

Física 2 - 2024

Instituto de Física
Facultad de Ingeniería
Universidad de la República

Junio 2024

Bienvenidos!

- Docente: Elisa Castro - ecastro@fing.edu.uy
Lunes de 1800 a 2000 - virtual
Jueves de 1200 a 1400 - S. B21
- Docente: Facundo Gutiérrez - 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
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 TEORIA CINÉTICA	Análisis/Resolución del Parcial
11	13/05/24 - 17/05/24	GAS IDEAL Y TEORIA 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

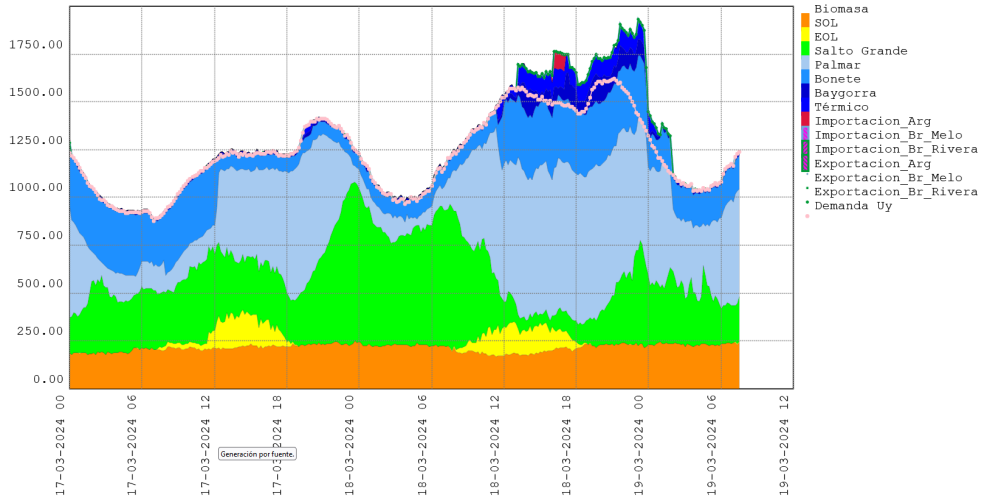
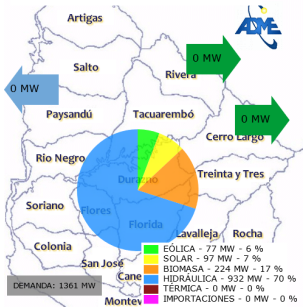
Resumen

- 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? ✓ → Primera Ley de la Termodinámica
- A resolver: ¿Cómo calcular Q en procesos con sólidos/líquidos? ✓ → calor específico y calor latente
- A resolver: ¿Es posible utilizar un ciclo termodinámico para obtener trabajo útil? ✓ → máq. térmica/refrig.
- A resolver: ¿Cuánto trabajo útil máximo podemos obtener a partir un ciclo termodinámico? ¿Qué nos restringe?

Termodinámica: motivación

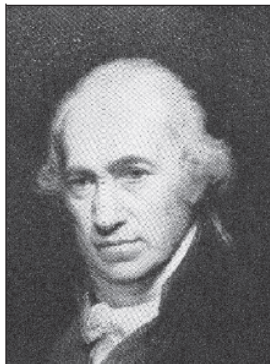
- Energía → concepto fundamental en ingeniería → generación, almacenamiento, transporte...

Potencia Instantánea. @2024-03-19 09:23:20



Limitaciones de la Primera Ley

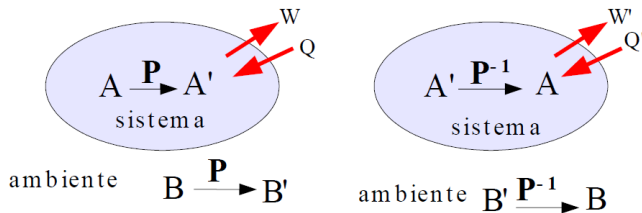
- Primera Ley nos da un balance de energía pero no nos dice si el proceso puede realizarse o no
- Necesitamos más información → segunda ley de la termodinámica
- Entropía nace a partir de problemas de ingeniería → ↑ eficiencia de motores + ciclos termodinámicos → Watt, Joule, Carnot, Clapeyron



In 1783 he tested a strong horse and decided that it could raise a 150-pound weight nearly four feet in a second. He therefore defined a “horsepower” as 550 foot-pounds per second. This unit of power is still used, particularly for automobiles. However, the unit of power in the metric system is called 1 Watt, in honour of the Scottish engineer. One horsepower equals 746 Watt.

Procesos reversibles, internamente reversibles e irreversibles

- Sea un proceso termodinámico P que lleva un sistema de un estado A a A' y al ambiente de un estado B a uno B' .
- P es reversible si existe un proceso inverso P^{-1} tal que vuelve el sistema de A' a A , y al ambiente de B' a B .



- ¿Qué sucede en la realidad? Irreversibilidades (fricción, transferencias de calor) hacen que ese proceso P^{-1} no exista de manera global.
- Proceso internam. reversible: P es int. rev. si P^{-1} vuelve el sistema a A desde A' (pero el ambiente va a otro estado distinto del inicial).

Entropía

- De Carnot: $|Q_H|/T_H = |Q_L|/T_L$:

$$\frac{|Q_H|}{T_H} - \frac{|Q_L|}{T_L} = 0 \rightarrow \text{ciclo reversible}$$

- Desigualdad de Clausius:

$$\oint \frac{\delta Q}{T} \leq 0$$

- Entropía: la desigualdad de Clausius conduce a esta propiedad (que es función de estado):

$$S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{\delta Q}{T}, \quad [S] = \text{J K}^{-1}$$

- De lo anterior:

$$\delta Q = TdS \rightarrow Q = \int \delta Q = \int TdS$$

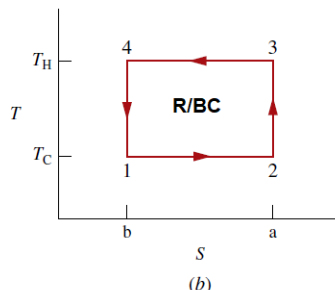
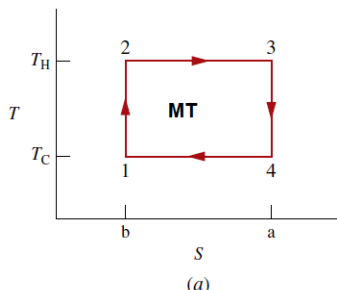
Entropía y diagrama T-S

- Recordemos que:

$$W = - \int P(V) dV$$

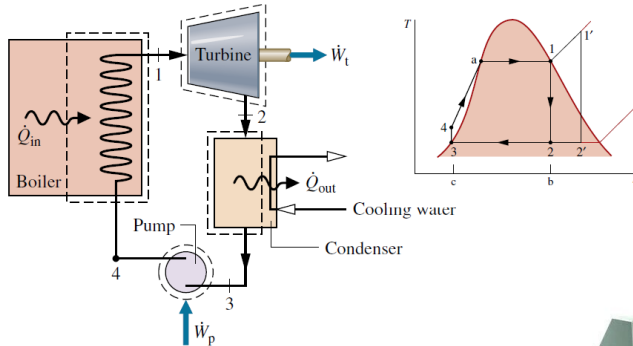
$$\delta Q = T dS \rightarrow Q = \int \delta Q = \int T dS$$

- Al igual que el trabajo es el área bajo la curva del diagrama $P - V$, el calor es el área bajo la curva del diagrama $T - S$.
- Ciclo reversible:



Ciclo Rankine ideal

- Modelo sencillo que permite analizar la generación de potencia en una planta de vapor.



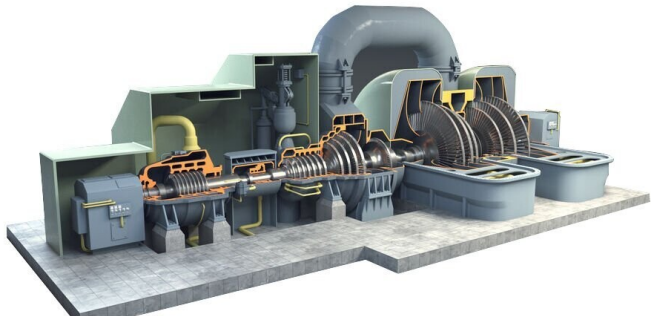
Referring to Fig. 8.3, we see that the working fluid undergoes the following series of internally reversible processes:

Process 1-2 Isentropic expansion of the working fluid through the turbine from saturated vapor at state 1 to the condenser pressure.

Process 2-3 Heat transfer *from* the working fluid as it flows at constant pressure through the condenser exiting as saturated liquid at state 3.

Process 3-4 Isentropic compression in the pump to state 4 in the compressed liquid region.

Process 4-1 Heat transfer *to* the working fluid as it flows at constant pressure through the boiler to complete the cycle.



Segunda Ley de la Termodinámica

- *En cualquier proceso termodinámico que pasa de un estado de equilibrio a otro, la variación de entropía del sistema más el ambiente (entropía del universo) o es nula o es positiva, pero nunca negativa.*

$$\Delta S_U = \Delta S_{\text{sistema}} + \Delta S_{\text{ambiente}} \geq 0$$

- ¿Qué significa que aumente la entropía?
- Significa que las irreversibilidades presentes en el sistema (fricción, intercambios de calor a ΔT finito, mezclas, magnetizaciones, etc.) hacen que no podemos aprovechar toda la energía teórica de manera útil \rightarrow trabajo reversible.
- Lo anterior es el concepto de irreversibilidad de un proceso.

Ejercicio 1 - continúa del P7

Física 2 – Segundo parcial

29 de noviembre de 2019

Problema 3 (15 puntos)

Se tienen 2 moles de gas ideal poliatómico a temperatura $T_g = 45^\circ\text{C}$. 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 $m = 20\text{g}$ y temperatura inicial $T_H = -25^\circ\text{C}$, como se muestra en la figura. Si el bloque de hielo solo puede intercambiar calor con el gas:

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

Nota: el calor específico del hielo es 2200J/kgK y el del agua es 4190J/kgK . El calor de fusión es 333kJ/kg

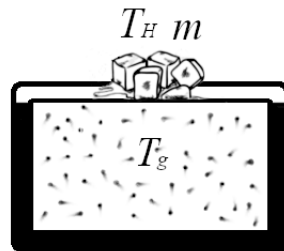


Figura 3: Problema 3

Ejercicio 2 - continúa del P7

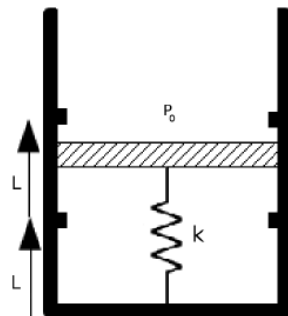
Ejercicio 2 (30 puntos)

Un cilindro cerrado por un pistón, que contiene n moles de un gas ideal diatómico, se coloca en un ambiente a presión atmosférica P_0 . El pistón tiene una masa $m_p = 6$ kg y una sección $A = 60$ cm², considere el espesor despreciable. Este se encuentra unido a un resorte ideal de longitud natural nula y constante $k = 2$ kN/m, como se observa en la figura. El pistón puede moverse entre dos pares de topes que se encuentran a una altura $L = 0,2$ m y a una altura $2L = 0,4$ m. Inicialmente el gas se encuentra a una presión $P_1 = 400$ kPa y a una temperatura $T_1 = 1900$ K. El pistón y todas las paredes del cilindro son adiabáticas excepto por su base diaterma que se pone en contacto con una reserva térmica conformada por una gran cantidad de hielo a 0 °C. El proceso finaliza cuando el gas llega a una temperatura de 27 °C, momento en el cual se separa la reserva térmica del cilindro. El intercambio de calor entre el gas y la reserva térmica ocurre muy lentamente de forma que el proceso puede considerarse cuasiestático.

- Realice el diagrama P-V del proceso, incluyendo los valores de presión y volumen para los estados relevantes y las isothermas inicial y final.
- Calcule el calor intercambiado por el gas y el trabajo realizado sobre el gas durante el proceso.
- Halle la masa de hielo derretida durante el proceso.
- Determine la variación de entropía del universo para el proceso.

Física 2 – Segundo parcial

29 de Noviembre de 2021



Próxima clase...

- Ideal: continuar con práctico 8
- Dudas: recuerden el uso del foro
- Próxima clase: vamos a seguir trabajando con temas vinculados a la segunda 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 TEORIA CINÉTICA	Análisis/Resolución del Parcial
11	13/05/24 - 17/05/24	GAS IDEAL Y TEORIA 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

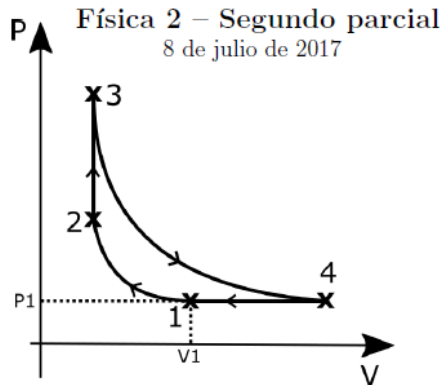
- A resolver: ¿Qué es la temperatura? ✓ → Ley cero de la termodinámica.
- A resolver: ¿Qué es un gas ideal? ✓ → Modelo: $PV = nRT$
- A resolver: ¿Es posible mover un peso mediante un GI? ✓ → trabajo
- A resolver: ¿Qué es la energía interna de un GI y cómo varía? ✓ → Primera Ley de la Termodinámica
- A resolver: ¿Cómo calcular Q en procesos con sólidos/líquidos? ✓ → calor específico y calor latente
- A resolver: ¿Es posible utilizar un ciclo termodinámico para obtener trabajo útil? ✓ → máq. térmica/refrig.
- A resolver: ¿Cuánto trabajo útil máximo podemos obtener a partir un ciclo termodinámico? ¿Qué nos restringe? ✓ → Segunda Ley de la Termodinámica

Ejercicio 3

Ejercicio 2 (30 puntos)

Un dispositivo trabaja con dos moles de un gas ideal monoatómico, mediante el ciclo mostrado en la Figura. Dicho ciclo está compuesto por dos procesos isotermos, un proceso isócoro y un proceso isóbaro, y los intercambios de calor se realizan con dos reservas térmicas de temperatura T_a y T_b , tales que $T_a > T_b$.

Se sabe que en el estado 1 el volumen es de 50 litros y la temperatura es de 300 K. También se conoce que la relación de volúmenes $V_4/V_3 = 8$; y que durante el proceso isóbaro, el gas libera 50 kJ de calor.



- Determine la temperatura, presión y volumen en cada uno de los estados del ciclo. Explique si se está trabajando con una máquina térmica o una bomba de calor.
- Determine la eficiencia del ciclo.
- Se seleccionan dos reservas térmicas de temperaturas $T_a = 1800$ K y $T_b = 250$ K. Calcule la variación de entropía del universo en un ciclo, para dicho caso.
- Se quieren variar las temperaturas de las reservas (T_a y T_b), de manera obtener la menor variación de entropía posible. Calcule cuánto deben valer (en función de las temperaturas del problema), y halle la variación de entropía del universo para dicho caso.

Ejercicio 4

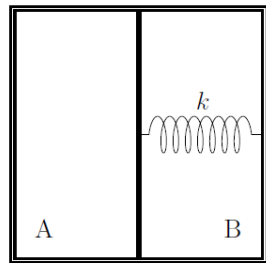
Física 2 – Examen

27 de Julio de 2018

Problema 3

Un cubo de paredes adiabáticas de lado 1 m está dividido en partes iguales por una pared adiabática móvil muy fina la cual está conectada a un resorte de constante elástica $k = 2 \times 10^4 \text{ N/m}$ y longitud natural 0,5 m, como se muestra en la figura. Ambos lados contienen 10 moles de gas ideal diatómico. Se sabe que la presión inicial del lado B es 10^5 Pa .

Desde una reserva térmica a 1200 K se transfiere una cantidad de calor Q_A al lado A. Se observa que la pared móvil se desplazó 10 cm hacia la derecha.



- a) Determine las presiones y volúmenes finales.
- b) Determine el trabajo realizado sobre el gas A y el gas B.
- c) Determine la cantidad de calor Q_A transferido.
- d) Determine el cambio de entropía:
 - i) en el lado A del sistema.

Procedimiento típico de resolución

- 1) Leer cuidadosamente la letra. ¿Qué necesito hallar? ¿Qué variables conocemos (datos/hipótesis)?
- 2) En una tabla prolija, 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 ΔU
- 6 $Q \rightarrow$ Primera Ley de la Termodinámica (balance energía + conservación masa)
- 7 $S \rightarrow$ Segunda Ley de la Termodinámica (balance entropía + conservación masa)

Calorimetría

- Calorimetría = medición de calor.
- Experimento común: poner diferentes objetos que se encuentran a distintas temperaturas iniciales en un recipiente adiabático.
- En general, en sólidos/líquidos: $W \approx 0 \rightarrow \Delta U \approx Q \rightarrow$ podemos hallar el calor intercambiado.
- Si el calorímetro es adiabático: $Q = 0$
- Primera Ley: $\Delta U = Q + W = 0 = \Delta U_A + \Delta U_B + \dots + \Delta U_N$
- $\Delta U = mc\Delta T$:

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

Primera Ley de la Termodinámica

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

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

- ΔU 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 $\Delta U \rightarrow$ ¡la 1ra. ley nos da información sobre el calor transferido durante el proceso!

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.

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:

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

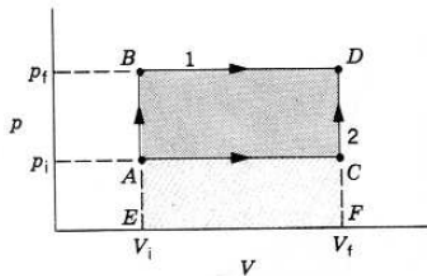
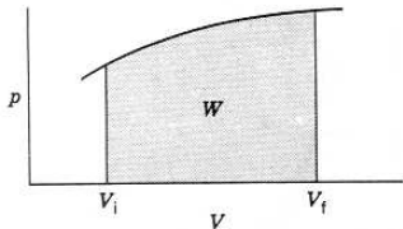
- Principio de equipartición de la energía: “cada grado de libertad del sistema (traslación, rotación, vibración) aporta $(1/2)kT$ por molécula a la energía interna del sistema”

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?

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 \rightarrow se llega experimentalmente:

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

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

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

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

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

Escalas Celsius, Fahrenheit y Kelvin (SI)

- **Celsius:** toma los puntos de fusión (0°C) y ebullición del agua (100°C) como referencias, y divide entre 100 (grado) dicho rango.
- **Fahrenheit:** toma los puntos de fusión (32°F) y ebullición 212°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.

	K	C	F
El agua hierve	373	100°	212°
	\uparrow 100 K \downarrow	\uparrow 100 $^{\circ}\text{C}$ \downarrow	\uparrow 180 $^{\circ}\text{F}$ \downarrow
El agua se congela	273	0°	32°
CO ₂ se solidifica	195	-78°	-109°
El oxígeno se licua	90	-183°	-298°
Cero absoluto	0	-273°	-460°

Escalas Celsius, Fahrenheit y Kelvin (SI)

- **Celsius:** toma los puntos de fusión (0°C) y ebullición del agua (100°C) como referencias, y divide entre 100 (grado) dicho rango.
- **Fahrenheit:** toma los puntos de fusión (32°F) y ebullición 212°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.

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

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...

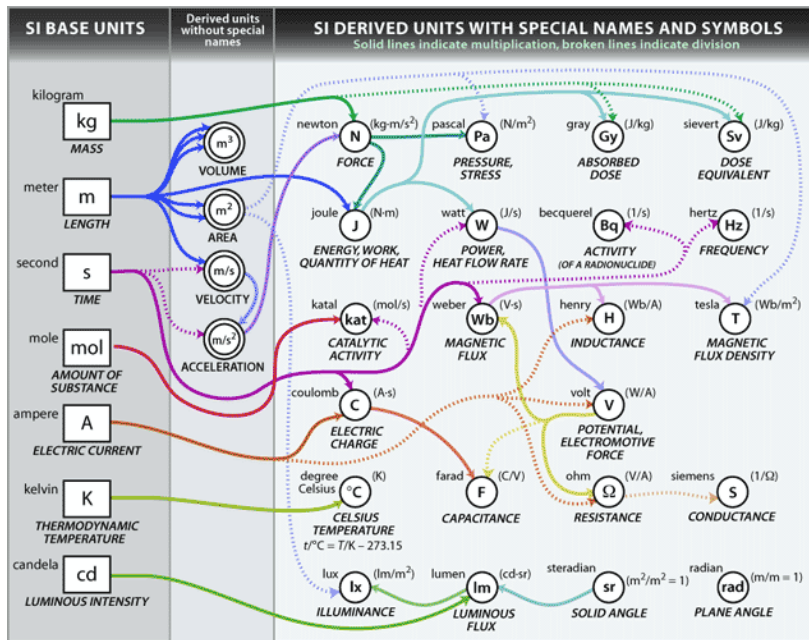
- $\sin(-x) = -\sin(x)$
- $\cos(-x) = \cos(x)$
- $\sin(x + \pi/2) = \cos(x)$
- $\sin(\alpha) + \sin(\beta) = 2 \sin((\alpha + \beta)/2) \cos((\alpha - \beta)/2)$
- $\cos(\alpha) + \cos(\beta) = 2 \cos((\alpha + \beta)/2) \cos((\alpha - \beta)/2)$

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

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

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

Anexo: SI - Unidades derivadas



Anexo: SI - Prefijos

Prefiks	Symbol	Multiplying factor
yotta	Y	1 000 000 000 000 000 000 000 000 = 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}