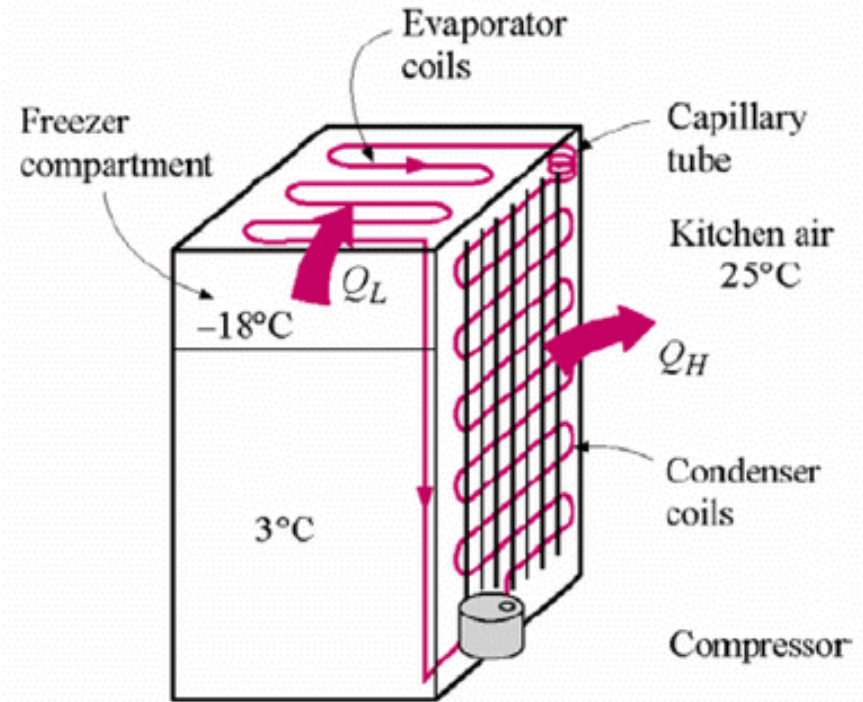
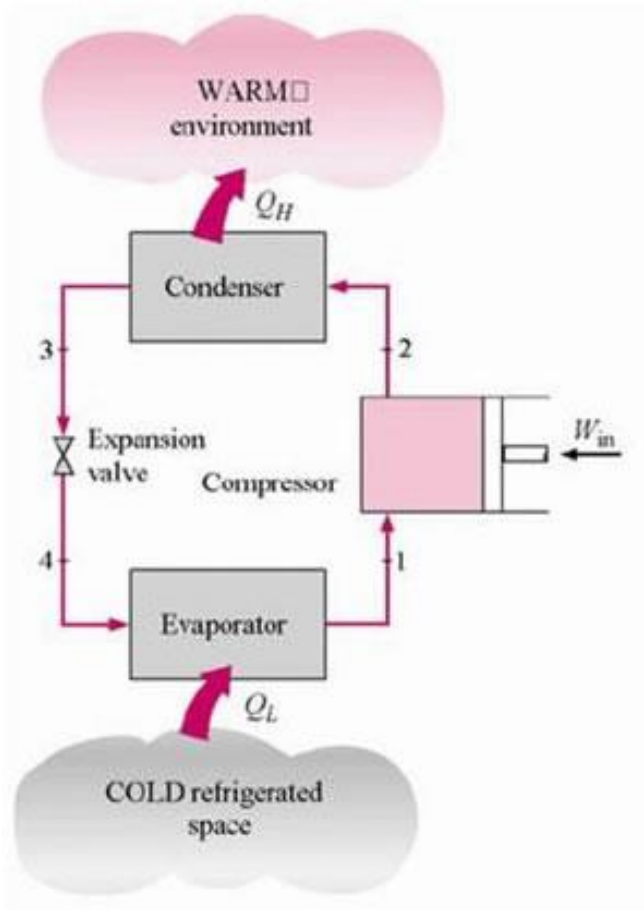


Figure 1.2 Schematic of a typical pulverized-coal-fired utility power plant. Reheater, ash and reagent handling, and sludge disposal are not shown. (Babcock & Wilcox, a McDermott company.)



Ciclo de refrigeración por compresión de vapor



Gracias!