

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 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	

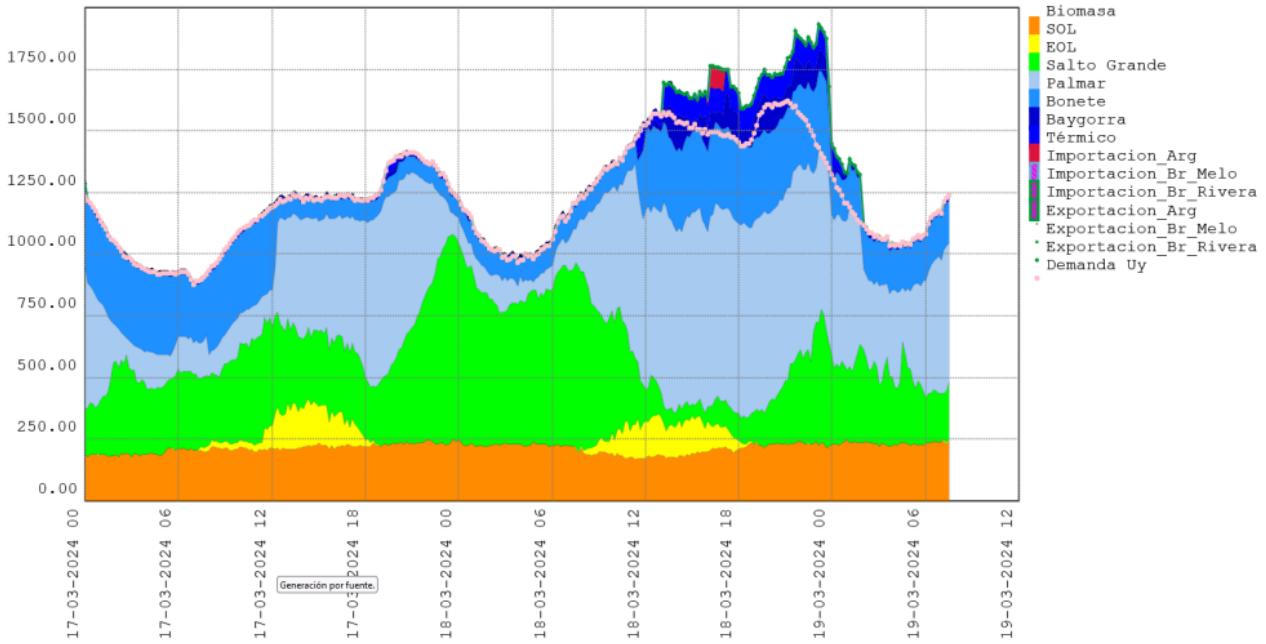
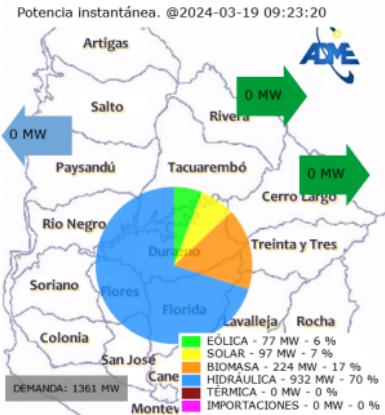
USTED ESTÁ AQUÍ

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? ✓ → 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?

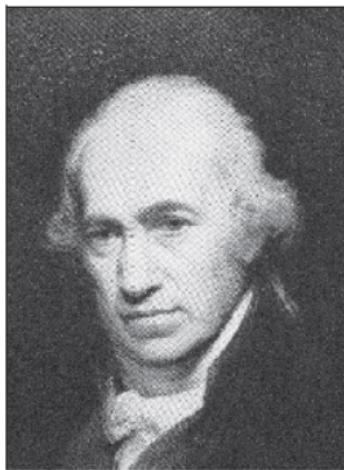
Termodinámica: motivación

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



Limitaciones de la Primera Ley

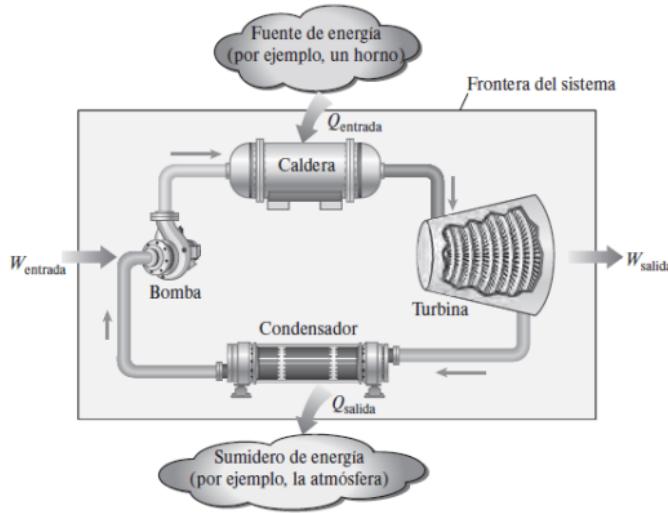
- Primera Ley nos da un balance de energía pero no nos dice si el proceso puede realizarse o no
- Necesitamos más información → segunda ley de la termodinámica
- Entropía nace a partir de problemas de ingeniería → ↑ eficiencia de motores + ciclos termodinámicos → Watt, Joule, Carnot, Clapeyron



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.

Máquinas térmicas

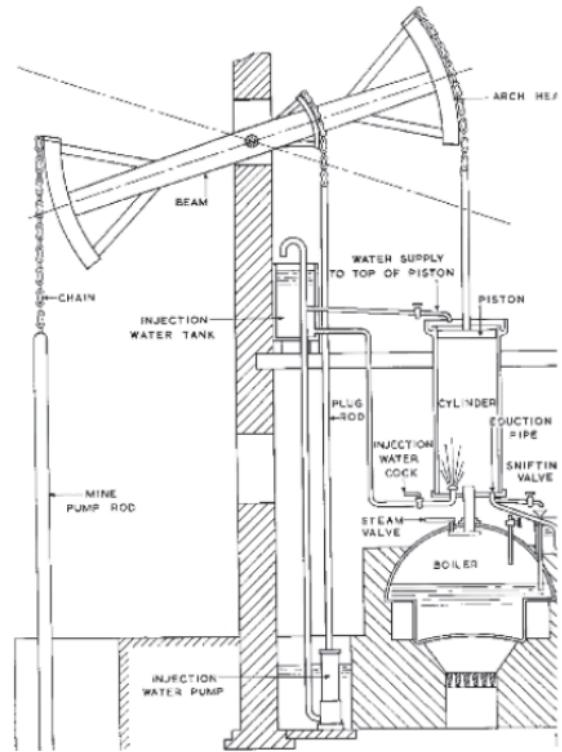
- Máquina térmica: dispositivo, funciona en un ciclo termodinámico, genera cierta cantidad de W neto mediante la transferencia de Q entre dos fuentes T_H y T_L a diferente T .
- 1ra. ley ciclo: $\oint Q = \oint W \rightarrow Q_H + Q_L = W \rightarrow |Q_H| = |W| + |Q_L|$



- Eficiencia:

$$\eta = \frac{|W|}{|Q_H|} = \frac{|\dot{W}|}{|\dot{Q}_H|} = \frac{\text{"lo que obtengo"}}{\text{"lo que me cuesta"}} = 1 - \frac{|Q_L|}{|Q_H|}$$

Motor de Newcomen



The ENGINE for Raising Water (with a power made) by Fire.

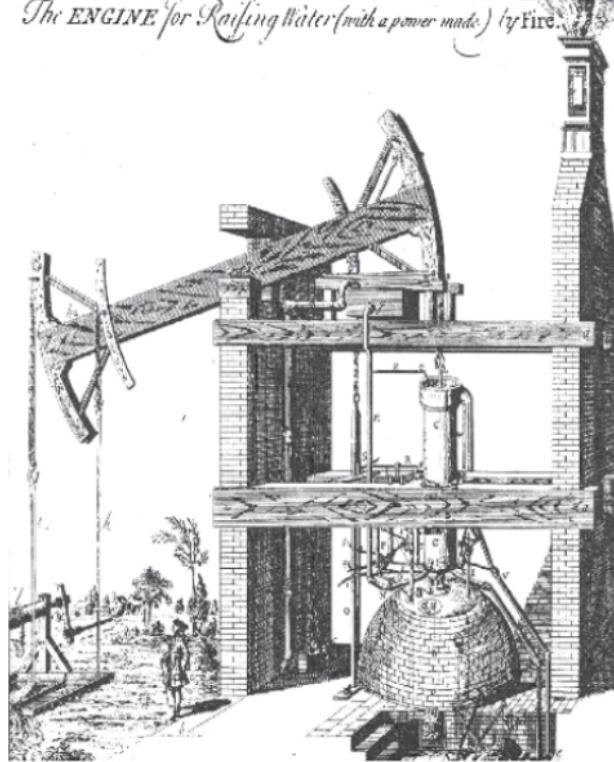
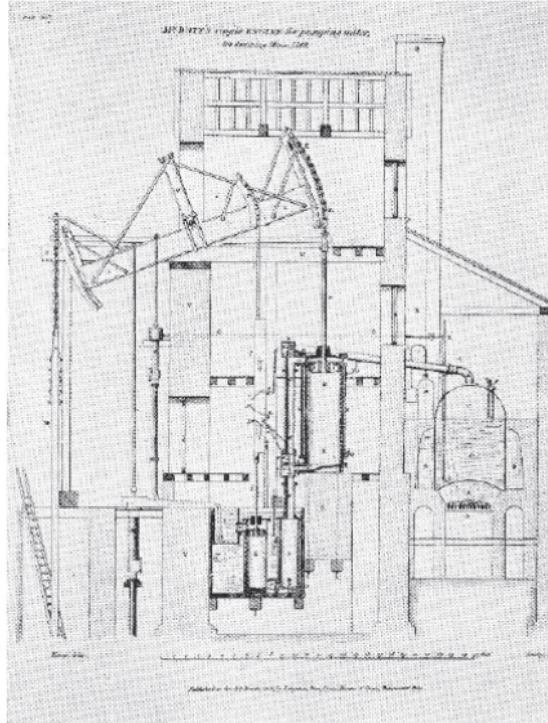


Fig. 3.1. The Newcomen engine

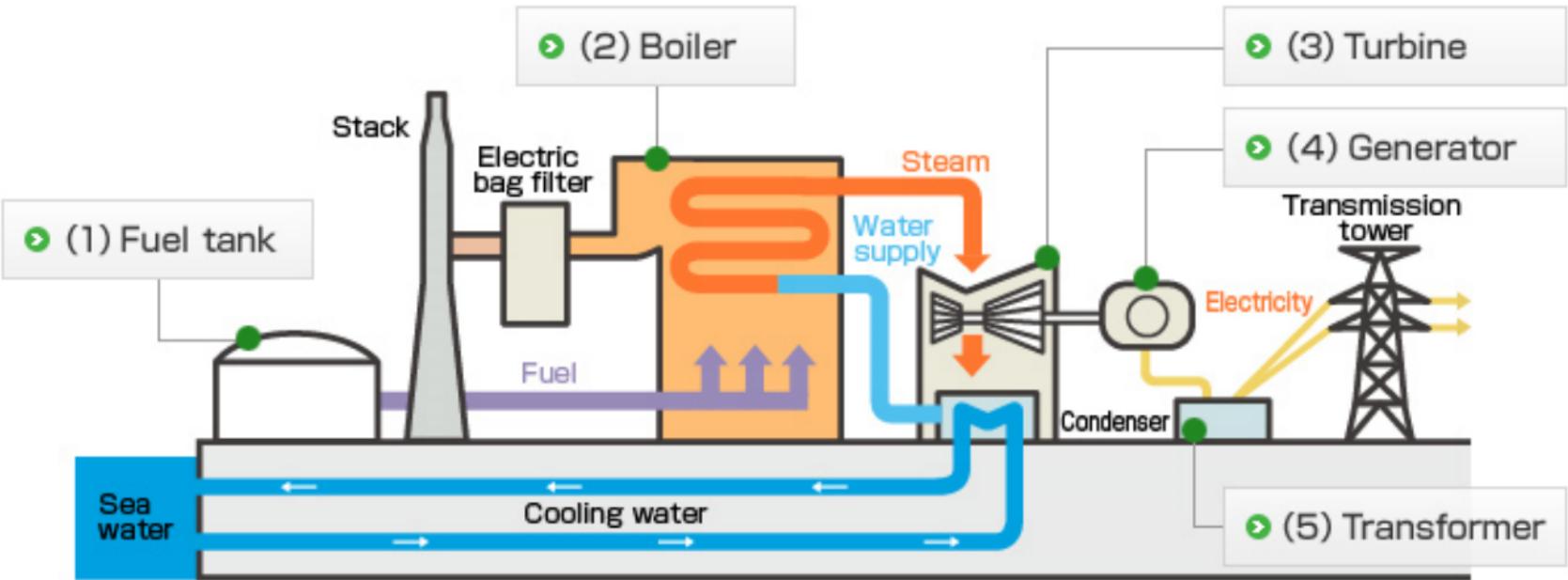
Motor de Watt



Watt's single acting pumping engine 1788.

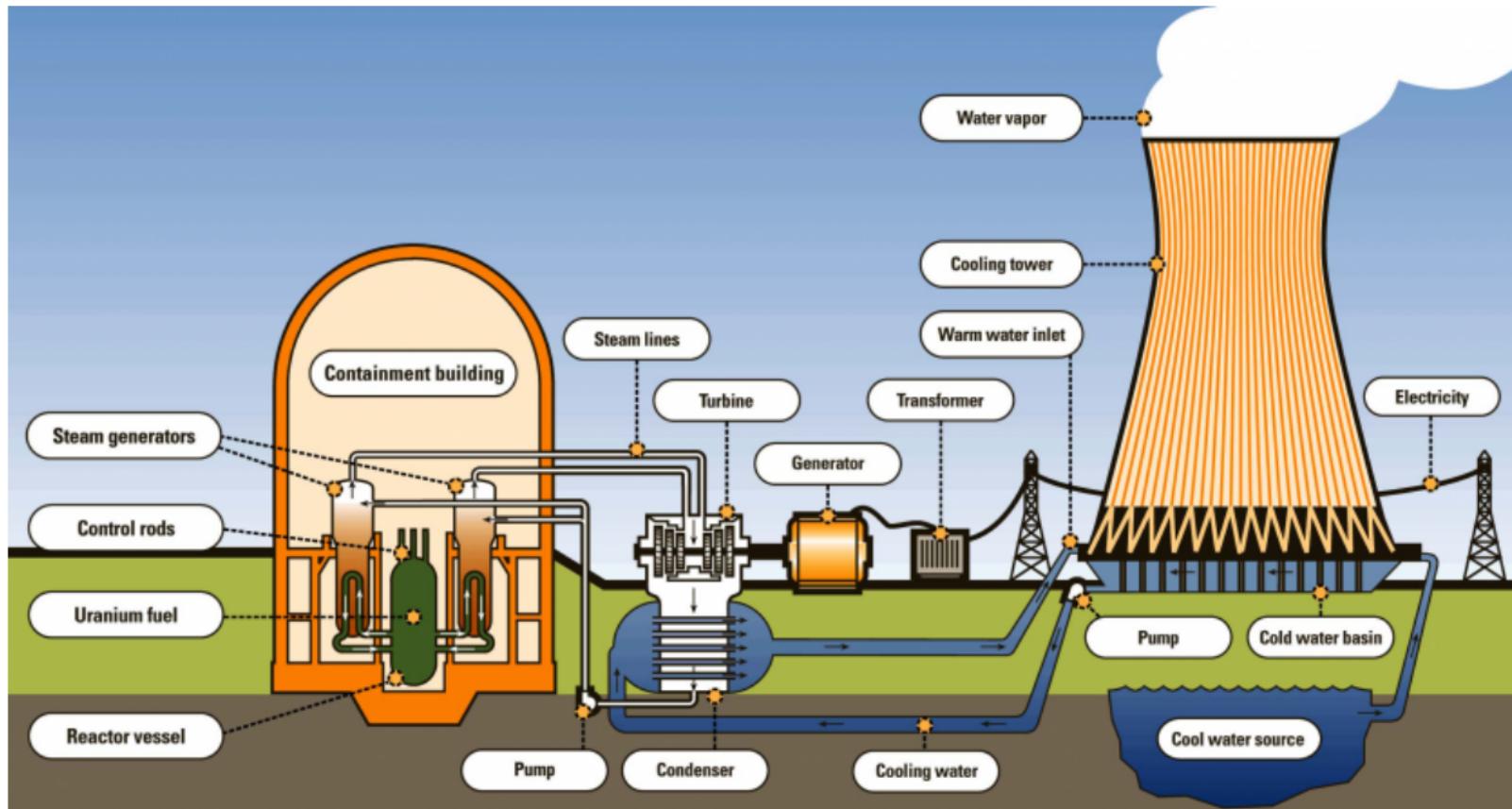
Fig. 3.2. Watt's steam engine

Transferencia de calor - Generación de energía eléctrica



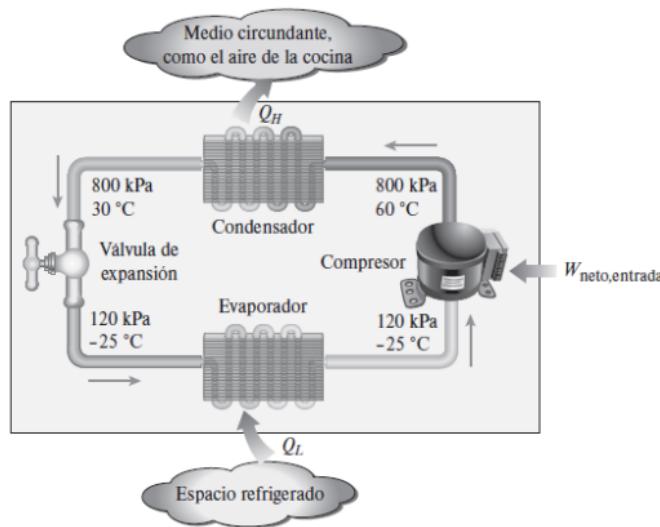
www.kepco.co.jp

Transferencia de calor - Generación de energía eléctrica



Refrigeradores / Bombas de calor

- Refrigerador/Bomba de calor: dispositivo, funciona en un ciclo termodinámico, consuma cierta cantidad de W neto mediante la transferencia de Q entre dos fuentes T_H y T_L a diferente T .
- 1ra. ley ciclo: $\oint Q = \oint W \rightarrow Q_H + Q_L = W \rightarrow |Q_H| = |W| + |Q_L|$



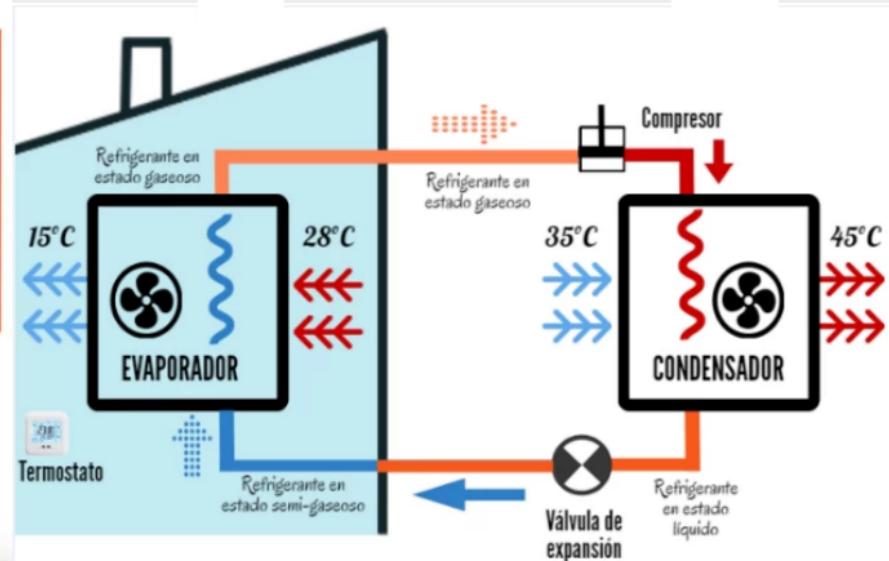
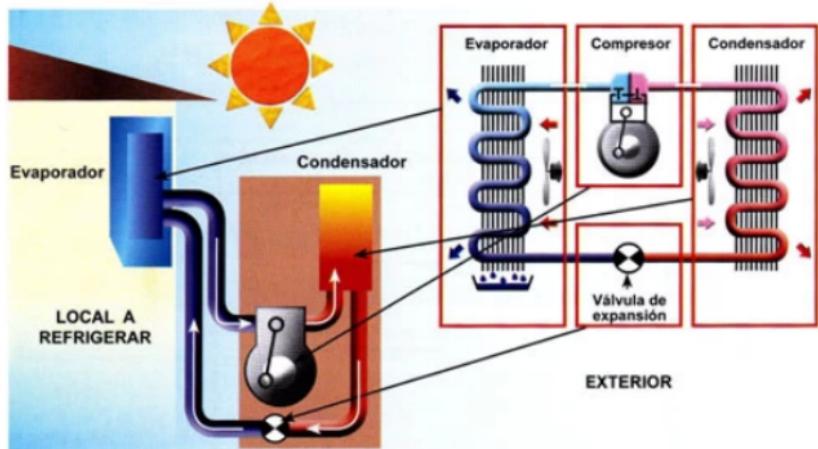
- Eficiencia refr.:

$$\beta_R = \frac{|Q_L|}{|W|} = \frac{|\dot{Q}_L|}{|\dot{W}|} = \frac{\text{"lo que obtengo"}}{\text{"lo que me cuesta"}}$$

- Eficiencia BC:

$$\beta_{BC} = \frac{|Q_H|}{|W|} = \frac{|\dot{Q}_H|}{|\dot{W}|}$$

Aire acondicionado

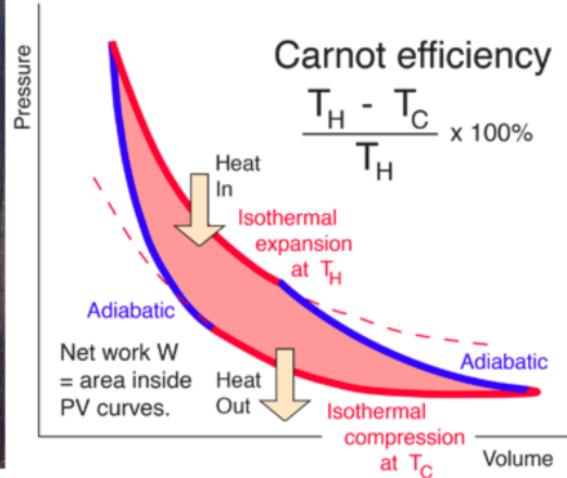


www.caloryfrio.com

Consideraciones importantes

- Kelvin-Planck: $\eta < 1$
- Clausius: $\beta < \infty$
- ¿Eficiencia máxima? → Carnot
- Fuentes de irreversibilidad: fricción, transferencias de calor a través de ΔT finito, expansiones irrestrictas, mezclas...
- Ciclo de Carnot: ciclo teórico que reduce irreversibilidades

Ciclo de Carnot



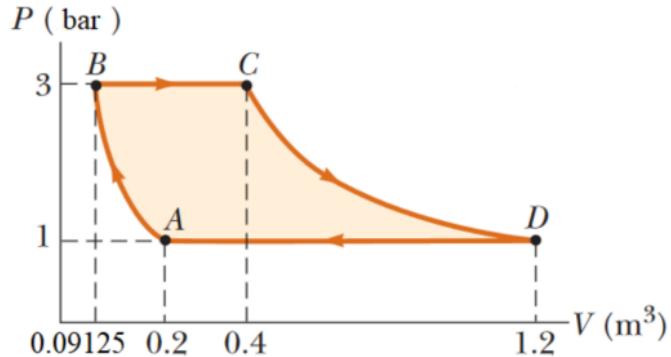
- En el ciclo:

$$\frac{|Q_H|}{T_H} = \frac{|Q_L|}{T_L} \rightarrow \eta_{car} = 1 - \frac{T_L}{T_H}, \text{ } i \beta_{car}?$$

- η_{car} y β_{car} sólo dependen de T_H y T_L
- Eficiencia máxima: $\eta \leq \eta_{car}$; $\beta \leq \beta_{car}$

Ejercicio 1

Ejercicio 1 (30 puntos)



Un gas ideal desconocido sigue el ciclo de la figura, compuesto por un proceso adiabático (A-B), uno isotermo (C-D) y dos isóbaros. El calor intercambiado en el proceso B-C y C-D ocurre con una reserva a 3000 K y para el proceso D-A con una reserva a 400 K.

- Demuestre que el gas tiene 5 grados de libertad.
- Calcule los calores intercambiados en todos los procesos.
- Calcule la eficiencia de la máquina térmica.

Ejercicio 2

2. (30 pts) Considere el diagrama P-V mostrado en la figura, que representa un ciclo termodinámico experimentado por 2 moles de un gas ideal monoatómico. El ciclo consta de un proceso isóbaro (b-c) un proceso isócoro (d-a) y dos procesos iso-termos (c-d y a-b). Es conocida la relación de expansión $V_a/V_b = 5$. También se conoce que la presión en el estado a es de 100 kPa y el volumen en el estado c es de 35 litros. Por último, se sabe que el calor absorbido por el gas durante la expansión isobárica es de 10 kJ .

- Determine la presión, el volumen y la temperatura del gas en los estados **a**, **b**, **c** y **d**. Exprese los resultados en forma de una tabla.
- Calcule el trabajo neto producido, el calor total absorbido y el calor total entregado por el gas durante un ciclo.
- Encuentre la eficiencia de este ciclo.
- Determine la eficiencia máxima que puede tener una máquina térmica que opere entre la temperatura más alta y más baja del ciclo. ¿Cuánto trabajo produciría esta máquina si pudiera sacar de la fuente caliente la misma cantidad de calor que el utilizado en el ciclo del diagrama?

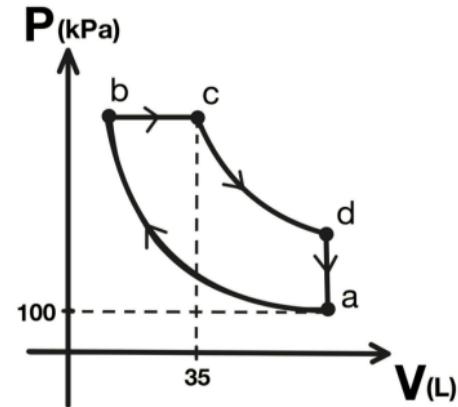


Figura 2:

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 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? ✓ → 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?

Ciclo Diesel

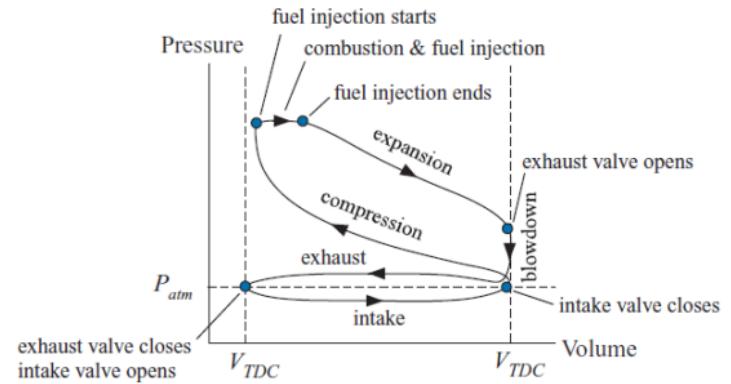
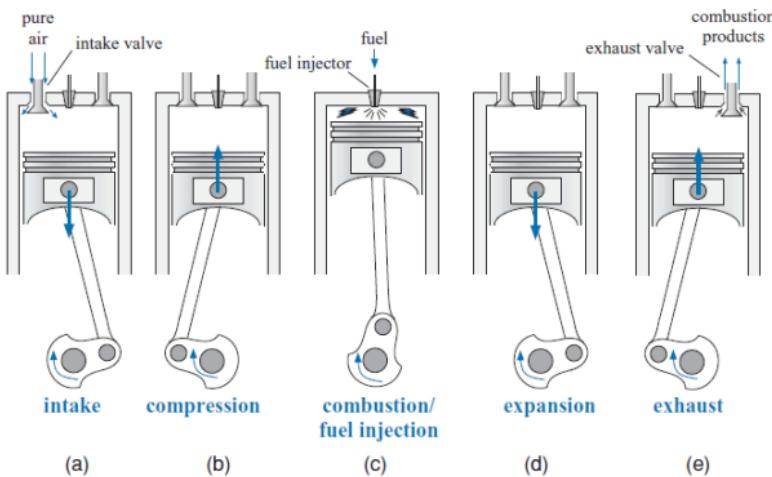
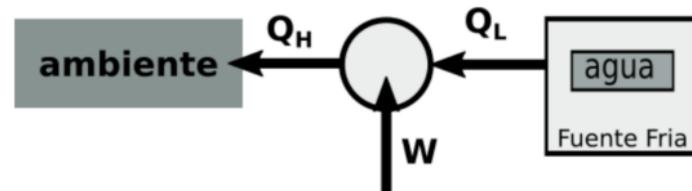


Figure 8-40: Processes occurring in the four-stroke compression-ignition engine: (a) intake, (b) compression, (c) fuel injection and combustion, (d) expansion, and (e) exhaust. An animation of this cycle can be obtained by selecting

Ejercicio 3

3. (15 pts) Considere un refrigerador que saca calor de una fuente fría a 273 K y entrega calor a un ambiente que está a 40°C , que funcionan como una reserva térmica. El calor retirado de la fuente fría es usado totalmente para enfriar 1,5 litros de agua líquida, inicialmente a 25°C , terminando el proceso cuando toda la masa de agua se congela.

- Suponiendo que el refrigerador consume 100 kJ de trabajo, **determinar Q_H**
- ¿Cuál sería el máximo rendimiento posible de un ciclo que opere con las reservas térmicas definidas anteriormente? ¿Cuál sería la variación de entropía del universo si fuera este el rendimiento del ciclo? Justifique su respuesta.
- ¿Sería posible retirar la misma cantidad de calor de la fuente fría consumiendo 50 kJ de trabajo? Justifique su respuesta.

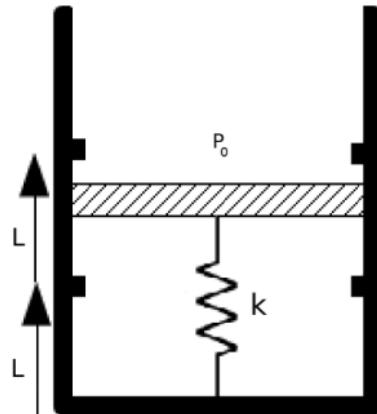


Ejercicio 4

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 $m_p = 6 \text{ kg}$ y una sección $A = 60 \text{ cm}^2$, considere el espesor despreciable. Este se encuentra unido a un resorte ideal de longitud natural nula y constante $k = 2 \text{ kN/m}$, como se observa en la figura. El pistón puede moverse entre dos pares de topes que se encuentran a una altura $L = 0,2 \text{ m}$ y a una altura $2L = 0,4 \text{ m}$. Inicialmente el gas se encuentra a una presión $P_1 = 400 \text{ kPa}$ y a una temperatura $T_1 = 1900 \text{ K}$. 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 isotermas 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.



Próxima clase...

- Ideal: terminar 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.

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 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 → 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 ΔU → ¡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:

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

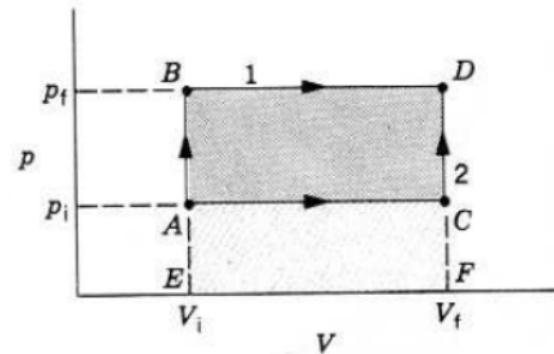
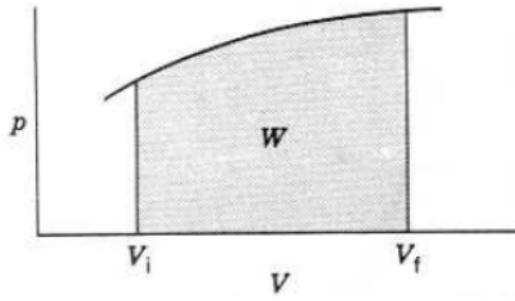
- Principio de equipartición de la energía: “cada grado de libertad del sistema (traslación, rotación, vibración) aporta $(1/2)kT$ por molécula a la energía interna del sistema”

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 → 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 $^{-1}$

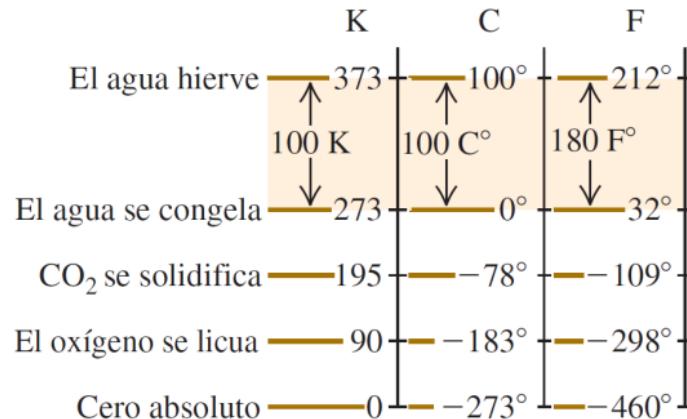
$$PV = kN_A T, \quad kN_A = R = 8,3145 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1} \rightarrow PV = nRT$$

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

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

Escalas Celsius, Farenheit 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.
- **Farenheit:** 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.



Escalas Celsius, Farenheit 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.
- **Farenheit**: 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.

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

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...

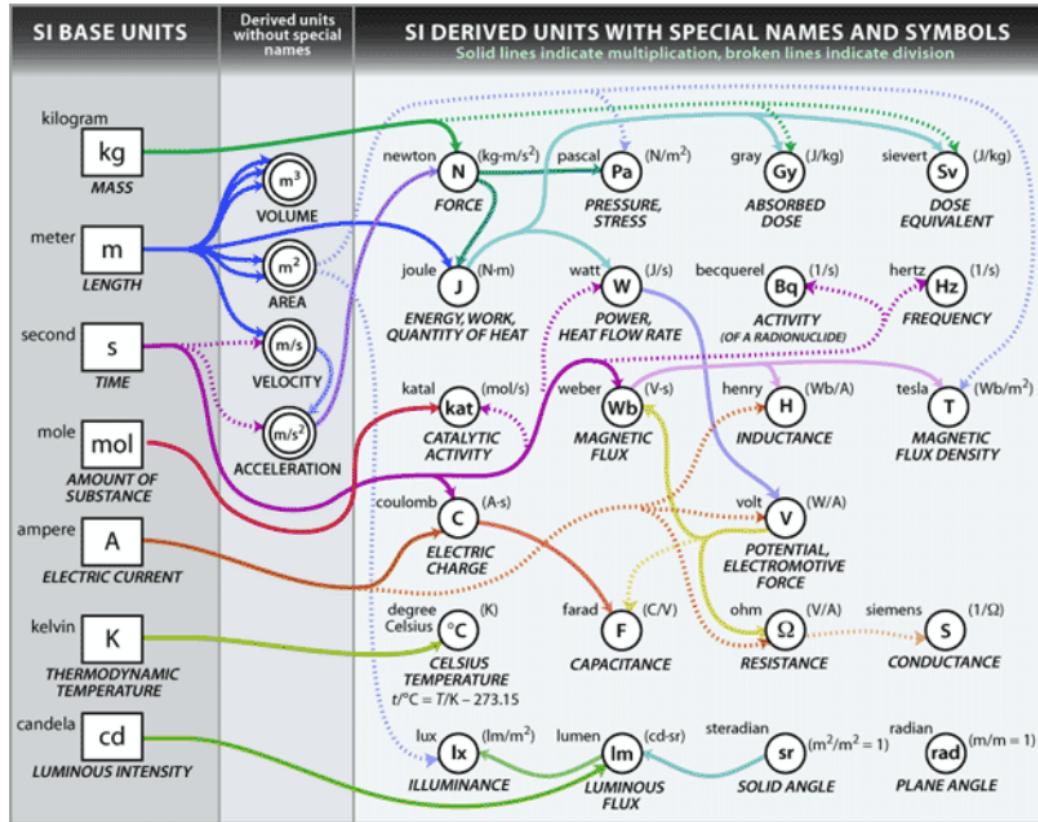
- $\sin(-x) = -\sin(x)$
- $\cos(-x) = \cos(x)$
- $\sin(x + \pi/2) = \cos(x)$
- $\sin(\alpha) + \sin(\beta) = 2 \sin((\alpha + \beta)/2) \cos((\alpha - \beta)/2)$
- $\cos(\alpha) + \cos(\beta) = 2 \cos((\alpha + \beta)/2) \cos((\alpha - \beta)/2)$

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

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

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

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	$0,000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 001 = 10^{-24}$