

# Física 2 - 2024

Instituto de Física  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de la República

Mayo 2024

# Bienvenidos!

- Docente: Elisa Castro - [ecastro@fing.edu.uy](mailto:ecastro@fing.edu.uy)  
Lunes de 1800 a 2000 - virtual  
Jueves de 1200 a 1400 - S. B21
- Docente: Facundo Gutiérrez - [fgutierrez@fing.edu.uy](mailto:fgutierrez@fing.edu.uy)  
Martes de 1000 a 1200 - S. 305  
Martes de 1200 a 1400 - S. 305
- Docente: Matías Osorio Mirambell - [mosorio@fing.edu.uy](mailto:mosorio@fing.edu.uy)  
Jueves de 1200 a 1400 - S. B21  
Viernes de 1830 a 2030 - virtual

# Cronograma del curso

9	29/04/24 - 08/05/24	Período de 1º parciales	
10	09/05/24 - 10/05/24	GAS IDEAL Y TEORÍA CINÉTICA	Análisis/Resolución del Parcial
11	13/05/24 - 17/05/24	GAS IDEAL Y TEORÍA CINÉTICA	5 DILATACIÓN TÉRMICA Y TERMOMETRÍA
12	20/05/24 - 24/05/24	CALOR Y PRIMERA LEY	6 PROCESOS EN GASES IDEALES
13	27/05/24 - 31/05/24	CALORIMETRÍA Y TRANSFERENCIA DE CALOR	7 CALOR Y PRIMERA LEY. TRANSF. DE CALOR
14	03/06/24 - 07/06/24	SEGUNDA LEY. MÁQUINAS TÉRMICAS	7 CALOR Y PRIMERA LEY. TRANSF. DE CALOR
15	10/06/24 - 14/06/24	SEGUNDA LEY. MÁQUINAS TÉRMICAS	8 MÁQUINAS TÉRMICAS
16	17/06/24 - 21/06/24	ENTROPIA	8 MÁQUINAS TÉRMICAS
17	24/06/24 - 28/06/24	ENTROPIA	9 ENTROPIA
18	01/07/24 - 03/07/24	CONSULTA/REPASO	9 ENTROPIA
17	04/07/24 - 15/07/24	Período de 2º parciales	

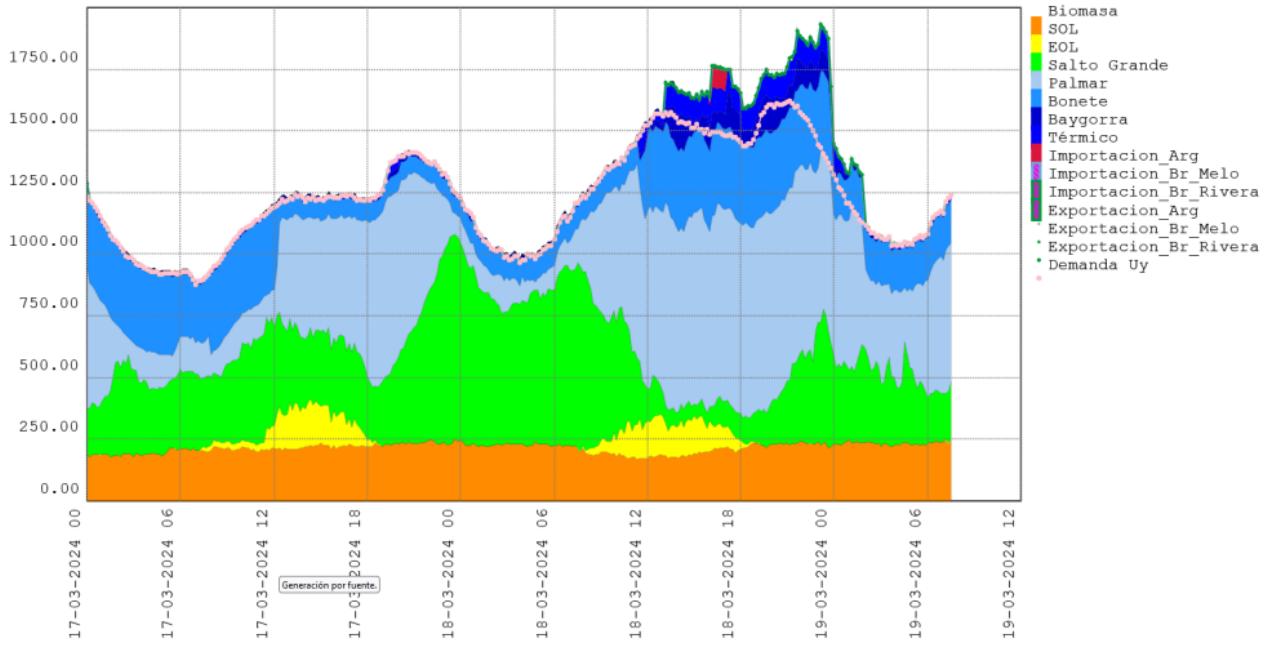
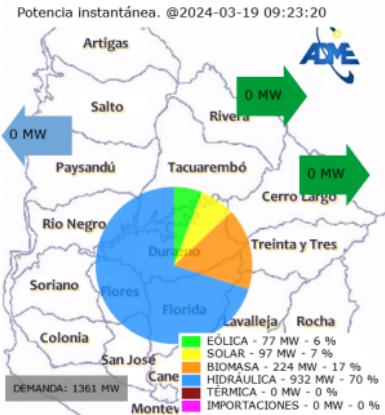
**USTED ESTÁ AQUÍ**

# Resumen

- A resolver: ¿Qué es la temperatura? ✓ → Ley cero de la termodinámica.
- A resolver: ¿Qué es un gas ideal? ✓ → Modelo:  $PV = nRT$
- A resolver: ¿Es posible mover un peso mediante un GI? ✓ → trabajo
- A resolver: ¿Qué es la energía interna de un GI y cómo varía?

# Termodinámica: motivación

- Energía → concepto fundamental en ingeniería → generación, almacenamiento, transporte...



# Modelo de Gas Ideal (GI)

- El GI es un modelo que permite bajo ciertas hipótesis (baja densidad) describir el comportamiento de un gas en función de variables macroscópicas.
- Ecuación de estado → se llega experimentalmente:

$$PV = NkT, \quad k = 1,38 \times 10^{-23} \text{ J K}^{-1}$$

- Número de moles:  $n = N/N_A$ ,  $N_A = 6,02 \times 10^{23}$  molec mol $^{-1}$

$$PV = kN_A T, \quad kN_A = R = 8,3145 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1} \rightarrow PV = nRT$$

- Número de moles:  $n = m/\overline{M}$

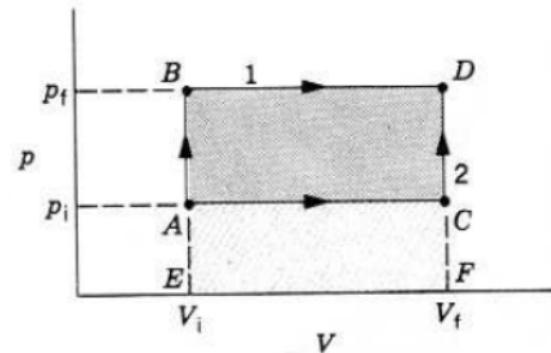
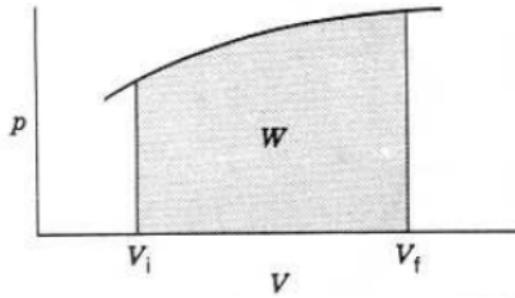
$$PV = \frac{m}{\overline{M}} RT \rightarrow P\overline{M} = \rho RT$$

# Trabajo sobre un GI

- Se sabe que:

$$W_{\text{sobre gas}} = - \int_{V_1}^{V_2} P_{\text{gas}}(V) dV, [W] = J$$

- El valor absoluto trabajo es el área bajo la curva del diagrama  $P - V$
- ¡El signo del trabajo depende de la trayectoria!



- ¿Qué estamos modificando del GI cuando le hacemos un trabajo?

# Energía interna de un GI

- La energía interna de un GI es la suma de las energías cinéticas de todas sus partículas constituyentes, más la suma de todas las energías potenciales de interacción entre ellas.
- Es lo que modificamos cuando se transfiere energía por las fronteras del sistema (sistema cerrado).
- Depende del tipo de gas (monoatómico, diatómico, poliatómico) y la temperatura a la que se encuentra:

$$U_{\text{mono}} = \frac{3}{2}nRT, \quad U_{\text{di}} = \frac{5}{2}nRT, \quad U_{\text{poli}} = \frac{6}{2}nRT$$

- Principio de equipartición de la energía: “cada grado de libertad del sistema (traslación, rotación, vibración) aporta  $(1/2)kT$  por molécula a la energía interna del sistema”

# Energía interna de un GI

- Depende del tipo de gas (monoatómico, diatómico, poliatómico) y la temperatura a la que se encuentra:

$$U_{\text{mono}} = \frac{3}{2}nRT, \quad U_{\text{di}} = \frac{5}{2}nRT, \quad U_{\text{poli}} = \frac{6}{2}nRT$$

- Nos va a interesar mucho la variación de energía interna de un gas ideal:

$$\Delta U = U_{\text{fin}} - U_{\text{ini}} = \left( \frac{GL}{2} \right) nR\Delta T$$

- ¡Observar que  $\Delta U$  depende de  $\Delta T$ !
- En un proceso isotermo  $\Delta U = 0$

# Calor

- El calor ( $Q$ ,  $[Q] = J$ ) es la transferencia de energía debido a la diferencia de temperatura (¡no confundir con temperatura!)
- Otras unidades:  $1 \text{ cal} = 4,186 \text{ J}$ ;  $1 \text{ BTU} = 1055 \text{ J}$
- Proceso adiabático:  $Q = 0$
- Mecanismos de transmisión de calor: conducción, convección, radiación
- Calor específico:  $c = Q/(m\Delta T) \rightarrow$  caracteriza una sustancia. Dependen de  $T$  y  $P$ . Nos brinda información de qué cantidad de energía en forma de  $Q$  es necesario entregar para variar la temperatura de un kilogramo de sustancia.

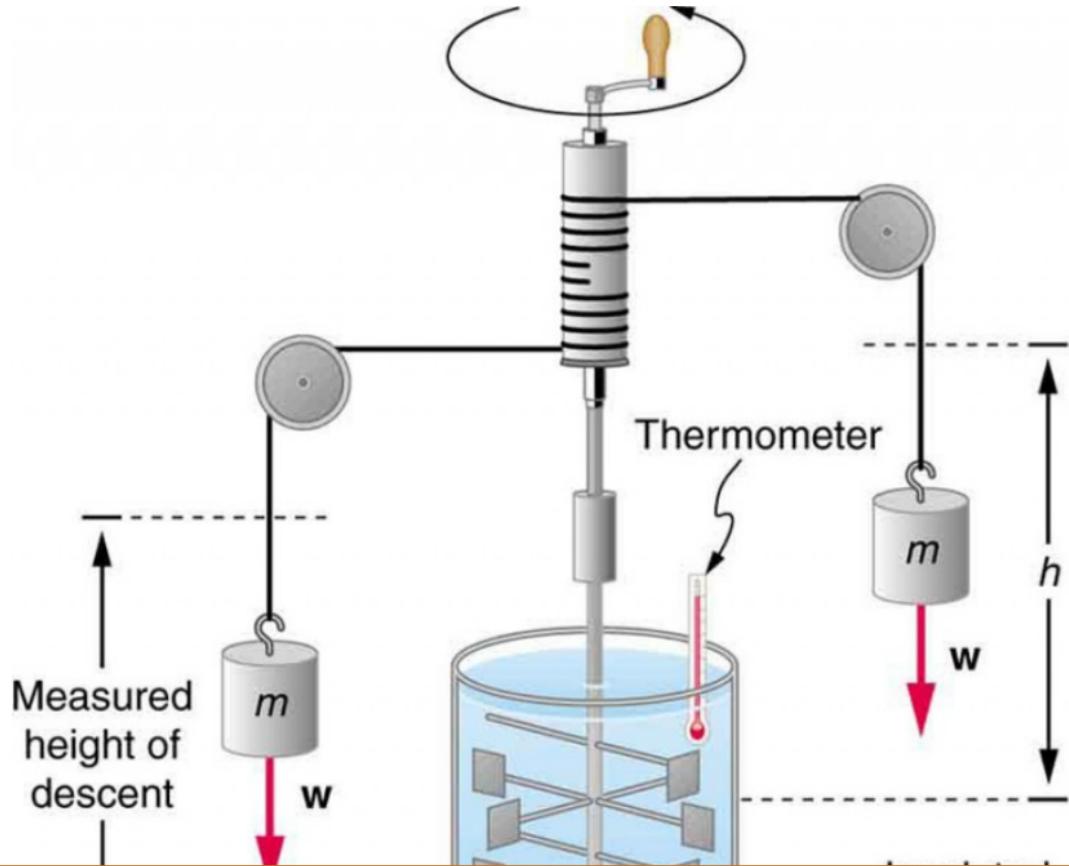
# Primera Ley de la Termodinámica

- ¿Cómo se puede variar  $U$  en un GI? 1) mediante  $Q$ ; 2) mediante  $W$ ; 3) 1+2 → proceso termodinámico
- Para un sistema cerrado:

$$\Delta E = \Delta K + \Delta E_{\text{pot}} + \Delta U = Q - \int P(V)dV \rightarrow \Delta E = Q + W$$

- $\Delta U$  es una función de estado: no depende de la trayectoria termodinámica del sistema
- $Q$  y  $W$  **sí** dependen de la trayectoria.
- $W$  en general es sencillo de calcular al igual que  $\Delta U$  → ¡la 1ra. ley nos da información sobre el calor transferido durante el proceso!

# Equivalente mecánico del calor - experimento de Joule



# Primera Ley de la Termodinámica - cap. calor. de un GI

- Consideremos un proceso a  $V = \text{cte} \rightarrow W = 0 \rightarrow \Delta U = Q$
- Sabemos que:

$$\Delta U = \left( \frac{GL}{2} \right) nR\Delta T = Q$$

- Capacidad calorífica de un GI a vol. cte.:  $C_V = (GL/2)R$
- Consideremos un proceso a  
 $P = \text{cte} \rightarrow W = -P\Delta V = -nR\Delta T \rightarrow \Delta U = Q - nR\Delta T$
- Sabemos que:

$$\Delta U = \left( \frac{GL}{2} \right) nR\Delta T = Q - nR\Delta T \rightarrow Q = \left( \frac{GL}{2} + 1 \right) nR\Delta T$$

- Capacidad calorífica de un GI a presión cte.:  $C_P = (GL/2)R + R = C_V + R$
- **SÓLO EN PROCESOS ISÓCOROS E ISÓBAROS ES POSIBLE ESCRIBIR  $Q$  COMO  $Q = nC\Delta T \rightarrow$  ¡USAR SIEMPRE LA 1RA LEY!**

# Ejercicio 1

## Segundo parcial de Física 2

1/12/2017

### 3) Ejercicio (20 puntos)

Un mol de un gas ideal diatómico se somete a un proceso termodinámico reversible que lo lleva de un estado inicial a presión  $P_a$  y volumen  $V_a$  a un estado final con volumen  $V_b=2V_a$ , de forma tal que el producto entre la temperatura y el volumen del gas se mantiene constante durante todo el proceso ( $TV=cte$ ).

- a)** Represente el proceso en un diagrama P-V, junto a un proceso adiabático y a uno isotérmico que ocurran entre el mismo estado inicial ( $P_a, V_a, T_a$ ) y un estado final con volumen  $V_b$ . Justifique su respuesta.
- b)** Calcule el trabajo realizado por el gas durante el proceso descrito.
- c)** Calcule el cambio de energía interna y el calor ganado por el gas durante el proceso.

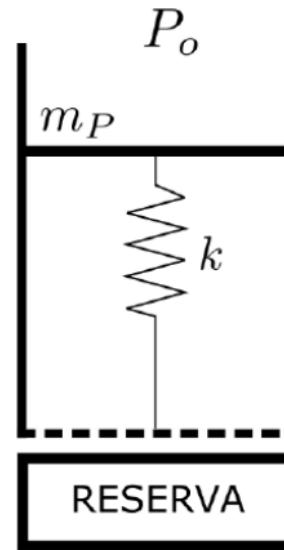
# Ejercicio 2

## Física 2 – Segundo parcial 8 de julio de 2017

### Ejercicio 1 (30 puntos)

Considere el sistema cilindro - pistón abierto a la atmósfera que se muestra en la Figura. El mismo está formado por un pistón adiabático de masa  $m_P$  y sección  $A = 0,1 \text{ m}^2$ , al que se le une un resorte de constante elástica  $k = 50 \text{ kN/m}$ . El cilindro (con paredes adiabáticas y base diaterma) encierra 1 mol de un gas ideal diatómico que inicialmente ocupa un volumen de 20 litros y tiene una presión de 120 kPa (estado 1). En dicho punto además, el resorte se encuentra en su longitud natural.

En un primer proceso, se transfiere calor al sistema desde la base del cilindro a través de una reserva térmica que se encuentra a  $500^\circ\text{C}$ . El proceso finaliza en el momento en que el gas ocupa un volumen de 30 litros (estado 2).



- Halle el estado final del gas para este proceso y calcule el trabajo realizado por el mismo y el calor intercambiado con la reserva.

# Próxima clase...

- Ideal: continuar práctico 7
- Dudas: recuerden el uso del foro
- Próxima clase: vamos a seguir trabajando con la primera ley de la termodinámica.

# Cronograma del curso

9	29/04/24 - 08/05/24	Período de 1º parciales	
10	09/05/24 - 10/05/24	GAS IDEAL Y TEORÍA CINÉTICA	Análisis/Resolución del Parcial
11	13/05/24 - 17/05/24	GAS IDEAL Y TEORÍA CINÉTICA	5 DILATACIÓN TÉRMICA Y TERMOMETRÍA
12	20/05/24 - 24/05/24	CALOR Y PRIMERA LEY	6 PROCESOS EN GASES IDEALES
13	27/05/24 - 31/05/24	CALORIMETRÍA Y TRANSFERENCIA DE CALOR	7 CALOR Y PRIMERA LEY. TRANSF. DE CALOR
14	03/06/24 - 07/06/24	SEGUNDA LEY. MÁQUINAS TÉRMICAS	7 CALOR Y PRIMERA LEY. TRANSF. DE CALOR
15	10/06/24 - 14/06/24	SEGUNDA LEY. MÁQUINAS TÉRMICAS	8 MÁQUINAS TÉRMICAS
16	17/06/24 - 21/06/24	ENTROPIA	8 MÁQUINAS TÉRMICAS
17	24/06/24 - 28/06/24	ENTROPIA	9 ENTROPIA
18	01/07/24 - 03/07/24	CONSULTA/REPASO	9 ENTROPIA
17	04/07/24 - 15/07/24	Período de 2º parciales	

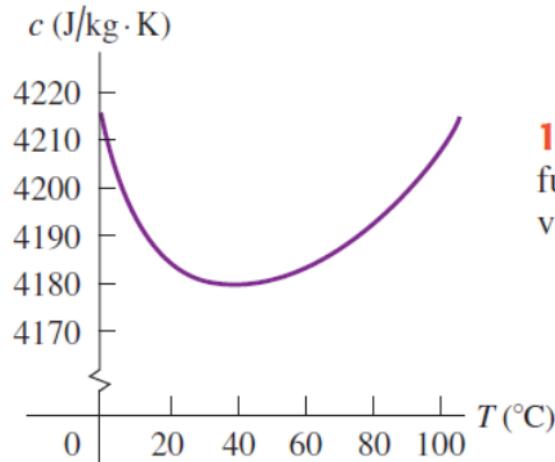
**USTED ESTÁ AQUÍ**

# Resumen

- A resolver: ¿Qué es la temperatura? ✓ → Ley cero de la termodinámica.
- A resolver: ¿Qué es un gas ideal? ✓ → Modelo:  $PV = nRT$
- A resolver: ¿Es posible mover un peso mediante un GI? ✓ → trabajo
- A resolver: ¿Qué es la energía interna de un GI y cómo varía? ✓ → 1ra. Ley de la termodinámica
- A resolver: ¿Cómo calcular  $Q$  en procesos con sólidos/líquidos?

# Transferencia de calor en sólidos y líquidos

- En general, en sólidos/líquidos:  $W \approx 0 \rightarrow \Delta U \approx Q \rightarrow$  podemos hallar el calor intercambiado.
- Sabemos que por 1ra. ley:  $\Delta U = mc\Delta T \approx Q$ ,  $[Q] = J$
- $c$  = calor específico de una sustancia  $\rightarrow$  ¡caracteriza la sustancia!

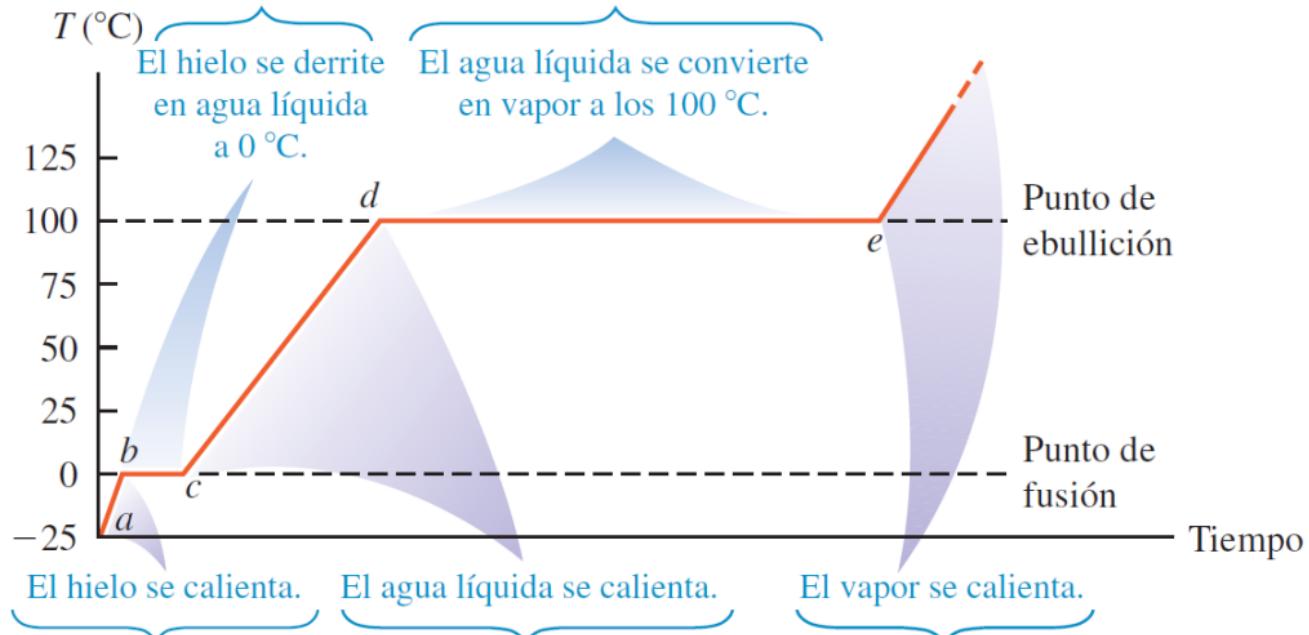


**17.17** Capacidad calorífica del agua en función de la temperatura. El valor de  $c$  varía menos del 1% entre 0 °C y 100 °C.

- Vamos a asumir que  $c \approx$  cte en los rangos de  $T$  y  $P$  que vamos a utilizar.

# Cambios de fase

**Cambios de fase del agua.** Durante estos periodos, la temperatura se mantiene constante y ocurre un cambio de fase conforme se agrega calor:  $Q = +mL$ .



**Cambios de la temperatura del agua.** Durante este periodo, la temperatura aumenta al agregarse calor:  $Q = mc\Delta T$ .

# Cambios de fase

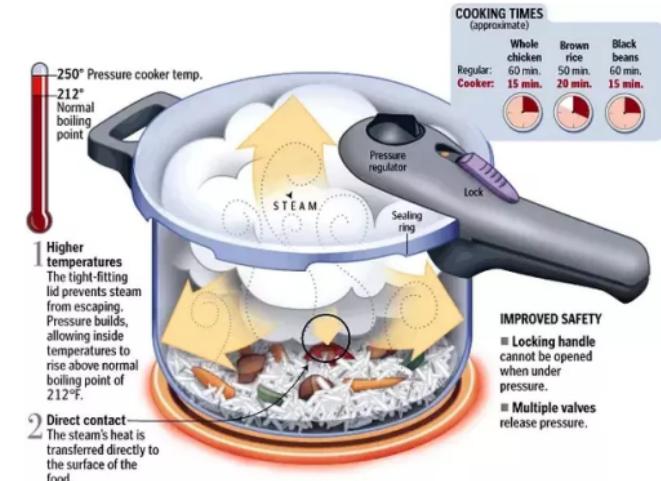
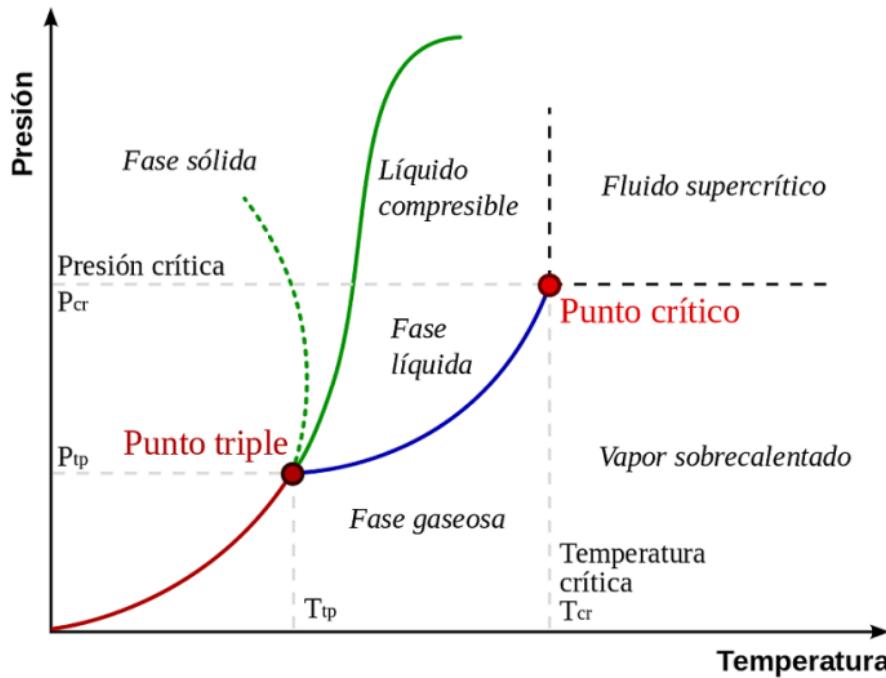
- Los cambios de fase se dan a temperatura constante → curva de saturación.
- Durante el cambio de fase coexisten ambas fases.
- Calor latente: calor necesario para que una sustancia cambie completamente de fase:

$$Q = mL$$

- $L$  = calor latente por unidad de masa
- ¡Puntos de fusión, ebullición, ... dependen de la presión! → se puede tomar ventaja de este hecho.

# Ejemplo - olla a presión

- Existencia de dos fases: líquido y vapor
- Realimentación:  $\uparrow P \rightarrow \uparrow T \rightarrow \uparrow P \dots$  hasta  $P$  de la válvula de seguridad



# Ejemplo - cafetera italiana

## Inside a moka pot

How pressure is used to produce the perfect cup of coffee

### Time for a cup

A characteristic sputtering sound can be heard as the last of the water boils through into the top chamber – the signal that the coffee is ready to serve.

### Escaping the chamber

Once the coffee is fully saturated, the water continues to boil up through the metal filter and into the top funnel.

### Preparation

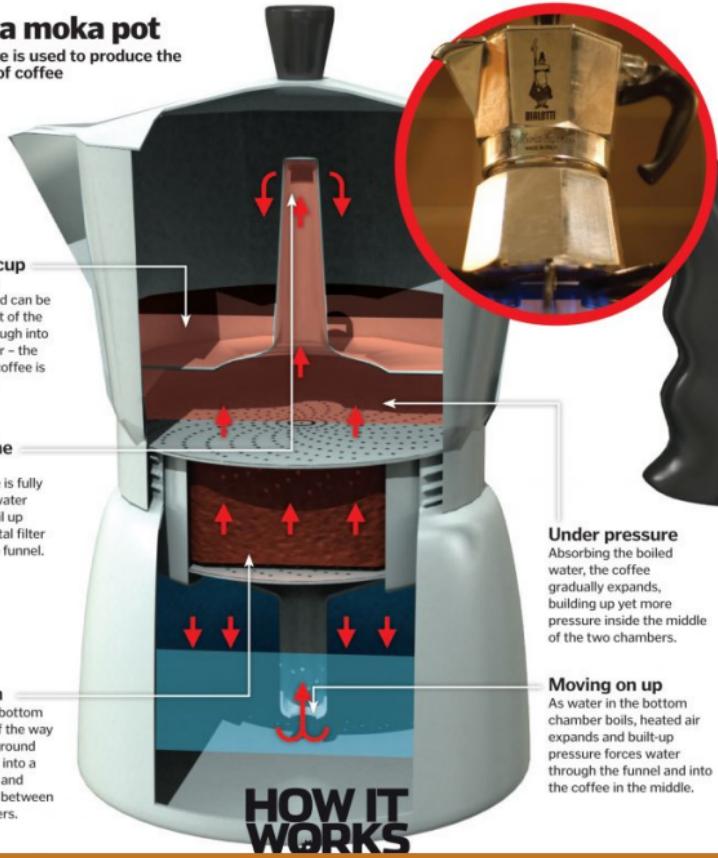
After filling the bottom chamber part of the way to the top, the ground coffee is placed into a separate cradle and screwed tightly between the two chambers.

### Under pressure

Absorbing the boiled water, the coffee gradually expands, building up yet more pressure inside the middle of the two chambers.

### Moving on up

As water in the bottom chamber boils, heated air expands and built-up pressure forces water through the funnel and into the coffee in the middle.



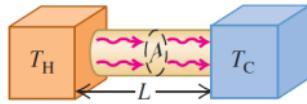
# Calorimetría

- Calorimetría = medición de calor.
- Experimento común: poner diferentes objetos que se encuentran a distintas temperaturas iniciales en un recipiente adiabático.
- Si el calorímetro es adiabático:  $Q = 0$
- Primera Ley:  $\Delta U = Q + W = 0 = \Delta U_A + \Delta U_B + \dots + \Delta U_N$  :

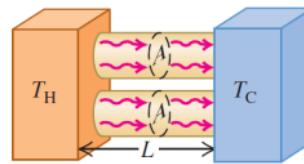
$$m_A c_A \Delta T_A + m_B c_B \Delta T_B + \dots + m_N c_N \Delta T_N = 0$$

# Métodos de transmisión de calor - conducción

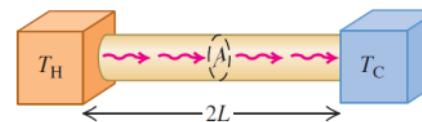
a) Corriente de calor  $H$ .



b) Al duplicar el área transversal del conductor, se duplica la corriente de calor ( $H$  es proporcional a  $A$ ).



c) Al duplicar la longitud del conductor, se reduce a la mitad la corriente de calor ( $H$  es inversamente proporcional a  $L$ ).



- Tasa de transferencia de calor:

$$\frac{dQ}{dt} = kA \frac{T_H - T_C}{L}$$

**Tabla 17.5** Conductividades térmicas

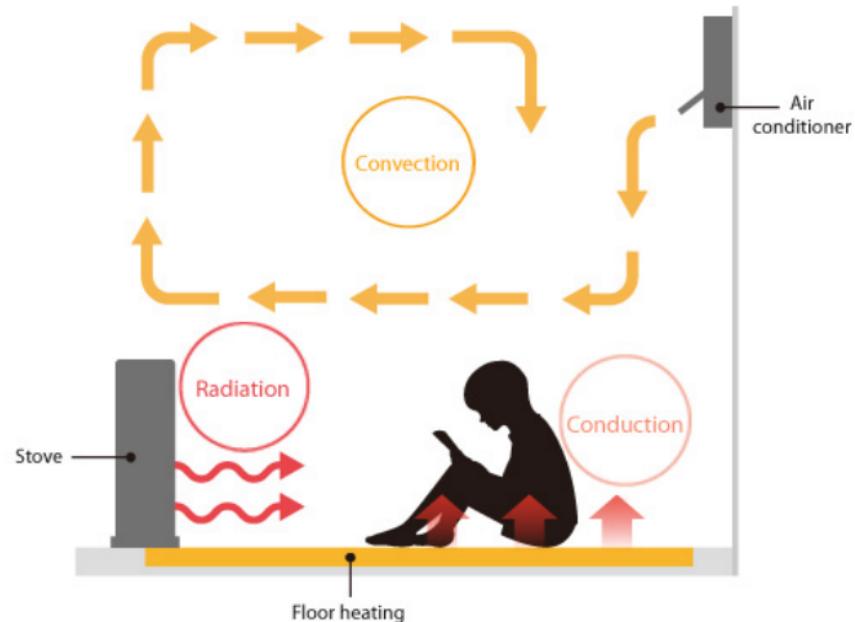
Sustancia	$k$ (W/m · K)
Metales	
Aluminio	205.0
Latón	109.0
Cobre	385.0
Plomo	34.7
Mercurio	8.3
Plata	406.0
Acero	50.2

*Sólidos (valores representativos)*

Ladrillo, aislante	0.15
Tabique (ladrillo rojo)	0.6
Concreto (hormigón)	0.8
Corcho	0.04
Fielto	0.04
Fibra de vidrio	0.04
Vidrio	0.8
Hielo	1.6
Lana mineral	0.04
Espuma de poliestireno	0.01

# Métodos de transmisión de calor - convección

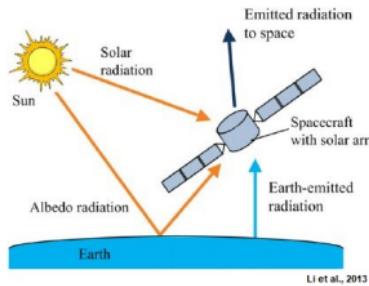
- Transferencia de calor por movimiento de una masa de fluido de una región del espacio a otra.



# Métodos de transmisión de calor - radiación

- Transferencia de calor por ondas electromagnéticas como la luz visible, el infrarrojo y la radiación ultravioleta.

$$\frac{dQ}{dt} = A e \sigma T^4, \quad \sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W m}^{-2} \text{ K}^{-4}$$



# Ejercicio 3

Física 2 – Segundo Parcial  
13 de Julio de 2021

## Ejercicio 1 (17 puntos)

En un calorímetro se introduce  $500\text{ g}$  de agua a  $60^\circ\text{C}$  y  $1\text{ kg}$  de un sólido desconocido a  $20^\circ\text{C}$ . Al pasar el tiempo, se observa que la temperatura final del equilibrio térmico es de  $50^\circ\text{C}$ . Recuerde que  $0^\circ\text{C} = 273,15\text{ K}$ .

a) Halle el calor específico del sólido.

Luego se introduce  $100\text{ g}$  de hielo a  $-5^\circ\text{C}$ .

b) Determine la temperatura final de equilibrio.

c) Bosqueje la temperatura de la masa hielo en función del calor recibido, indicando expresamente las coordenadas de los puntos.

Suponga que el sólido desconocido no experimenta ningún cambio de fase.

$$c_{\text{agua}} = 4182 \frac{\text{J}}{\text{kg K}} \quad ; \quad c_{\text{hielo}} = 2090 \frac{\text{J}}{\text{kg K}} \quad ; \quad l_{\text{fusión}} = 334 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

# Ejercicio 4

Física 2 – Segundo parcial  
29 de noviembre de 2019

## Problema 3 (15 puntos)

Se tienen 2 moles de gas ideal poliatómico a temperatura  $T_g = 45^\circ C$ . El contenedor del gas está compuesto por paredes rígidas: tres adiabáticas y una diatérmica. Colocamos al gas en contacto térmico con un bloque de hielo de masa  $m = 20g$  y temperatura inicial  $T_H = -25^\circ C$ , como se muestra en la figura. Si el bloque de hielo solo puede intercambiar calor con el gas:

- ¿A qué temperatura se alcanza el equilibrio térmico?
- Determine el calor intercambiado durante el proceso.
- Halle la variación de entropía en el universo para todo el proceso.

**Nota:** el calor específico del hielo es  $2200\text{J/kgK}$  y el del agua es  $4190\text{J/kgK}$ . El calor de fusión es  $333\text{kJ/kg}$

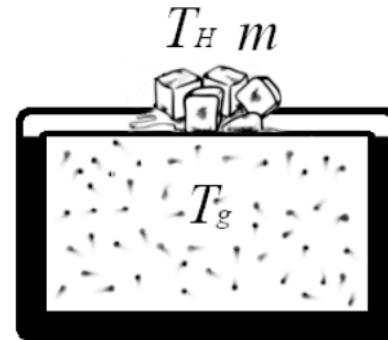


Figura 3: Problema 3

# Próxima clase...

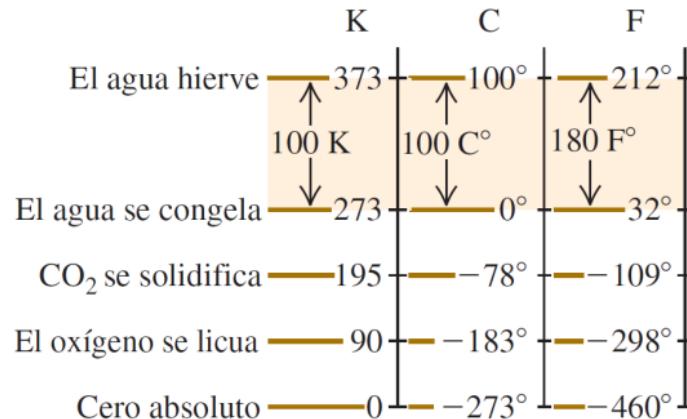
- Ideal: finalizar práctico 7
- Dudas: recuerden el uso del foro
- Próxima clase: vamos a comenzar a trabajar con temas vinculados a la segunda ley de la termodinámica.

# Procedimiento típico de resolución

- 1) Leer cuidadosamente la letra. ¿Qué necesito hallar? ¿Qué variables conocemos (datos/hipótesis)?
- 2) En una tabla prolijamente, escribir todos los datos del problema, por estado y por variable.
- 3) Definir la mayor cantidad de estados posibles (determinar el resto de variables termodinámicas).
- 4) Buscar las condiciones de finalización del/los proceso/s termodinámicos (¿ $P$  final? ¿ $T$  final?). ¿Con qué tipo de procesos se está trabajando? Establecer los vínculos entre las variables de los estados inicial y final.
- 5) Calcular trabajo ( $W$ )
- 5) Calcular  $\Delta U$
- 6)  $Q \rightarrow$  Primera Ley de la Termodinámica (balance energía + conservación masa)
- 7)  $S \rightarrow$  Segunda Ley de la Termodinámica (balance entropía + conservación masa)

# Escalas Celsius, Farenheit y Kelvin (SI)

- **Celsius:** toma los puntos de fusión ( $0^{\circ}\text{C}$ ) y ebullición del agua ( $100^{\circ}\text{C}$ ) como referencias, y divide entre 100 (grado) dicho rango.
- **Farenheit:** toma los puntos de fusión ( $32^{\circ}\text{F}$ ) y ebullición  $212^{\circ}\text{F}$  del agua como referencias, y divide entre 180 (grado F) dicho rango.
- **Kelvin:** escala que no depende de las propied. de un material específico.



# Escalas Celsius, Farenheit y Kelvin (SI)

- **Celsius**: toma los puntos de fusión ( $0^{\circ}\text{C}$ ) y ebullición del agua ( $100^{\circ}\text{C}$ ) como referencias, y divide entre 100 (grado) dicho rango.
- **Farenheit**: toma los puntos de fusión ( $32^{\circ}\text{F}$ ) y ebullición  $212^{\circ}\text{F}$  del agua como referencias, y divide entre 180 (grado F) dicho rango.

$$T(^{\circ}\text{F}) = (9/5)T(^{\circ}\text{C}) + 32$$

- **Kelvin**: escala que no depende de las propied. de un material específico.

$$T(K) = T(^{\circ}\text{C}) + 273,15$$

# Ley cero de la termodinámica

- Si  $A$  y  $B$  están cada uno en equilibrio térmico con un tercer sistema  $C$ , entonces  $A$  y  $B$  están en equilibrio térmico ( $T_A = T_B$ )
- **Temperatura (T):** Existe una cantidad escalar ( $T$ ), que es una propiedad de los sist. termod. en equilibrio. Dos sistemas están en equilibrio térmico sí y solo sí tienen la misma temperatura.
- ¿Quién puede ser el cuerpo  $C$ ? Un termómetro.
- Un termómetro es un sistema termodinámico que varía cierta propiedad termométrica con la temperatura (por ej.: dilatación).
- ¿En qué medimos  $T$ ? → escalas de  $T$  → “Buscamos una sustancia que varía alguna propiedad con  $T$  y medimos esa propiedad al variar  $T$ ” → observamos puntos notables

## Anexo: Recordando matemática...

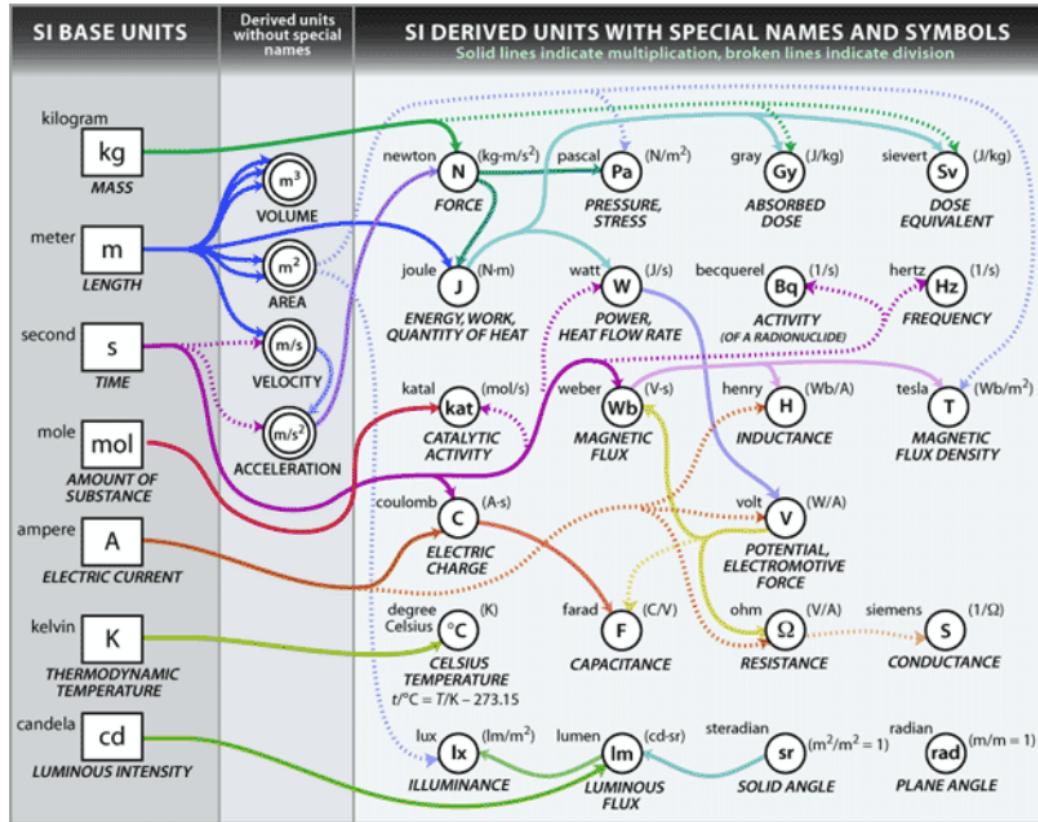
- $\sin(-x) = -\sin(x)$
- $\cos(-x) = \cos(x)$
- $\sin(x + \pi/2) = \cos(x)$
- $\sin(\alpha) + \sin(\beta) = 2 \sin((\alpha + \beta)/2) \cos((\alpha - \beta)/2)$
- $\cos(\alpha) + \cos(\beta) = 2 \cos((\alpha + \beta)/2) \cos((\alpha - \beta)/2)$

$$\sin^2(x) = \frac{1}{2}(1 - \cos(2\alpha))$$

$$\cos^2(x) = \frac{1}{2}(1 + \cos(2\alpha))$$

- $\sin^2(x) + \cos^2(x) = 1$

# Anexo: SI - Unidades derivadas



# Anexo: SI - Prefijos

Prefiks	Symbol	Multiplying factor
yotta	Y	$1\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000 = 10^{24}$
zetta	Z	$1\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000 = 10^{21}$
exa	E	$1\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000 = 10^{18}$
peta	P	$1\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000 = 10^{15}$
tera	T	$1\ 000\ 000\ 000\ 000 = 10^{12}$
giga	G	$1\ 000\ 000\ 000 = 10^9$
mega	M	$1\ 000\ 000 = 10^6$
kilo	k	$1\ 000 = 10^3$
hecto	h	$100 = 10^2$
deka	da	$10 = 10^1$
deci	d	$0,1 = 10^{-1}$
centi	c	$0,01 = 10^{-2}$
milli	m	$0,001 = 10^{-3}$
mikro	μ	$0,000\ 001 = 10^{-6}$
nano	n	$0,000\ 000\ 001 = 10^{-9}$
piko	p	$0,000\ 000\ 000\ 001 = 10^{-12}$
femto	f	$0,000\ 000\ 000\ 000\ 001 = 10^{-15}$
atto	a	$0,000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 001 = 10^{-18}$
zepto	z	$0,000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 001 = 10^{-21}$
yocto	y	$0,000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 001 = 10^{-24}$