



3 - Energía.

Desarrollos durante el siglo XX

Exergía

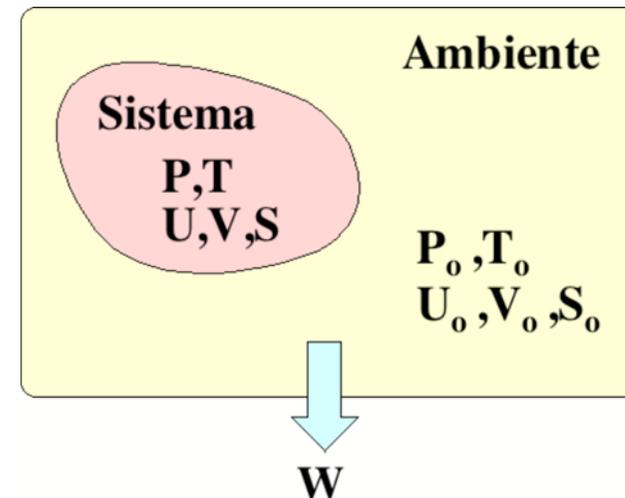
- Exergía. Trabajo disponible. Máxima cantidad de trabajo que puede extraerse.
Etimología. 'trabajo, fuerza que sale'
- Por el Segundo Principio no todo el calor puede convertirse en trabajo
- Si tenemos un sistema con una determinada temperatura rodeado por un entorno con una temperatura diferente, podemos preguntarnos por la máxima cantidad de trabajo que podemos extraer de esta situación.

- Supondremos

$$\begin{cases} U + U_o + W = \text{cte} \\ V + V_o = \text{cte} \end{cases} \Rightarrow$$
$$\Rightarrow \begin{cases} dU + dU_o + dW = 0 \\ dV + dV_o = 0 \end{cases}$$

- Si el ambiente es mucho mayor que el sistema

$$dT_o = dP_o = 0$$



Exergía

- La variación de entropía del ambiente es $dS_o = \frac{dU_o + P_o dV_o}{T_o} = -\frac{dU + P_o dV + dW}{T_o}$
 - La variación total de entropía será $dS_t = dS_o + dS = -\frac{dU + P_o dV - T_o dS}{T_o} - \frac{dW}{T_o}$
 - Esto puede reescribirse como $dS_t = -\frac{dE + dW}{T_o}$
 - donde hemos introducido la **Exergía**, como la función de estado $E \equiv U + P_o V - T_o S$
 - introduciendo la relación de Gibbs $U = TS - PV$
tenemos $E = (T - T_o)S - (P - P_o)V$
- La exergía depende de las diferencias de P y T**
- En el equilibrio no hay exergía $T = T_o$; $P = P_o \Rightarrow E = 0$
 - El trabajo que se obtiene será $dW = -dE - T_o dS_t$

Exergía

- Tenemos $dW = -dE - T_0 dS_t$
- Supongamos que el sistema evoluciona al equilibrio. El trabajo generado en ese proceso será

$$W = -\Delta E - T_0 \Delta S_t$$

- el incremento de exergía será: $\Delta E = E_{\text{equil}} - E_{\text{inic}} = -E$

- por tanto nos queda $W = E - T_0 \Delta S_t$

- como según el segundo principio $\Delta S_t \geq 0$

entonces $W \leq E$

- La exergía es el máximo trabajo que puede sacarse de un sistema en interacción con su entorno.
- Si en el proceso se genera entropía, el trabajo obtenido es menor

Eficiencia exergetica

- Eficiencia exergetica o eficiencia del segundo principio $\eta_2 = \frac{W}{-\Delta E} = \frac{W}{E}$
- Como $E = W_{\text{rev}}$, esta eficiencia equivale a $\eta_2 = \frac{\eta}{\eta_{\text{rev}}}$

donde $\eta = \frac{W}{Q}$ y $\eta_{\text{rev}} = \frac{W_{\text{rev}}}{Q}$

- Por tanto se compara la eficiencia de una máquina térmica entre el sistema y el ambiente con la que tendría una máquina reversible que toma la misma cantidad de calor del foco caliente, es decir compara la eficiencia con la eficiencia máxima posible.
- Puede ser más útil para realizar evaluaciones que la eficiencia del primer principio o eficiencia normal

Energía y exergía

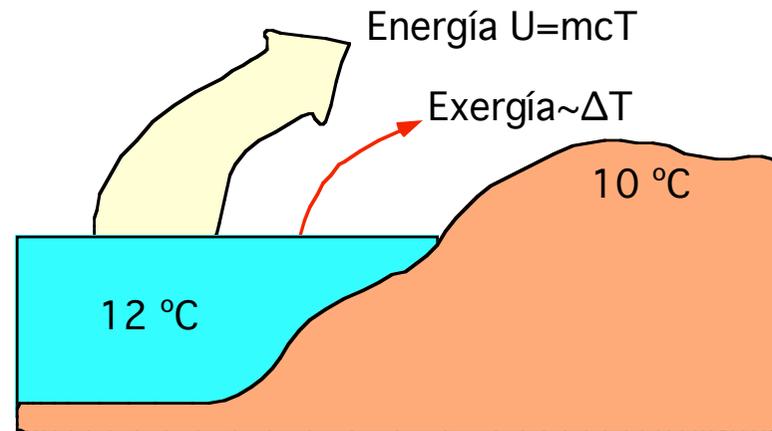
Energía

- movimiento o capacidad de generar movimiento
- se conserva, ni se crea ni se destruye.

Exergía

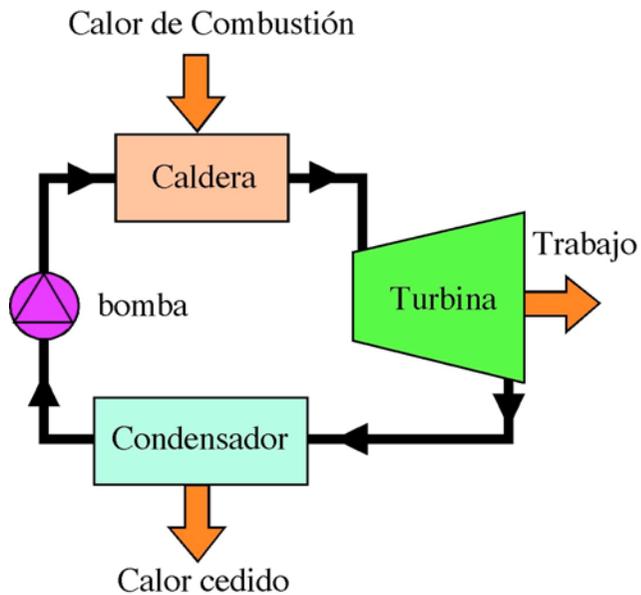
- trabajo o capacidad de generar trabajo
 - se gasta, se puede destruir y crear
-
- Si lo que queremos es trabajo es más conveniente analizar el consumo de exergía que el de energía, las fuentes de exergía que las de energía

Ejemplo. La temperatura del mar por la noche es 2 grados superior a la de la atmósfera. La cantidad de calor que se puede extraer del mar es inmensa, la cantidad de exergía sin embargo es pequeña

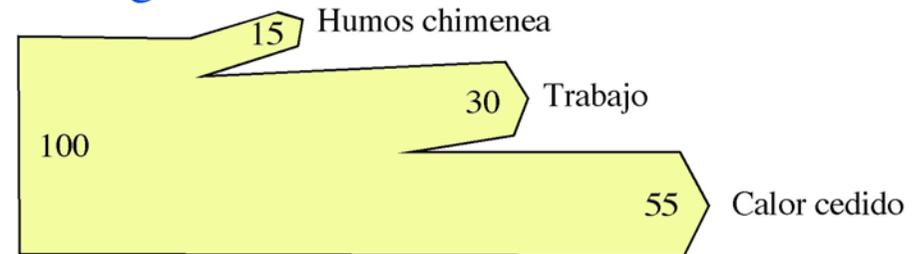


Flujo de energía y exergía

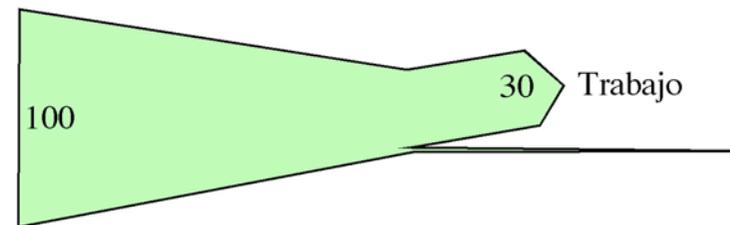
El análisis del comportamiento de un motor térmico (**Turbina de vapor**) es muy distinto según se empleen energías o exergías



Energía



Combustión - Caldera - Turbina - Condensador



Exergía

Eficiencia 2º Principio

Podemos generalizar los conceptos

- Eficiencia 1º Principio

$$\eta = \frac{\text{lo que se obtiene}}{\text{lo que se dá}}$$

- Eficiencia 2º Principio

$$\eta_2 = \frac{\text{lo que se obtiene}}{\text{lo máximo que podría obtenerse}}$$

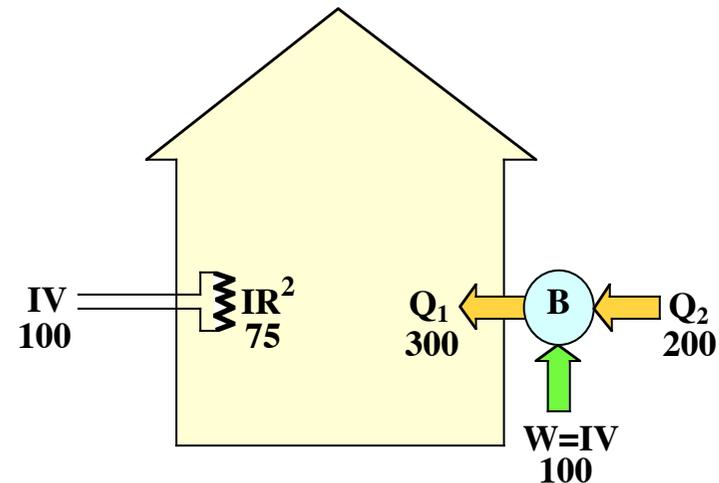
Los análisis hechos con una u otra son muy diferentes

–Si calentamos una casa con un radiador eléctrico la eficiencia puede ser $\eta = 75\%$

–Una bomba de calor (máquina de Carnot funcionando al revés) tiene una eficiencia $\eta = 300\%$

–La eficiencia del segundo principio para la calefacción eléctrica será:

$$\eta_2 = 75 / 300 = 25\%$$



Eficiencias

Eficiencias del Primer y Segundo Principio
en el uso doméstico de la energía

Tarea	η	η_2
Calentador de agua		
•Eléctrico	0.75	0.015
•Gas	0.5	0.029
Calefacción		
•Casa	0.6	0.028
•Horno	0.75	0.145
•Aire acondicionado	2.00	0.045

G.Aubrecht. Energy.

Termodinámica dependiente del tiempo

- La eficiencia de Carnot es demasiado ideal
- Para que el calor se transfiera

$$T_c > T_{cg} \quad \text{y} \quad T_{fg} > T_f$$

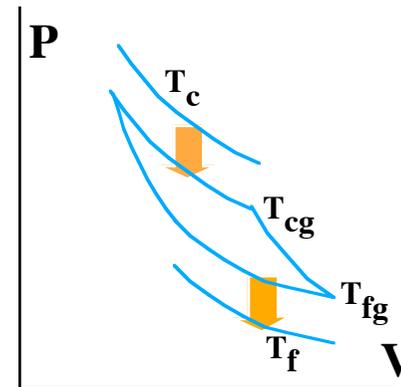
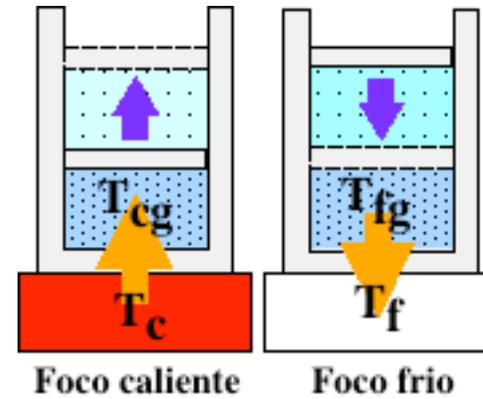
El calor se transfiere más rápidamente si aumenta la diferencia de temperaturas

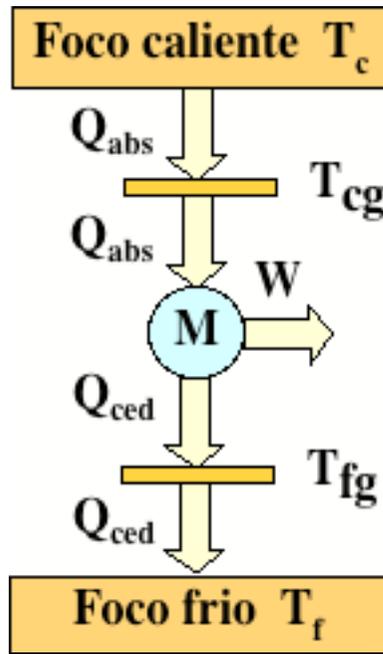
$$\frac{dQ_{\text{abs}}}{dt} = \kappa S \frac{T_c - T_{cg}}{e} = \frac{T_c - T_{cg}}{R_c}$$

$$\frac{dQ_{\text{ced}}}{dt} = \frac{T_{fg} - T_f}{R_f}$$

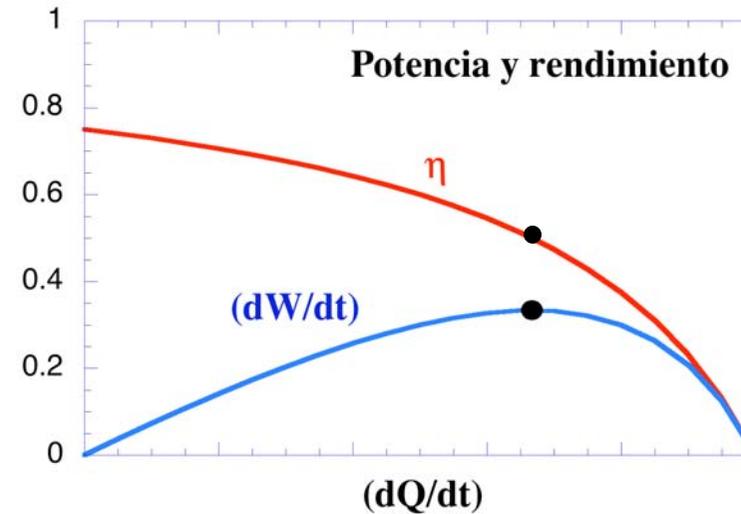
pero la eficiencia disminuye

$$\eta = 1 - \frac{T_{fg}}{T_{cg}} < \eta_c = 1 - \frac{T_f}{T_c}$$





Eficiencia de Curzon-Ahlborn



Cuando la potencia es máxima $\eta_{CA} = 1 - \sqrt{\frac{T_f}{T_c}}$

Ejemplo $T_f = 300 \text{ K}$ y $T_c = 1200 \text{ K}$

entonces $\eta_c = 75\%$ y $\eta_{CA} = 50\%$

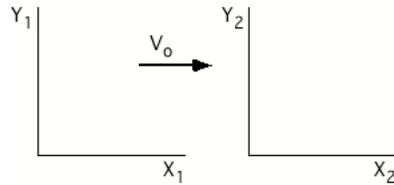
$$\eta = 1 - \frac{(T_f / T_c)}{1 - \frac{dQ}{dt} \left(\frac{R_c + R_f}{T_c - T_f} \right) \left(1 - \frac{T_f}{T_c} \right)}$$

$$\text{Pot} = \frac{dW}{dt} = \eta \frac{dQ}{dt}$$

No es imprescindible trabajar en el régimen de máxima potencia

Relatividad especial

- En la mecánica clásica las Leyes se expresan igual en cualquier sistema de referencia inercial



$$x_2 = x_1 - v_0 t \quad t_2 = t_1$$

$$v_2 = v_1 - v_0 \quad a_2 = a_1$$

$$F = ma_2 = ma_1$$

- El electromagnetismo presenta varios problemas:

- Fuerza de Lorentz
- La luz es una onda electromagnética - campos eléctricos y magnéticos oscilantes que se propagan con velocidad

$$\dot{\mathbf{F}} = q\dot{\mathbf{v}} \times \dot{\mathbf{B}}$$

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}}$$

- Para que la velocidad de la luz sea la misma en todos los sistemas inerciales la relación entre las medidas de tiempo y espacio en dos sistemas debe ser diferente a la clásica

$$x_2 = \frac{x_1 - v_0 t_1}{\sqrt{1 - v_0^2 / c^2}} \quad t_2 = \frac{t_1 - v_0 x_1 / c^2}{\sqrt{1 - v_0^2 / c^2}}$$

- Ahora las longitudes de objetos o los intervalos temporales no son iguales. El espacio se acorta y el tiempo se dilata
- El tiempo y el espacio no son independientes. Geometría del espacio-tiempo

Energía y masa

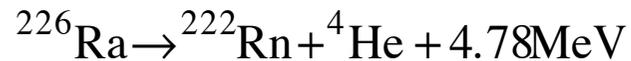
- En las colisiones elásticas en la mecánica clásica se conserva $\vec{p} = m\vec{v}$ y $E = \frac{1}{2}mv^2$

- En la relatividad especial se conserva

$$\vec{p} = \frac{m\vec{v}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad \text{y} \quad E = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Cuando la velocidad es pequeña $\vec{p} \approx m\vec{v}$ y $E \approx mc^2 \left(1 + \frac{1}{2} \frac{v^2}{c^2} \right) = mc^2 + \frac{1}{2}mv^2$

- Existe una energía en reposo. mc^2
 - Desintegraciones nucleares. Hay una pérdida de masa que equivale a la energía cinética liberada.

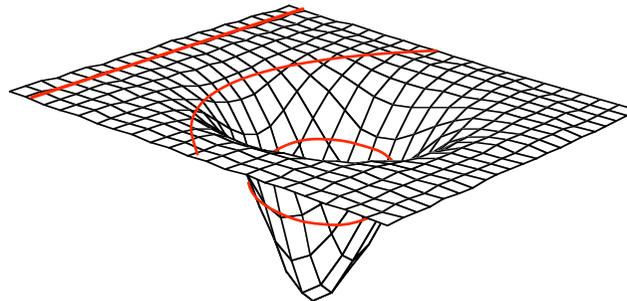


$$m_{\text{Ra}} > m_{\text{Rn}} + m_{\text{He}}$$

- La masa inerte es una forma de energía. No se puede separar de la energía. Cuanta más energía de ligadura o de enlace tenga un objeto, mayor masa inerte.
- La “conservación de la masa” forma parte de la conservación de la energía.

Relatividad General

- La masa inerte y gravitatoria son equivalentes.
- Localmente no es posible distinguir entre un campo gravitatorio y un sistema de referencia acelerado.
 - Al formalizarlo matemáticamente.....
- La masa-energía curva el espacio-tiempo a su alrededor
 - Los objetos siguen la trayectoria más corta
 - Como el espacio-tiempo es curvo la trayectoria más corta no es realmente recta (es la trayectoria del proyectil) La luz también sigue esas trayectorias.



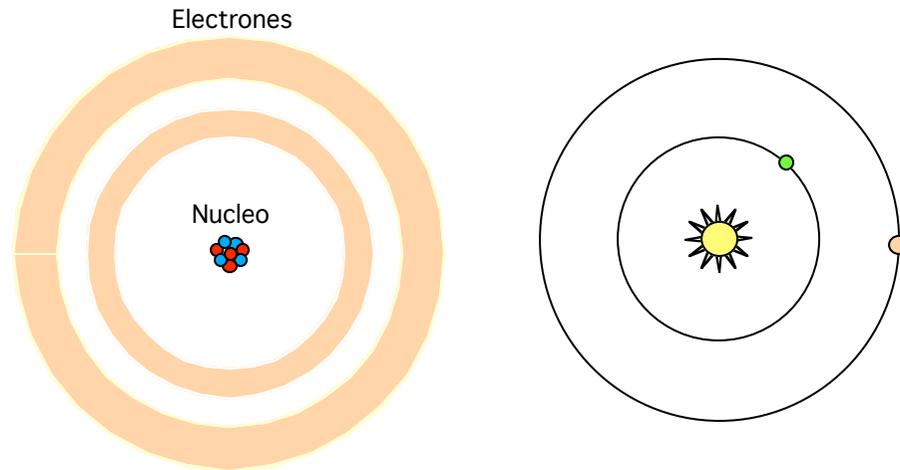
- Cualquier concentración de masa-energía curva el espacio-tiempo a su alrededor, alterando las trayectorias de cualquier objeto. (Interacción gravitatoria)

Mecánica Cuántica

- Los objetos cuánticos o microscópicos son muy diferentes de los del mundo macroscópico
- La luz (onda electromagnética) también se comporta como un conjunto de corpúsculos de masa nula y energía $E = h\nu$ ($h = 6.6 \times 10^{-34}$ Js)
- Las partículas elementales manifiestan aspectos ondulatorios (interferencias y difracción) con longitud de onda

$$p = \frac{h}{\lambda}$$

- Los átomos son como un sistema solar en pequeño pero...



- En la mecánica clásica un planeta puede seguir una órbita estable con cualquier valor de la energía y del momento angular.
- En la mecánica cuántica sólo determinados valores de la energía y del momento angular son posibles para la órbita del electrón.
- Cuando cambia de un estado a otro emite un fotón de frecuencia proporcional al salto de energía

$$E = \frac{\pi m e^4}{h^2 n^2} \quad L = \ell \frac{h}{2\pi}$$

$$h\nu = \Delta E$$

Mecánica Cuántica

Principio de incertidumbre de Heisenberg

- En las trayectorias no se puede determinar al mismo tiempo la posición y la velocidad

$$\Delta p \cdot \Delta x \geq \frac{h}{2\pi}$$

Las trayectorias no están perfectamente determinadas

- electrón $m = 9.1 \cdot 10^{-31}$ kg , $\Delta v \Delta x > 10^{-4}$ m²/s si $\Delta x = 1$ mm entonces $\Delta v > 0.1$ m/s
- cuerpo macroscópico $m = 1$ kg, $\Delta v \Delta x > 10^{-34}$ m²/s si $\Delta x = 10^{-17}$ m entonces $\Delta v > 10^{-17}$ m/s

- Si permanece en un estado un tiempo τ la energía está indeterminada

$$\Delta E \cdot \tau \geq \frac{h}{2\pi}$$

- si $\tau = 10^{-12}$ s entonces $\Delta E > 10^{-22}$ J = 10^{-3} eV
 - Durante un tiempo suficientemente pequeño la energía puede tener variaciones. **No se conserva.**
 - Macroscópicamente es inapreciable
- El vacío también puede sufrir esas variaciones de energía (fluctuaciones del vacío)
 - Es imposible extraer una energía neta de esas fluctuaciones ($\tau = \infty$)

Conservación de la energía

- La energía es básicamente una cantidad que se conserva, aunque su valor absoluto sea arbitrario.
- Su conservación es una Ley Empírica. Nunca se ha observado lo contrario. No se conoce ningún móvil perpetuo
 - Poincaré " *Si alguna vez fallase el principio de conservación de la energía, lo resucitaríamos inventando una nueva forma de energía* "
- Características de una teoría científica
 - 1. Explica las observaciones de la naturaleza.
 - 2. Sus predicciones se pueden contrastar con los resultados experimentales.
Si es posible hacerlo cuantitativamente mejor.
 - 3. Sus conclusiones son provisionales, es decir no necesariamente es la última palabra.
 - 4. Es "falseable" en el sentido de Popper.
- Cada nueva forma de energía que se descubra debe ser cuantificable y contrastable con el experimento.
- La Conservación de la Energía además de ser un concepto útil y no arbitrario, es un hecho.