

# Resumen de Termodinámica, 2 v0.1

Primera Temporada.

**Trabajo, energía y calor.**



<https://plataformazeo.com/es/energia-limpia-40-2020-mundial/>

Episodios de apoyo al libro

<http://termo.red/libro/>

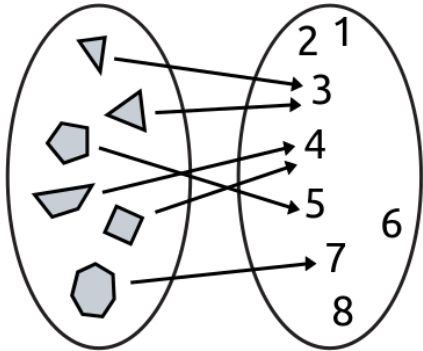
© Diego Saravia <mailto:dsa@ututo.org>

## 2.2.- Función

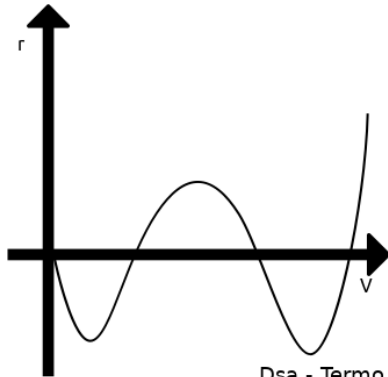
- Una función (aplicación, mapeo) asigna a cada elemento (todos) de un conjunto origen (var. independiente, abcisa, dominio), uno y sólo un elemento de otro (o el mismo) conjunto destino (var. dependiente, ordenada, codominio).

## 2.3.- Función

- Una función real es una función que va del conjunto de los números reales al de los reales.
- Imagen es el subconjunto del codominio que realmente es apuntado por algún elemento del dominio.



Dsa - Termo - FDL - 2018



Dsa - Termo - FDL - 2018

## 2.5.- Función

$$nlad_x = nlad_{pol}(pol_x)$$

- $nlad_{pol}()$ : identifica a la función, notar  $()$ .
- $pol$ : conjunto origen (var. indep.).  
Puede haber muchas variables para identificar un elemento.

## 2.6.- Función

- $pol_x$ : elemento del conjunto origen al que se le aplica la función.
- $nlad_x$  o  $nlad_{pol}(pol_x)$ : elemento del conjunto destino al que se le aplica la función.

## 2.7.- Función

- ↪ Usamos una notación que me permite diferenciar todos los elementos necesarios.
- ↪ En termodinámica se usa a veces una notación disfuncional, confundiendo la variable destino con la función y la variable origen con el elemento al que se aplica.

## 2.8.- Función

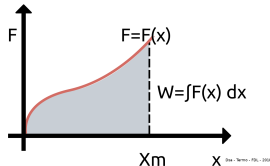
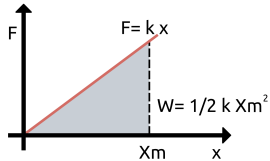
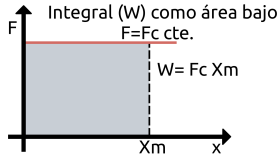
↪  $S(V, U)$  es una función que devuelve  $S$ , lo que se confunde con  $S(p, T)$ , que devuelve lo mismo pero con otras variables y con  $S(p_0, T_0)$ , con un valor concreto de las variables.



## 2.9.- Trabajo

- ↪ De una fuerza que se desplaza.
- ↪ Equivale al area bajo la curva del diagrama de la proyección de la fuerza vs. el desplazamiento (prod. escalar).
- ↪ Se define positivo cuando sale del sistema.

## 2.10.- Trabajo



Trabajo con una fuerza que:

1. es constante,
2. es lineal,
3. cualquier  $F_x()$ .

Integral (W) como área bajo

$F = F_c$  cte.

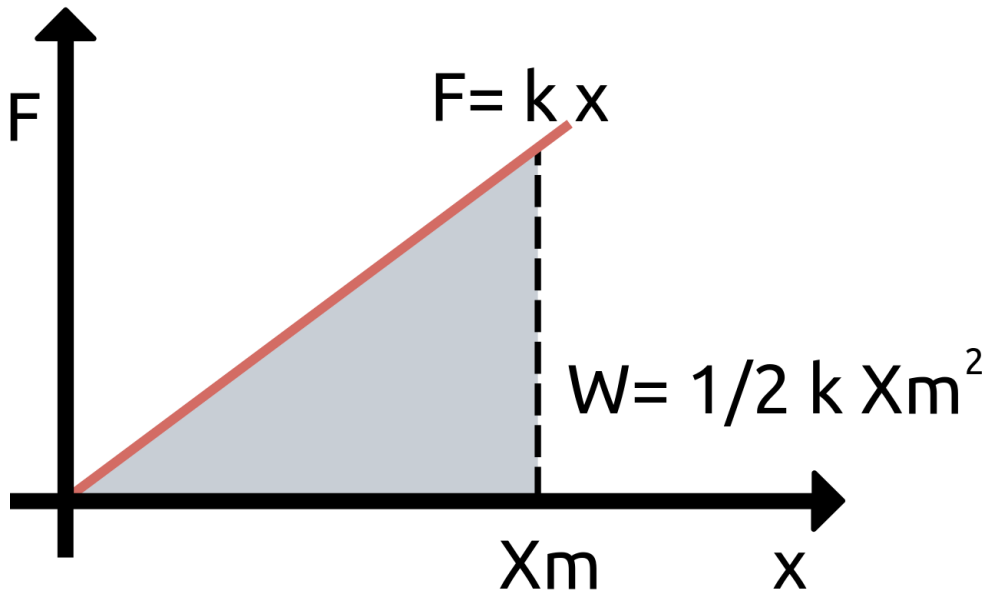
F

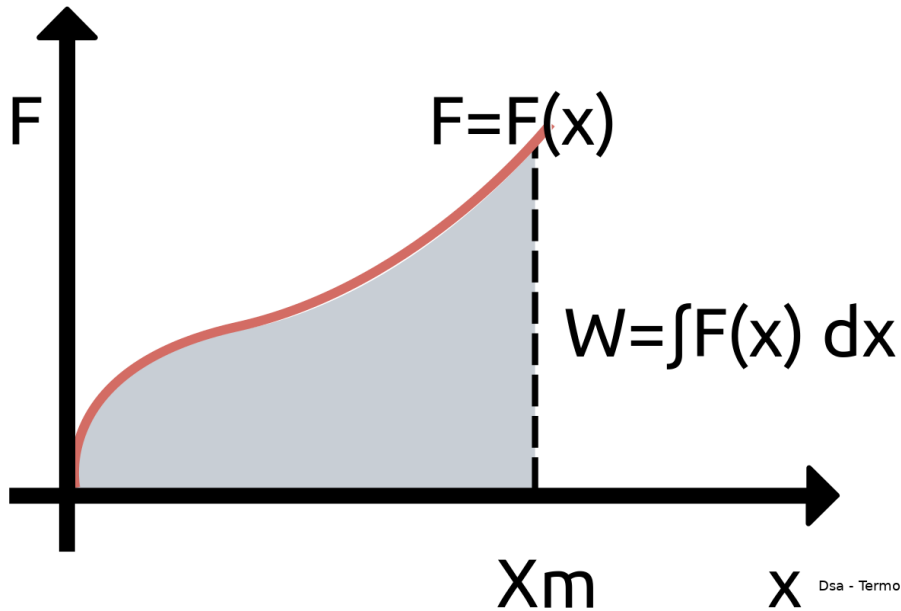


$$W = F_c X_m$$

$X_m$

x



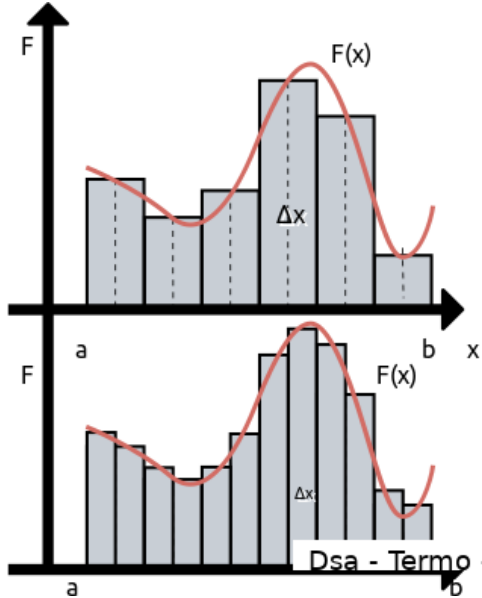


## 2.14.- Trabajo

↪ Es una integral de línea:

$$\Delta W_{ba} = \int_a^b \vec{F}_x(\vec{x}) \cdot d\vec{x} = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \sum_{i=1}^{i=n} \vec{F}(\vec{x}_i) \cdot \Delta \vec{x}$$

↪  $\int$  es una S estilizada (suma).  $d$ , adelante de  $x$ , es el diferencial, un cambio pequeño ( $\Delta$ ).



Aproximaciones sucesivas a la integral.

## 2.16.- Trabajo

- ↪ Las letras arriba y abajo de la  $\int$  representan entre qué valores,  $a$  y  $b$ , de la variable  $x$ , o límites, se hace la integral:  $\int_a^b$ . Atención con el orden de  $a$  y  $b$  en la integral y en el  $\Delta$ .
- ↪ Se usa  $\oint$ , cuando es un ciclo.



## 2.17.- Pistón

$$\begin{aligned}\Delta W_p &= \int_{x_a}^{x_b} F dx \\ &= \int_{x_a}^{x_b} \frac{F}{A} A dx = \int_{V_a}^{V_b} p dV\end{aligned}$$

## 2.18.- $W$ y área

- ↪ En las gráficas  $p - V$ , el trabajo del pistón es el área bajo el camino del proceso.
- ↪ Para ciclos, el área de la parte del ciclo que avanza en  $V$  se resta a la que retrocede. El área del ciclo es el trabajo. Positivo para giro horario, negativo en caso contrario.

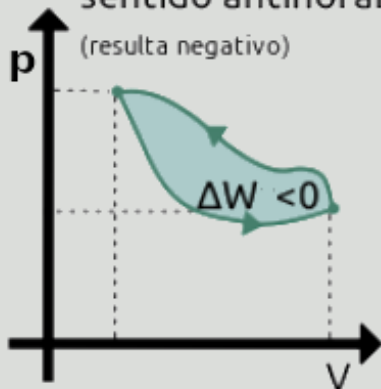
convención

trabajo saliente +  
 $\Delta W = \int p \, dV$

sentido horario  
(resulta positivo)



sentido antihorario  
(resulta negativo)



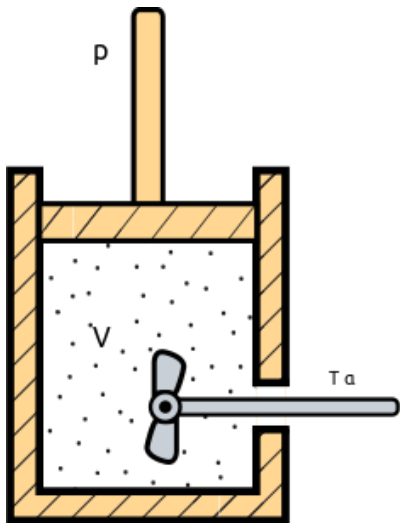
## 2.20.- Paletita

$$\Delta W_{\tau} = - \int_{x_a}^{x_b} |F dx|$$

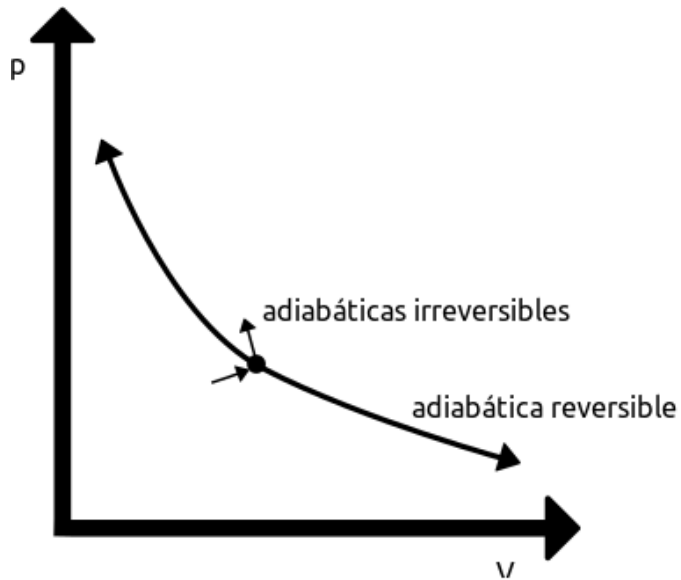
$$= - \int_{\alpha_a}^{\alpha_b} \left| F r d \left( \frac{x}{r} \right) \right| = - \int_{\alpha_a}^{\alpha_b} |\tau d\alpha|$$

## 2.21.- Experimento $W$ adiabático

Para un sistema material simple, usando un pistón o paletita, en forma adiabática.

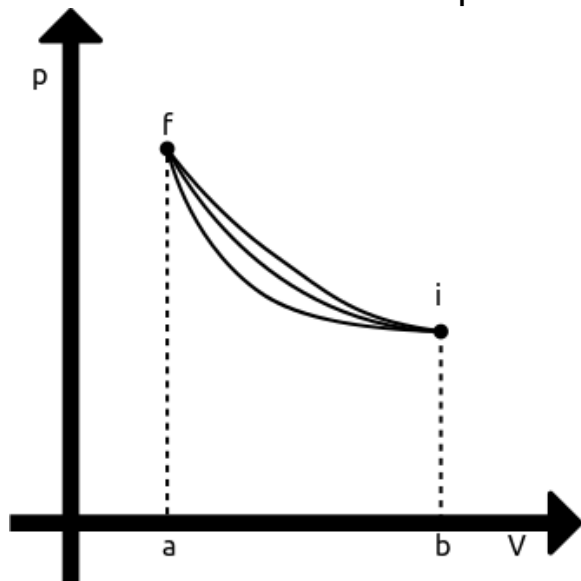


Dsa - Termo - FDL - 2018



Dsa - Termo - FDL - 2018

Observamos para todo A y B:





## 2.25.- Experimento $W$ adiabático

- ↪ Cuando no es posible ir de A a B se puede ir de B a A.
- ↪ Para todos los caminos entre A y B o B y A:  $\Delta W_{A \leftarrow B} = cte.$  o  $\Delta W_{B \leftarrow A} = cte.$
- ↪ Si es posible ir en ambos sentidos:  
 $\Delta W_{A \leftarrow B} + \Delta W_{B \leftarrow A} = 0.$
- ↪ Girar la paletita en cualquier sentido sólo ingresa trabajo, es irreversible.

## 2.26.- Experimento $W$ adiabático

- ↪ Vamos de A a B. Podemos hacer el recorrido, por varios caminos, usando pistón y paletita en diferentes proporciones. Medimos el trabajo en cada caso.
- ↪ Conclusión: **El trabajo será igual en todos los caminos. Sólo depende de A y B.**

## 2.27.- Energía interna $U$

- ↪ Tenemos entonces una función de proceso que vale lo mismo para todo camino que inicia y termina en los mismos puntos.
- ↪ Por lo tanto la tomamos como una función de estado. El trabajo adiabático entre cualquier estado y el de referencia, es una función del estado.

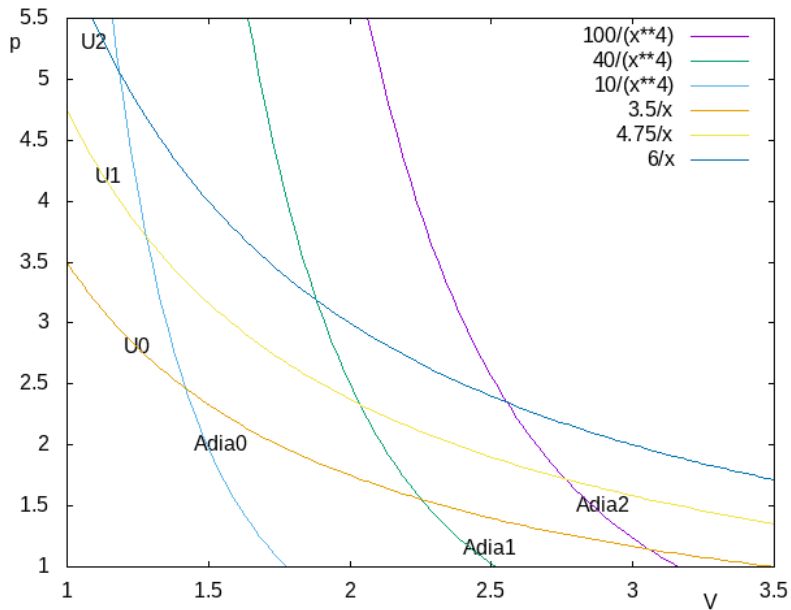
## 2.28.- Primera Ley (1)

**Existe una función del estado de equilibrio, que nos da el valor de la energía interna de ese estado, que equivale al trabajo adiabático entre el estado y otro estado de referencia.**

$$U_{pV}()$$

## 2.29.- Mapa de $U$

- ↪ Tenemos un nuevo mapa:  $U$ , sobre  $p$  y  $V$ .
- ↪ Adia0, etc. son con pistón reversible.  
El área bajo las adiabáticas, es lo que se incrementa  $U$  en ese trayecto.  
Para vincular los otros puntos, usamos la paletita.



## 2.31.- Mapa de $U$

```
#gnuplot -p < mapau.plot
set term png
set output "../figuras/mapau.png"
set xrange [1 to 3.5]
set yrange [1 to 5.5]
set multiplot
set label "U0" at 1.2,2.8
...
plot 100/(x**4), 40/(x**4), 10/(x**4),
     3.5/x, 4.75/x, 6/x
```

## 2.32.- Compuestos

La energía interna  $U$  de un sistema compuesto es la suma de las de cada subsistema.



## 2.33.- Calor

- ↪ Agregamos una pared diaterma al sistema.
- ↪ Tenemos el mapa de las  $U_x = U_{V,p}(V_x, p_x)$  del sistema, creado con procesos adiabáticos, pero válido siempre. Cada punto tiene una  $U_x$  identificada.

## 2.34.- Calor

- ↪ Si en el proceso entre A, y B, calculamos o medimos el trabajo y calculamos el  $\Delta_{BA}U$ , veremos que puede haber una diferencia. La definimos como el calor  $Q$  que a través la pared diaterma.
- ↪ El calor se define positivo cuando entra.

## 2.35.- Calor

- ↪ A  $V$  cte. el trabajo de la paletita  $W_\tau$  causa lo mismo que el calor  $Q$ . Una vertical que sube en  $V, p$ .
- ↪ El mismo estado final B, desde A.
- ↪ Si no lo sabemos, estudiando el estado B no podemos saber como llego. **Carece de sentido pensar en cuanto  $Q$  tiene un sistema.**

## 2.36.- Calórico

- ↪  $Q$  y  $W$  se distinguen en cuanto a desplazamiento, pero no hay calor o trabajo en un sistema. Hay energía interna. Ambos  $Q$  y  $W$  son flujos de energía interna.
- ↪ Costó tiempo y esfuerzo entender que el calor no es balanceable, (teoría del calórico). Si lo es la entropía (la veremos) y cumple lo pretendido para el calórico.

## 2.37.- Primera Ley (2), balance

$$\Delta U = \Delta Q - \Delta W$$

- ↪ Ni el calor, ni el trabajo son balanceables. U sí.
- ↪ La energía interna es una forma de energía igual que la cinética, la potencial, etc.
- ↪ Los químicos toman positivo  $W$  ingresado.



La radiación solar transporta calor.

## 2.39.- Energía $E$

- ↪ No se crea, ni se destruye.
- ↪ Se define como equivalente al trabajo en procesos adiabaticos y que se conserva localmente.

## 2.40.- Energía $E$

- ↪ Solo la estudiamos entre estados de equilibrio. Pero vale siempre. No se conoce contraejemplo y se adapta en la relatividad.
- ↪ Toda energía es expresable en términos de las variables que definen todo sistema que conocemos y esperamos que conozcamos.

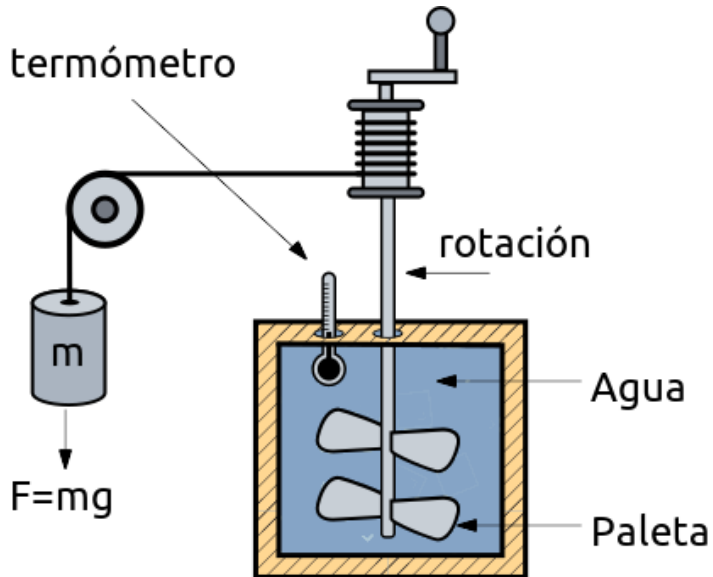


## 2.41.- Experimento de Joule.

Calor, trabajo y temperatura

¿Cuanto  $Q$  y cuanto  $W$  agregamos para un  $\Delta T$ ?

termómetro



Dsa - Termo - FDL - 2018



Ver local 1 Ver local 2

<https://www.youtube.com/watch?v=MBrTDKc9YZ0>

[https://www.youtube.com/watch?v=oQrruamD\\_4Y](https://www.youtube.com/watch?v=oQrruamD_4Y)

Cibelle Celestino Silva, Storytelling Teaching Model.  
European Commission. 2013.



James Prescott Joule

## 2.45.- Grados centígrados

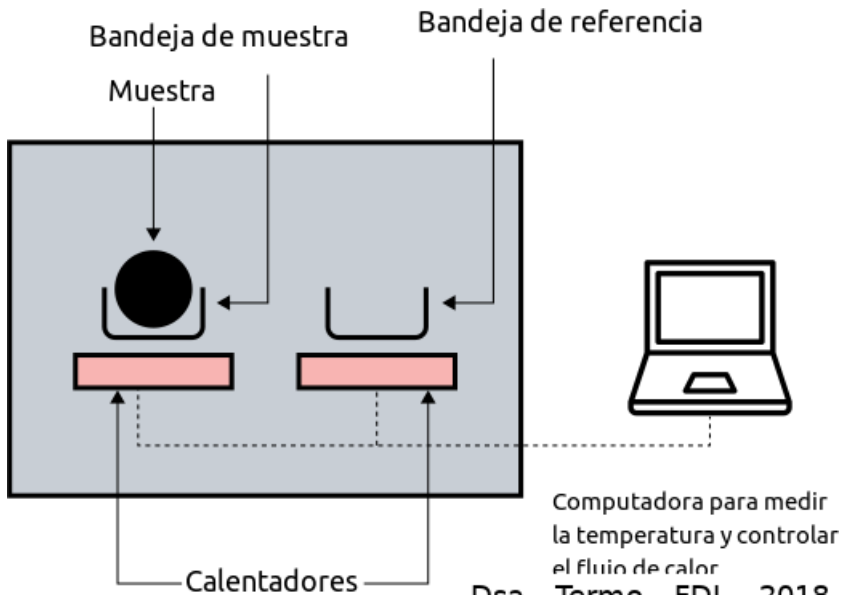
- ↪ Una antigua escala de temperatura. Asigna cero al agua mezclada con hielo, y cien al agua hirviendo a orillas del mar, en un día “estandar”.
- ↪ Se puede medir con nuestro termómetro de gas pero cambiando los valores según los indicados.
- ↪ Punto triple del agua:  $0,01^{\circ}\text{C}$ .

## 2.46.- Caloría

- ↪ La caloria se definía como el  $Q$  necesario para aumentar la temperatura de un gramo de agua, desde  $14,5^{\circ}C$  a  $15,5^{\circ}C$ .
- ↪ Equivale a  $4,1860 \frac{J}{cal}$  aunque hay varias específicas.

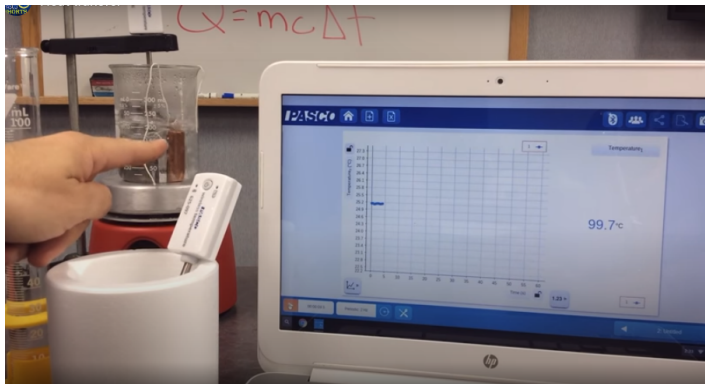
## 2.47.- Calorimetría

- ↪ Experimentamos agregando un calor conocido a volumen (o presión) constante, y medimos la temperatura.
- ↪ Calorímetro diferencial:





## 2.49.- Calorimetría



Ver local

<https://youtu.be/o-y0oQod1t8>

Pasco shorts, 2016

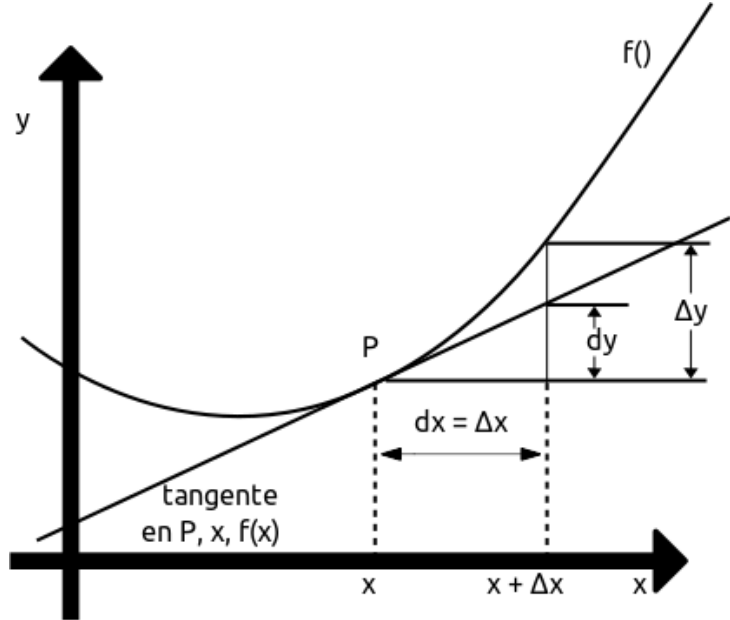
## 2.50.- Diferencial $d$ , $\delta$

Un  $d$  o  $\delta$  expresa un  $\Delta$ , muy pequeño, infinitamente pequeño.

- ↪ Se usa  $d$  para variables de estado,  $\delta$  para las de proceso.
- ↪ Los  $d$  y  $\delta$  son un caso particular de los  $\Delta$ .

## 2.51.- Pendiente

- La recta tangente es una única recta que toca a una curva en el punto  $x$  dado, sin cruzarla.
- La pendiente es  $\frac{dy}{dx}$  y en la recta tangente coincide con  $\frac{\Delta y}{\Delta x}$ .



## 2.53.- Diferenciales

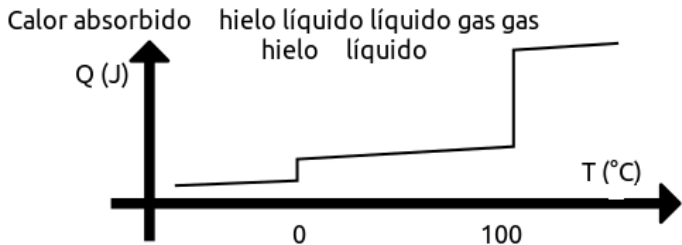
- ↪ En la figura, sin cambiar  $x$  e  $y$ , cambia  $\Delta y$  de la variable dependiente  $y$ , siguiendo la función, al cambiar  $\Delta x$  de la variable independiente  $x$ .
- ↪  $dy$  cambia linealmente con  $\Delta x$ , sigue la recta tangente (pendiente), manteniendo la relación  $\frac{dy}{dx}$  que es constante en cada  $x$ .

## 2.54.- Diferenciales

↪ Cuando se achica  $\Delta x$ ,  $\Delta y$  tiende a ser igual a  $dy$ .

## 2.55.- Calor vs. temperatura

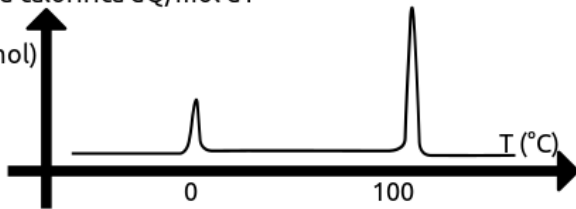
Muchos confunden  $T$  y  $Q$ , ya que se dice que algo esta caliente si tiene alta temperatura y frio si tiene baja.





Capacidad calorífica  $dQ/mol dT$

$C_p$  (J/K mol)



## 2.58.- $Q$ vs. $T$

- ↪ En algunos puntos, la temperatura es constante y el calor se usa para licuar el hielo, o evaporar el agua.
- ↪ Por tramos agregamos calor y sube la temperatura.

## 2.59.- $Q$ vs. $T$

↪ Relacionamos los diferenciales de ambas variables usando el calor específico  $c_V$  y  $c_p$ .

$$\delta Q = Mc_V(T)dT$$

↪  $c_V$  es función de  $T$ . No es necesariamente constante y por lo tanto no hacemos una relación entre los  $\Delta$ .

## 2.60.- $Q$ vs. $T$

- ↪ Esto nos permite visualizar claramente que hay otras diferencias entre la temperatura y calor que el solo hecho de una ser intensiva y la otra extensiva.
- ↪ ¿Hay otra diferencia que nos obligue a incorporar conceptos diferentes para ambos?

## 2.61.- $Q$ vs. $T$

- ↪ En los gases ideales clásicos,  $Q$  y  $T$  son estrictamente proporcionales a  $V$  constante.
- ↪  $T$  equivale a la energía cinética y la interna por molécula.
- ↪ Es una aproximación, que al usar modelos cuánticos se rompe, y que no vale para otras sustancias.

## 2.62.- Sustancias, propiedades

<b>Sustancia</b>	<b>C. Esp.</b> <i>kJ/kg K</i>	<b>Fusión</b> <i>kJ/kg</i>	<b>Vapor.</b> <i>kJ/kg</i>
Acero	0.46	205	-
Agua	4.18	335	2250
Alcohol	2.51	-	880
Cobre	0.39	172	-
Glicerina	2.43	176	-
Hierro	0.47	-	-
Ladrillo Ref.	0.88	-	-
Mercurio	0.14	11.7	281
Parafina	3.26	147	-
Vidrio	0.84	-	-

## 2.63.- $Q$ vs. $T$ , analogía

- ↪ Vamos a experimentar con una analogía.
- ↪ Trabajaremos con vasos comunicantes, donde:
  - la altura será el análogo de la temperatura.
  - la cantidad de agua con el calor.

## 2.64.- $Q$ vs. $T$ , analogía

- ↪ Diferentes vasos tienen una relación cantidad de agua – altura, diferente.
- ↪ Hay vasos que tienen un área variable. No se podría hacer intensiva la variable.
- ↪ En el caso térmico diferentes sustancias cambian la relación  $Q$  vs.  $T$ .



## 2.65.- Conceptos

**T:** nivel para el equilibrio térmico.

**U:** cantidad balanceable de energía térmica.

**W:** lo que sale-entra de energía interna vía trabajo.

**Q:** lo que entra-sale de energía interna vía calor.

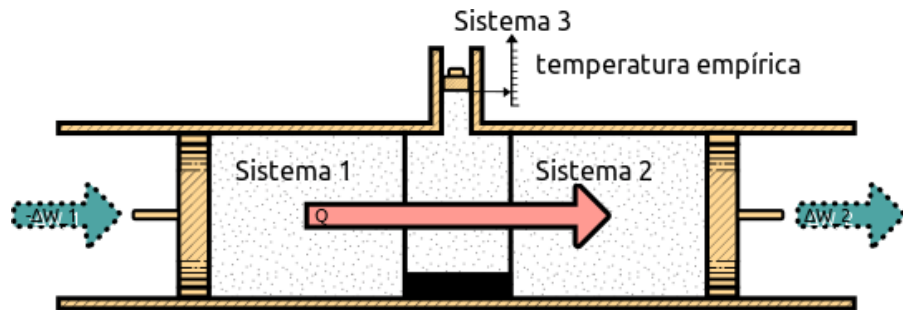
Son conceptos muy diferentes.

## 2.66.- Calor reversible $\Delta Q$

↪ Hay paredes diatérmicas, y también diatermas reversibles, y lo comprobamos experimentalmente.

## 2.67.- Calor reversible $\Delta Q$

↪ Creamos un sistema compuesto por tres subsistemas, dos subsistemas 1 y 2, cada uno con un pistón que permite variar su volumen y conectados entre sí al tercero, que queda rodeado, por sendas paredes **diatermas reversibles, impermeables y rígidas.**



Paredes diatermas reversibles

Ingresa  $\Delta W_1$ ,  
egresa  $\Delta W_2$ , para que no  
cambie la temperatura empírica

Dsa - Termo - FDL - 2018

## 2.69.- Calor reversible $\Delta Q$

- ↪ El subsistema 3, al medio de ambos, sirve de medidor de cambios. La idea es que no tenga cambio alguno en su estado en todo el proceso. Podría ser un termómetro de gas, pero no es necesario que nos de un valor.
- ↪ Los conectamos y esperamos que los tres subsistemas alcancen un equilibrio térmico.

## 2.70.- Calor reversible $\Delta Q$

- ↪ Podemos comprobar el equilibrio conectando nuestro medidor, primero con el subsistema 1 aislándolo del 2; y luego conectándolo con el 2, aislándolo del 1; si permanece imperturbable, es que estamos en un estado inicial de equilibrio.
- ↪ Si no, movemos el volumen de uno de ellos hasta que lo este.

## 2.71.- Calor reversible $\Delta Q$

- ↪ Movemos  $V_1$  y simultáneamente deberemos ir variando  $V_2$  para que  $\beta$ , no cambie, ante cada cambio de  $V_1$ .
- ↪ En estas condiciones haremos avanzar el sistema en una dirección y luego volveremos.
- ↪ Si el sistema es reversible, los volúmenes finales serán iguales que al comienzo.

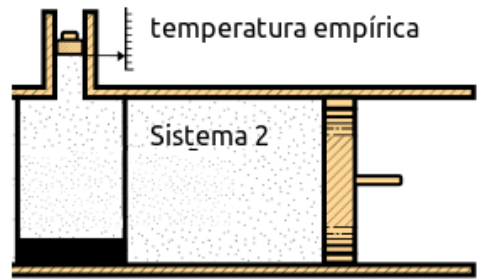
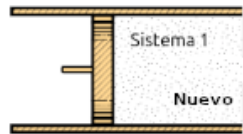
## 2.72.- Calor reversible $\Delta Q$

↪ Establecemos entonces dos subsistemas termodinámicos conectados entre sí por una pared diaterma reversible y movemos las variables mecánicas de cada subsistema de la forma descrita, manteniendo el estado del subsistema medidor.



## 2.73.- Calor reversible $\Delta Q$

↪ Podemos tener diferentes subsistemas 1, reemplazando uno por otro y en tanto estén en equilibrio con el 2 y el 3, todo funcionará. También si tomamos el mismo 1, en diferentes posiciones de su pistón, mientras esté en equilibrio térmico con los otros.



Sigue expandiéndose

## 2.75.- Calor reversible $\Delta Q$

↪ 1 y 3 recorrerán sus isotermas  
(misma temperatura).