

# **“PRIMER PRINCIPIO PARA SISTEMAS CERRADOS – CALOR Y TRABAJO”**

## **UNIDAD 3 A Y B**

### **BIBLIOGRAFÍA:**

- **Cengel Y., Boles M., “Termodinámica”**
- **Calderón, Lisandro. Capítulos 2 y 3**

## UNIDAD 3:

### PRIMER PRINCIPIO DE LA TERMODINAMICA PARA SISTEMAS CERRADOS

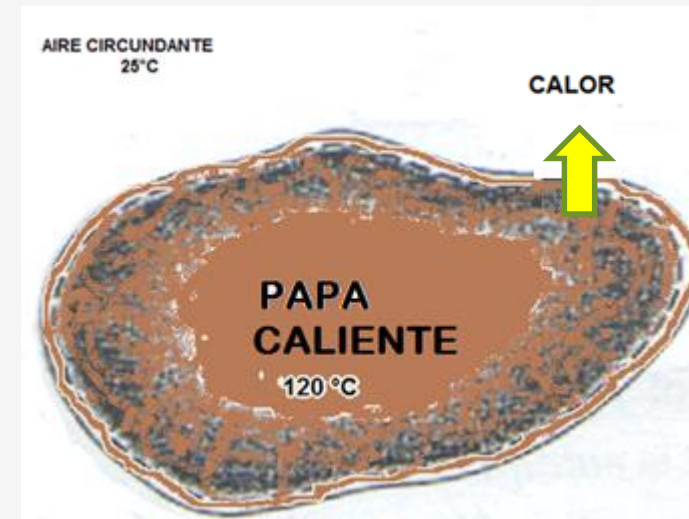
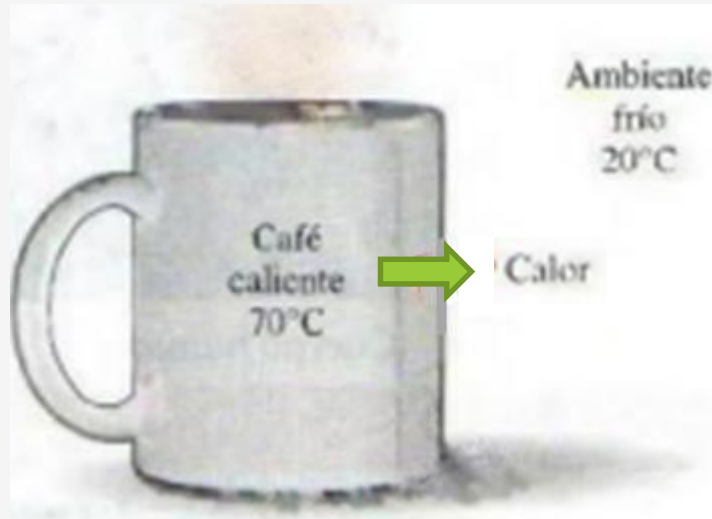
**3.A. Calor.** Naturaleza, concepto, unidades. Capacidad calorífica. Calor específico verdadero o instantáneo, variabilidad de los calores específicos. Calores específicos principales. Tablas de calores específicos. Calor específico medio. Flujo calorífico cuasiestático. Foco calorífico. Cálculo del calor intercambiado entre sistema y medio. Convención de signos.

**3.B. Trabajo.** Naturaleza, definición, concepto, signo. Cálculo del trabajo transferido entre sistema y medio. Trabajo de expansión o compresión cuasiestático o reversible. Diagrama P-V. Comparación entre calor y trabajo. Trabajo eléctrico. Equivalencia entre calor y trabajo.

**3.C. Primer Principio de la Termodinámica.** Primer principio, su enunciación experimental. Formulación matemática para un sistema cerrado, transformación cerrada y abierta Primer principio como balance de energía.

**3.D. Energía Interna.** Energía interna generalizada. Su naturaleza. Energía interna  $U$  como propiedad termodinámica. Experiencia de Joule. Ecuación energética de un Sistema Cerrado. Energía interna del gas ideal y no ideal.

# CALOR

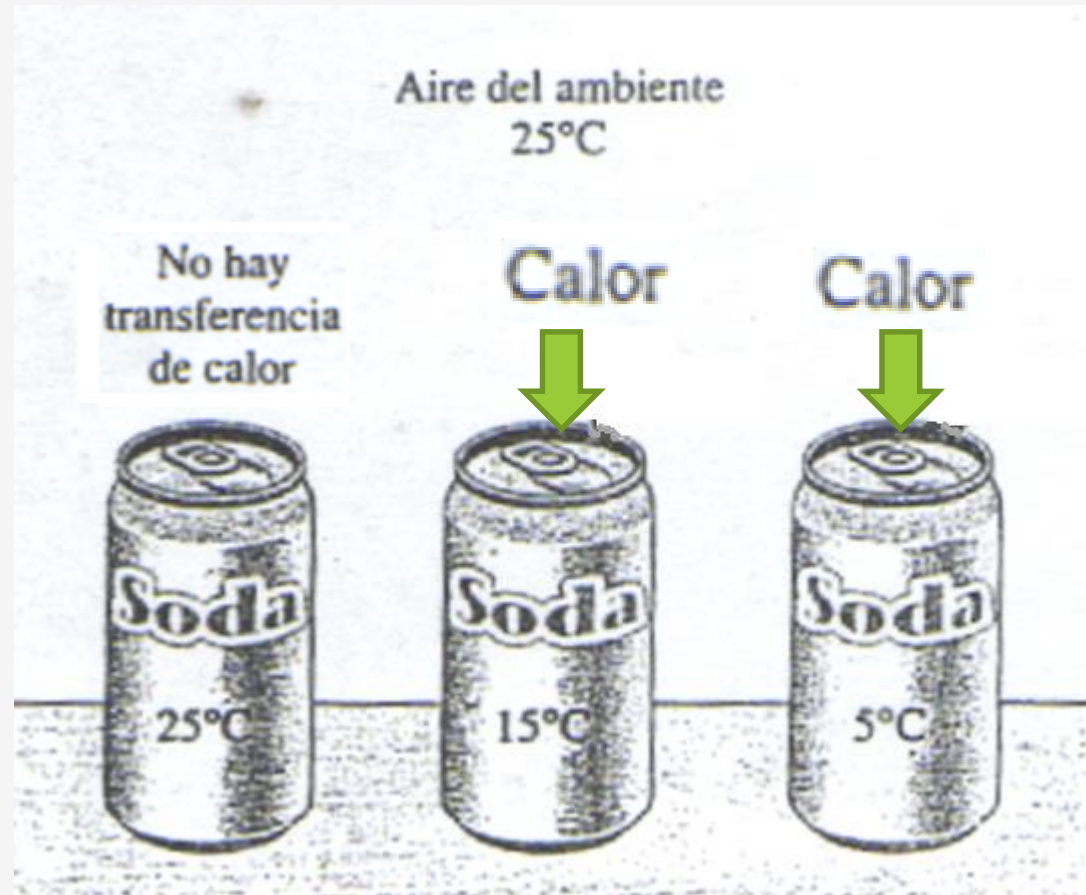


**Cuando un cuerpo se coloca en un medio que está a una temperatura diferente, la transferencia de energía tiene lugar entre el cuerpo y el medio hasta que se establece el equilibrio térmico, es decir, cuando ambos alcanzan la misma temperatura**

**La dirección de la transferencia de energía es siempre del cuerpo con mayor temperatura al de menor temperatura**

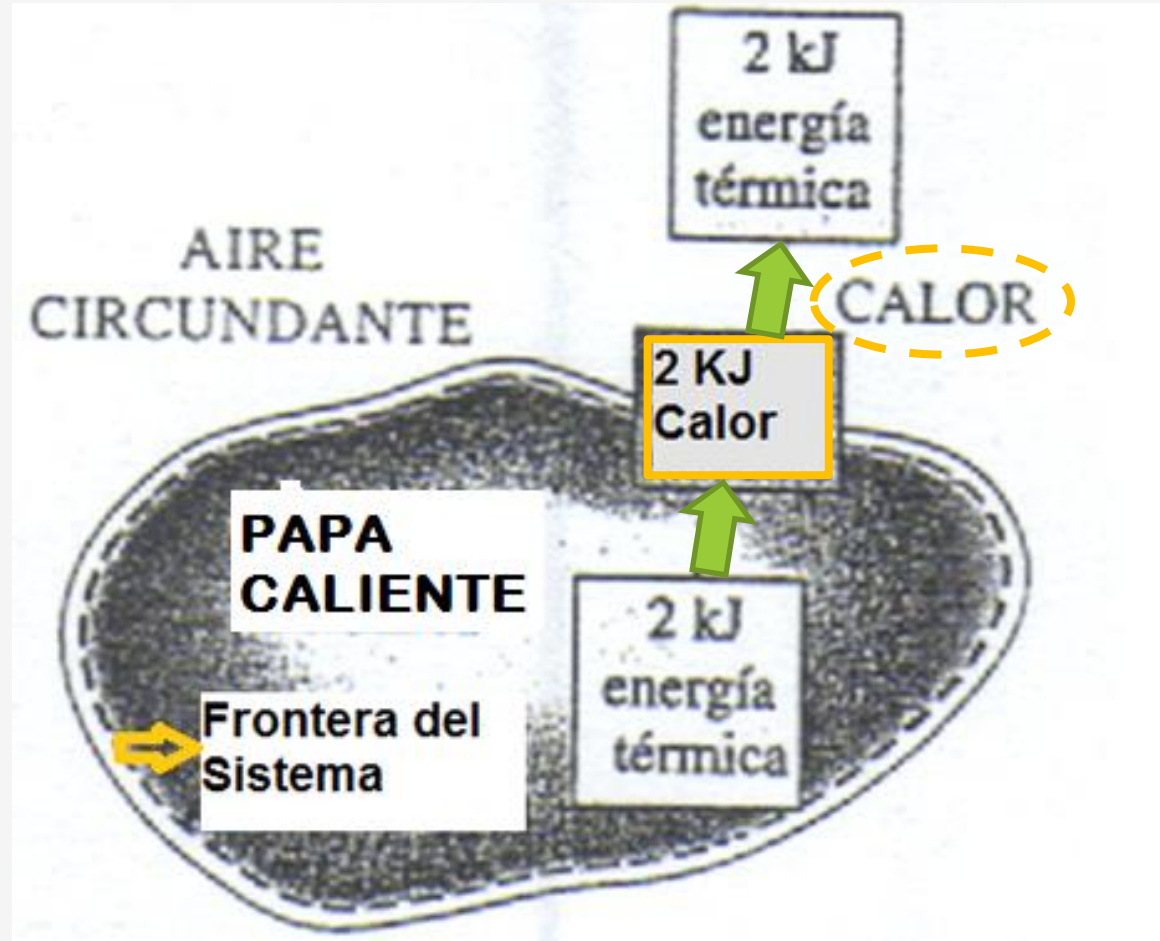
**En este proceso se afirma que la energía se transfiere en forma de CALOR.**

# CALOR



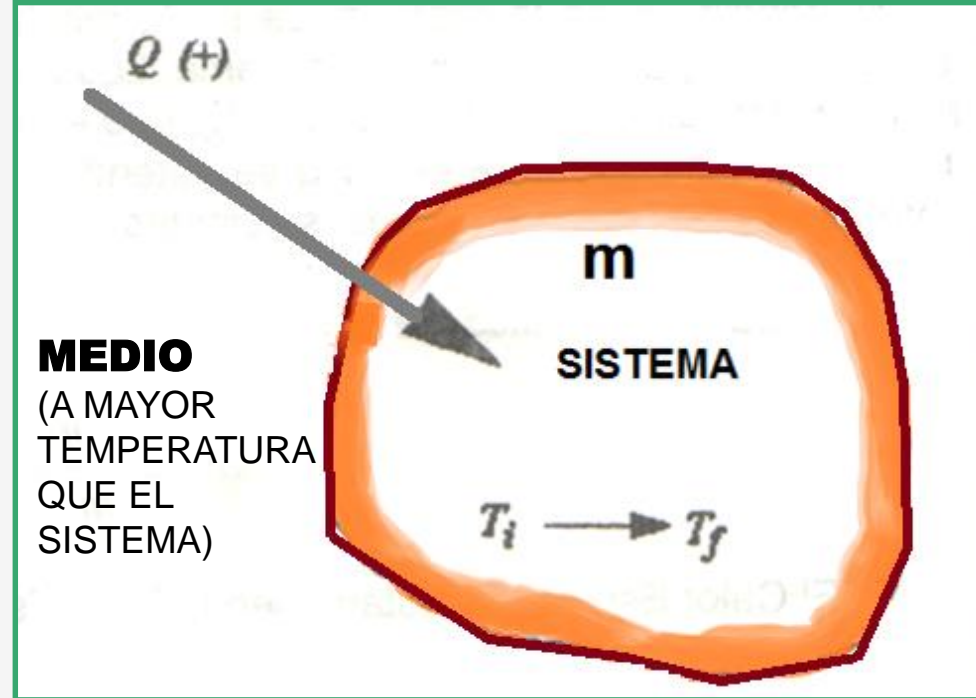
Es la forma de energía que se transfiere entre dos sistemas, o entre un sistema y su entorno, debido a una diferencia de temperatura

# CALOR



El calor es energía **en tránsito** que se reconoce sólo cuando **cruza el límite** del sistema

# CALOR

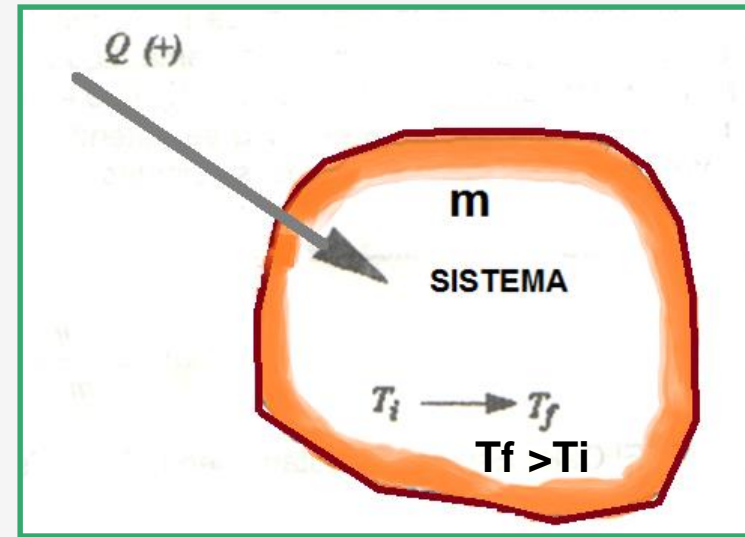


1º Caso: Como consecuencia del ingreso de  $Q$ , el sistema alcanza una  $T_f > T_i$ . → **“Calor Sensible”**.

2º Caso: Como consecuencia del ingreso de  $Q$ , el sistema no varía su  $T$  ( $T_f = T_i$ ) sino que cambia de fase → **“Calor Latente”**

3º Caso: A pesar del ingreso de  $Q$ , el sistema disminuye su temperatura ( $T_f < T_i$ ) → El Calor absorbido es menor que el Trabajo  $W$ , que el sistema simultáneamente cede al medio ambiente (Ej: Expansión de un gas en un dispositivo cilindro émbolo)

Considerando el 1º Caso,  
(**Calor Sensible**), se  
definen las siguientes  
propiedades.



SISTEMA

$C_m$  : Capacidad calorífica media;

$$C_m = \frac{Q}{T_f - T_i}$$

$C$  : Capacidad calorífica instantánea;

$$C = \frac{dQ}{dT}$$

SUSTANCIA

$c_m$  : Calor específico medio;

$$c_m = \frac{Q}{m(T_f - T_i)}$$

$$c_m = \frac{Q}{n(T_f - T_i)}$$

$c$  : Calor específico instantáneo;

$$c = \frac{dQ}{m dT}$$

$$c = \frac{dQ}{n dT}$$

**Según la definición de**  
 **$c_m$  : Calor específico medio**

$$c_m = \frac{Q}{m(T_f - T_i)}$$

**Despejando :**

$$Q = m c_m (T_f - T_i)$$

**Si  $m = 1$**

**y**

$$(T_f - T_i) = 1^\circ$$

$$Q \approx c_m$$

**Entonces se puede interpretar que  
“c” es la cantidad de calor que  
debe intercambiar la masa unitaria  
de una sustancia para que su  
temperatura varíe en UN grado**



## HALLAZGO EXPERIMENTAL (A PRESIÓN CONSTANTE) :

### EXPERIENCIA 1:

SUSTANCIA	MASA (kg)	Ti (°C)	Tf (°C)	Qif (kJ)	c <sub>m</sub> (kJ/kg °C)
Hierro	1	20	30	4,5	0,45
Agua	1	20	30	41,8	4,18

- El calor específico depende de qué sustancia se trata

## HALLAZGO EXPERIMENTAL (A PRESIONES BAJAS):

<b><u>EXPERIENCIA 2:</u></b>		<b>SUSTANCIA: HELIO</b>			
<b>TRANSFORMACIÓN</b>	<b>MASA (kg)</b>	<b><math>\Delta T</math> (°C)</b>	<b>Qif (kJ)</b>	<b>c (kJ/kg °C)</b>	
<b>A Volumen ctte</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>3,12</b>	<b>3,12</b>	
<b>A Presión ctte</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>5,19</b>	<b>5,19</b>	

- **El calor específico depende del tipo de proceso o transformación que se lleva a cabo**

## HALLAZGO EXPERIMENTAL (A PRESIONES BAJAS):

### EXPERIENCIA 3:

SUSTANCIA: AIRE

TRANSFORMAC.	MASA (kg)	Ti (°C)	Tf (°C)	Qif (kJ)	c (kJ/kg °C)
A Volumen ctte	1	300	301	0,718	0,718
A Volumen ctte	1	1000	1001	0,855	0,855

➤ El calor específico depende de la temperatura

**Calor específico, para  
cada sustancia,  
depende de:**

- ✓ **La transformación**
- ✓ **La temperatura**

$$c = \frac{dQ}{m dT}$$

**Puede ser negativo, nulo,  
positivo o infinito**

Si un sistema de masa “m” incrementa su temperatura al recibir una cierta cantidad de calor, se cumple que:

$$c = \frac{dQ}{m dT} \quad \Rightarrow \quad Q = m \int_{T_i}^{T_f} c(T) dT = ?$$

Como el “c” depende del tipo de transformación que lleve al sistema desde  $T_i$  hasta  $T_f$ , según sea ésta podrá obtenerse que:

$$Q_{1i-f} = m \int_{T_i}^{T_f} c_1(T) dT \quad \text{ó} \quad Q_{2i-f} = m \int_{T_i}^{T_f} c_2(T) dT \quad \text{ó} \quad Q_{ni-f} = m \int_{T_i}^{T_f} c_n(T) dT$$

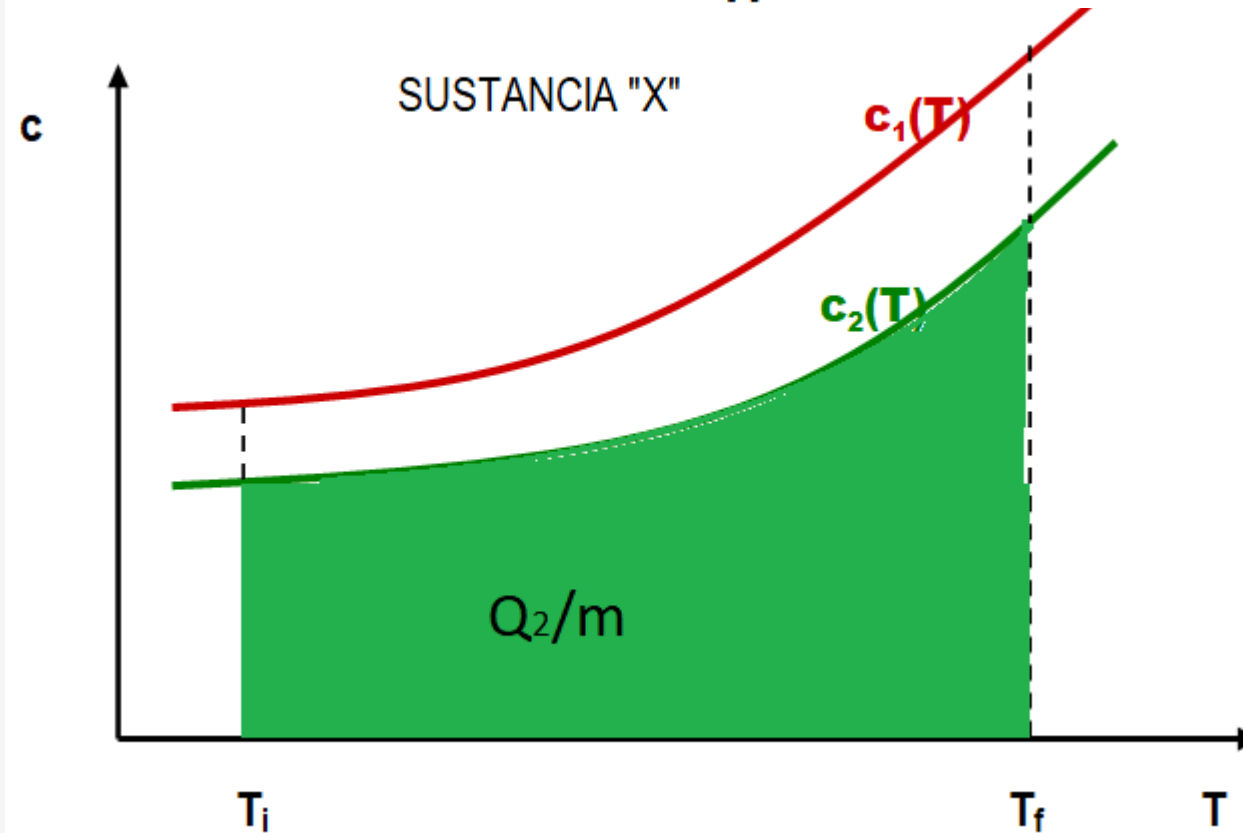
**Qi-f depende de la transformación**

**“Es función de línea”**

**NO ES PROPIEDAD!!**

GRÁFICAMENTE:

$$q = Q/m = \int_{T_i}^{T_f} c(T) dT$$



$$q_{1 \text{ i-f}} = Q_{1 \text{ i-f}} / m > q_{2 \text{ i-f}} = Q_{2 \text{ i-f}} / m$$

Para sistemas simples compresibles,  
se denominan **calores específicos**  
**principales** a:

$$c_p ; c_p = f_1 (T)$$

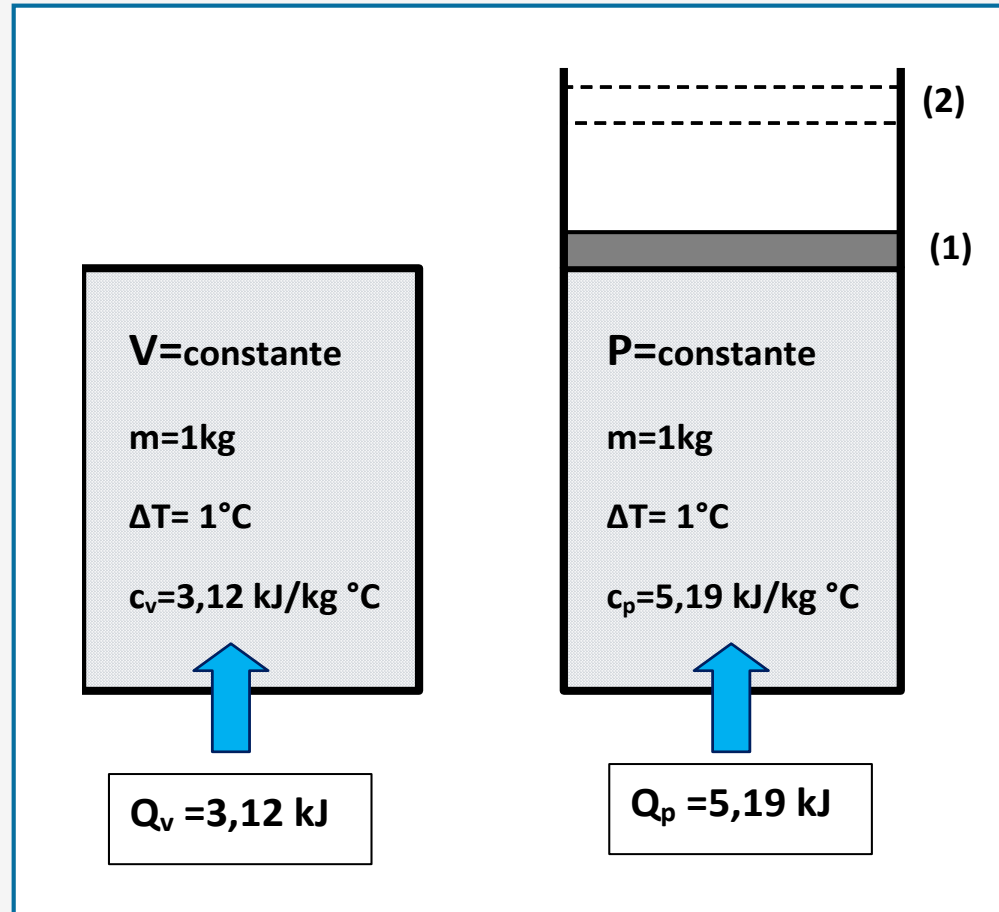
Transformación a presión constante

$$c_v ; c_v = f_2 (T)$$

Transformación a volumen constante

Son  
“propiedad  
intensiva ”  
Están  
tabulados

## Ej. para HELIO



El  $Q_p$  debe ser suficiente para que, además de calentar el gas, haga subir al émbolo y así la presión no aumente.

↓  
En igualdad de condiciones,  
 $Q_p > Q_v$

Por eso SIEMPRE los gases tienen:  $c_p > c_v$

Para sustancias incompresibles (líquidos y sólidos) la diferencia entre los dos calores específicos es despreciable por lo que no hace falta hacer distinción entre  $c_p$  y  $c_v$ .



**TABLA A-2**

Calores específicos de gas ideal de varios gases comunes

a) A 300 K

Gas	Fórmula	Constante de gas, $R$ kJ/kg · K	$c_p$ kJ/kg · K	$c_v$ kJ/kg · K	$k$
Aire	—	0.2870	1.005	0.718	1.400
Argón	Ar	0.2081	0.5203	0.3122	1.667
Butano	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0.1433	1.7164	1.5734	1.091
Dióxido de carbono	CO <sub>2</sub>	0.1889	0.846	0.657	1.289
Etano	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	0.2765	1.7662	1.4897	1.186
Etileno	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	0.2964	1.5482	1.2518	1.237
Helio	He	2.0769	5.1926	3.1156	1.667
Hidrógeno	H <sub>2</sub>	4.1240	14.307	10.183	1.405
Metano	CH <sub>4</sub>	0.5182	2.2537	1.7354	1.299
Monóxido de carbono	CO	0.2968	1.040	0.744	1.400
Neón	Ne	0.4119	1.0299	0.6179	1.667
Nitrógeno	N <sub>2</sub>	0.2968	1.039	0.743	1.400
Octano	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	0.0729	1.7113	1.6385	1.044
Oxígeno	O <sub>2</sub>	0.2598	0.918	0.658	1.395
Propano	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	0.1885	1.6794	1.4909	1.126
Vapor	H <sub>2</sub> O	0.4615	1.8723	1.4108	1.327

Nota: La unidad kJ/kg · K es equivalente a kJ/kg · °C.

Fuente: *Chemical and Process Thermodynamics* 3a. ed., por Kyle, B.G., © 2000. Adaptado con permiso de Pearson Education, Inc., Upper Saddle River, Nueva Jersey.

TABLA A-2

Calores específicos de gas ideal de varios gases comunes (continuación)

b) A diversas temperaturas

Temperatura, K	$c_p$ kJ/kg · K	$c_v$ kJ/kg · K	$k$	$c_p$ kJ/kg · K	$c_v$ kJ/kg · K	$k$	$c_p$ kJ/kg · K	$c_v$ kJ/kg · K	$k$
	Aire			Dióxido de carbono, CO <sub>2</sub>			Monóxido de carbono, CO		
250	1.003	0.716	1.401	0.791	0.602	1.314	1.039	0.743	1.400
300	1.005	0.718	1.400	0.846	0.657	1.288	1.040	0.744	1.399
350	1.008	0.721	1.398	0.895	0.706	1.268	1.043	0.746	1.398
400	1.013	0.726	1.395	0.939	0.750	1.252	1.047	0.751	1.395
450	1.020	0.733	1.391	0.978	0.790	1.239	1.054	0.757	1.392
500	1.029	0.742	1.387	1.014	0.825	1.229	1.063	0.767	1.387
550	1.040	0.753	1.381	1.046	0.857	1.220	1.075	0.778	1.382
600	1.051	0.764	1.376	1.075	0.886	1.213	1.087	0.790	1.376
650	1.063	0.776	1.370	1.102	0.913	1.207	1.100	0.803	1.370
700	1.075	0.788	1.364	1.126	0.937	1.202	1.113	0.816	1.364
750	1.087	0.800	1.359	1.148	0.959	1.197	1.126	0.829	1.358
800	1.099	0.812	1.354	1.169	0.980	1.193	1.139	0.842	1.353
900	1.121	0.834	1.344	1.204	1.015	1.186	1.163	0.866	1.343
1000	1.142	0.855	1.336	1.234	1.045	1.181	1.185	0.888	1.335
Temperatura, K	Hidrógeno, H <sub>2</sub>			Nitrógeno, N <sub>2</sub>			Oxígeno, O <sub>2</sub>		
	$c_p$ kJ/kg · K	$c_v$ kJ/kg · K	$k$	$c_p$ kJ/kg · K	$c_v$ kJ/kg · K	$k$	$c_p$ kJ/kg · K	$c_v$ kJ/kg · K	$k$
250	14.051	9.927	1.416	1.039	0.742	1.400	0.913	0.653	1.398
300	14.307	10.183	1.405	1.039	0.743	1.400	0.918	0.658	1.395
350	14.427	10.302	1.400	1.041	0.744	1.399	0.928	0.668	1.389
400	14.476	10.352	1.398	1.044	0.747	1.397	0.941	0.681	1.382
450	14.501	10.377	1.398	1.049	0.752	1.395	0.956	0.696	1.373
500	14.513	10.389	1.397	1.056	0.759	1.391	0.972	0.712	1.365
550	14.530	10.405	1.396	1.065	0.768	1.387	0.988	0.728	1.358
600	14.546	10.422	1.396	1.075	0.778	1.382	1.003	0.743	1.350
650	14.571	10.447	1.395	1.086	0.789	1.376	1.017	0.758	1.343
700	14.604	10.480	1.394	1.098	0.801	1.371	1.031	0.771	1.337
750	14.645	10.521	1.392	1.110	0.813	1.365	1.043	0.783	1.332
800	14.695	10.570	1.390	1.121	0.825	1.360	1.054	0.794	1.327
900	14.822	10.698	1.385	1.145	0.849	1.349	1.074	0.814	1.319
1000	14.983	10.859	1.380	1.167	0.870	1.341	1.090	0.830	1.313

Fuente: Kenneth Wark, *Thermodynamics*, 4a. ed., Nueva York, McGraw-Hill, 1983, p. 783, Tabla A-4M. Publicada originalmente en *Tables of Thermal Properties of Gases*, NBS Circular 564, 1955.



TABLA A-2

Calores específicos de gas ideal de varios gases comunes (conclusión)

c) Como una función de la temperatura

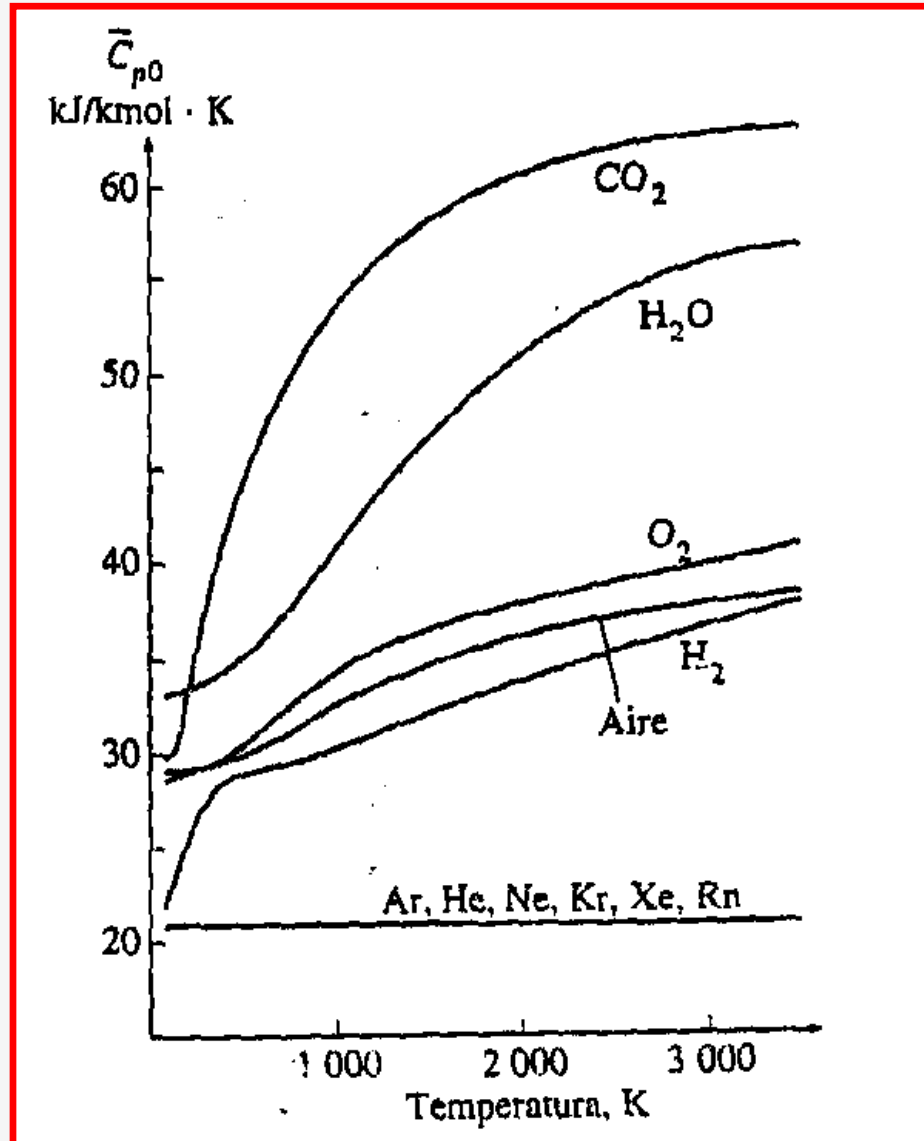
$$c_p = a + bT + cT^2 + dT^3$$

(T en K,  $c_p$  en kJ/kmol · K)

Sustancia	Fórmula	a	b	c	d	Rango de temp., K	% de error	
							Máx.	Prom.
Acetileno	$C_2H_2$	21.8	$9.2143 \times 10^{-2}$	$-6.527 \times 10^{-5}$	$18.21 \times 10^{-9}$	273–1500	1.46	0.59
Aire	—	28.11	$0.1967 \times 10^{-2}$	$0.4802 \times 10^{-5}$	$-1.965 \times 10^{-9}$	273–1800	0.72	0.33
Amoníaco	$NH_3$	27.568	$2.5630 \times 10^{-2}$	$0.99072 \times 10^{-5}$	$-6.6909 \times 10^{-9}$	273–1500	0.91	0.36
Azufre	$S_2$	27.21	$2.218 \times 10^{-2}$	$-1.628 \times 10^{-5}$	$3.985 \times 10^{-9}$	273–1800	0.99	0.38
Benceno	$C_6H_6$	-35.22	$48.475 \times 10^{-2}$	$-31.57 \times 10^{-5}$	$77.62 \times 10^{-9}$	273–1500	0.34	0.20
i-Butano	$C_4H_{10}$	-7.913	$41.60 \times 10^{-2}$	$-23.01 \times 10^{-5}$	$49.91 \times 10^{-9}$	273–1500	0.25	0.13
n-Butano	$C_4H_{10}$	3.95	$37.15 \times 10^{-2}$	$-18.34 \times 10^{-5}$	$35.00 \times 10^{-9}$	273–1500	0.54	0.24
Cloruro de hidrógeno	HCl	30.33	$-0.7620 \times 10^{-2}$	$1.327 \times 10^{-5}$	$-4.338 \times 10^{-9}$	273–1500	0.22	0.08
Dióxido de azufre	$SO_2$	25.78	$5.795 \times 10^{-2}$	$-3.612 \times 10^{-5}$	$8.612 \times 10^{-9}$	273–1800	0.45	0.24
Dióxido de carbono	$CO_2$	22.25	$5.981 \times 10^{-2}$	$-3.501 \times 10^{-5}$	$7.469 \times 10^{-9}$	273–1800	0.67	0.22
Dióxido de nitrógeno	$NO_2$	22.9	$5.715 \times 10^{-2}$	$-3.52 \times 10^{-5}$	$7.87 \times 10^{-9}$	273–1500	0.46	0.18
Etano	$C_2H_6$	6.900	$17.27 \times 10^{-2}$	$-6.406 \times 10^{-5}$	$7.285 \times 10^{-9}$	273–1500	0.83	0.28
Etol	$C_2H_5O$	19.9	$20.96 \times 10^{-2}$	$-10.38 \times 10^{-5}$	$20.05 \times 10^{-9}$	273–1500	0.40	0.22
Etileno	$C_2H_4$	3.95	$15.64 \times 10^{-2}$	$-8.344 \times 10^{-5}$	$17.67 \times 10^{-9}$	273–1500	0.54	0.13
n-Hexano	$C_6H_{14}$	6.938	$55.22 \times 10^{-2}$	$-28.65 \times 10^{-5}$	$57.69 \times 10^{-9}$	273–1500	0.72	0.20
Hidrógeno	$H_2$	29.11	$-0.1916 \times 10^{-2}$	$0.4003 \times 10^{-5}$	$-0.8704 \times 10^{-9}$	273–1800	1.01	0.26
Metano	$CH_4$	19.89	$5.024 \times 10^{-2}$	$1.269 \times 10^{-5}$	$-11.01 \times 10^{-9}$	273–1500	1.33	0.57
Metanol	$CH_3O$	19.0	$9.152 \times 10^{-2}$	$-1.22 \times 10^{-5}$	$-8.039 \times 10^{-9}$	273–1000	0.18	0.08
Monóxido de carbono	CO	28.16	$0.1675 \times 10^{-2}$	$0.5372 \times 10^{-5}$	$-2.222 \times 10^{-9}$	273–1800	0.89	0.37
Nitrógeno	$N_2$	28.90	$-0.1571 \times 10^{-2}$	$0.8081 \times 10^{-5}$	$-2.873 \times 10^{-9}$	273–1800	0.59	0.34
Óxido nítrico	NO	29.34	$-0.09395 \times 10^{-2}$	$0.9747 \times 10^{-5}$	$-4.187 \times 10^{-9}$	273–1500	0.97	0.36
Óxido nítrico	$N_2O$	24.11	$5.8632 \times 10^{-2}$	$-3.562 \times 10^{-5}$	$10.58 \times 10^{-9}$	273–1500	0.59	0.26
Oxígeno	$O_2$	25.48	$1.520 \times 10^{-2}$	$-0.7155 \times 10^{-5}$	$1.312 \times 10^{-9}$	273–1800	1.19	0.28
n-Pentano	$C_5H_{12}$	6.774	$45.43 \times 10^{-2}$	$-22.46 \times 10^{-5}$	$42.29 \times 10^{-9}$	273–1500	0.66	0.21
Propano	$C_3H_8$	-4.04	$30.48 \times 10^{-2}$	$-15.72 \times 10^{-5}$	$31.74 \times 10^{-9}$	273–1500	0.40	0.12
Propileno	$C_3H_6$	3.15	$23.83 \times 10^{-2}$	$-12.18 \times 10^{-5}$	$24.62 \times 10^{-9}$	273–1500	0.73	0.17
Trióxido de azufre	$SO_3$	15.40	$14.58 \times 10^{-2}$	$-11.20 \times 10^{-5}$	$32.42 \times 10^{-9}$	273–1300	0.29	0.13
Agua (vapor)	$H_2O$	32.24	$0.1923 \times 10^{-2}$	$1.055 \times 10^{-5}$	$-3.595 \times 10^{-9}$	273–1800	0.63	0.24

Fuente: B. G. Kyle, *Chemical and Process Thermodynamics*, Englewood Cliffs, Nueva Jersey, Prentice Hall, 1984. Usada con permiso.

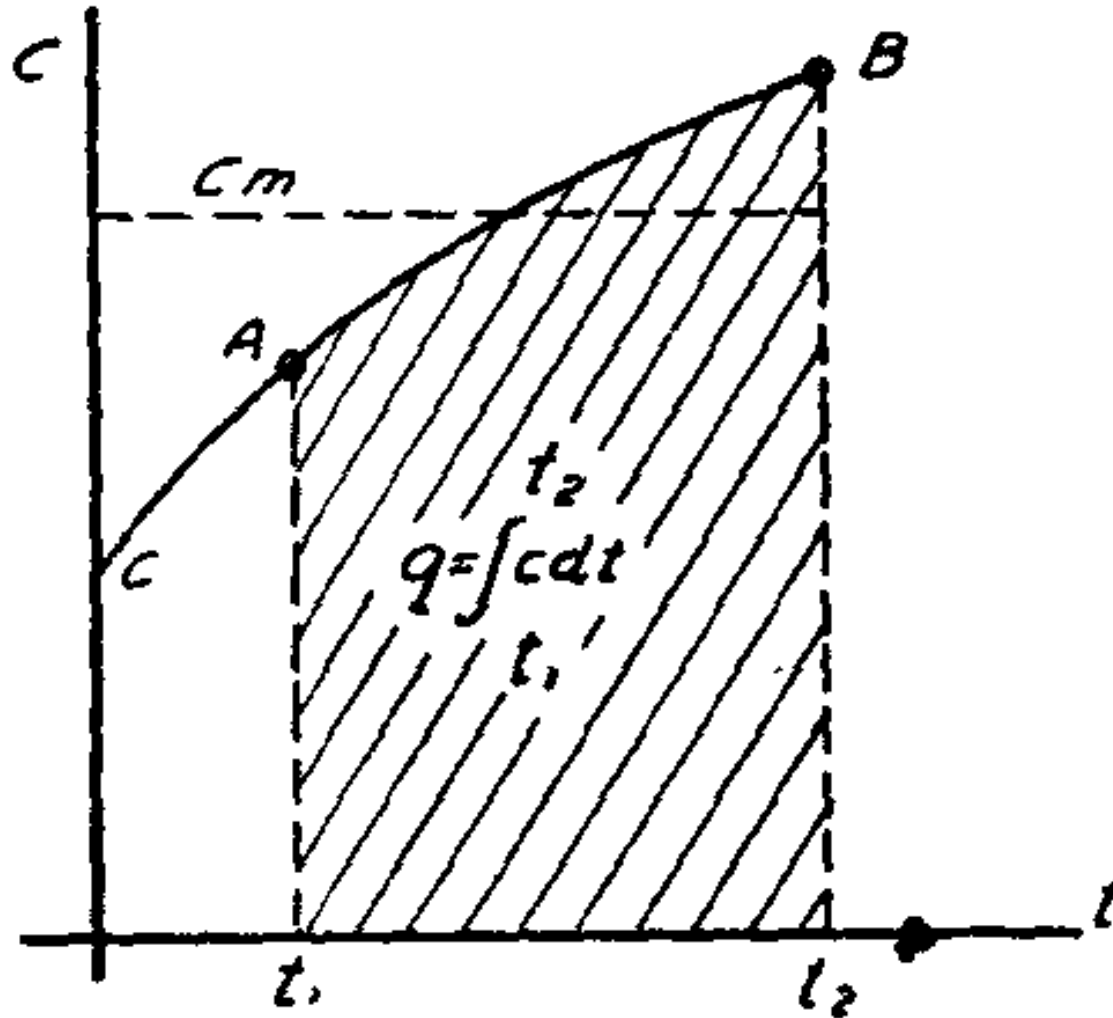
## Calores específicos de gas ideal (presiones bajas) a presión constante para algunos gases



### Se observa:

- Los  $c_p$  de moléculas complejas (con dos o más átomos) son más altos y se incrementan con la temperatura
- Los  $c_p$  de gases monoatómicos permanecen constantes con la temperatura

# CALOR ESPECÍFICO MEDIO



$$q = \int c \, dT = c_m (T_2 - T_1)$$

$$\text{Si } c = a + bT + cT^2$$

$$c_m = \frac{\int_{T_1}^{T_2} (a + bT + cT^2) dT}{T_2 - T_1}$$

(teorema del valor medio del cálculo integral)

TABLA 19. CAPACIDADES CALORÍFICAS MEDIAS MOLARES DE GASES ENTRE 25 y  $t$  °C

a  $P = \text{ctte}$   
cal/(mol-g) (°K)

$t$	H <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	CO	Aire	O <sub>2</sub>	NO	H <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub>	HCl	Cl <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	SO <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	SO <sub>3</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>
25	6,894	6,961	6,965	6,972	7,017	7,134	8,024	8,884	6,96	8,12	8,55	9,54	10,45	12,11	12,63
100	6,924	6,972	6,983	6,996	7,083	7,144	8,084	9,251	6,97	8,24	8,98	9,85	11,35	12,84	13,76
200	6,957	6,996	7,017	7,021	7,181	7,224	8,177	9,701	6,98	8,37	9,62	10,25	12,53	13,74	15,27
300	6,970	7,036	7,070	7,073	7,293	7,252	8,215	10,108	7,00	8,48	10,29	10,62	13,65	14,54	16,72
400	6,982	7,089	7,136	7,152	7,406	7,301	8,409	10,462	7,02	8,55	10,97	10,94	14,67	15,22	18,11
500	6,995	7,159	7,210	7,225	7,515	7,389	8,539	10,776	7,06	8,61	11,65	11,22	15,60	15,82	19,39
600	7,011	7,229	7,289	7,299	7,616	7,470	8,678	11,053	7,10	8,66	12,27	11,45	16,45	16,33	20,58
700	7,032	7,298	7,365	7,374	7,706	7,549	8,816	11,303	7,15	8,70	12,90	11,66	17,22	16,77	21,68
800	7,060	7,369	7,443	7,447	7,792	7,630	8,963	11,53	7,21	8,73	13,48	11,84	17,95	17,17	22,72
900	7,076	7,443	7,521	7,520	7,874	7,708	9,109	11,74	7,27	8,77	14,04	12,01	18,63	17,52	23,69
1000	7,128	7,507	7,587	7,593	7,941	7,773	9,246	11,92	7,33	8,80	14,56	12,15	19,23	17,86	24,58
1100	7,169	7,574	7,653	7,660	8,009	7,839	9,389	12,10	7,39	8,82	15,04	12,28	19,81	18,17	25,40
1200	7,209	7,635	7,714	7,719	8,068	7,898	9,524	12,25	7,45	8,94	15,49	12,39	20,33	18,44	26,15
1300	7,252	7,692	7,772	7,778	8,123	7,952	9,66	12,39							
1400	7,288	7,738	7,818	7,824	8,166	7,994	9,77	12,50							
1500	7,326	7,786	7,866	7,873	8,203	8,039	9,89	12,69							
1600	7,386	7,844	7,922	7,929	8,269	8,092	9,95	12,75							
1700	7,421	7,879	7,958	7,965	8,305	8,124	10,13	12,70							
1800	7,467	7,924	8,001	8,010	8,349	8,164	10,24	12,94							
1900	7,505	7,957	8,033	8,043	8,383	8,192	10,34	13,01							
2000	7,548	7,994	8,069	8,081	8,423	8,225	10,43	13,10							
2100	7,588	8,028	8,101	8,115	8,460	8,255	10,52	13,17							
2200	7,624	8,054	8,127	8,144	8,491	8,277	10,61	13,24							

# FOCO CALORÍFICO

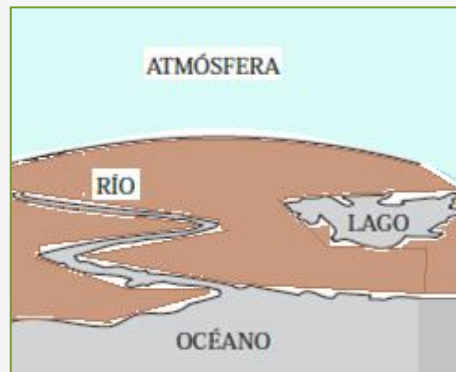
$$dQ = m c dT$$

$$dT = dQ / (m c)$$

Si un sistema tiene una masa muy elevada:  $m \rightarrow \infty$

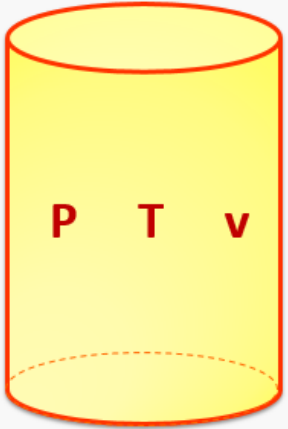
Luego,  $dT \rightarrow 0 \Rightarrow T = \text{ctte}$

Se denomina FOCO CALORÍFICO a un sistema que, por tener una masa muy grande, puede absorber calor (sumidero) o ceder calor (fuente) sin que su temperatura varíe



Ej: Océano ; lago ;  
río ; atmósfera

Vimos que:



Recipiente con un gas o vapor  
en equilibrio

**ESTADO DE EQUILIBRIO:** No hay acción perturbadora que modifique al sistema. Propiedades **UNIFORMES** y con habilidad descriptiva

**TEMPERATURA**  
homogénea:  
**EQUILIBRIO**  
**TÉRMICO**

**PRESIÓN**  
homogénea:  
**EQUILIBRIO**  
**MECÁNICO**

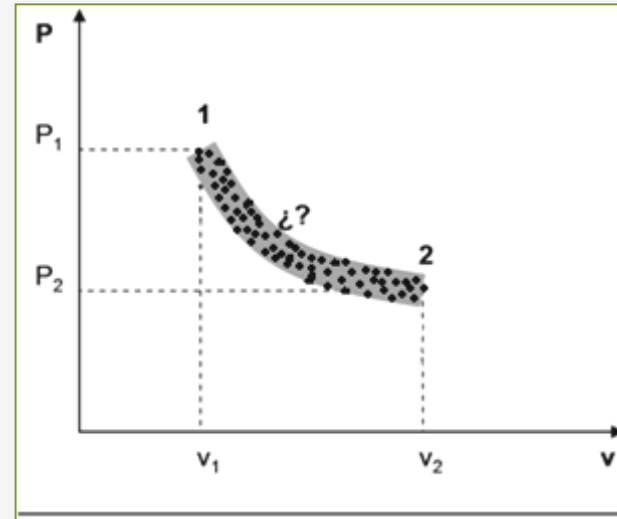
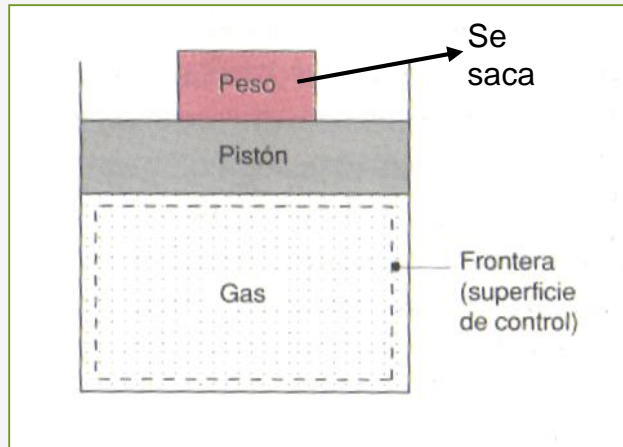
**COMPOSICIÓN**  
homogénea:  
**EQUILIBRIO**  
**QUÍMICO**

**EQUILIBRIO TERMODINÁMICO**

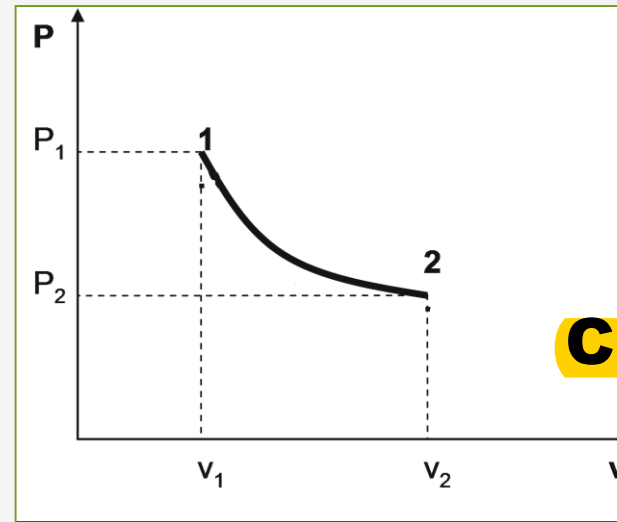
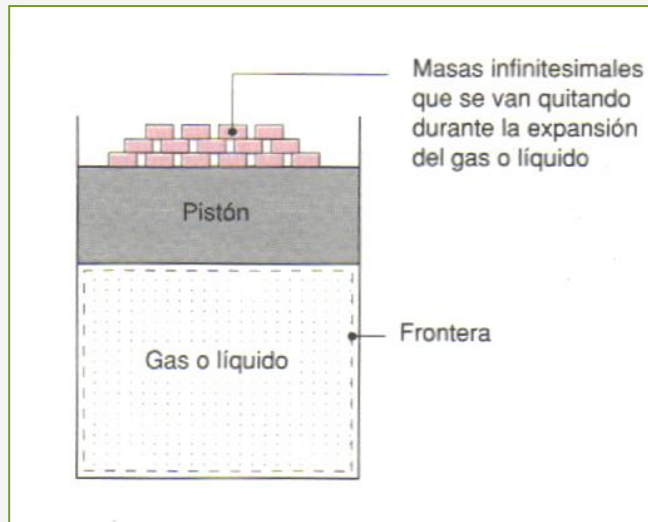
**TERMODINÁMICA “CLÁSICA”: T. DEL EQUILIBRIO**



## En una TRANSFORMACIÓN : Cambian las propiedades del sistema debido a una acción perturbadora



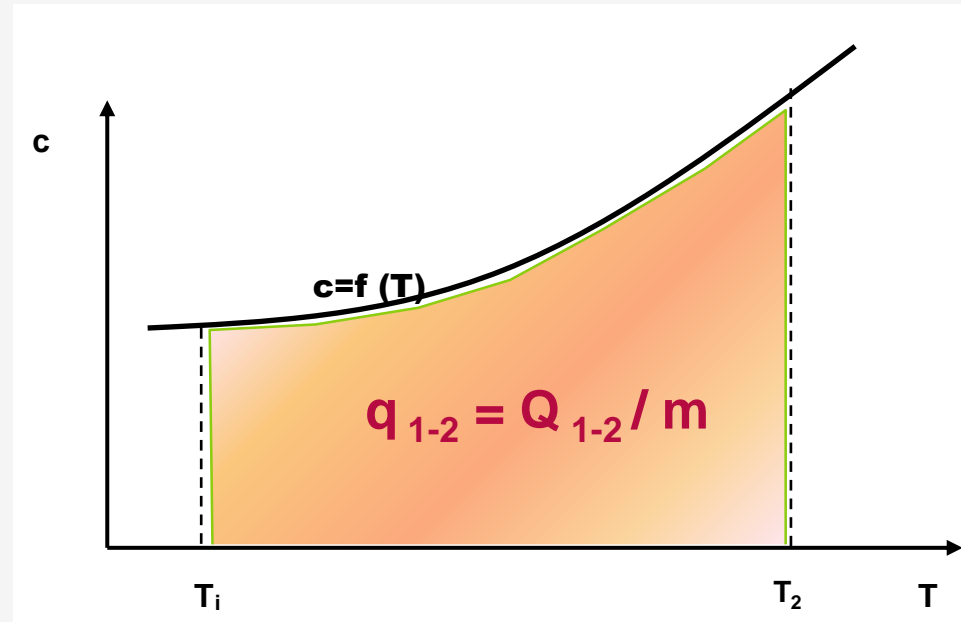
Una fuerza finita no equilibrada hace que el sistema pase por estados que no son de equilibrio



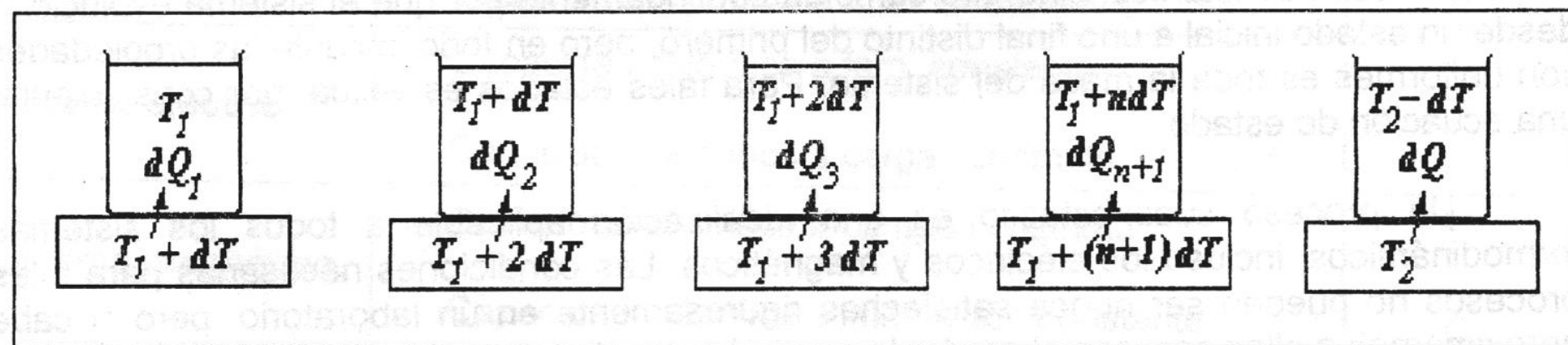
Si la fuerza no equilibrada resulta infinitesimal:

**CUASIESTÁTICA**

# FLUJO DE CALOR CUASISTÁTICO



$$Q_{1-2} = m \int_{T_1}^{T_2} c(T) dT$$

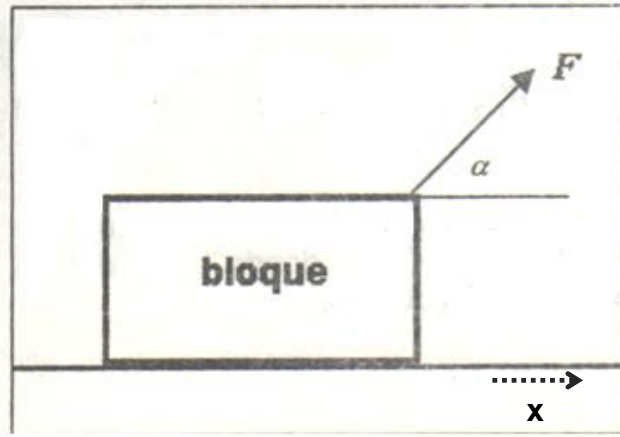


## TRABAJO:

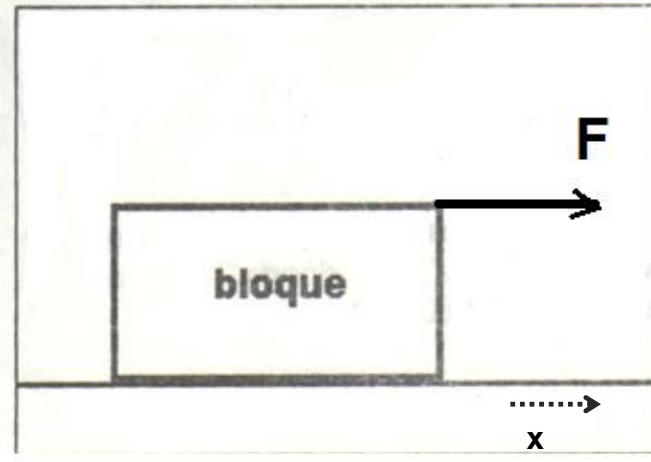
**Flujo** de energía debido a fuerzas motrices distintas de la temperatura y que mediante un dispositivo apropiado puede ser convertido al equivalente de una fuerza que se mueve a través de una distancia

# TRABAJO

**TRABAJO MECÁNICO:** Se mueve el sistema o alguno de sus límites como consecuencia de la aplicación de una fuerza



$$W = \int F \cos \alpha \, dx$$



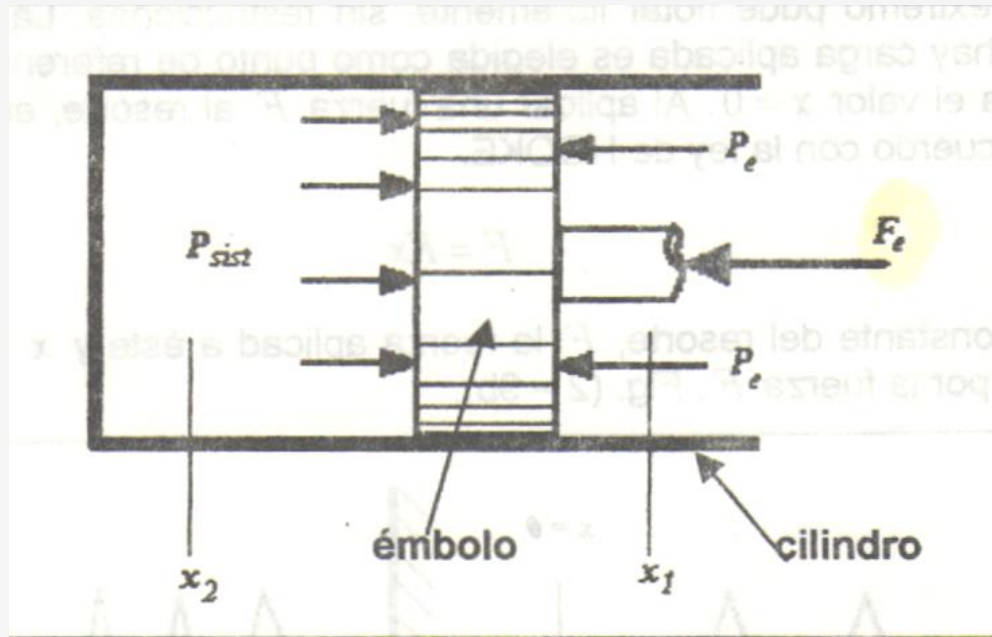
$$W = \int F \, dx$$

**$F$  :** Fuerza externa, que puede variar a medida que el bloque se desplaza



# **TRABAJO DE COMPRESIÓN – EXPANSIÓN** **Ó TRABAJO DE FRONTERA MÓVIL**

**(Sistema simple compresible en dispositivo cilindro-pistón):**



$$W = \int_{x_1}^{x_2} F_e dx$$

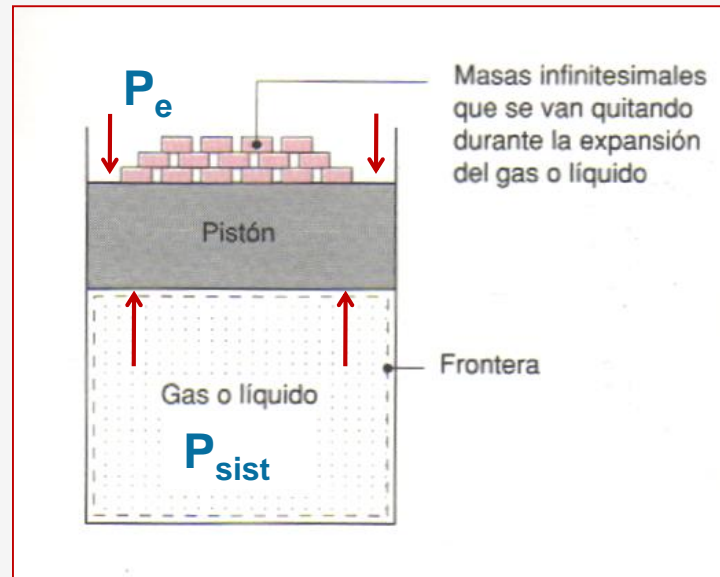
$$F_e = P_e A$$

Siendo “A” : Area del émbolo en contacto con el gas

$$W = \int_{x_1}^{x_2} F_e dx = \int P_e A dx = \int_{V_1}^{V_2} P_e dV$$

**Ejemplo: Este trabajo es el que se realiza en los motores de automóviles**

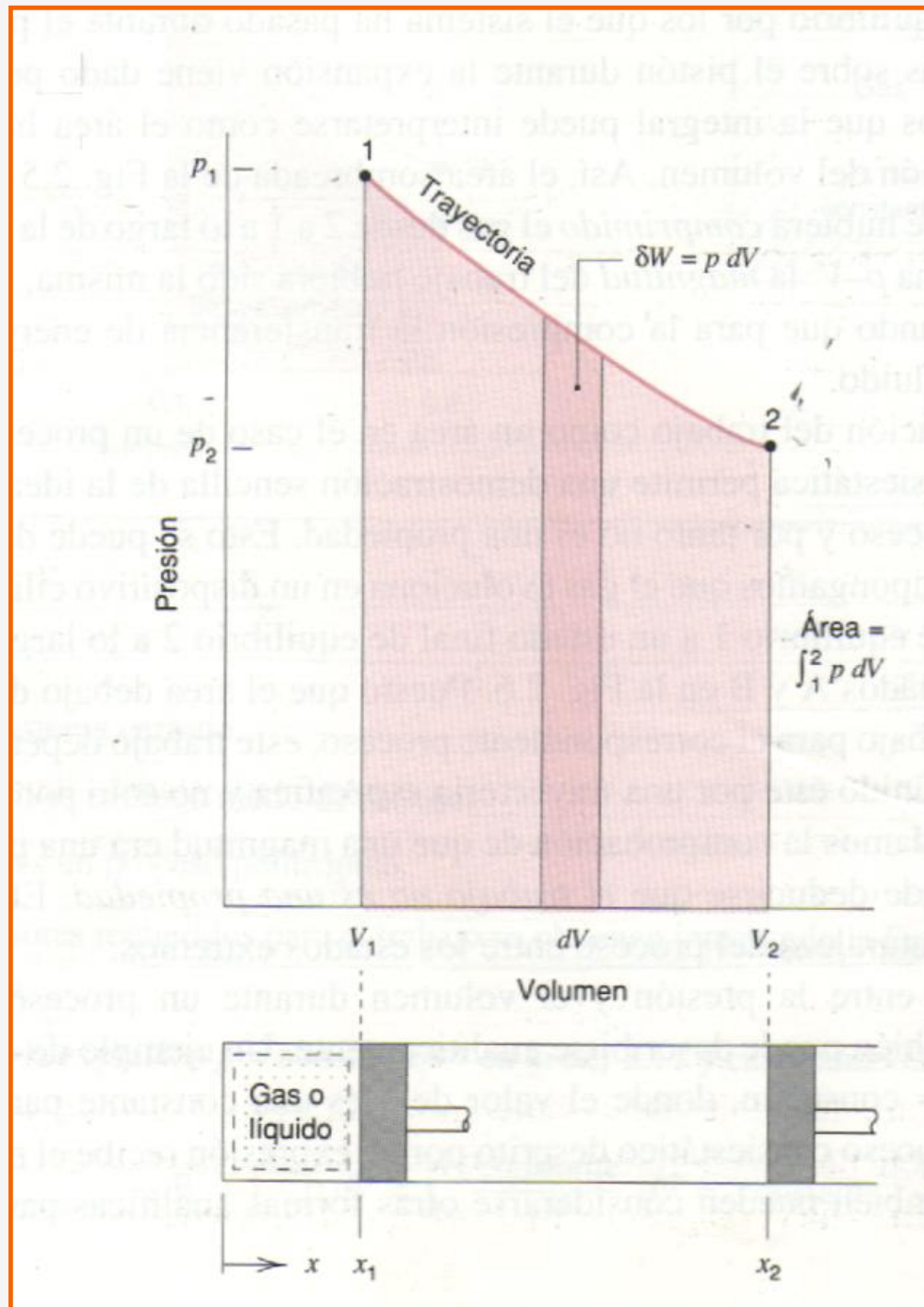
# TRABAJO DE COMPRESIÓN - EXPANSIÓN “CUASISTÁTICO”



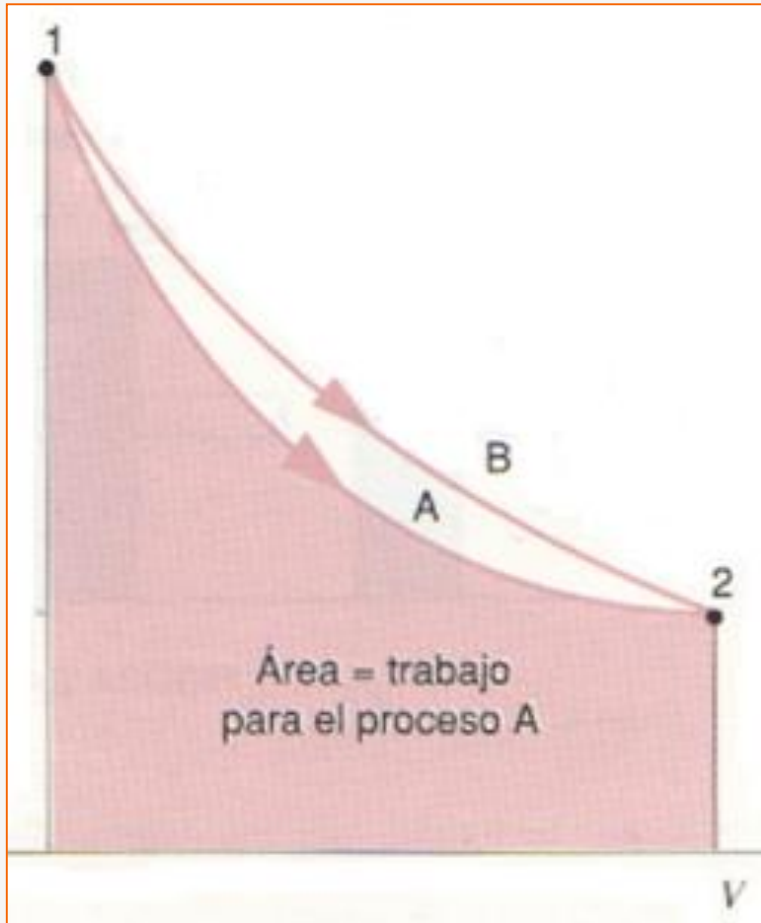
$$P_e = P_{sist} - dP$$

$$W = \int_{V_1}^{V_2} P_e dV = \int_{V_1}^{V_2} (P_{sist} - dP) dV = \int_{V_1}^{V_2} P_{sist} dV - \int_{V_1}^{V_2} dP dV = \int_{V_1}^{V_2} P_{sist} dV$$

$$W = \int_{V_1}^{V_2} P(V) dV$$



$$W = \int_{V_1}^{V_2} P(V) dV$$



$$W_{A1-2} = \int_{V_1}^{V_2} P_A(V) dV$$

$$W_{B1-2} = \int_{V_1}^{V_2} P_B(V) dV$$

$$W_{A1-2} \neq W_{B1-2}$$



$W_{1-2}$  depende de la transformación



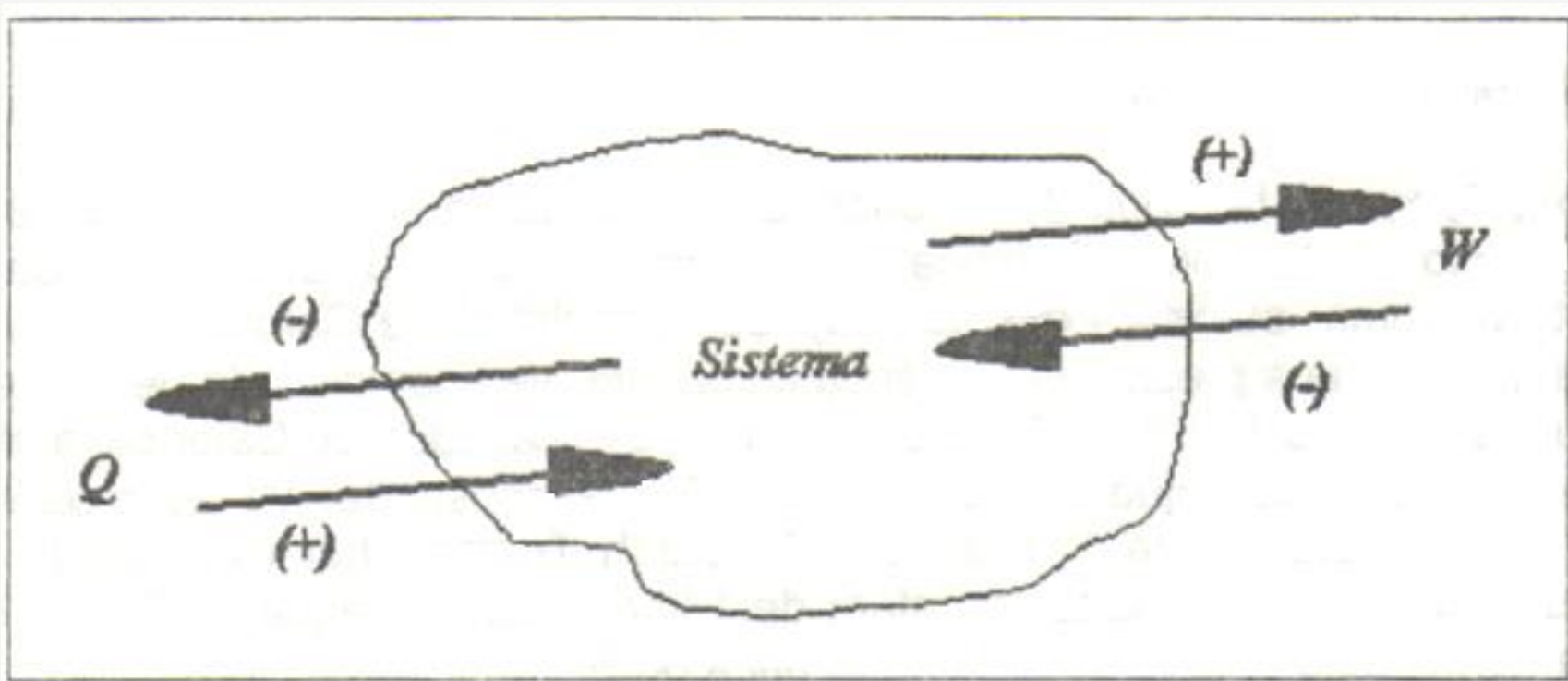
**Es función de línea: NO ES PROPIEDAD!!**



# COMPARACIÓN ENTRE CALOR Y TRABAJO

- a) Calor y Trabajo son, ambos, fenómenos transitorios. Los sistemas nunca tiene Calor o Trabajo, pero cualquiera o ambos cruzan el límite del sistema, cuando éste sufre un cambio de estado.
- b) Ambos, Calor y Trabajo, son fenómenos de límite. Ambos se observan solamente en los límites del sistema y ambos representan la energía que cruza el límite del sistema.
- c) Ambos, Calor, Trabajo, son funciones de trayectoria o línea y sus diferenciales son inexactas.

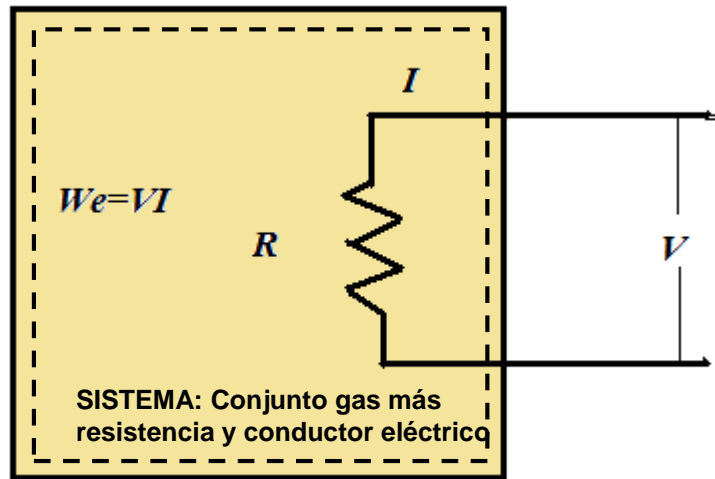
# CONVENCIÓN DE SIGNOS PARA CALOR Y TRABAJO



$$Q = m \int_{T_i}^{T_f} c(T) dT$$

$$W = \int_{V_1}^{V_2} P(V) dV$$

# TRABAJO ELÉCTRICO



En un campo eléctrico, los electrones de un alambre se mueven por el efecto de fuerzas electromotrices, por lo tanto realizan trabajo.

Los electrones que cruzan la frontera del sistema realizan trabajo eléctrico sobre éste.

Cuando  $N$  coulombs de carga eléctrica se mueven a través de una diferencia de potencial  $V$ , el trabajo eléctrico realizado es:

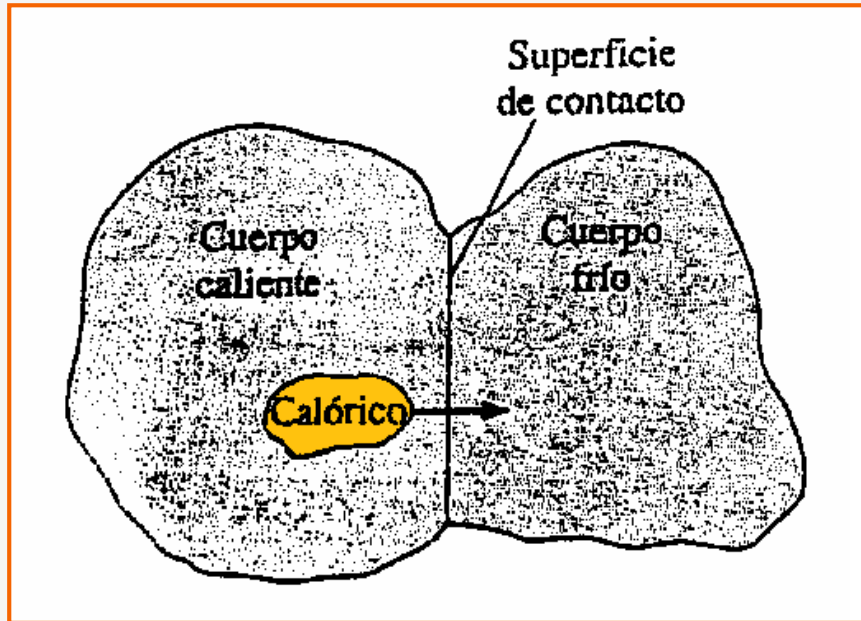
$$We = N V$$

Como  $I$ , intensidad de corriente eléctrica, es el número de cargas eléctricas que fluyen por unidad de tiempo, la Potencia eléctrica será:

$$\dot{We} = V I$$

o también:  $We = V I \Delta t \quad (\text{kJ})$

# EQUIVALENCIA ENTRE CALOR Y TRABAJO

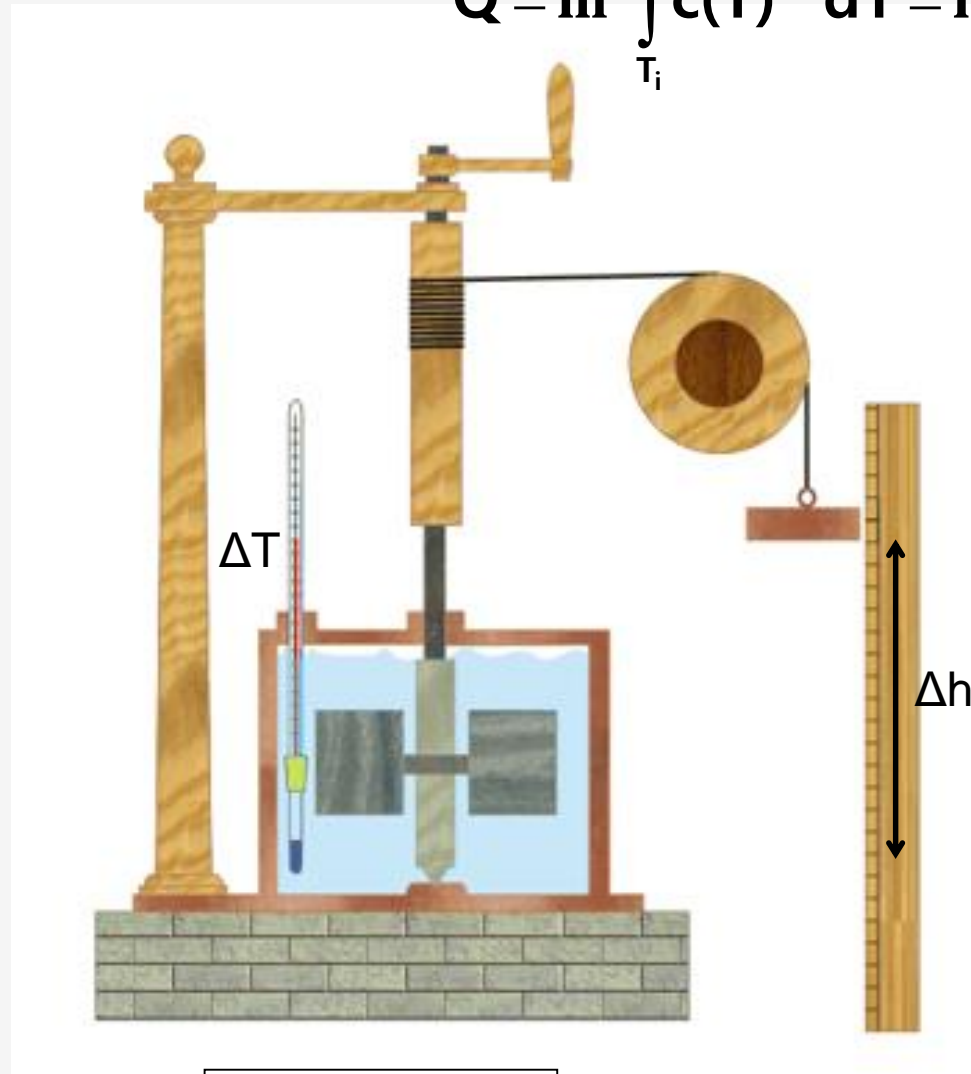


A principios del siglo XIX, se consideraba al calor como un fluido invisible llamado calórico que fluía de los cuerpos más calientes a los más fríos.

Las experiencias James Joule (1840), demostraron que el Trabajo Mecánico se puede convertir en Calor, y proporcionaron el factor de proporcionalidad entre ambos

# EQUIVALENCIA ENTRE CALOR Y TRABAJO

$$Q = m \int_{T_i}^{T_f} c(T) dT = m_{H_2O} c_{H_2O} (T_f - T_i) = m_{H_2O} c_{H_2O} \Delta T$$



JOULE (1840)

$$W = \int m_p g dh = m_p g (h_2 - h_1) = \Delta E_p$$

$$1 \text{ kcal} = 427 \text{ kgf m}$$

$$1 \text{ kcal} = 4180 \text{ kJ}$$

Los experimentos de Joule indicaron que Calor y Trabajo se han de considerar como formas diferentes de otra magnitud más general, la Energía

**FIN**

