

Balance de entropía

1. Análisis Masa de Control

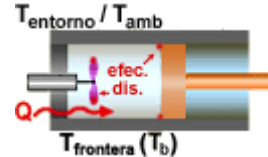
Reversibilidad / irreversibilidad interna

La variación de entropía $(\Delta S)_{if}$ en un proceso de estados inicial, i, y final, f, viene dada por la expresión

$$\int_i^f \frac{\delta Q}{T} + S_{gi} = (\Delta S)_{if} = m \cdot (s_f - s_i)$$

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

- En **rojo** el debido al flujo de calor (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.



Cuando no hay irreversibilidades dentro del sistema decimos que el proceso es internamente reversible. En este caso la entropía generada es nula y el flujo de entropía debido al flujo de calor coincide con el cambio que la entropía del sistema experimenta. La integral (término en rojo de la expresión inicial) que nos da este flujo de entropía puede calcularse como Q/T_{bm} donde T_{bm} es la temperatura media termodinámica de la frontera.

Por unidad de masa, y utilizando T_{bm} , la expresión inicial será $q/T_{bm} + S_{gi} = s_f - s_i$. En ella q es el flujo de calor por unidad de masa: Q/m

Irreversibilidad externa (en la frontera)

El intercambio del flujo de calor Q entre entorno y sistema 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} podemos calcular de forma simplificada utilizando las T medias termodinámicas en entorno y frontera, con la expresión

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

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 y nos indica que un si flujo es cedido, el otro será absorbido y viceversa.

Por otra parte, las T de entorno y sistema las caracterizamos con sus valores medios respectivos: T_{amb} para la T_m termodinámica del entorno (caso particular, el ambiente) y T_{bm} 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 $\Delta S_U = S_{gi} + S_{ge}$

En un sistema cerrado no hay flujo másico ni intercambio de energía con el entorno ligado al flujo másico. Los únicos flujos existentes pueden ser: de calor (frontera diatérmica) que no interviene en el balance de S del entorno. Así su expresión quedará como:

$$\Delta S_{ent} = (Q/T_{ent})$$

con las consideraciones hechas sobre Q más 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.