DISPONIBILIDAD O EXERGÍA

Algunos conceptos

- ***Entorno, medio o alrededores**:*

Es la materia o región de los alrededores del sistema que interactúa con él.

- ***Medio ambiente:***

Es la porción del entorno en la cual las propiedades intensivas de cada una de sus fases son uniformes y no cambian significativamente como resultado de cualquier proceso que se considere

- ***Estado muerto:***

- *Estado particular de una porción de materia (sistema cerrado) cuando se encuentra en equilibrio con el medio ambiente.*

Ambiente:medio de referencia

- *Existe un* ***ambiente***

Se puede modelizar como una fuente térmica a temperatura T_0 (≈ 300 K) y presión P_0 (≈ 1 bar) uniformes y fijos.

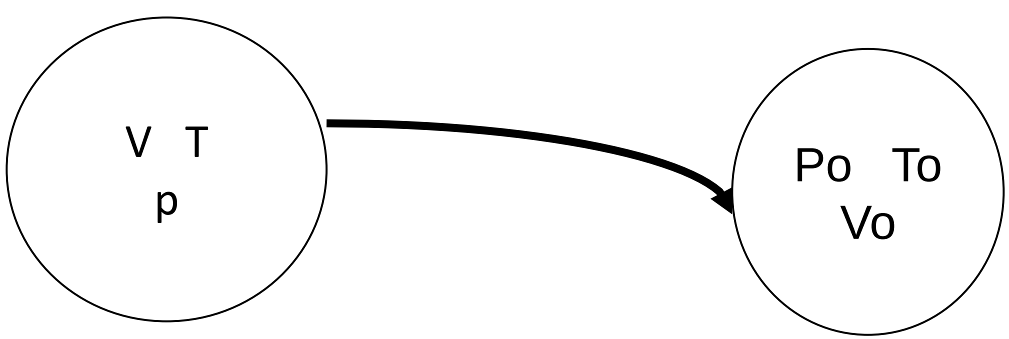
La constancia de temperatura, presión y composición del ambiente, si le agregamos que su velocidad (v_0) sea uniforme y su altura constante, permite por lo tanto *tomarlo*

como medio de referencia

Disponibilidad y Exergía

- ***Es el máximo trabajo útil ,que puede obtenerse*** **o mínimo que puede consumirse,** ***de una porción de materia (o sistema cerrado)***

cuando es sometido a un proceso reversible desde un estado cualquiera hasta el estado muerto o estado de referencia.



- **Cuando una masa está en equilibrio:**

térmico ($T = T_0$),

mecánico ($P = P_0$) con el

Ambiente,

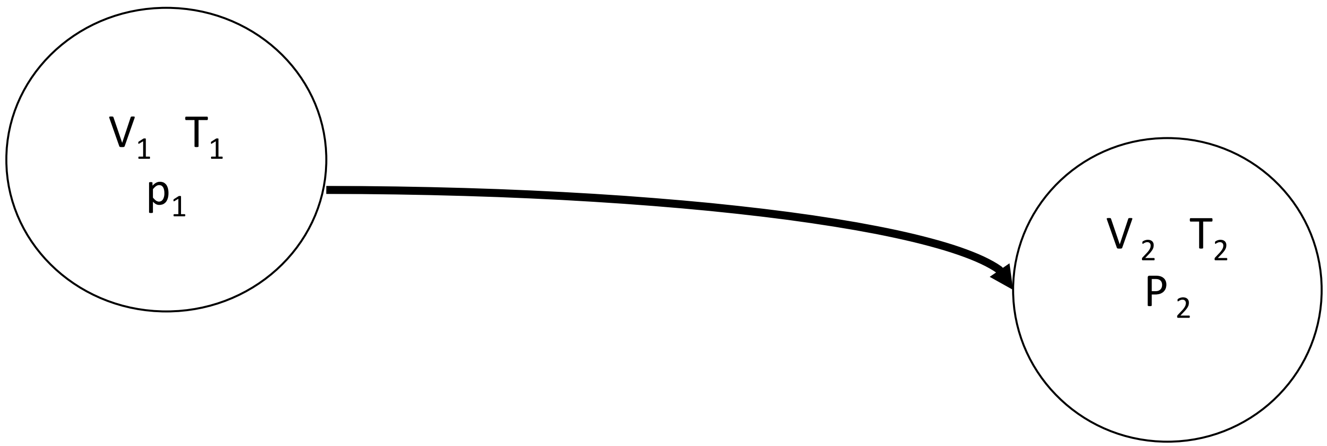
la (Ec=Eco)y (Ep=Epo)

y además en equilibrio químico con el

Ambiente,

no se puede extraer trabajo aprovechable de su combinación.

Trabajo reversible



El trabajo reversible es el trabajo útil máximo que puede obtenerse o mínimo que puede consumirse cuando el sistema evoluciona en un proceso reversible desde un estado cualquiera hasta otro estado cualquiera.

Trabajo del medio ambiente

Es el trabajo efectuado por o contra el medio ambiente. Este trabajo no puede recuperarse o emplearse en ningún propósito útil y es igual a la presión atmosférica por la variación de volumen del sistema.

$$\boxed{W_o = p_o \quad (V_f - V_i)}$$

Trabajo útil para el trabajo de frontera

$$W_ú = W_{exp} - W_o$$

$$\boxed{W_ú = W_{exp} - p_o \left(V_f - V_i\right)}$$

Transferencia de exergía que acompaña al trabajo-($W_{útil}$)

Wú =

PARA UN TRABAJO DE FRONTERA

Wexp - p_o (V_f – V_i)

OTRAS FORMAS DE TRABAJO

W

La exergía o disponibilidad transferida con el trabajo es igual al propio trabajo W, salvo en el caso de trabajo de expansión

Balance de entropía

- ***En un proceso reversible***

$$dS_S = \int_1^0 \frac{\delta Q_S}{T_0}$$

$$dS_S - \int_1^0 \frac{\delta Q_S}{T_0} = 0 \longrightarrow$$

$\delta Q_s = -\delta Q_o$

$$dS_S + \int_1^0 \frac{\delta Q_0}{T_0} = 0 \longrightarrow dS_m = \frac{\delta Q_0}{T_0}$$

Sgen = $dS_S + dS_m = 0$

- ***En un proceso irreversible***

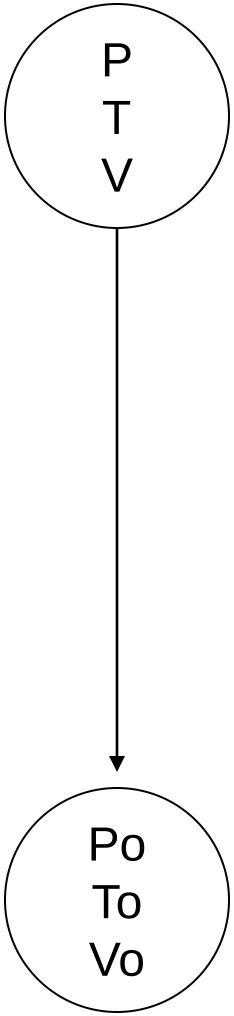
$$dS_S = \int_1^0 \frac{\delta Q_S}{T_0} + Sgen$$

$$dS_S - \int_1^0 \frac{\delta Q_S}{T_0} = Sgen$$

$$dS_S + \int_1^0 \frac{\delta Q_0}{T_0} = Sgen$$

Sgen = $dS_S + dS_m > 0$

Exergía o disponibilidad de la materia



Primera ley $\quad dU = \delta Q - \delta W$

$$(U_0 - U) = Q - W \qquad (1)$$

En un proceso reversible

Segunda Ley $\quad TdS = \delta Qs$

$$T_0\,(S_0 - S) = Qs \qquad (2)$$

$$dU = TdS - \delta W$$

$$(U_0 - U) - T_0\,(S_0 - S) = -W$$

Exergía o disponibilidad de la materia

$$W_{máx} = (U - U_0) - T_0 (S - S_0)$$

Pero el trabajo máximo no es todo útil

$$Wú = W_{máx} - p_o \quad (V_0 - V)$$

$$\boxed{W_{útil\ -máx} = (U - U_0) - T_0 (S - S_0) + p_0 (V - V_0) = E_{X-0}}$$

***De esta ecuación se deduce que no puede extraerse un trabajo útil de un sistema que* se encuentre en equilibrio con el medio ambiente.**

La exergía del sistema es una función de estado

Trabajo útil y pérdida de exergía

$$W_{\text{útil-reversib}} = (U + p_0\, V - T_0\, S) - (U_0 + p_0\, V_0 - T_0\, S_0)$$

$$\varepsilon x_1 - \varepsilon_{x_o} = \Phi_1 - \Phi_0 = (U - U_0) - T_0 (S - S_0) + p_0 (V - V_0)$$

$$\boxed{\varepsilon x - \varepsilon_{x_o} = W_{\text{útil-máx}} = \Phi - \Phi_0}$$

Trabajo útil reversible e irreversible

- $Wú_{rev} – Wú_{real} = I$

- I = IRREVERSIBILIDAD

La diferencia entre el trabajo útil reversible y el trabajo útil real se debe a la las irreversibilidades presentes durante el proceso

Irreversibilidad y exergía

En un proceso irreversible

$$\boxed{dS_S = \int_1^2 \frac{\delta Q_{s\ IRREV}}{T_0} + S_{gen}}$$

$$\boxed{\begin{aligned} T_0 dS_S - T_0 S_{gen} &= \delta Q \\ T_0(S_0 - S) - T_0 S_{gen} &= Q \end{aligned}}$$

Primera Ley $\quad (U_0 - U) = Q - W$

$$dU = T_0\, dS - T_0\, Sgen - \delta W$$

$$(U_0 - U) - T_0 (S_0 - S) + T_0\, Sgen = - W_{real}$$

$$\boxed{\mathbf{W_{útil\text{-}real} = (U - U_0) - T_0 (S - S_0) + p_0 (V - V_0) - T_0 S_{gen}}}$$

Trabajo perdido

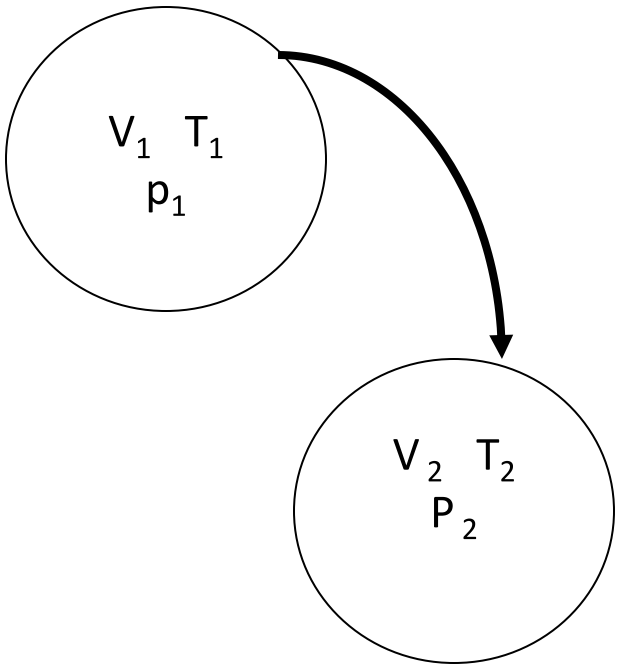
$$\mathbf{W_{útil\text{-}reversib} = (U- U_0) - T_0(S- S_0) + p_0 (V -V_0)}$$

$$\mathbf{W_{útil\text{-}real} = (U –U_0)- T_0 (S-S_0) +p_0 (V-V_0) – T_0 S_{gen}}$$

$$Wú_{rev} – Wú_{real} = I = T_0S_{gen} = W_{Perdido}$$

La irreversibilidad I ,se la considera como la oportunidad perdida para hacer trabajo

Pérdida de exergía



Si un sistema cerrado, pasa de un estado 1 a un estado 2 en un proceso reversible

Pérdida de exergía entre dos estados cualquiera (1-2)

$$W_{útil-rev} = \left[(U_1 - U_0) - T_0(S_1 - S_0) + p_0(V_1 - V_0)\right] -$$
$$- \left[(U_2 - U_0) - T_0(S_2 - S_0) + p_0(V_2 - V_0)\right]$$

$$\boxed{W_{útil-rev} = \left[(U_1 - U_2) - T_0(S_1 - S_2) + p_0(V_1 - V_2)\right]}$$

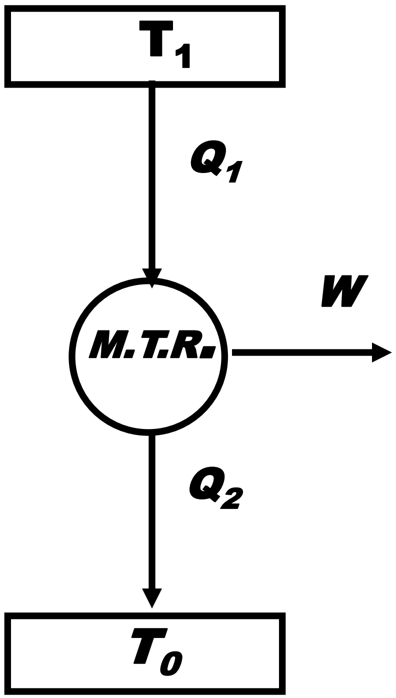
$$\boxed{W_{útil-real} = \left[(U_1 - U_2) - T_0(S_1 - S_2) + p_0(V_1 - V_2) - T_0 S_{gen}\right]}$$

$$Wú_{rev} - Wú_{real} = I = T_0 S_{gen} = W_{Perdido}$$

Conclusión

- *El trabajo útil obtenido (Wú> 0) coincide con la pérdida de exergía en transformaciones reversibles .*
- $Ex_1 - Ex_2 = Wú$
- *El trabajo útil obtenido (Wú> 0) es menor que la pérdida de exergía en transformaciones irreversibles*.
- $Wú < Ex_1 - Ex_2$

Transferencia de exergía que acompaña al calor proveniente de una fuente(T=cte.)- $Q_{útil}$



$$Q_{1-útil} = \left(1 - \frac{T_0}{T_1}\right) Q_1$$

$$W_{ú-MÁX} = Q_ú$$

El potencial de trabajo útil disponible de la energía de una fuente térmica a la temperatura T_1 es el máximo trabajo que puede obtenerse de esa fuente en un ambiente a temperatura To y es equivalente al trabajo producido por una máquina termica de Carnot que opera entre la fuente y el ambiente.

Transferencia de exergía que acompaña al calor proveniente de cuerpos (T= variable)- $Q_{útil}$

Cuando la temperatua T no es constante en el punto donde la transferencia de calor sucede, la transferencia de exergía que acompaña la transferencia de calor se determina mediante la integración

$$Q_{útil} = \int_i^f \left(1 - \frac{T_0}{T}\right)\delta Q$$

$$\boxed{Q_{ú} = Q - T_0 \Delta S}$$

Exergía del flujo

Primera Ley

$$\dot{Q}_{V.C.} - \dot{W}_{V.C.} = \sum \dot{m}_0 \left(\frac{1}{2} v_0^2 + g.z_0 + h_0 \right) - \sum \dot{m} \left(\frac{1}{2} v^2 + g.z + h \right)$$

Segunda Ley

$$0 = \dot{m} \; s - \dot{m} \; s_0 + \frac{\dot{Q}_{rev}}{T_0}$$

$$\dot{W}_{\acute{u}_{rev.}} = \dot{m} \left[\left(h - h_0 \right) - T_0 (s - s_0) + \frac{1}{2} v^2 + gz \right) \right] = \Psi - \Psi_0$$

Pérdida deExergía entre dos estados del flujo permanente

$$\dot{\varepsilon}_{x_e} - \dot{\varepsilon}_{x_s} = \dot{W}\,ú_{rev} = \dot{m}(\psi_e - \psi_s)$$

$$\Psi_e - \Psi_s = \sum \dot{m}_0 \left(\left(h_e - h_s\right) - T_o(s_e - s_s) + \frac{1}{2}\left(v_e^2 - v_s^2\right) + g.\left(z_e - z_s\right) \right)$$

$$\dot{W}\,ú_{irrev} = \dot{m}(\psi_e - \psi_s) - T_0\,\dot{S}_{gen}$$

$$\dot{W}\,ú_{rev} - \dot{W}\,ú_{irrev} = \dot{I} = T_0\,\dot{S}_{gen}$$

Exergía de un sistema de flujo variable

La exergía es el máximo trabajo útil que se puede obtener en un proceso reversible desde un estado cualquiera hasta el estado muerto

$$(\Phi_1)_{v.c.} = (U - U_0) + p_0(V - V_0) - T_0(S - S_0)$$

$$\Psi_e = \sum \dot{m}_e \left((h_e - h_0) - T_o(s_e - s_0) + \frac{1}{2}(v_e^2 - v_0^2) + g.(z_e - z_0) \right)$$

$$W\acute{u}_{m\acute{a}x\ rev} = m(\psi_e - \psi_0) + (\Phi_1 - \Phi_0)_{v.c}$$

Tanto el volumen de control en el estado final, como las corrientes de salida ,están en el estado muerto o sea exergía cero

$$\left\{ \begin{array}{l} (\Phi_2)_{v.c} = (\Phi_o)_{v.c} = 0 \\ \psi_s = \psi_0 = 0 \end{array} \right.$$

$$Exerg\acute{\imath}a = \dot{W}_{m\acute{a}x_{rev}} = m_e \psi_e + \Phi_{1_{v.c.}}$$

Pérdida de exergía en un flujo variable

$$Wú_{rev} = m(\psi_e - \psi_s) + (\Phi_1 - \Phi_2)_{v.c}$$

$$\Psi_e = \sum \dot{m}_e \left((h_e - h_0) - T_o(s_e - s_0) + \frac{1}{2} v_e^2 + g.z_e \right)$$

$$\Psi_s = \sum \dot{m}_s \left((h_s - h_0) - T_o(s_s - s_0) + \frac{1}{2} v_s^2 + g.z_s \right)$$

$$\mathbf{\Phi_1 = (U_1 - U_0) + p_0 (V_1 - V_0) - T_0 (S_1 - S_0)}$$

$$\mathbf{\Phi_2 = (U_2 - U_0) + p_0 (V_2 - V_0) - T_0 (S_2 - S_0)}$$

Pérdida de exergía e irreversibilidad en un flujo variable

$$\boxed{Wú_{irrev} = m\,(\psi_e - \psi_s) + (\Phi_1 - \Phi_2)_{V.C.} - T_0\, S_{gen}}$$

$$\mathbf{Wú_{máx} - Wú_{irrev} = I = T_0 S_{gen}}$$

Balances de exergía

$$\boxed{\Delta Ex = \Delta E + p_0 \Delta V - T_0 \Delta S} = \int_1^2 \delta Q - W + p_0 \Delta V - T_0 \int_1^2 \frac{\delta Q}{T} - T_0 S_{gen}$$

$$\Delta E = \int_1^2 \delta Q - W \qquad \Delta S = \int_1^2 \frac{\delta Q}{T} + S_{gen}$$

$$\boxed{\Delta Ex = \underbrace{\int_1^2 \left(1 - \frac{T_0}{T}\right) \delta Q}_{Ex_Q} - \underbrace{\left[W - p_0 \Delta V\right]}_{Ex_W} - \underbrace{T_0 S_{gen}}_{I}}$$

$$\Delta Ex_s = Q_Ú - W_Ú - T_0 S_{gen}$$

Balances de exergía

- Sistemas cerrados:

$$\Delta \varepsilon x_s = Q_{\acute{U}} - W_{\acute{U}} - T_0 S_{gen}$$

- Sistemas abiertos en régimen permanente

$$0 = Q_{\acute{U}} - W_{\acute{U}} + m(\psi_e - \psi_s) - T_0 S_{gen\ (v.c.)}$$

- Sistemas abiertos en régimen variable

$$\Delta \varepsilon x_{(v.c.)} = Q_{\acute{U}} - W_{\acute{U}} + m_e\, \psi_e - m_s\, \psi_s - T_0 S_{gen(v.c.)}$$

Balance de Exergía e irreversibilidad

Balance de exergía =Balance de energía – T_0 Balance de entropía

$$\Delta\varepsilon x_u = \Delta E_u - T_0 \Delta Su$$

Como la energía del universo se conserva $\Rightarrow$ $\Delta E_u = 0$

$$\boxed{\Delta\varepsilon x_u = - T_0 \Delta Su}$$

Exergía del universo

- La exergía del universo se mantiene constante en transformaciones reversible
- La exergía del universo disminuye en transformaciones irreversibles.
- La exergía del universo no es conservativa

$$\boxed{\Delta \varepsilon_{x\ u} \leq 0}$$

Principio de disminución de exergía

- ***La exergía de un sistema aislado disminuye en procesos irreversibles y permanece constante en procesos reversibles***
- ***El sentido de ocurrencia de los procesos naturales es único y es el de la disminución de la exergía***

DIAGRAMA

DE

SANKEY

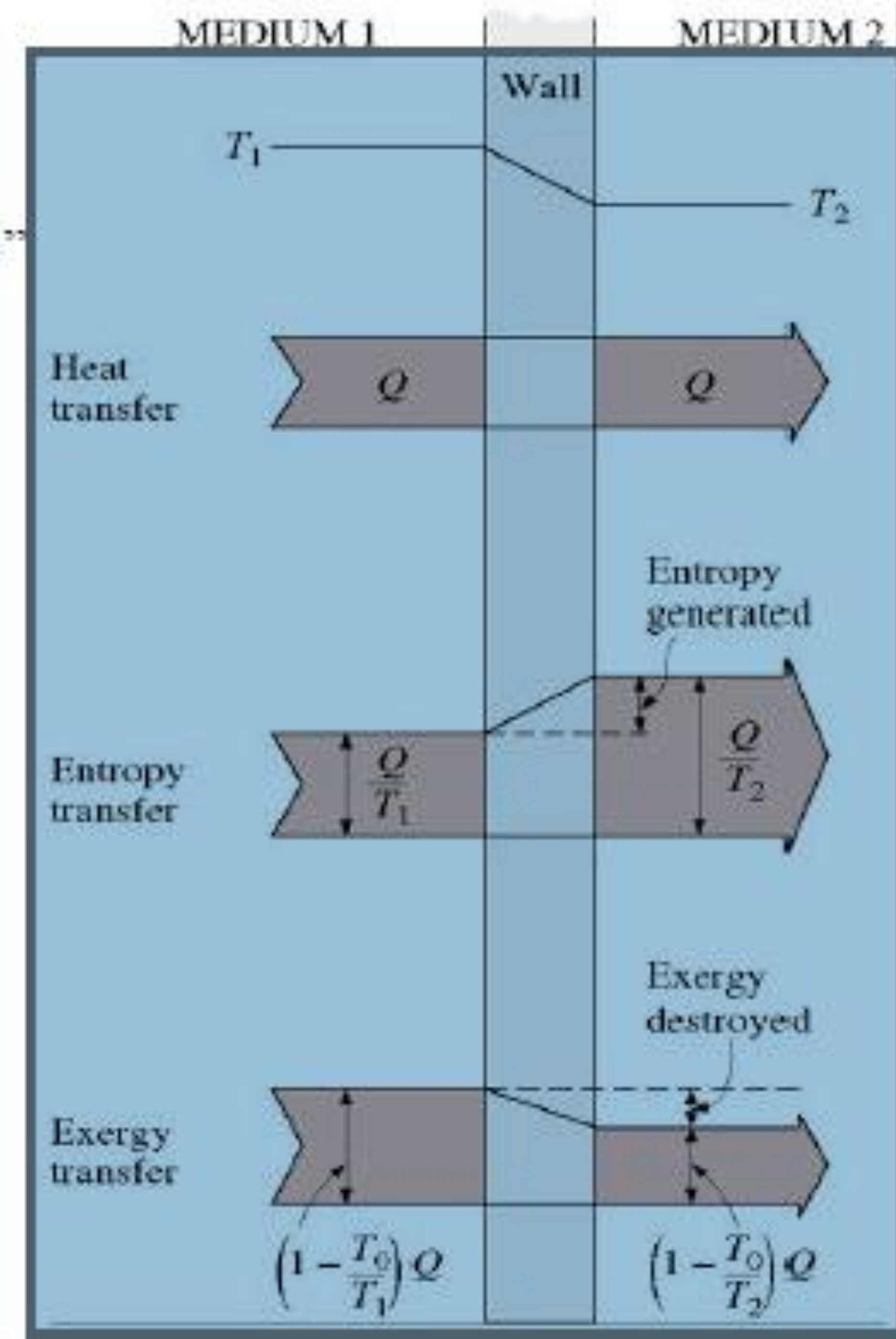


Diagrama de Sankey para las irreversibilidades de una turbina de vapor

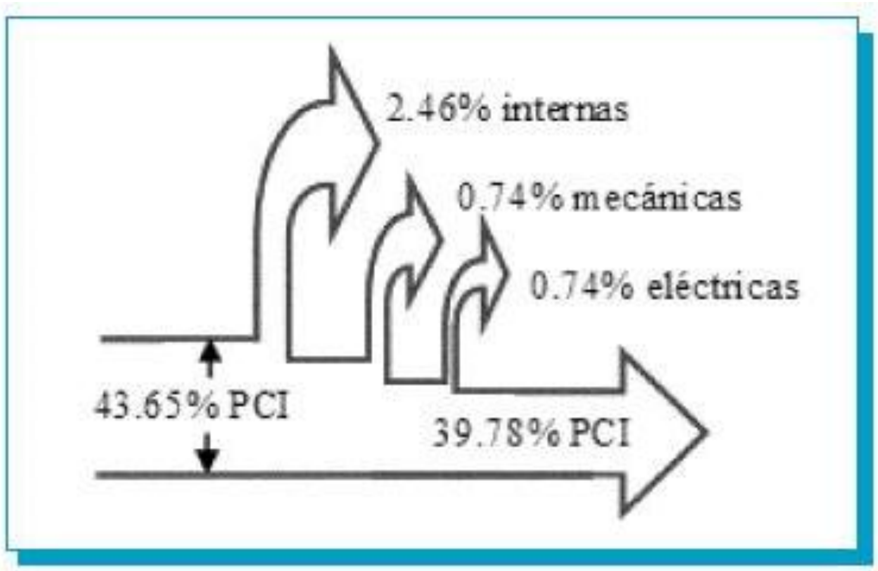
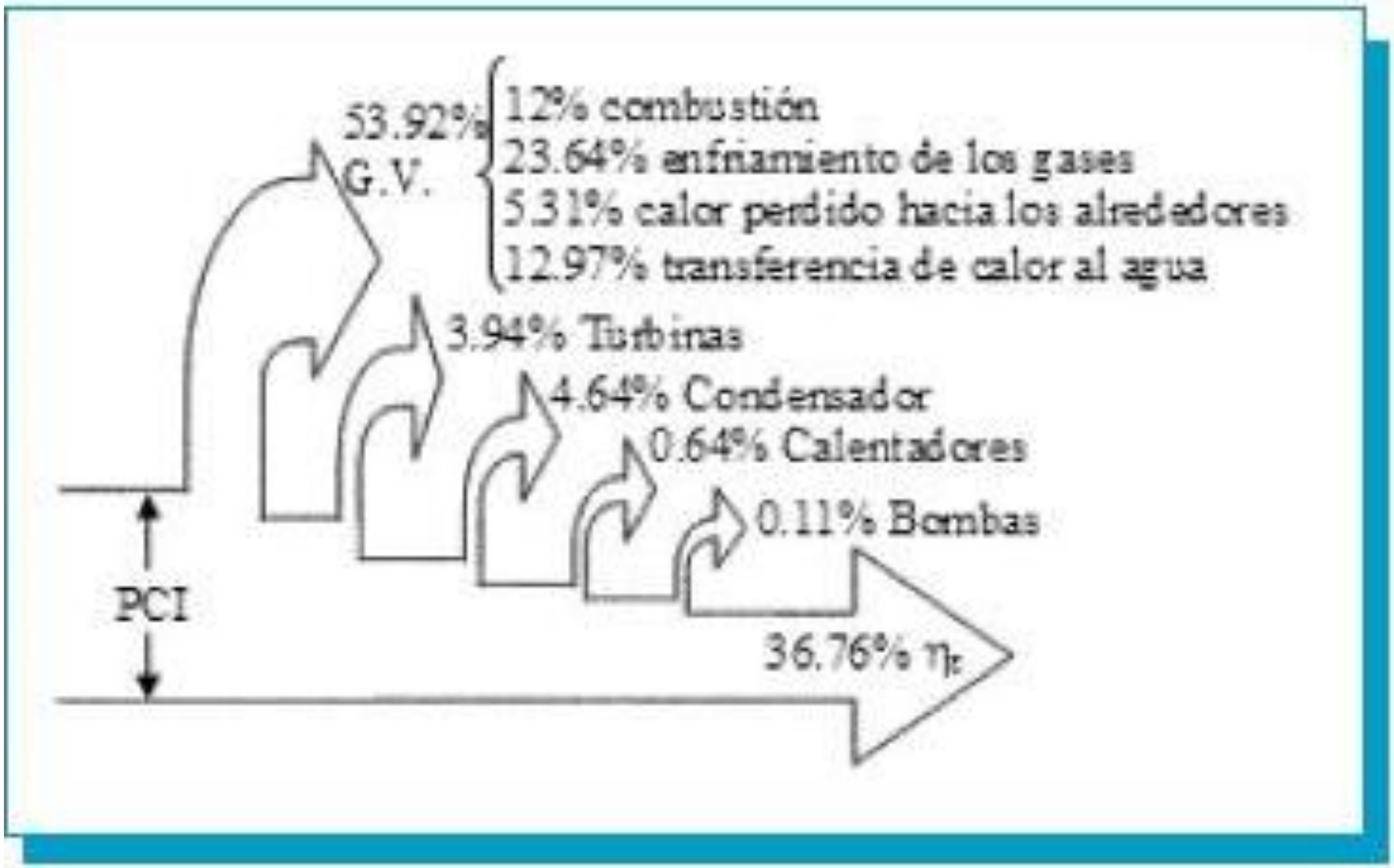


Diagrama de Sankey
Muestra la eficiencia exergética de un ciclo de vapor con respecto al PCI del gas natural



Eficiencia de la Primera Ley: Rendimiento energético

- *La eficiencia de la Primera Ley es la relación entre las* ***energias obtenidas y las energías consumidas***

$$\eta_{energ.} = \frac{Energías\ obtenidas}{Energías\ consumidas}$$

Eficiencia de la Segunda Ley: Rendimiento exergético

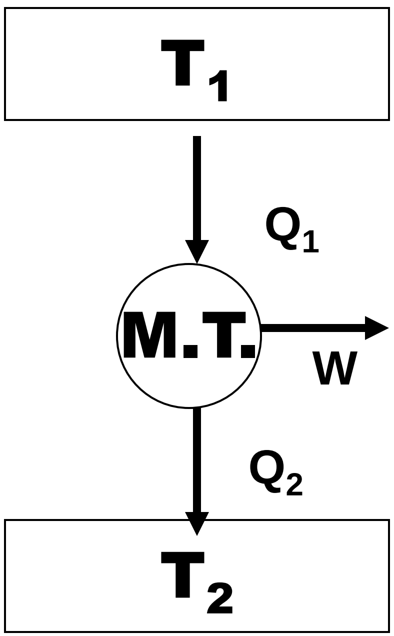
La eficiencia de la Segunda Ley es la relación entre las exergias obtenidas y las exergías consumidas

$$\eta_{ex} = \frac{Exergías\ obtenidas}{Exergías\ consumidas} \leq 1$$

$$\eta_{ex} = 1 \rightarrow proceso\ rever.$$

$$\eta_{ex} < 1 \rightarrow proceso\ irrev.$$

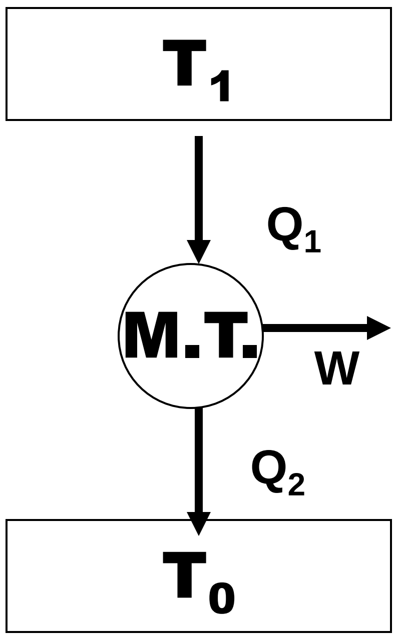
Máquina térmica



$$\eta_{exerg.} = \frac{W_{ú}}{\left|Q_{ú_1}\right| - \left|Q_{ú2}\right|} \leq 1$$

$$Si \Rightarrow \quad T_2 \rangle T_0$$

Máquina térmica



- **Rendimiento energético**

$$\eta_{Energ} = \frac{W_{ú}}{Q_1} \Rightarrow \langle\ 1$$

- **Rendimiento exergético**

$$\eta_{exerg} = \frac{W_{ú}}{Q_{ú_1}} \leq 1$$

$$\Rightarrow Si\ T_0 \equiv T_2$$

Rendimiento exergético

$$\eta_{exerg} = \frac{W\acute{u}}{Q_1\left(1 - \frac{T_0}{T_1}\right)} \qquad \Rightarrow Si\ T_0 \equiv T_2$$

$$\eta_{t\acute{e}rmico} = \frac{W\acute{u}}{Q_1}$$

$$\eta_{exerg.} = \frac{\eta_{t_{irrev}}}{\eta_{t_{rev}}} \Rightarrow \frac{\dfrac{W_{IRR}}{Q_1}}{\dfrac{W_{REV}}{Q_1}} = \frac{W_{Irrev.}}{W_{\mathrm{Rev.}}}$$

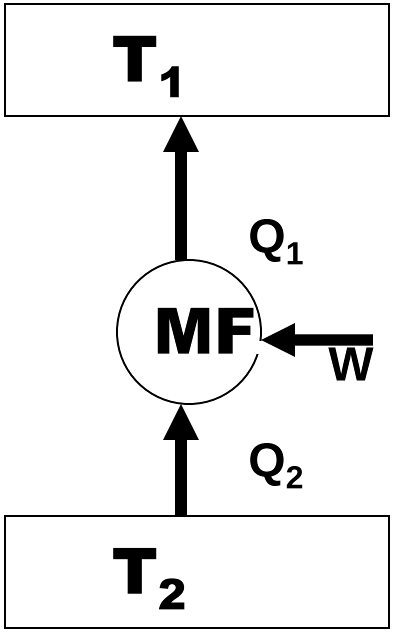
VALORACIÓN EXERGÉTICA
Ejemplo

Usted tiene dos máquinas térmicas,ambas tienen en **mismo rendimiento térmico** 0,4.

La primera trabaja entre 1000K y 300K y la segunda entre 600K Y 300k.

El rendimiento térmico ¿es suficiente para hacer una **valoración energética** del desempeño de ambas máquinas?

Máquina frigorífica



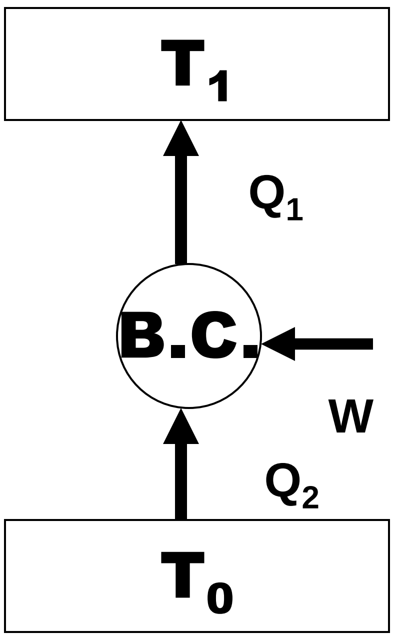
- **Rendimiento energético**

$$COP = \frac{Q_2}{\left[W_{\acute{U}}\right]} \rightarrow COP_{carnot} = \frac{T_2}{T_1 - T_2}$$

- **Rendimiento exergético**

$$\eta_{exerg.} = \frac{Q_{\acute{U}_2}}{\left[W_{\acute{U}}\right]} = \frac{W_{\acute{u}_{rev.}}}{W_{\acute{u}_{irrev}}} = \frac{\dfrac{Q_2}{COP_{REV}}}{\dfrac{Q_2}{COP_{IRREV}}} = \frac{COP_{IRREV.}}{COP_{REV.}}$$

Bomba de calor



- **Rendimiento energético**

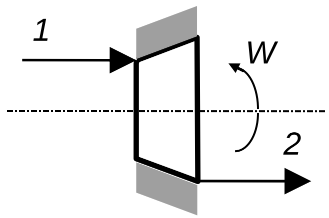
$$COP_{B.C.} = \frac{Q_1}{\left[W_{Ú}\right]} \rightarrow COP_{carnot} = \frac{T_1}{T_1 - T_2}$$

- **Rendimiento exergético**

$$\eta_{exerg} = \frac{Q_{Ú_1}}{\left[W_{Ú}\right]} = \frac{Q_1\left(1 - \frac{T_0}{T_1}\right)}{\left[W_{Ú}\right]} = \frac{\eta_{t_{rev.}}}{\eta_{t_{irrev.}}}$$

$$\eta_{exerg} = \frac{\dfrac{W_{REV}}{Q_1}}{\dfrac{W_{IRREV}}{Q_1}} = \frac{W_{rev.}}{W_{irrev.}} = \frac{COP_{irrev}}{COP_{rev.}}$$

Turbinas



Turbina adiabática

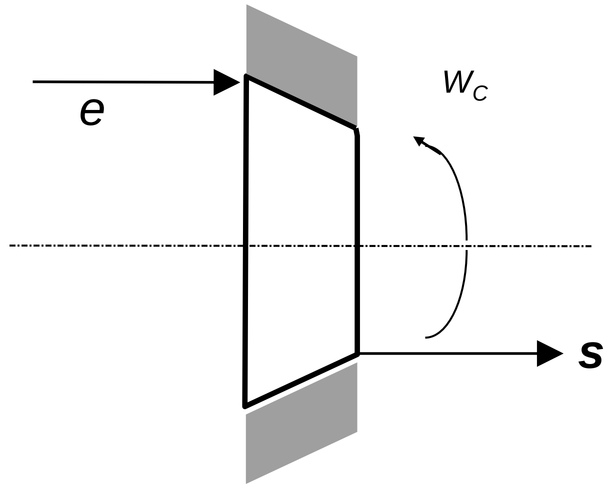
$$\eta_{exerg.} = \frac{W_{\acute{U}}}{W_{U_{rev.}}} = \frac{h_1 - h_2}{\psi_e - \psi_s}$$

$$\eta_{exerg} = \frac{(h_e - h_s)}{(h_e - h_s) - T_o(s_e - s_s)}$$

$$\eta_{exerg} = \frac{(h_e - h_s)}{(h_e - h_s) - T_o s_{gen}}$$

$$\eta_{exerg} = \frac{1}{1 - \dfrac{T_o s_{gen}}{(h_e - h_s)}}$$

Compresores



Compresor adiabático

$$\eta_{exerg.} = \frac{\psi_s - \psi_e}{|\ h_s - h_e\ |} = \frac{(h_s - h_e) - T_0 s_{gen}}{|\ h_s - h_e\ |}$$

$$\eta_{exerg.} = 1 - \frac{T_0 s_{gen}}{|\ h_s - h_e\ |}$$

$$\eta_{exerg.} = \frac{\psi_s - \psi_e}{|\ h_s - h_e\ |} = \frac{W_{\acute{u}_{rev}}}{|\ W_{\acute{u}}\ |}$$

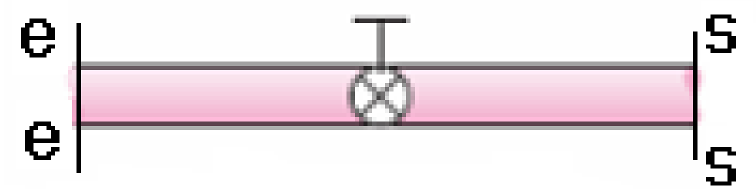
En aquellos casos en los que no se consume ni se produce trabajo

¿cómo se calcula el rendimiento exergético?

El proceso analizado no obtiene el producto pretendido, sino que es un eslabón de una cadena más compleja.

Ejemplo : válvulas

Válvulas reductoras



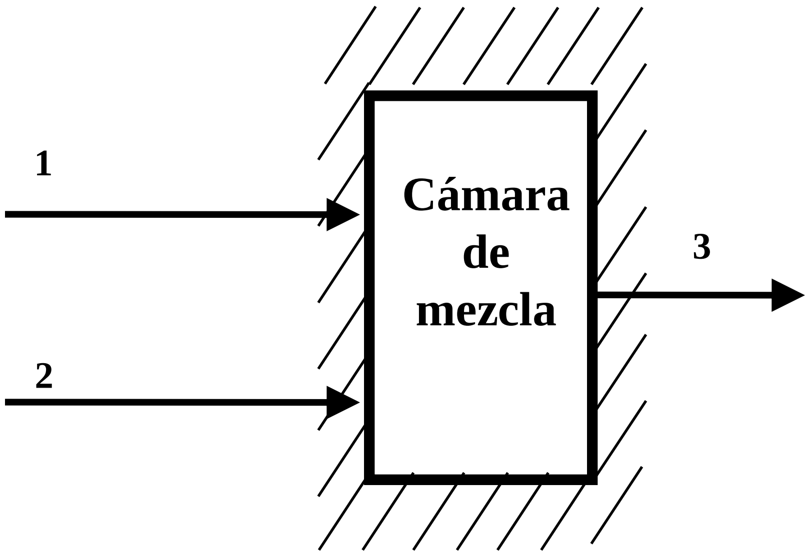
$$\eta_{xerg} = \frac{\varepsilon_{x_{salidas-0}}}{\varepsilon_{x_{entradas-0}}}$$

$$\eta_{xerg} = \frac{(h_s - h_0) - T_0(s_s - s_0)}{(h_e - h_0) - T_0(s_e - s_0)}$$

Si el efecto deseado en el producto es un calentamiento:

$$\eta_{xerg} = \frac{\Delta \varepsilon_{x\,masa_{calienta}}}{\Delta \varepsilon_{x_{masa_{enfría}}}}$$

Cámara de mezcla ó Intercambiadores de calor abierto

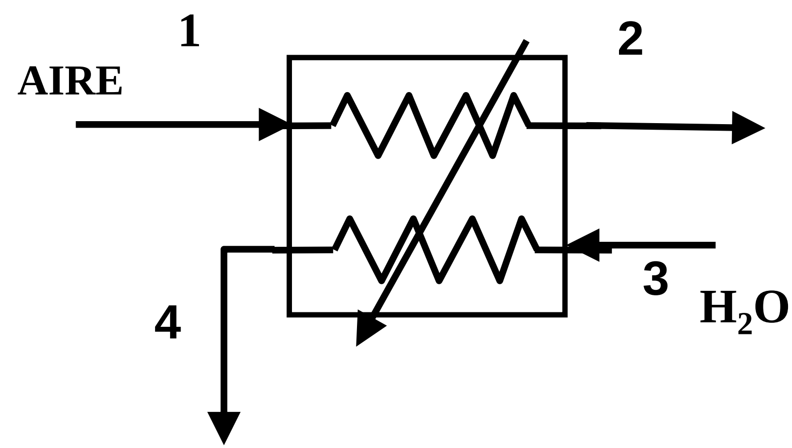


$$\eta_{xerg} = \frac{\dot{m}_{2_{CALIENTA}}(\psi_3 - \psi_2)}{\dot{m}_{1_{ENFRÍA}}(\psi_3 - \psi_1)}$$

El flujo másico 2 se calienta

$$\eta_{exerg} = \frac{\dot{m}_2[(h_3 - h_2) - T_0(s_3 - s_2)]_{calienta}}{\dot{m}_1[(h_3 - h_1) - T_0(s_3 - s_1)]_{enfría}}$$

Intercambiadores de calor cerrado



El aire se enfría

$$\eta_{exerg} = \frac{\dot{m}_{H_2O}\ (\psi_4 - \psi_3)_{calienta}}{\dot{m}_{aire}\ (\psi_1 - \psi_2)_{enfría}}$$

$$\eta_{exerg} = \frac{\dot{m}_{H_2O}[c_{H_2O}(T_4 - T_3) - T_0(s_4 - s_3)]_{calienta}}{\dot{m}_{aire}\, cp[(T_1 - T_2) - T_0 \ln\frac{T_2}{T_1}]_{enfría}}$$

Algunos conceptos

- El trabajo útil máximo solo puede obtenerse con evoluciones reversibles.

- La disponibilidad no se conserva, puede destruirse por irreversibilidades.

Trabajo útil

- El trabajo aprovechable combinando un sistema, el ambiente y unas evoluciones reales es:

$$W_{ú} = \varepsilon x_i - \varepsilon x_f - T_o\, S_{gen}$$

- Sgen= Generación de entropía por irreversibilidades internas = ΔS_{ii}.
- *I* = Irreversibilidad o exergía perdida o destruida.

Comentarios

- Al ser la entropía aditiva, al igual que la energía, se infiere que la generación total de entropía en un proceso es la suma la las generaciones individuales en cada irreversibilidad del proceso.

- Las irreversibilidades externas al sistema no se consideran. Reducirán la disponibilidad de los sistemas exteriores.

Utilización de las leyes fundamentales

La información que suministran los principios de conservación de la masa y de la energía, junto

con el segundo principio de la Termodinámica permiten el diseño de instalaciones industriales y su

diagnóstico para el uso eficaz y eficiente de la energía.

Rendimiento exergético

$$\eta = \frac{\text{Disponibilidad en el producto}}{\text{Disponibilidad suministrada} - k * \text{Disponibilidad cedida}}$$

$k = 0$ cuando la exergía cedida <u>no</u> es aprovechable

$k = 1$ cuando la exergía cedida <u>si</u> es aprovechable

✓**Tiene en cuenta la perfección de las máquinas, ya que puede dar el 100% si se logra realizar una evolución reversible.**

✓**Pone énfasis en la destrucción de posibilidad de realizar trabajo aprovechable.**

✓**No evalúa necesariamente el efecto logrado en el producto, sino la capacidad de producir trabajo comunicada al producto y que lógicamente podría aprovecharse.**

¿Qué se hace hoy día?

- Se usan habitualmente relaciones entre energías obtenidas y empleadas, o bien entre energía requerida por un proceso y la mínima necesaria, pero su significado solo suele ser entendido por el experto.
- Cada equipo de la instalación tiene su definición de rendimiento y cada equipo es tratado independientemente, sin valorar su influencia y peso en el resto de la instalación a la que pertenece.
- El técnico aplica el segundo principio solo intuitivamente, ignorando su utilidad, mientras que aplica los principios de conservación habitualmente. Esto es debido, en parte al carácter poco intuitivo de la entropía.

Uso de la exergía

La disponibilidad o exergía confirma el concepto intuitivo que se tiene de energía, en el sentido de

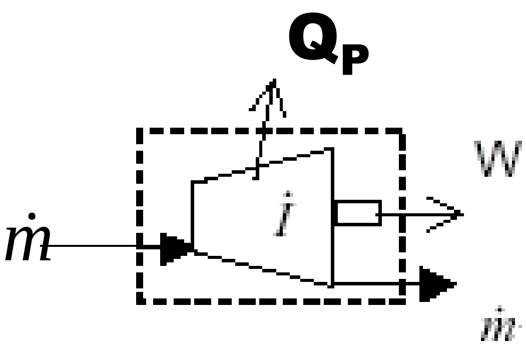
que puede ser de mayor o menor calidad en virtud de su capacidad de realizar trabajo, o de

transferirse a otro equipo.

El análisis exergético complementa el análisis energético, de forma que la exergía es la parte noble de la energía y coincide con ella en algunos casos

Balances energéticos y exergéticos
1er principio + 2º principio aplicado a un VC

Caso I, Turbina actuando en condiciones estacionarias:



El suministro es gas caliente a presión.

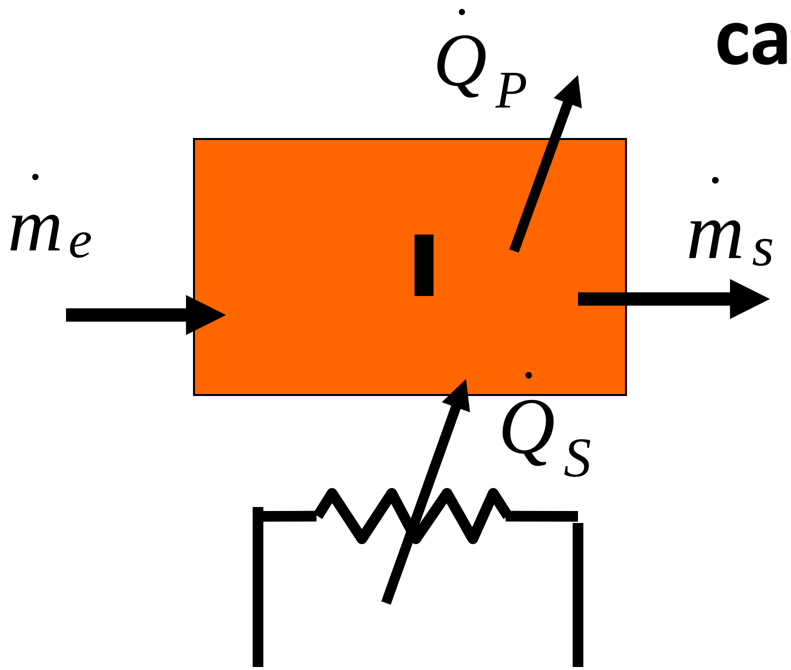
El intercambio es trabajo. La cesión se debe a la expulsión tras una expansión p_{exp}. hasta la presión atmosférica. p_0

Las pérdidas son fugas de calor hacia el exterior.

La destrucción se debe a irreversibilidades internas.

Ritmo de ... energía =	Energía intercambiada (W)	- Energía perdida	+ Entalpía suministrada	- Entalpía cedida	
0	**Beneficio**	**Pérdida**	**Costo**	Posibilidades: - No aprovechable k = 0. Pérdida - Aprovechable por otro proceso a continuación k = 1	
Ritmo de ... exergía =	Disponibilidad intercambiada	- Disponibilidad perdida	+ Disponibilidad suministrada	- Disponibilidad cedida	Disponibilidad destruida-

Caso II, Circuito de calefacción por aire caliente:



El suministro es aire atmosférico, sin costo.

El intercambio es suministro de calor con un intercambiador.

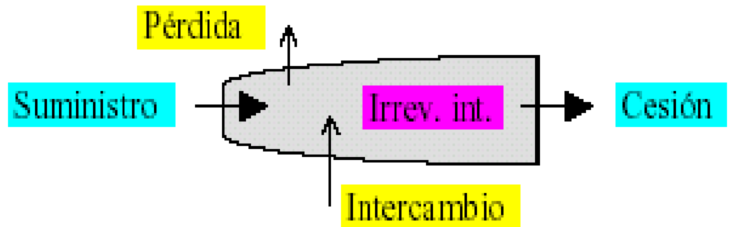
La cesión es aire para calefacción.

Las pérdidas son fugas de calor al exterior.

La destrucción es debida a irreversibilidades internas.

Ritmo de ... energía =	Energía intercambiada	- Energía perdida	+ Entalpía suministrada	- Entalpía cedida	
0	**Costo**	**Pérdida**	--	**Beneficio**	
Ritmo de ...exergía =	Disponibilidad intercambiada	- Disponibilidad perdida	+ Disponibilidad suministrada	- Disponibilidad cedida	- Disponibilidad destruida

Balances energéticos y exergéticos
1er principio + 2º principio aplicado a un VC



Balance de energía

Ritmo de variación de energía =	Energía intercambiada p. u. de tiempo	- Energía perdida p. u. de tiempo	+ Entalpía suministrada p. u. de tiempo	- Entalpía cedida p. u. de tiempo

$$\frac{dE_{vc}}{dt} = \int_{\text{Area de intercambio}} \frac{\delta Q_i}{dt} + \underbrace{W}_{\text{Potencia aportada por un eje}} \underbrace{- p\frac{dV_{vc}}{dt}}_{\text{Pot. aportada por variación de volumen}} - \int_{\text{Area de pérdidas}} \frac{\delta Q_p}{dt} + \dot{m}_s h_{ts} - \dot{m}_c h_{tc}$$

Balance Exergético

Ritmo de variación de exergía =	Disponibilidad intercambiada p. u. de tiempo $\dot{A}_i$, calor y trabajo	- Disponibilidad perdida p. u. de iempo $\dot{A}_p$, sólo calo	+ Disponibilidad suministrada p. u. de tiempo	- Disponibilidac cedida p. u. d tiempo	- Disponibilidad destruida p. u. de tiempo

$$\frac{d\varepsilon_{x_{v.c.}}}{d\tau} = \int\left(1-\frac{T_0}{T_1}\right)\frac{\delta Q}{d\tau} + W - (p-p_0)\frac{\delta W}{d\tau} - \int\left(1-\frac{T_0}{T_P}\right)\frac{\delta Q_P}{d\tau} + \dot{m}_s\Psi - \dot{m}_e\Psi - I$$

W_{EJE}

W APORTADO POR VARIACIÓN DE VOLUMEN

FIN