

Balance de entropía

2. Análisis Volumen de Control

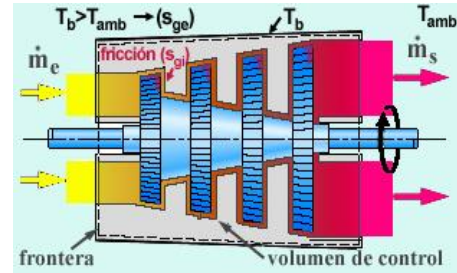
Reversibilidad / irreversibilidad interna. Generación de entropía

La variación de entropía, en términos de velocidad de cambio $(dS/dt)_{VC}$ en el **VC** que caracteriza un determinado equipo viene dada por la expresión

$$\dot{m} \cdot (s_e - s_s) + \int_{\text{front VC}} \frac{\delta \dot{Q}}{T_b} + \dot{S}_{gi} = \left(\frac{dS}{dt} \right)_{VC}$$

donde, en **verde** y en el **segundo miembro**, se recoge el cambio de entropía que se produce en dicho volumen y en el primer miembro de la igualdad se muestran las causas de este cambio:

- En **negro** el aporte neto de S que entra (o sale) del VC acompañando al flujo másico.
- En **rojo** el debido al flujo de Q (este cambio puede ser positivo o negativo pues tiene el signo del flujo de calor).
- En **azul** el incremento, siempre positivo, debido a la generación de entropía por la existencia de irreversibilidades internas, S_{gi} , es decir dentro de la frontera del sistema.



Si no hay efectos disipativos dentro del sistema decimos que proceso es internamente reversible. Entonces la entropía generada es nula. Si consideramos ahora el caso de régimen estacionario, tenemos que en el **VC** no se producen cambios por lo que el segundo miembro se anula y el cambio de entropía que experimenta el flujo másico entre entrada y salida coincide con el flujo de entropía debido al flujo de Q. La integral que nos da este flujo de entropía (por unidad de masa) puede calcularse como q/T_{bm} donde T_{bm} es la T media termodinámica de la frontera.

Por unidad de masa atravesando el **VC**, en **régimen estacionario** y utilizando T_{bm} , la expresión inicial se transforma en $(s_e - s_s) + q/T_{bm} + S_{gi} = 0$. En ella q es el flujo de calor por unidad de masa atravesando el VC :

$$q = \dot{Q}/\dot{m}$$

Irreversibilidad externa (en la frontera)

El intercambio del flujo de q entre entorno y **VC** sólo será reversible si $T_{entorno}$ y $T_{frontera}$ son coincidentes. Cuando no lo son diremos que hay irreversibilidad externa. La entropía generada en esta irreversibilidad, S_{ge} la podemos calcular, de forma simplificada utilizando las T medias termodinámicas en entorno y frontera:

$$S_{ge} = \frac{q_{ent}}{T_{ent}} + \frac{q_{sist}}{T_{front}} \text{ o, sustituyendo valores: } S_{ge} = \frac{q}{T_{amb m}} + \frac{-q}{T_{b m}}$$

donde asignamos el valor q a q_{ent} , es decir el flujo que cede o recibe el entorno y, por tanto, $-q$ a q_{sist} , flujo que recibe o cede el sistema. Lógicamente, el signo es relativo: si un flujo es cedido, el otro es absorbido y viceversa.

Por otra parte, las T de entorno y sistema las caracterizamos con sus valores medios respectivos: $T_{amb m}$ para la Tm termodinámica del entorno (caso particular, el ambiente) y $T_{b m}$ para de la la frontera del sistema.

Incremento de entropía del Universo

El segundo principio dice que un proceso con irreversibilidades origina un incremento de entropía del Universo.

Considerando que este Universo es la combinación de los sistemas que interaccionan (entorno y sistema) podemos decir que este incremento coincide con la entropía generada en irreversibilidades internas y en externas.

Así tenemos: $\Delta S_U = \Delta S_{sist} + \Delta S_{ent}$ o bien $\Delta S_U = S_{gi} + S_{ge}$

Hay que tener en cuenta que los flujos de energía entre entorno y sistema (VC) pueden ser de calor (frontera diatérmica), de masa (frontera abierta que es el caso del VC en general) y de trabajo (frontera móvil) que no interviene en el balance de S del entorno. Así su expresión quedará como:

$$\dot{m} \cdot \Delta s_{ent} = \dot{m} \cdot (s_s - s_e) + (\dot{Q}/T_{ent})$$

donde \dot{m} es el flujo másico (kg/s) y el signo del flujo de calor tiene la interpretación dada arriba.

Exergía destruida (A_d) en las irreversibilidades¹

La expresión de Guy-Stodola $A_d = T_{amb} \cdot (S_{gi} + S_{ge})$ nos permite calcular la destrucción de exergía que es consecuencia de las irreversibilidades.

¹ Exergía de un sistema es el potencial que tiene éste para producir trabajo.

