

II. Energía, transferencia de energía, análisis general de energía

Objetivos:

1. Introducir el concepto de energía y definir sus varias formas.
2. Discutir la naturaleza de la energía interna.
3. Definir el concepto de calor y la terminología asociada a la transferencia de energía por calor.
4. Definir el concepto de trabajo, y las varias formas de trabajo mecánico.
5. Introducir la primera ley de la termodinámica, el balance de energía, y los mecanismos de transferencia de energía desde o hacia un sistema.
6. Introducir la energía transferida producto de la transferencia de masa a través de un volumen de control.
7. Definir la eficiencia de conversión de energía.

1. Formas de energía.

La energía puede existir en numerosas formas: térmica, mecánica, eléctrica, magnética, química, y nuclear. La suma de todas las formas de energía constituye la energía total E del sistema. La energía total de un sistema por unidad de masa es denotada como la energía específica total e y es expresada como:

$$e = \frac{E}{m} \begin{matrix} [\text{kJ}] \\ [\text{kg}] \end{matrix}$$

La termodinámica no provee información con respecto al valor absoluto de la energía total y solo trata con el cambio de esta.

En el análisis termodinámico, las varias formas de energía se suelen agrupar en dos grupos:

Formas *macroscópicas* de energía. Son aquellas que posee un sistema como un todo con respecto a algún marco de referencia externo (energía cinética y potencial, por ejemplo). Se ven influenciadas por efectos tales como la gravedad, el magnetismo, la electricidad, y la tensión superficial.



II. Energía, transferencia de energía, análisis general de energía

1. Formas de energía.

Energía cinética KE. Es la energía macroscópica que posee un sistema como resultado del movimiento relativo con respecto a algún marco de referencia. Cuando todas las partes de un sistema se mueven con la misma velocidad Vel , la energía cinética puede ser expresada como:

$$KE = m \frac{Vel^2}{2} \quad [kJ]$$
$$ke = \frac{Vel^2}{2} \quad \left[\frac{kJ}{kg} \right]$$

En el caso de un sistema rotatorio, con momento de inercia I y velocidad angular ω , la energía cinética estaría dada por:

$$KE_{rot} = I \frac{\omega^2}{2} \quad [kJ]$$

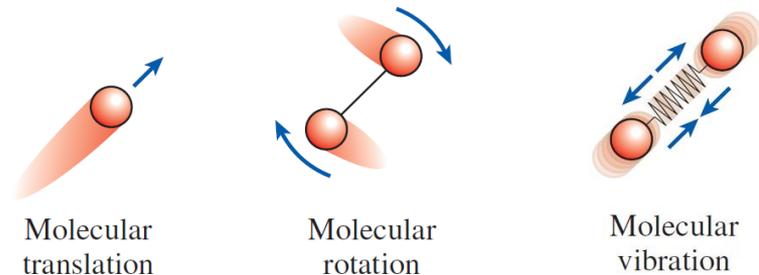
Energía potencial PE. Es la energía que posee un sistema como resultado de su elevación en un campo gravitatorio.

$$PE = mgz \quad [kJ]$$

$$pe = gz \quad \left[\frac{kJ}{kg} \right]$$

Formas *microscópicas* de la energía. Son aquellas relacionadas con la estructura molecular de un sistema y el grado de actividad molecular. Son independientes de marcos de referencias externos. La suma de todas las formas microscópicas de energía se denomina como energía interna de un sistema U .

La energía interna puede ser vista como la suma de la energía cinética y potencial de las moléculas. Las moléculas se trasladan, rotan, y vibran (principalmente a altas temperaturas).



II. Energía, transferencia de energía, análisis general de energía

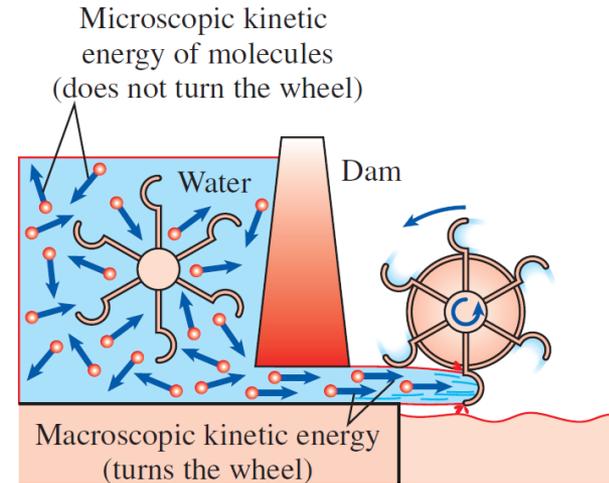
1. Formas de energía.

La energía sensible. Es la porción de energía interna de un sistema asociada con la energía cinética de las moléculas. Tiene que ver con el estado de un sistema.

La energía latente. Es la porción de energía interna asociada con la fase de un sistema. Es la energía interna asociada con las fuerzas de unión entre las moléculas.

Las formas latentes y sensibles de energía interna son denominadas como *energía térmica*.

Ha de hacerse la distinción entre las formas macroscópicas y microscópicas de la energía cinética de sus moléculas. La *energía cinética a nivel macro* de un objeto es una forma organizada de energía asociada con el *movimiento ordenado de todas las moléculas* en una dirección, en un camino, o alrededor de un eje. En contraste la energía cinética a nivel micro es aleatoria y altamente desorganizada.



En la ausencia de efectos magnéticos, eléctricos, y de tensión superficial significativos, la energía total estaría dada por:

$$E = U + m \frac{Vel^2}{2} + mgz \quad [k]$$

En el caso de sistemas cerrados en estado estacionario, el cambio de energía total suele ser igual al cambio de energía interna.

II. Energía, transferencia de energía, análisis general de energía

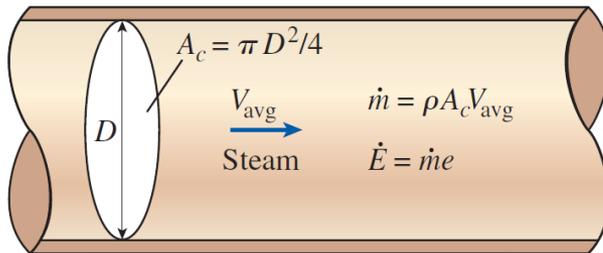
1. Formas de energía.

Los volúmenes de control típicamente involucran flujo de fluidos por largos periodos de tiempo, por lo que suele ser conveniente expresar la energía en términos de flujos másicos.

El flujo másico \dot{m} es la cantidad de masa que fluye a través de una sección transversal por unidad de tiempo.

$$\dot{m} = \rho \dot{V} = \rho A_c Vel_{avg} \quad \left[\frac{\text{kg}}{\text{s}} \right]$$

$$Vel_{avg} = \frac{\int_{A_c} (\rho)(Vel)(dA_c)}{(\rho)(A_c)} \quad \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$$



El flujo de energía \dot{E} estaría dado entonces por:

$$\dot{E} = \dot{m} e \quad \left[\frac{\text{kJ}}{\text{s}} \right] = [\text{kW}]$$

Energía mecánica

Muchos sistemas están diseñados para transportar fluidos de una localización a otra a un determinado flujo volumétrico, velocidad, y diferencia de elevación.

La *energía mecánica* puede ser definida como aquellas formas de energía que pueden ser convertidas a trabajo mecánico completa y directamente por un dispositivo mecánico ideal (sin perdidas de energía producto de los efectos de la fricción) tal como una turbina ideal.

Trabajo de flujo o energía de flujo. Es la cantidad de energía requerida para mover un fluido y mantener el flujo. Está asociada con la presión P del fluido. Por unidad de masa estaría dado por P/ρ .

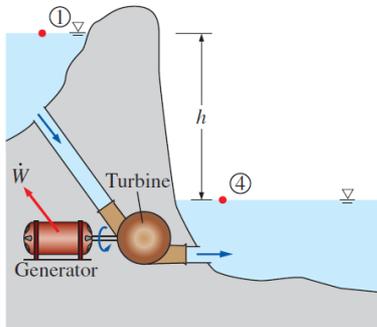
La energía mecánica por unidad de masa de un flujo e_{mech} que fluye estaría dada por:

II. Energía, transferencia de energía, análisis general de energía

1. Formas de energía.

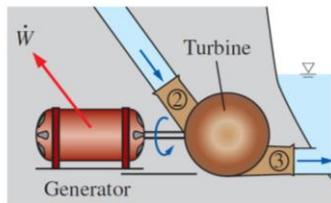
Energía mecánica

$$e_{mech} = \frac{P}{\rho} + \frac{Vel^2}{2} + gz \quad \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]$$



$$\dot{W}_{max} = \dot{m} \Delta e_{mech} = \dot{m} g (z_1 - z_4) = \dot{m} g h$$

since $P_1 \approx P_4 = P_{atm}$ and $V_1 = V_4 \approx 0$



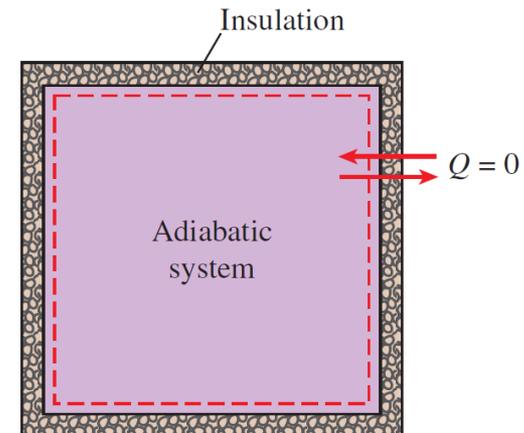
$$\dot{W}_{max} = \dot{m} \Delta e_{mech} = \dot{m} \frac{P_2 - P_3}{\rho} = \dot{m} \frac{\Delta P}{\rho}$$

since $V_2 \approx V_3$ and $z_2 = z_3$

2. Transferencia de energía por calor.

El *calor* es definido como una forma de energía que es transferida entre dos sistemas (o un sistema y sus alrededores) producto de una diferencia de temperatura.

Proceso adiabático. Proceso durante el cual no se transfiere calor. Solo hay dos formas en que se puede dar este proceso: una es cuando el sistema está bien aislado de forma tal que la cantidad de calor que pasa por la frontera es despreciable o bien hay equilibrio térmico entre el sistema y sus alrededores.



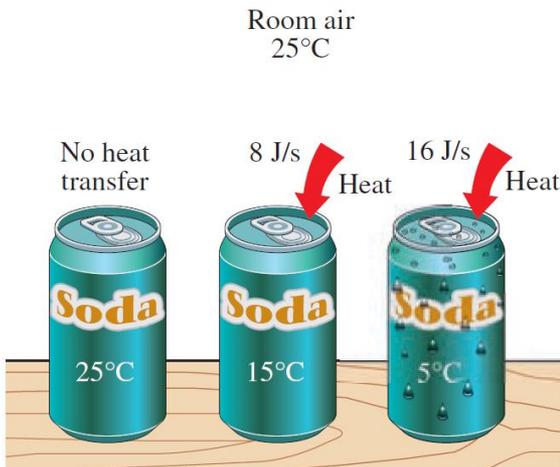
II. Energía, transferencia de energía, análisis general de energía

2. Transferencia de energía por calor.

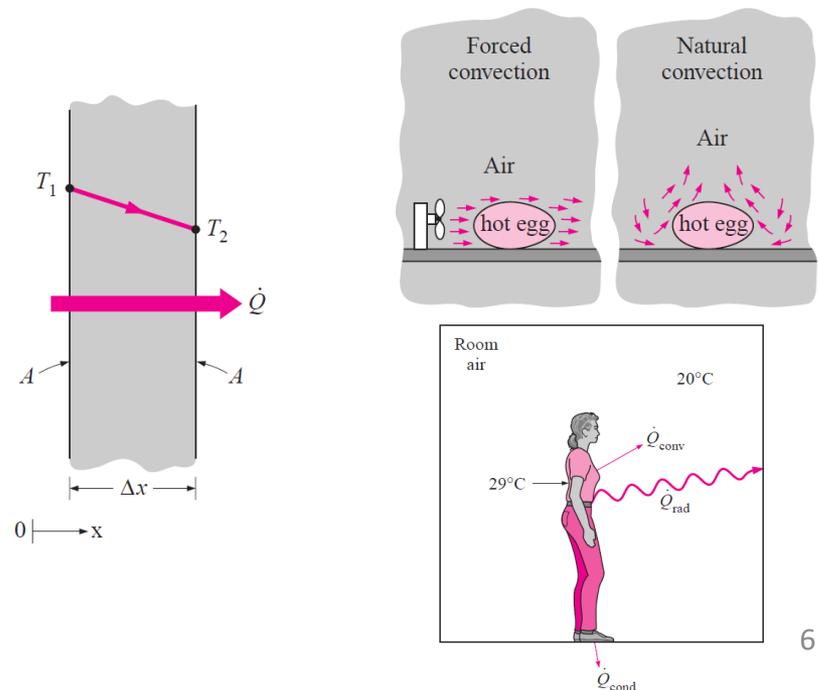
La cantidad de calor transferido durante un proceso entre dos estados (estado 1 y 2) es denotado como Q_{12} y por unidad de masa estaría dado por:

$$q_{12} = \frac{Q_{12}}{m} \left[\frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right]$$

Por unidad de tiempo, dicho calor se conoce como la tasa de calor transferido \dot{Q}_{12} y se da en unidades de kJ/s o kW.



El calor es transferido a través de tres mecanismos: conducción (interacción de energía entre sólidos o líquidos estanco), convección (interacción entre un sólido y líquido en movimiento, o entre líquidos en movimiento), y radiación (es la transferencia de energía debida a la emisión de ondas electromagnéticas, no requiere de un medio para que se dé esta transferencia).



II. Energía, transferencia de energía, análisis general de energía

3. Transferencia de energía por trabajo.

Trabajo. Es la energía asociada con una fuerza actuando a través de una distancia. Típicamente se dice que si la energía que cruza a través de la frontera de un sistema cerrado no es calor, entonces debe ser trabajo.

El trabajo hecho durante un proceso entre dos estados (estado 1 y 2) es denotado por W_{12} y por unidad de masa estaría dado por:

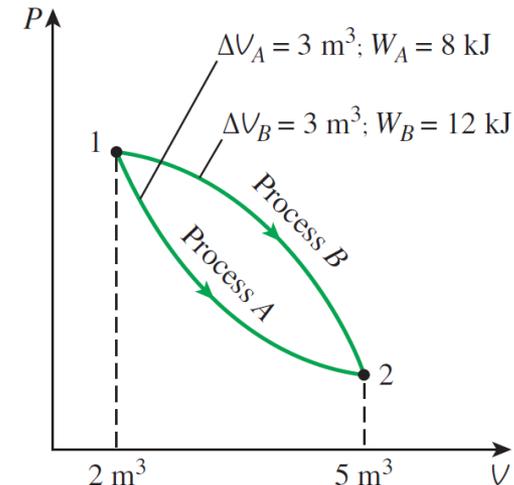
$$w_{12} = \frac{W_{12}}{m} \begin{bmatrix} \text{kJ} \\ \text{kg} \end{bmatrix}$$

El trabajo hecho por unidad de tiempo es llamado potencia y es denotado como \dot{W}_{12} y tiene unidades de kJ/s o kW.

Ha de decirse que el calor y el trabajo son cantidades direccionales y no son propiedades. Más bien son mecanismos de transferencia de energía; cantidades que son transferidas desde o hacia un sistema durante una interacción o proceso.

También debe comentarse que son funciones de recorrido (sus magnitudes dependen del camino recorrido durante un proceso así como también del estado inicial y del final).

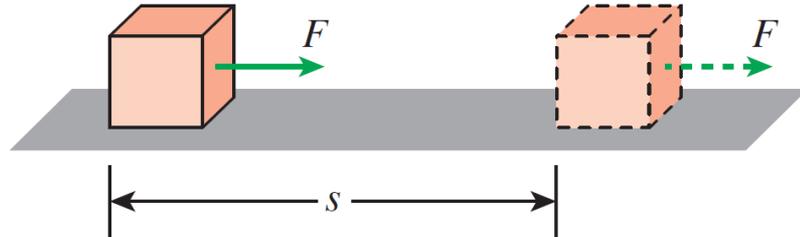
Las funciones de camino tienen diferenciales inexactos designados como δ , a diferencia de las funciones puntuales (como las propiedades que solo dependen del estado del sistema y no del recorrido) que tiene diferenciales exactos d .



II. Energía, transferencia de energía, análisis general de energía

4. Formas de trabajo mecánico.

Hay diferentes formas de hacer trabajo, cada una relacionada con una fuerza actuando sobre una distancia.

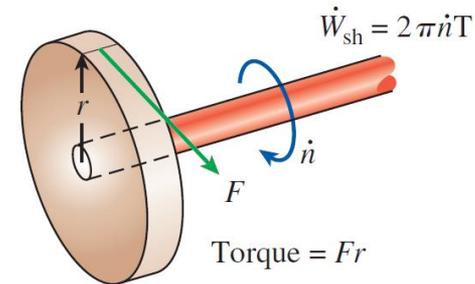
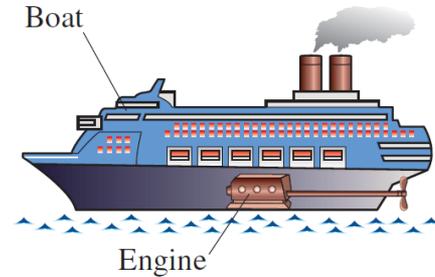


$$W = \int_1^2 F ds \quad [\text{kJ}]$$

Existen dos requerimientos para que se dé una interacción de trabajo entre un sistema y sus alrededores: (1) debe haber alguna fuerza actuando sobre la frontera, y (2) la frontera debe moverse.

Trabajo de eje

La transmisión de energía con un eje es muy común en prácticas ingenieriles. Comúnmente el torque T que es aplicado al eje es contante, lo que implica que la fuerza F aplicada también es contante.



$$T = Fr \rightarrow F = \frac{T}{r}$$

Esta fuerza actúa sobre una distancia s que esta relacionada al radio r por:

$$s = (2\pi r)n$$

Consecuentemente:

$$W_{eje} = Fs = \left(\frac{T}{r}\right)(2\pi rn) = 2\pi nT \quad [\text{kJ}]$$

II. Energía, transferencia de energía, análisis general de energía

4. Formas de trabajo mecánico.

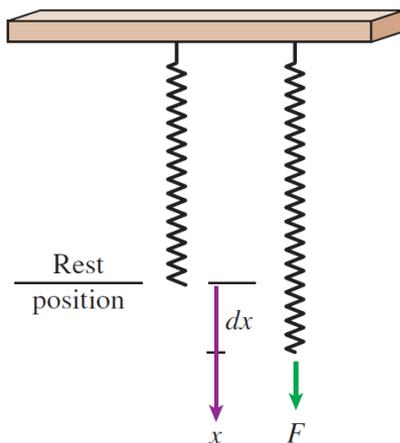
Trabajo de eje

Lo que por unidad de tiempo representaría la potencia transmitida \dot{W}_{eje} .

$$\dot{W}_{eje} = 2\pi nT \quad [\text{kW}]$$

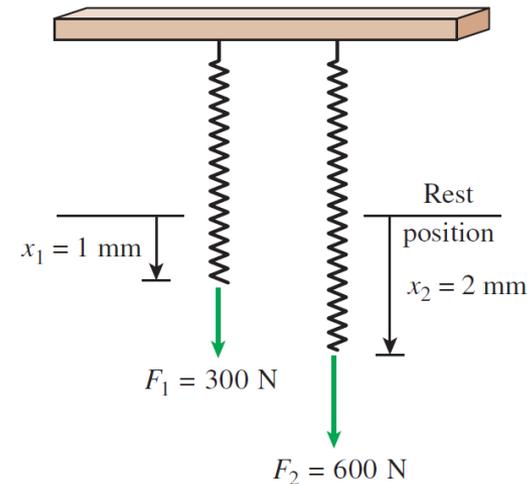
Trabajo de resorte

Es de conocimiento general que al aplicar una fuerza a un resorte este se alargará desde su posición de equilibrio estático.



$$\delta W_{resorte} = F dx$$

Para determinar el trabajo total del resorte, es necesario conocer la relación funcional entre la fuerza y la elongación del resorte. En el caso de resorte elásticos dicha relación es lineal ($F = kx$, donde k es una constante que representa la rigidez del resorte).



$$W_{resorte} = \int_1^2 (kx) dx = \frac{k(x_2^2 - x_1^2)}{2} \quad [\text{kJ}]$$

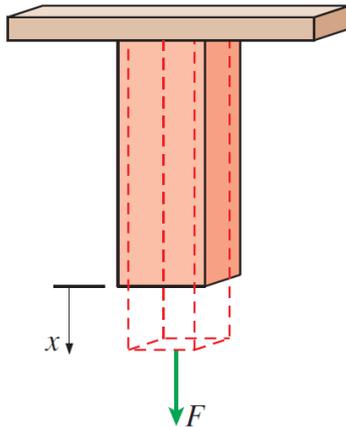
El trabajo hecho por un resorte estaría dado por:

II. Energía, transferencia de energía, análisis general de energía

4. Formas de trabajo mecánico.

Trabajo hecho por una barra elástica

Los sólidos comúnmente son modelados como resortes lineales debido a que bajo la acción de una fuerza se contraen o elongan linealmente en la región elástica.



$$\sigma_n = \frac{F}{A_c}$$

$$W_{\text{barra elástica}} = \int_1^2 (\sigma_n A_c) dx \quad [\text{kJ}]$$

También existen otras formas de trabajo como el trabajo requerido para estirar una película de fluido (asociado a la tensión superficial) y el trabajo hecho para elevar (asociado a la energía potencial), y el hecho para acelerar un cuerpo (asociado a la energía cinética). Vea la sección 2.5 de su libro de texto para más detalles.

5. Primera ley de la termodinámica.

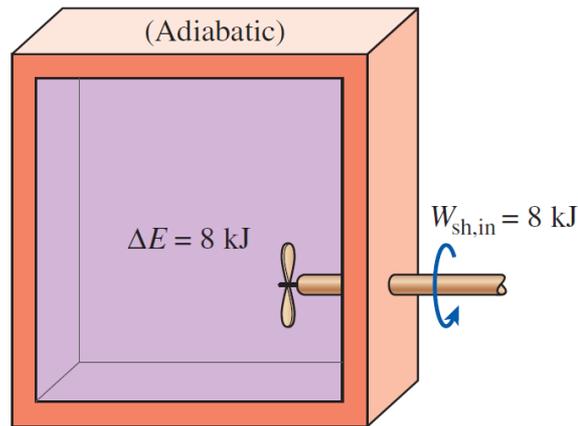
La primera ley de la termodinámica se deriva de una observación experimental importante:

Para todos los procesos adiabáticos entre dos estados específicos de un sistema cerrado, el trabajo neto hecho es el mismo con independencia de la naturaleza del sistema cerrado y de los detalles del proceso.

Es decir el cambio en la energía total del sistema cerrado durante el proceso adiabático debe ser igual al trabajo neto hecho.

II. Energía, transferencia de energía, análisis general de energía

5. Primera ley de la termodinámica.



Balance de energía

*(Energía total entrando al sistema) –
 (Energía total saliendo del sistema) =
 (Cambio en la energía total del sistema)*

$$E_{\text{entrada}} - E_{\text{salida}} = \Delta E_{\text{sistema}}$$

Cambio de energía de un sistema $\Delta E_{\text{sistema}}$

La determinación del cambio de energía de un sistema $\Delta E_{\text{sistema}}$ implica evaluar la energía del sistema al inicio y al final del proceso, y luego tomar su diferencia.

En ausencia de efectos eléctricos, magnéticos, y de tensión superficial; $\Delta E_{\text{sistema}}$ será igual a:

$$\Delta E_{\text{sistema}} = \Delta U + \Delta KE + \Delta PE$$

$$\Delta E_{\text{sistema}} = m \left[(u_2 - u_1) + \frac{(Vel_2^2 - Vel_1^2)}{2} + g(z_2 - z_1) \right]$$

Donde los valores de las energías internas específicas pueden ser determinados directamente de las tablas de propiedades termodinámicas.

Mecanismos de transferencia de energía $E_{\text{entrada}}, E_{\text{salida}}$

Hay tres mecanismos principales:

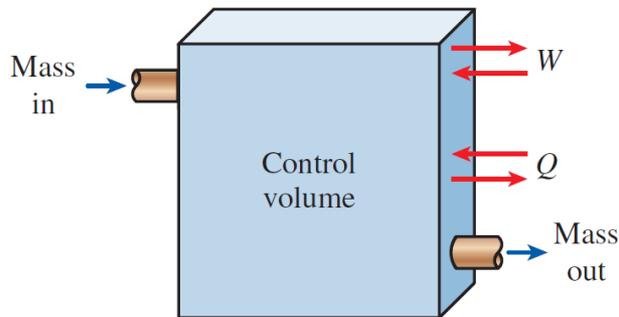
- Transferencia en forma de calor.
- Transferencia en forma de trabajo.
- Transferencia producto de flujo másico. En los sistemas abiertos, la entrada y salida de masa sirve como un mecanismo adicional de transferencia de energía.

II. Energía, transferencia de energía, análisis general de energía

5. Primera ley de la termodinámica.

Mecanismos de transferencia de energía
 $E_{entrada}$, E_{salida}

Cuando masa entra a un sistema la energía del sistema incrementa producto de la energía que tiene la masa, y de igual forma cuando masa sale del sistema, la energía decrece producto de que la masa toma parte de la energía de dicho sistema.



$$E_{entrada} - E_{salida} = (Q_{entrada} - Q_{salida}) + (W_{entrada} - W_{salida}) + (E_{masa,entrada} - E_{masa,salida})$$

6. Eficiencias de la conversión de energía.

La eficiencia indica que tan bien una conversión de energía o un proceso de transferencia es logrado.

En general, la eficiencia η , puede ser expresada en términos de la salida deseada entre la entrada requerida.

$$\eta = \frac{\text{Lo que quiero}}{\text{Lo que necesito}}$$

Ejemplos de eficiencia mecánica

$$\eta_{bomba} = \frac{\Delta \dot{E}_{mec,fluido}}{\dot{W}_{eje,entrada}}$$

$$\eta_{turbina} = \frac{\dot{W}_{eje,salida}}{\Delta \dot{E}_{mec,fluido}}$$