

ura: Ingeniería Térmica

re I: Termodinámica y Termotecnia

1. Principios básicos de la Termodinámica

- Temas Termodinámicos
- Temas Termodinámicos
- Primer Principio de la Termodinámica
- Segundo Principio de la Termodinámica
- Combustibles y Combustión



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
--
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Principios básicos de Termodinámica

Las Termodinámicas

Las propiedades termodinámicas: extensivas e intensivas

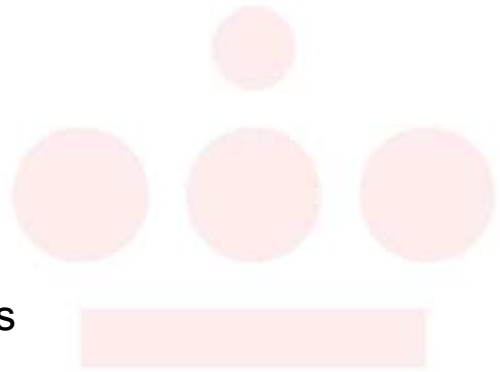
Tipos de procesos termodinámicos: mecánico, térmico y químico

Tipos de procesos termodinámicos: politrópicos, reversibles e irreversibles

Tipos de estados

Tipos de la Termodinámica.

Tipos de propiedades termodinámicas: hidrostático: presión y temperatura.



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Principios básicos de Termodinámica

Termodinámica

La termodinámica es la rama de la Física que describe los estados de equilibrio de la materia a nivel

fenomenológica, desarrollada a partir de razonamientos deductivos, que estudia sistemas para modelar y sigue un método experimental.

Se fundamenta en 4 leyes universales.

Ley Cero \Rightarrow Define Temperatura (T)

Primera ley \Rightarrow Define Energía Interna (U)

Segunda ley \Rightarrow Define Entropía (S)

Tercera ley \Rightarrow Define numéricamente la Entropía

La termodinámica describe la materia, de eso se encarga la Mecánica Estadística.

Medio de variables
microscópicas



Variables
Macroscópicas

La descripción macroscópica de un sistema de $\sim 10^{23}$ partículas puede ser desarrollada matemáticamente con pocas variables!

Termodinámica
Mecánica

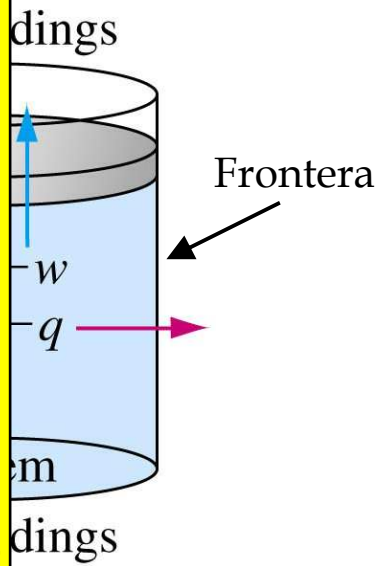
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Principios básicos de Termodinámica

Termodinámico

una porción de materia *separada* del resto del universo (alrededores, entorno) mediante paredes reales o imaginarias.

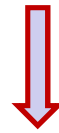


Sistema: parte del Universo objeto de estudio.

Alrededores: porción del Universo que no se va a estudiar, pero que puede interactuar con el sistema.

Pared: separación real o imaginaria entre el sistema y los alrededores

Composición e Interacciones



definen

Tipos de Sistemas

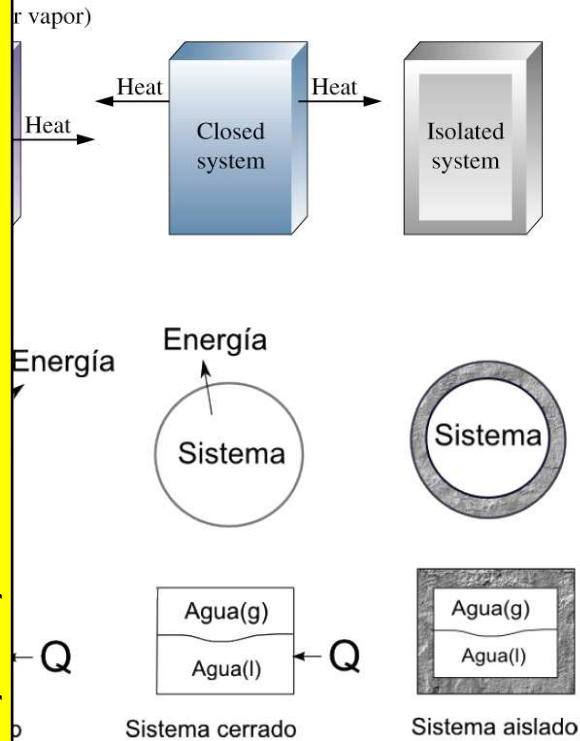
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Principios básicos de Termodinámica

Sistemas termodinámicos

Interacciones



Composición



Sistema Heterogeneo
podemos observar dos fases. el hielo y el agua



Sistema Homogeneo
Una unica fase contenida dentro del vaso

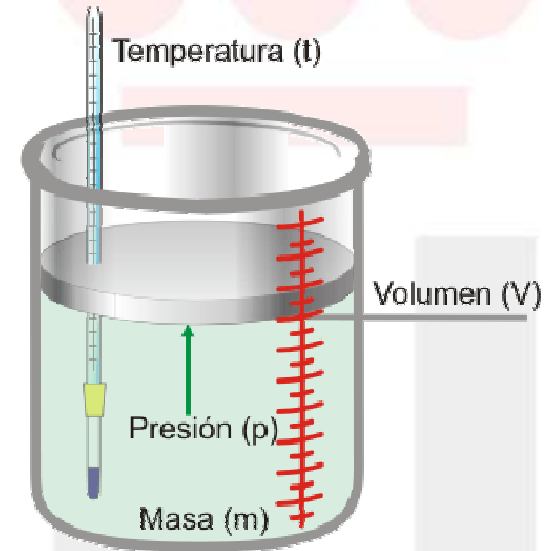
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Principios básicos de Termodinámica

Sistemas termodinámicos

Rígidas	
Móviles	
Adiabáticas	No dejan pasar el calor
Diatermanas	Si dejan pasar el calor
Impermeables	Permiten el paso de sustancias
Semi-permeables	No permiten el paso de sustancias
Permeables	Sólo permiten el paso de sustancias hacia un lado de la pared

Propiedades termodinámicas



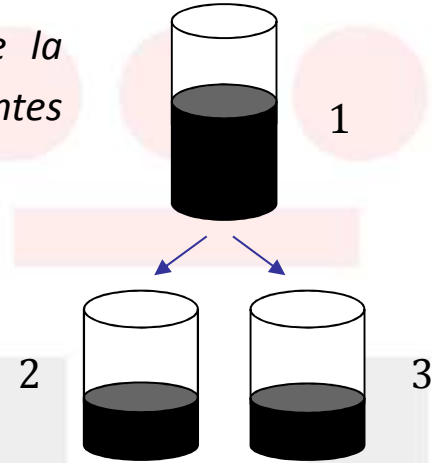
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Principios básicos de Termodinámica

es termodinámicas

S *Dependen de la cantidad de materia, el valor total de la variable del sistema es la suma de los valores correspondientes de cada una de las partes del mismo.*



$$m_1 = m_2 + m_3$$

S *No dependen de la cantidad de materia, son independientes del tamaño del sistema y su valor puede variar de un lugar a otro del sistema.*

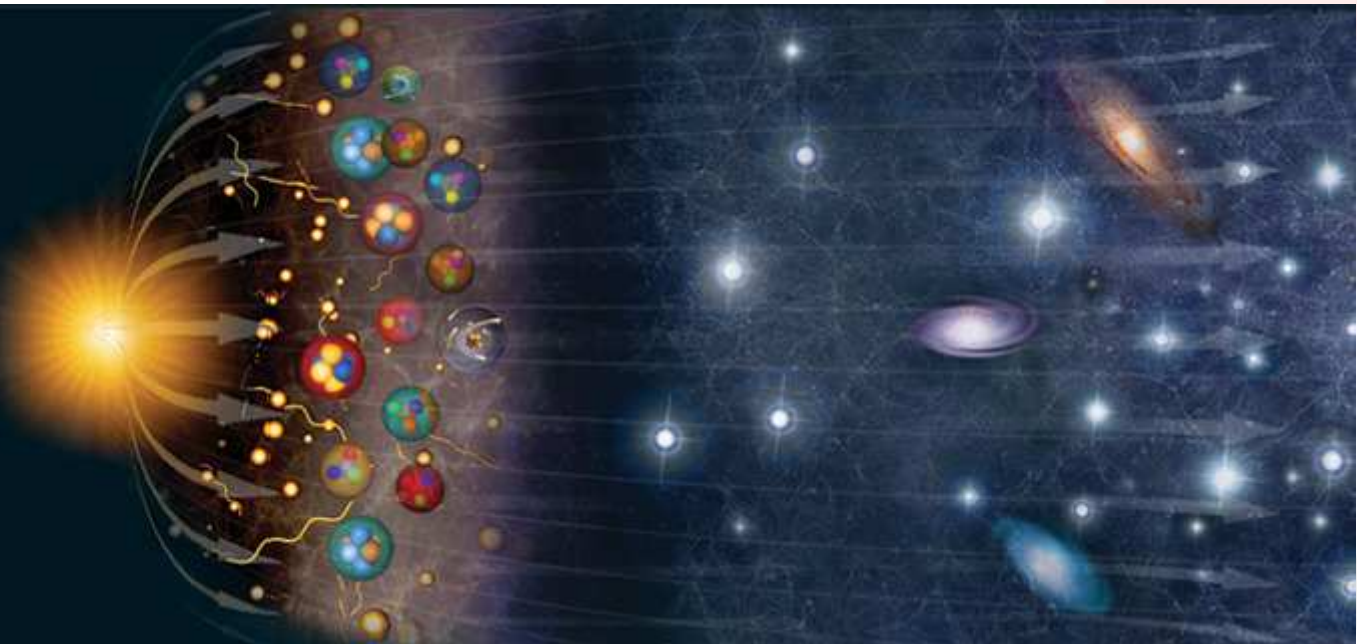
$$T_1 = T_2 = T_3$$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Principios básicos de Termodinámica

Termodinámico

Las cosas de la naturaleza tienden a evolucionar hacia aquellos estados cuyas propiedades están determinadas por factores intrínsecos y no por la acción de fuerzas externas. Estos estados son, por lo general, independientes del tiempo y se denominan *estados de equilibrio*.

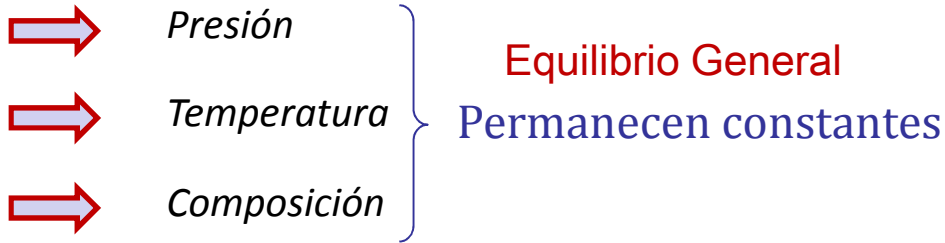


CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Principios básicos de Termodinámica

Termodinámico

ca, se dice que un sistema se encuentra en estado de *equilibrio termodinámico*, si es rimentar espontáneamente algún cambio de estado o proceso termodinámico cuando está determinadas *condiciones de contorno*, (las condiciones que le imponen sus alrededores). ncontrarse simultáneamente en equilibrio térmico, equilibrio mecánico y equilibrio químico.



equilibrio termodinámico se caracteriza por tener un valor mínimo en sus potenciales

→ **Función de Helmholtz** $A = U - T \cdot S$ *Temperatura y volumen constantes*

→ **Función de Gibbs** $G = H - T \cdot S$ *Presión y temperatura constantes*

→ **Termodinámica**
→ **Química**
→ **tecnología**

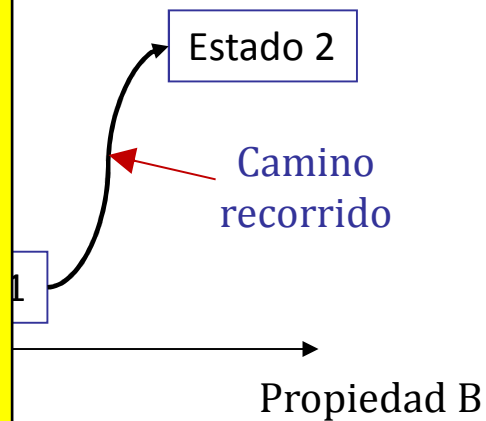
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Principios básicos de Termodinámica

Termodinámico

o realizado por un sistema entre dos estados termodinámicos, se denomina proceso, y la transitados entre ambos estados inicial y final, camino recorrido.



Reversible:

Al cambiar de estado, el sistema es capaz de retornar al estado inicial a través del proceso inverso al original. Es decir, transita de forma infinitamente lenta (permanece en equilibrio con el entorno) por los mismos estados que ocupó en el proceso original.

Irreversible:

Para retornar al estado inicial, el sistema ha de tomar un camino diferente al inverso de éste, es decir, transita por nuevos estados termodinámicos en desequilibrio con el entorno con el fin de alcanzar el estado termodinámico inicial.

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

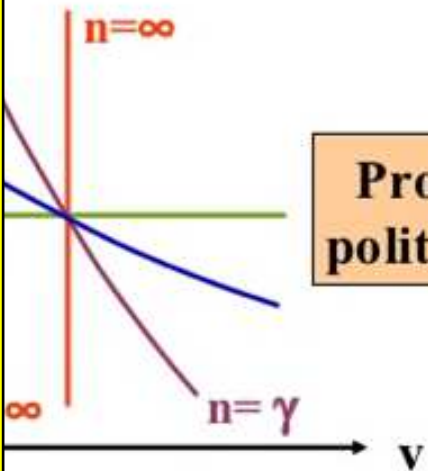
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Principios básicos de Termodinámica

Termodinámico

Al cambiar de estado, una de las propiedades del sistema permanece constante.

$$p \cdot V^n = cte$$



Procesos
politrópicos

- Adiabáticos $n = \gamma$ $Q_{12} = 0$
- Isotérmicos $n = 1$ $T = cte$
- Isócoros $n = \pm \infty$ $V = cte$
- Isóbaros $n = 0$ $P = cte$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Principios básicos de Termodinámica

de Estado

estado es una propiedad termodinámica del sistema que varía independientemente del camino recorrido por el mismo al transitar de un estado a otro, sin importar los estados termodinámicos intermedios durante el proceso. Es decir, una propiedad termodinámica se considera función de estado si depende de los estados inicial e final de un proceso y no del camino recorrido.

Un cambio infinitesimal de una función de estado es un diferencial exacto.

$I = \text{propiedad}$

$$\int_1^2 dI = I_2 - I_1 = \Delta I \Rightarrow dI : \text{exact differential}$$

o, si la propiedad depende del camino recorrido:

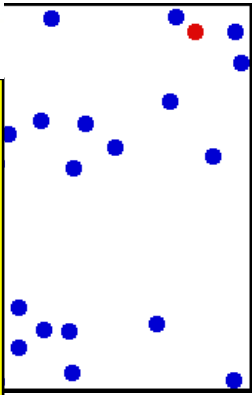
$$dI \neq \int_B^2 I dI \neq \int_1^C I dI \Rightarrow \delta I : \text{inexact differential}$$

Termodinámica
tecnología

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Principios básicos de Termodinámica

Estadístico: presión y temperatura



$$\bar{E}_c = \frac{i}{2} kT$$

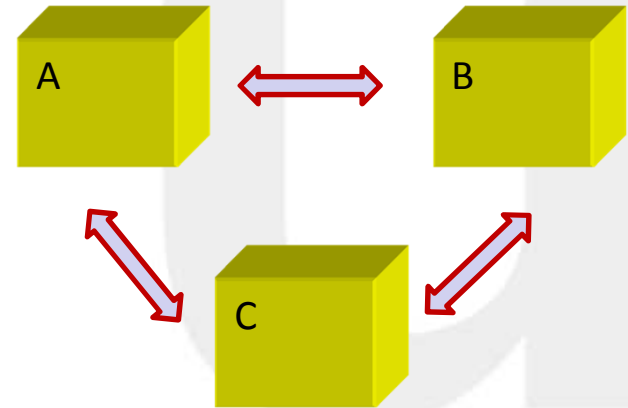
Temperatura

Indica dirección del flujo de energía (calor)

$$p = \frac{1}{3} \rho \overline{v^2}$$

Presión

Equipartition Assumption



Termodinámica - Si A está en equilibrio térmico con B y B está en equilibrio térmico con C entonces A se encuentra en equilibrio térmico con C.

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Principios básicos de Termodinámica

Estadístico: presión y temperatura

Celsius (°C) - SI System

Fahrenheit (°F) - English System

Kelvin (K) - SI System

Rankine (R) - English System

Conversión

$$T(K) = T(^{\circ}C) + 273.15$$

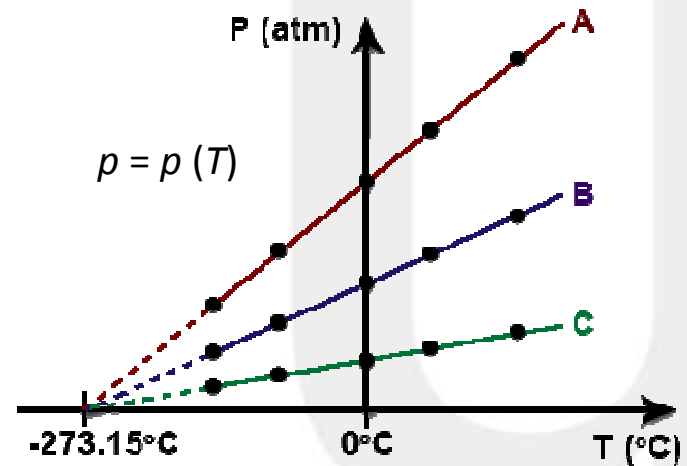
$$T(F) = 1.8 T(^{\circ}C) + 32$$

$$T(R) = 1.8 T(K)$$

Mercury (mmHg)

Pascal (N/m²)

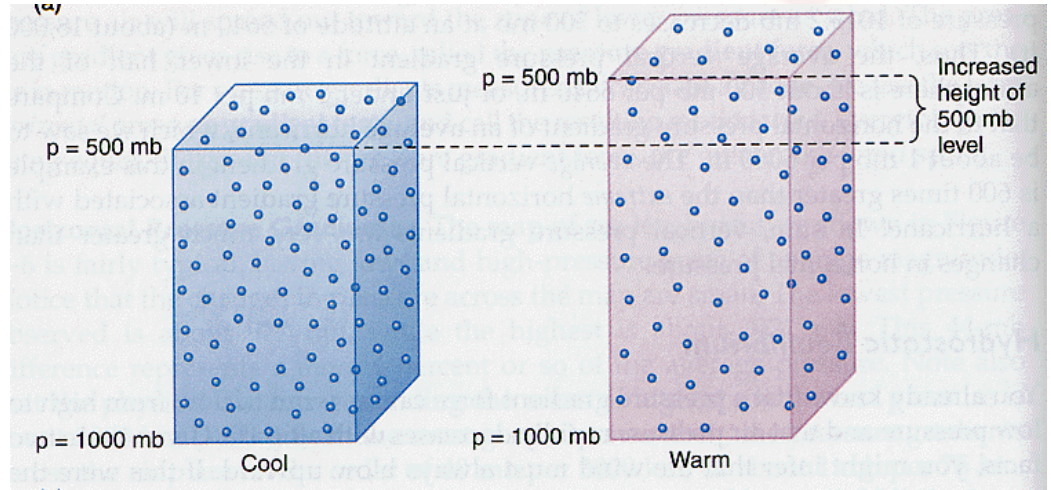
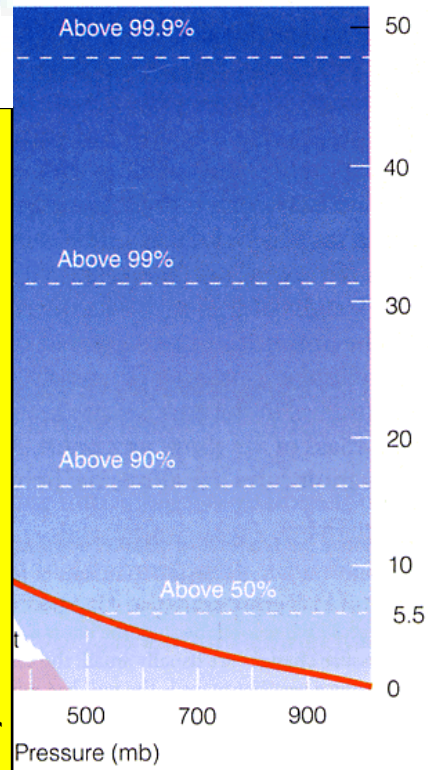
$$\begin{aligned} 1 \text{ atm} &= 760 \text{ mmHg} \\ &= 760 \text{ Torr} \\ &= 101,325 \text{ N/m}^2 \\ &= 101,325 \text{ Pa} \\ &= 101.325 \text{ kPa} \\ &= 1.01325 \text{ bar} \\ &= 1013.25 \text{ mb} \end{aligned}$$



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Principios básicos de Termodinámica

drostático: presión y temperatura



$$\rho = \rho_o \exp \left[-\frac{g(z - z_o)}{RT} \right]$$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Principios básicos de Termodinámica

Principios Termodinámicos

Sustancias puras: Fases

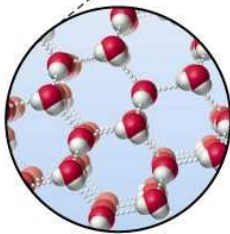
Temperatura de saturación

Equilibrio

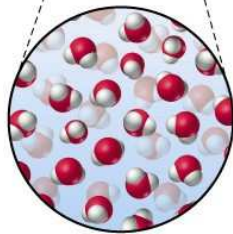
Transición líquido-vapor

Propiedades

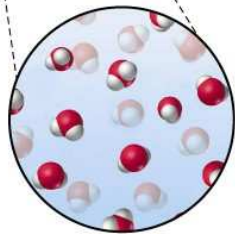
Diagramas de estado



(a)



(b)



(c)

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Principios básicos de Termodinámica

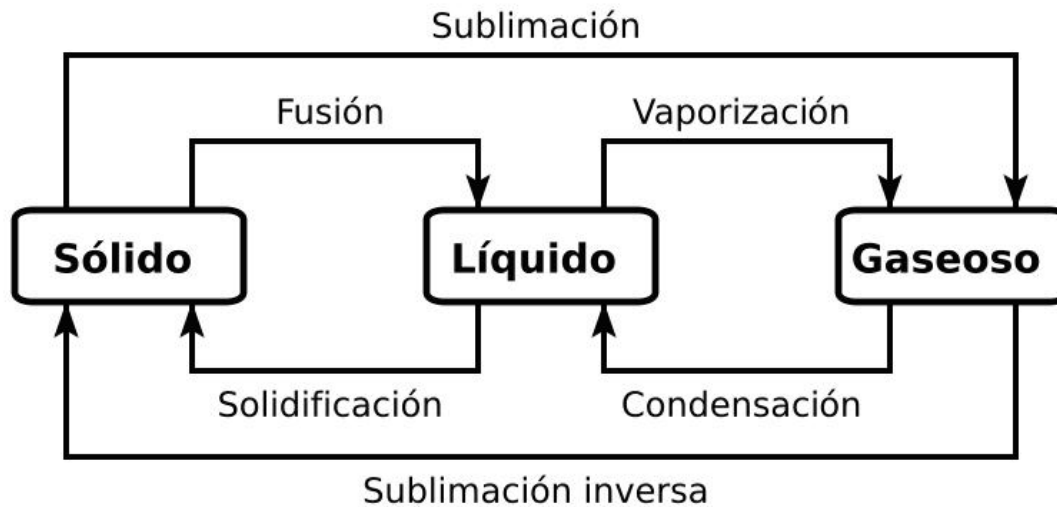
s puras, fases

ra

homogénea y de invariable composición química. Aquella que no se puede descomponer en elementos físicos. Es posible que la sustancia pura se descomponga mediante reacciones químicas. Si se descompone en más de un elemento químico, se dice que la sustancia es pura compuesta; si no, se dice que es una sustancia pura simple.

La **sustancia pura**

tiene tres fases principales para una sustancia pura estas son: sólida, líquida y gaseosa.



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

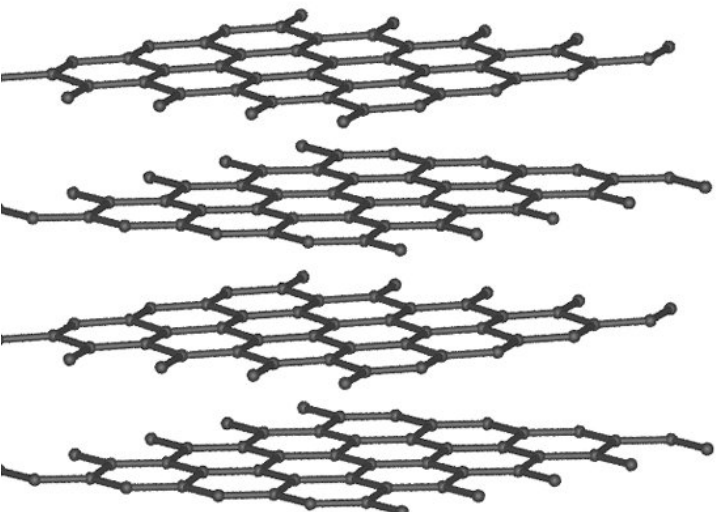
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Principios básicos de Termodinámica

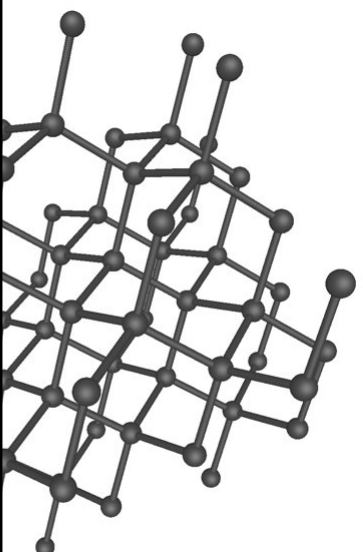
s puras, fases

a sustancia pura

Grafito



Diamante



mica
notecnia

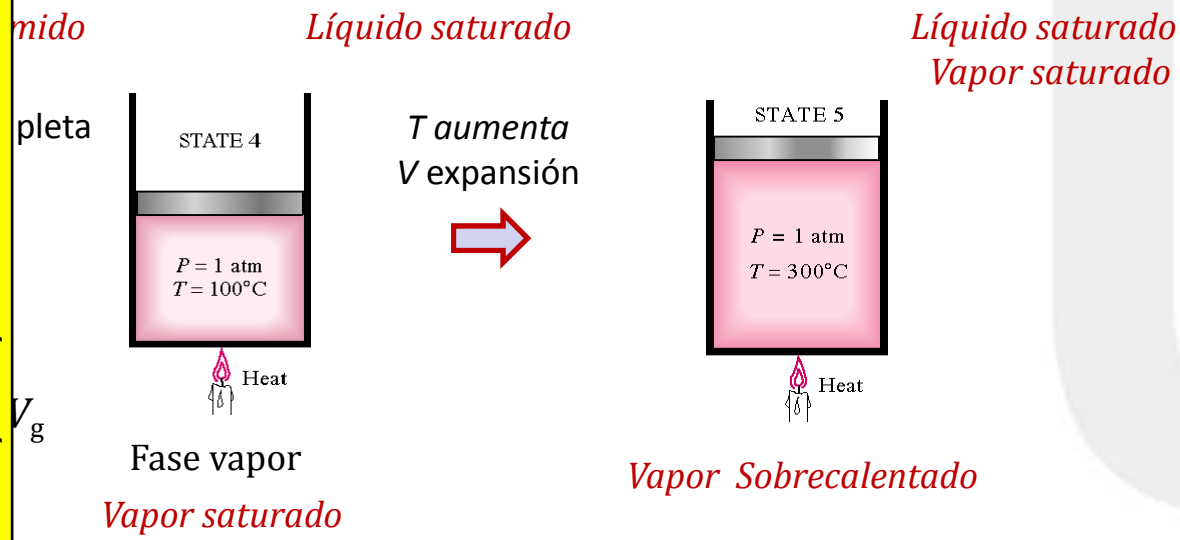
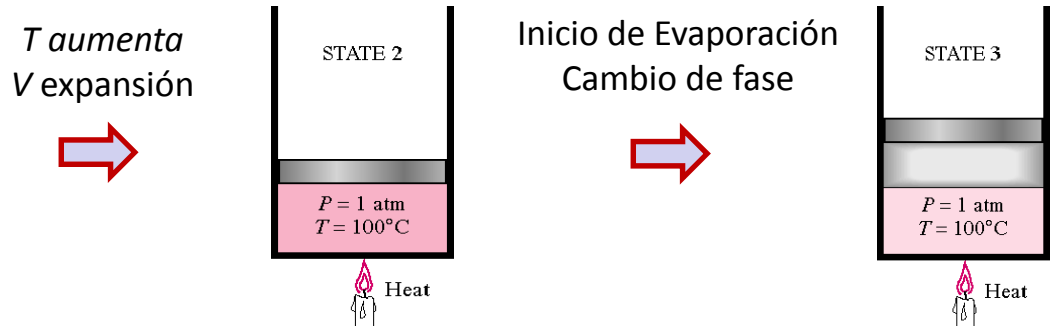
Cartagena99

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
--
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Principios básicos de Termodinámica

1 de los diagramas $p - v - T$

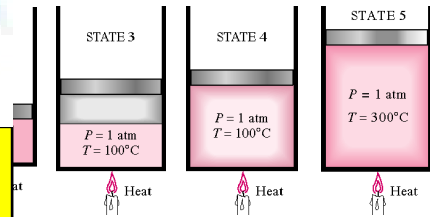
Sustancias puras, fases



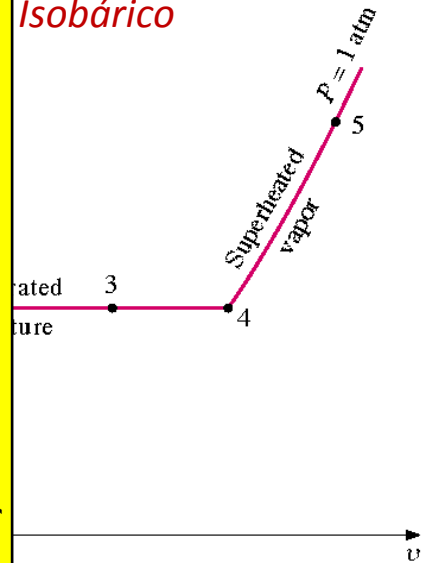
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Principios básicos de Termodinámica

de los diagramas $p - v - T$



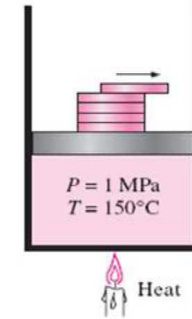
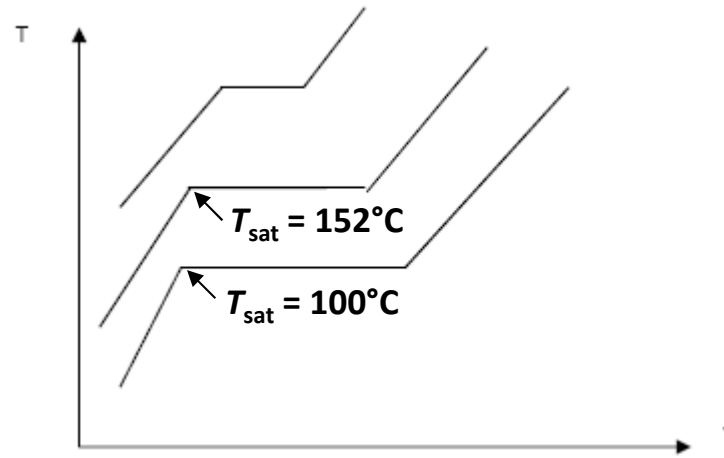
Isobárico



Saturación: Es la temperatura donde ocurre el

Sustancias puras, fases

Se coloca una masa adicional en el pistón y se repite el procedimiento para varios pesos y por lo tanto, a distintas presiones.



$$1 \text{ atm} \Rightarrow T_{\text{sat}} = 100^\circ\text{C}$$

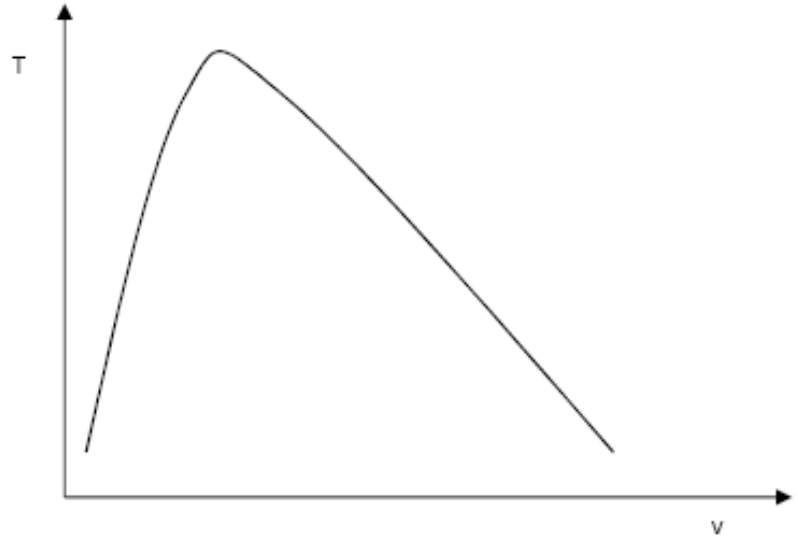
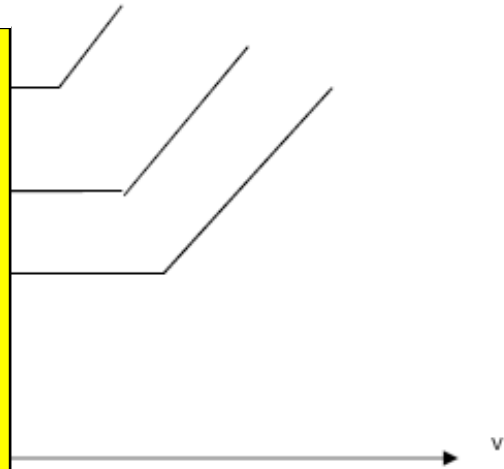
$$5 \text{ atm} \Rightarrow T_{\text{sat}} = 152^\circ\text{C}$$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Principios básicos de Termodinámica

1 de los diagramas $p - v - T$

Sustancias puras, fases



una curva los puntos donde empieza y termina el cambio de fase se obtiene el *domo de* de una sustancia dada.

de mezcla dentro de la cual hay cambio de fase.

Limitación: Línea donde comienza a ocurrir el cambio de fase, delimita el domo, existen 3, una se.

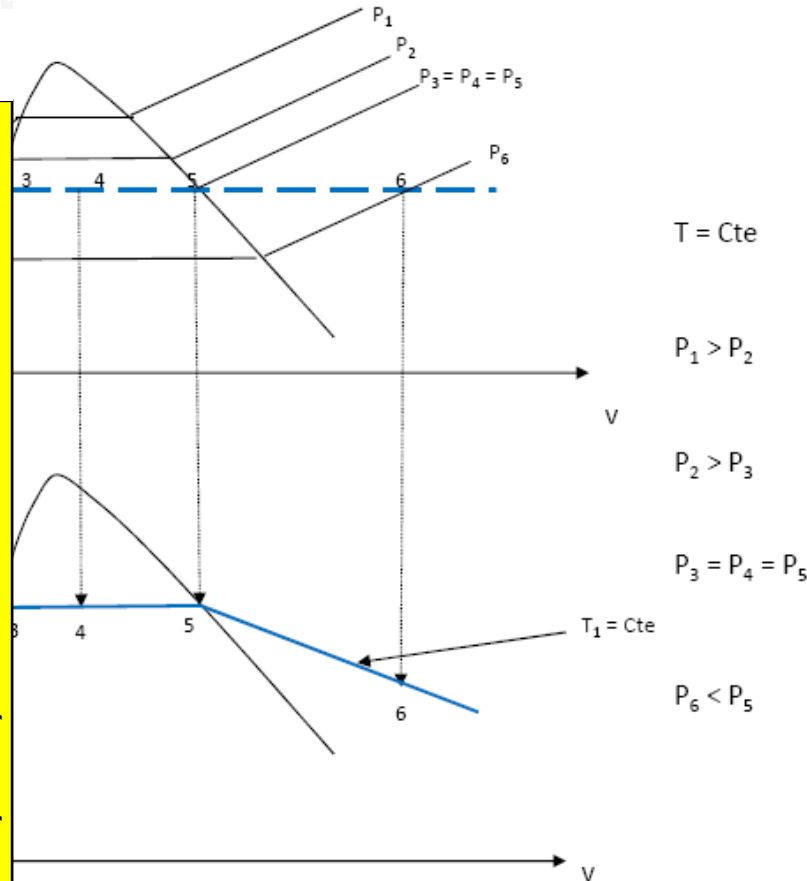
Termodinámica
tecnología

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Principios básicos de Termodinámica

del diagrama $p-v$ a partir de un proceso a $T = \text{cte}$.



En general una fase se considera líquida si se puede evaporar por una disminución de la presión a temperatura constante.

Una fase se considera vapor si se puede condensar mediante una reducción de temperatura a presión constante.

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Principios básicos de Termodinámica

Diagrama $T-v$

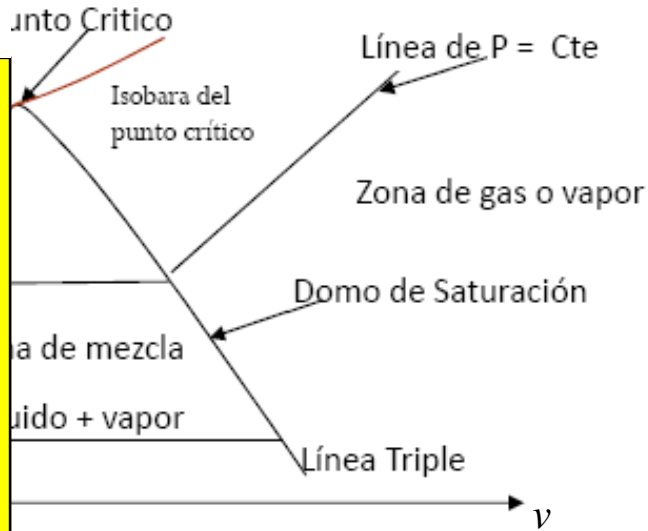
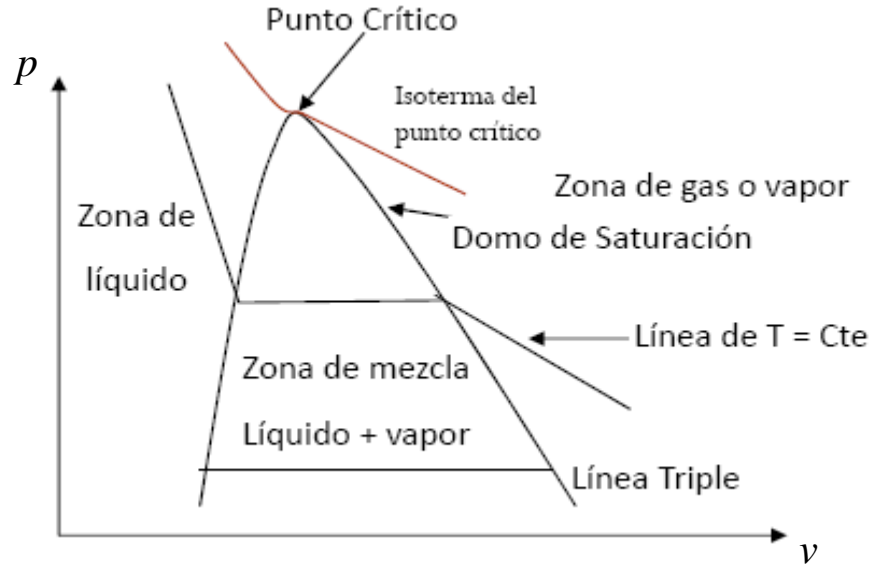


Diagrama $p-v$



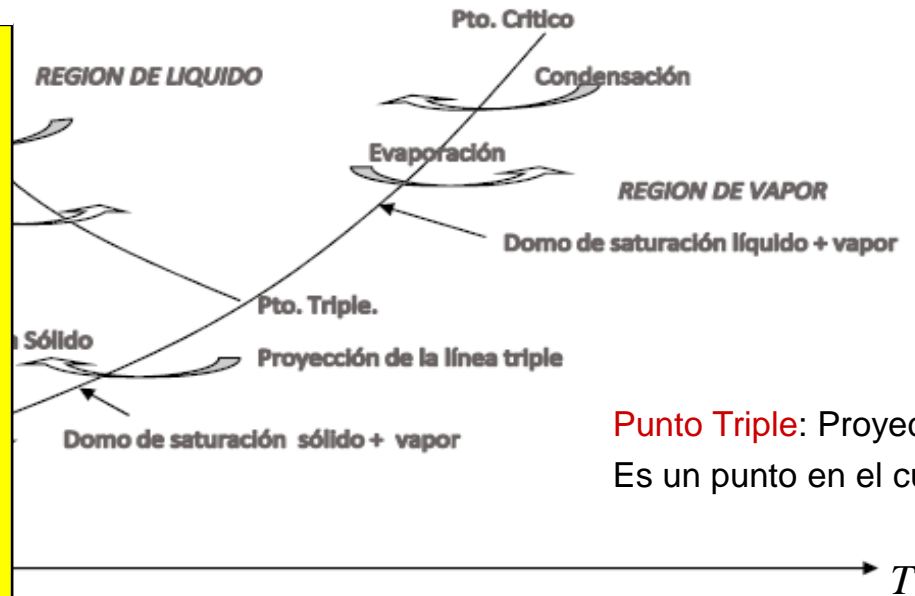
Punto de máxima temperatura y presión por debajo del cual puede ocurrir el cambio de fase
 inversa, a presión y temperatura constante.

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Principios básicos de Termodinámica

- T (diagrama de fases)

1 sólido + líquido



Punto Triple: Proyección de la línea triple en el diagrama $p-T$. Es un punto en el cual las tres fases existen en equilibrio.

que tienen una presión de punto triple por encima de p_{atm} la sublimación es la única forma de pasar de sólido a la de vapor en condiciones atmosféricas.

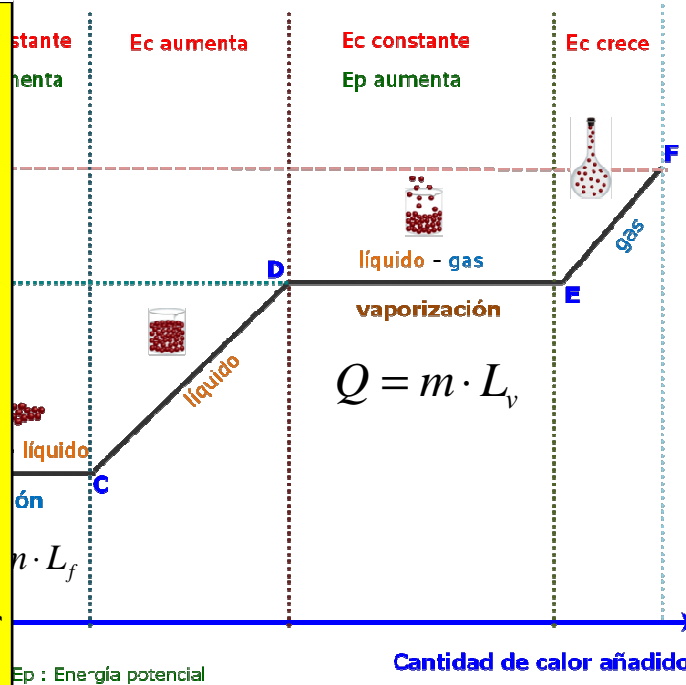
Termodinámica
tecnología

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Principios básicos de Termodinámica

ite

nto de una sustancia a una determinada presión



La energía suministrada a las partículas durante el cambio de estado no puede ser medida, mediante las variaciones de temperatura .



El calor latente de cambio de estado, L , es la cantidad de energía térmica que se transfiere a un kilogramo de masa de una sustancia pura para cambiar de estado, a una presión determinada y a la temperatura de cambio de estado.

Sustancia	L_f (J/kg) 10^3	L_v (J/kg) 10^6
Aluminio	400	12,3
Cobre	205	4,8
Hierro	275	6,29
Plomo	23	0,8
Agua	335	2,2

ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

mica
 notecnia

Principios básicos de Termodinámica

Ecuaciones de Estado

tado de agregación molecular más simple
completamente el recipiente que los contiene
almente solubles entre ellos

Estado – ecuación que relaciona las variables que describen el estado físico del sistema
de estado para un gas: $p = f(T, V, n)$

es de Gases (puros) – cuatro, pero con sólo tres especificamos el estado del sistema

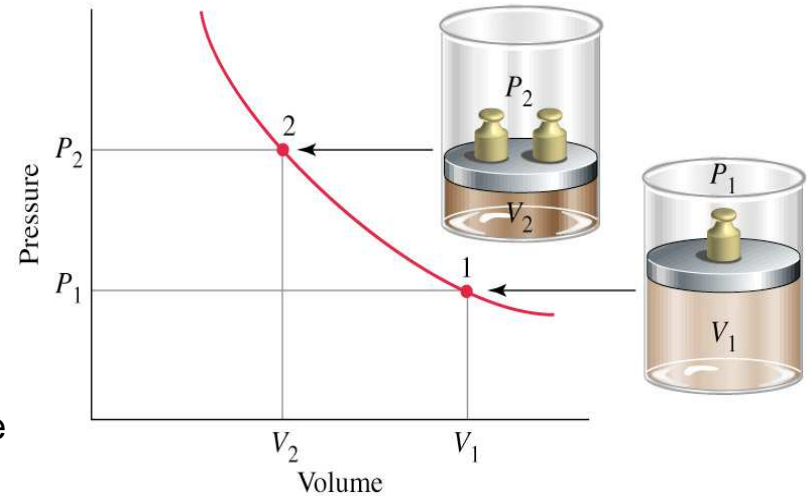
Presión (P), Temperatura (T), cantidad de sustancia (moles, n)

Boyle (1661) : Relación presión - volumen

Boyle establece que el volumen de una
determinada de gas a una temperatura
constante es inversamente proporcional a la presión:

$$V \propto \frac{1}{p} \Rightarrow pV = cte$$

La constante depende de la temperatura y de
la cantidad de gas que hay en la muestra.



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

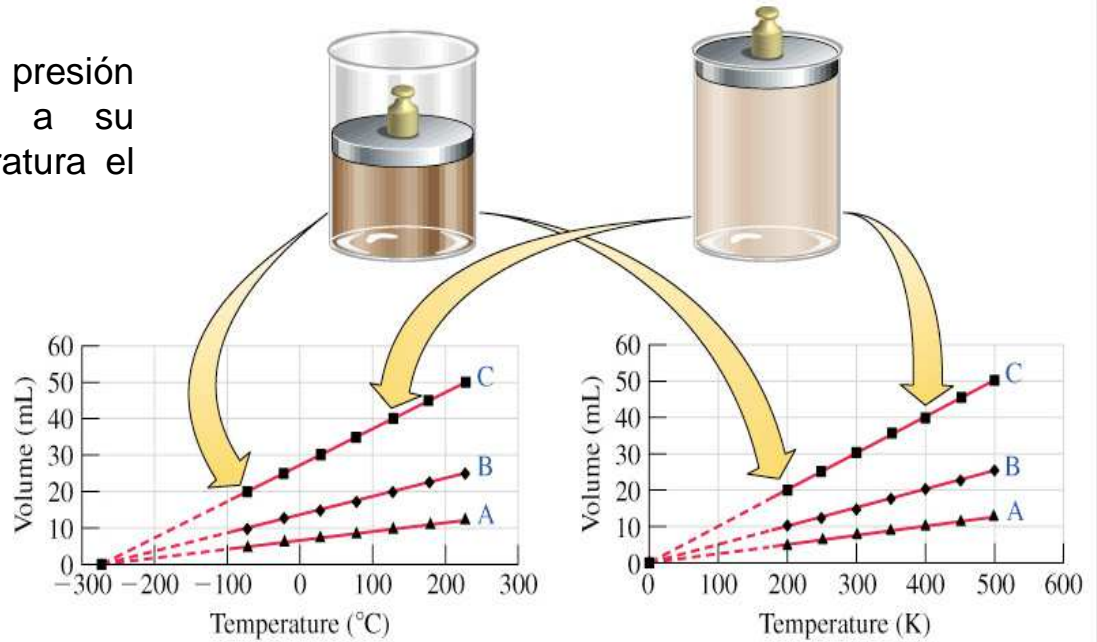
Principios básicos de Termodinámica

es de Estado

es [**Gay - Lussac (1802-08)**]: Relación temperatura - volumen

una cantidad fija de gas a presión directamente proporcional a su absoluta. Al duplicar la temperatura el volumen también se duplica.

$$V = cte \times T$$



La temperatura a la que el volumen de un gas hipotético se hace cero es el cero absoluto de temperaturas

Termodinámica
Tecnología

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

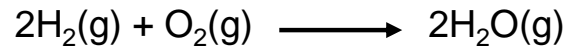
Principios básicos de Termodinámica

Estados de Estado

Avogadro (1811) : Relación cantidad - volumen

En condiciones de presión y temperatura dadas, los volúmenes de gases que reaccionan entre sí están en la proporción de números enteros pequeños.

Por ejemplo, dos volúmenes de hidrógeno gaseoso reaccionan con un volumen de oxígeno para formar dos volúmenes de vapor de agua.



Lección de Avogadro:

Volúmenes iguales de gases a la misma temperatura y presión contienen el mismo número de moléculas:

22,4 litros (Volumen molar normal)

$6,023 \times 10^{23}$ moléculas de gas

$$\frac{V_1}{n_1} = \frac{V_2}{n_2}$$

Química
Tecnología

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Principios básicos de Termodinámica

leyes hasta ahora propuestas para escribir una general: Ecuaciones de Estado

llamamos R a la constante de proporcionalidad:

$$R = \frac{R_u}{M}$$

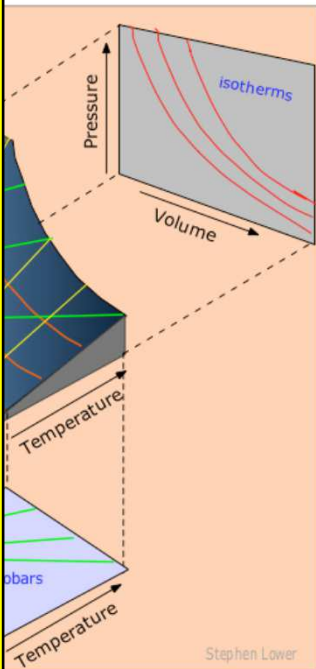
$$\Rightarrow V = \frac{R_u \times n \times T}{p} \Rightarrow pV = n R_u T \Rightarrow pV = m RT$$

R_u es la constante universal de los gases y depende de las unidades de p , V y T . Comúnmente sólo se usa R .

Valores para la constante de los gases R	
Unidades	Valor
atm L / mol K	0.08206
cal / mol K	1.987
J/mol K	8.314
Pa m ³ / mol K	8.314
torr L / mol K	62.36

$$\rho = \frac{p}{RT}$$

Explica porque el aire caliente es menos denso que el aire frío.



Química
tecnología

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

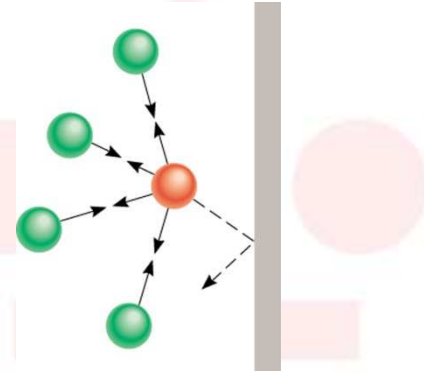
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Principios básicos de Termodinámica

Estados de Estado

Efecto de las fuerzas intermoleculares sobre la presión ejercida por un gas:

Debido a estas interacciones es una presión menor a la presión que predice la ecuación del gas ideal



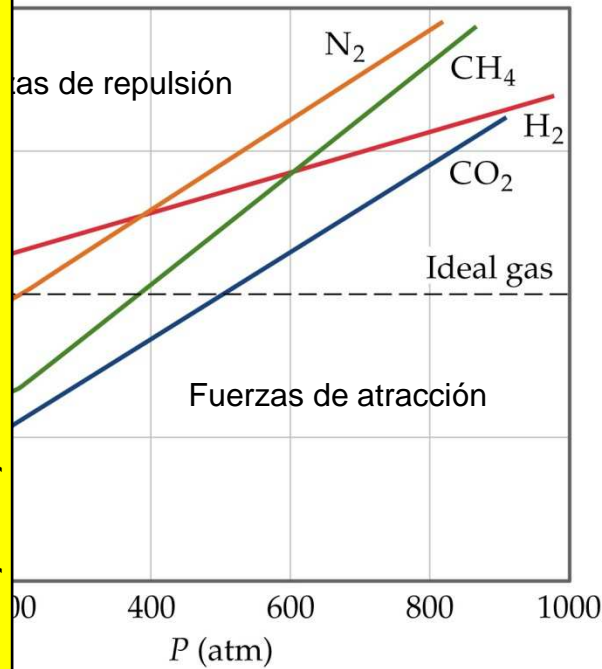
Corrige las fuerzas de interacción molecular

$$P_{ideal} = P_{real} + \frac{an^2}{V^2}$$

Corrige el volumen a ocupar por las moléculas del gas

$$P = \frac{RT}{V - nb} + \frac{an^2}{V^2}$$

$$\left(P + \frac{an^2}{V^2} \right) (V - nb) = nRT$$



Termodinámica
Tecnología

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Principios básicos de Termodinámica

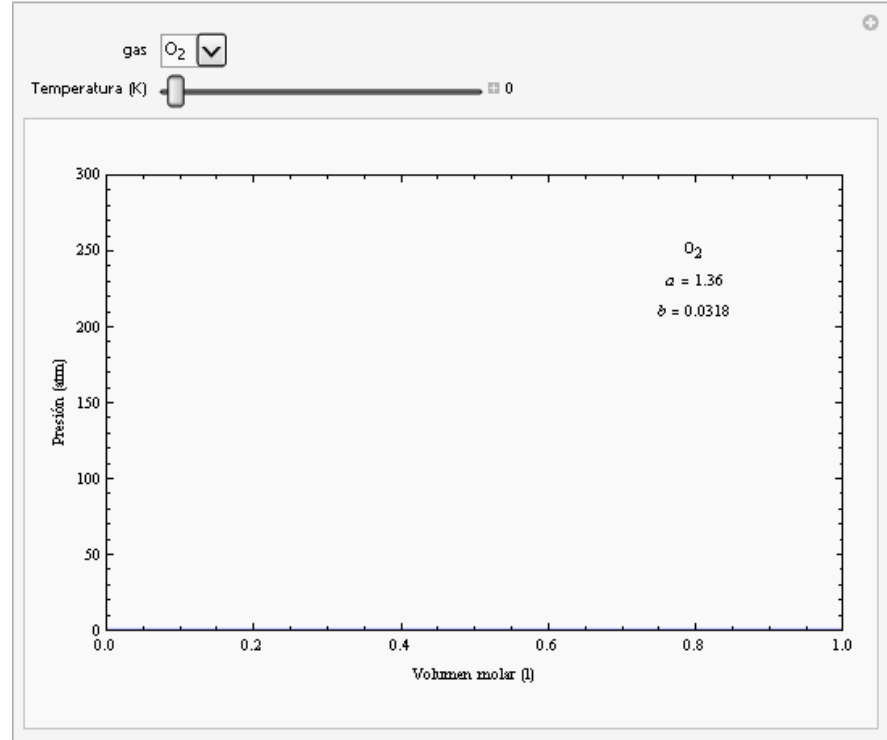
Van der Waals:

$$(p + \frac{a}{v^2} - b) = RT$$

Constantes de Van der Waals	
a (atm·L ² /mol ²)	b (L/mol)
3.59	0.0237
4.17	0.0322
4.17	0.0266
4.17	0.0391
4.17	0.0318

$$a = \frac{27R^2T_{cr}^2}{64p_{cr}}$$

$$b = \frac{RT_{cr}}{8p_{cr}}$$



Equation of state:

$$\left(\frac{c}{\bar{v}T^3}\right)(\bar{v} + B) - \frac{A}{\bar{v}^2} \quad A = A_o \left(1 - \frac{a}{\bar{v}}\right) \quad \text{and} \quad B = B_o \left(1 - \frac{b}{\bar{v}}\right)$$

Termodinámica
Tecnología

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Principios básicos de Termodinámica

Principio de la Termodinámica

e energía

os de transferencia de energía

e energía para un sistema cerrado

ergéticos

específicas

propiedades



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

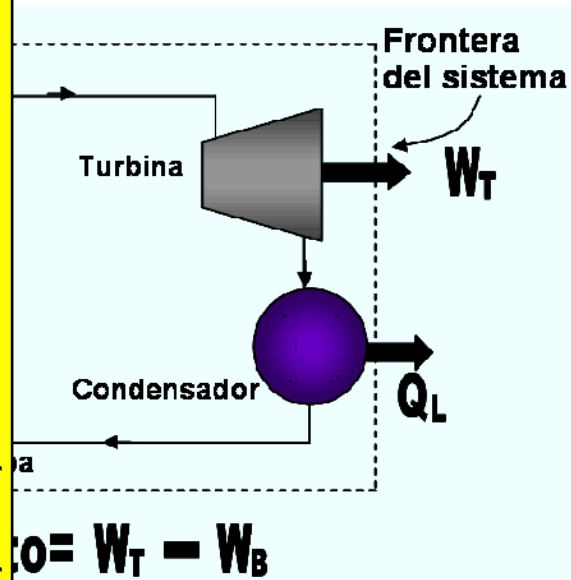
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Principios básicos de Termodinámica

La Energía

La energía de la Termodinámica es esencialmente una expresión del principio de conservación de la energía. La energía puede ser transferida (cruzar) la frontera de un sistema cerrado en dos formas: calor y trabajo. La transferencia de energía es debida a una diferencia de temperatura es calor, sino trabajo.

La transferencia de energía en forma de trabajo ocurre cuando todo el sistema o una parte de éste se desplaza por la acción de una fuerza.



El Calor y el Trabajo son energías en tránsito y resulta incorrecto hablar del calor o del trabajo que posee un sistema.

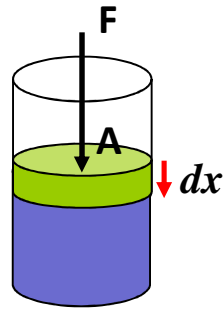
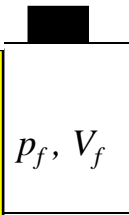
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Principios básicos de Termodinámica

Mecánico

gas

Compresión de un gas



Convención:

$W > 0$ (positivo) trabajo realizado sobre el sistema

$W < 0$ (negativo) trabajo realizado por el sistema

El trabajo realizado por una fuerza:

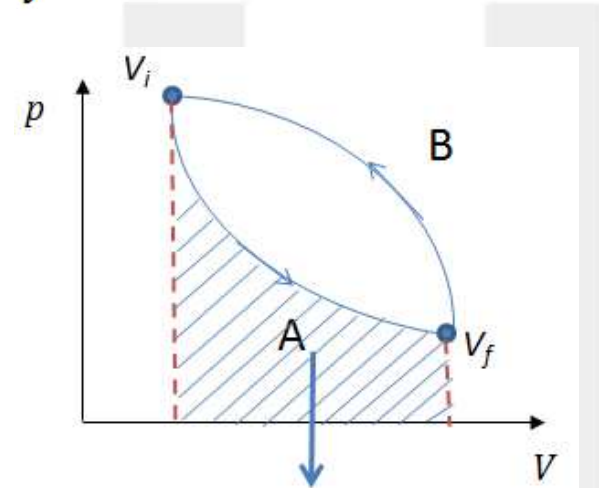
$$W = \int \vec{F} \cdot d\vec{x}$$

$$\int F dx = - \int p A dx \Rightarrow W = - \int p dV$$

Para un cambio infinitesimal de volumen

$$\int_{V_i}^{V_f} p(V) dV \Rightarrow W_A \neq W_B$$

El Trabajo no es una función de estado!!!



Área: Trabajo para el proceso A

Termodinámica

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Principios básicos de Termodinámica

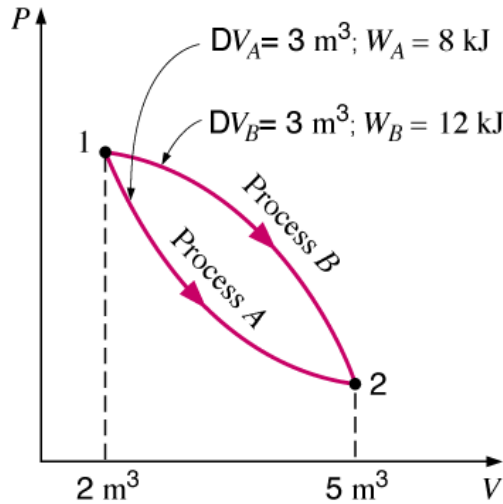
termodinámico

El Trabajo no es una función de estado

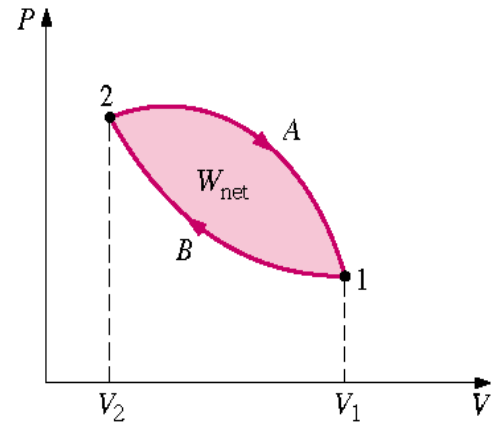
El diferencial no es exacto!!!

Definición matemática del Trabajo

$$\delta W = -p(V)dV \quad \Rightarrow \quad \int \delta W = - \int_{V_i}^{V_f} p(V) dV$$



Cambio de Energía para un Ciclo



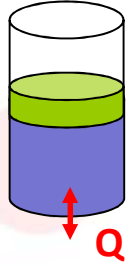
termodinámica
tecnología

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

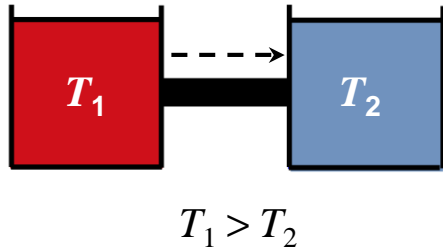
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Principios básicos de Termodinámica

El calor es energía transferida de forma microscópica y desordenada. El calor es energía transferida de forma microscópica y desordenada. El calor es energía transferida de forma microscópica y desordenada.



El Calor es energía transferida de forma microscópica y desordenada.

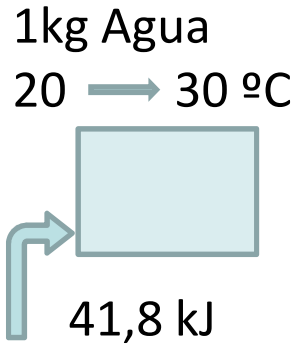


Convención:
 $Q > 0$ (positivo) calor absorbido
 $Q < 0$ (negativo) calor cedido

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Principios básicos de Termodinámica

La más común en Termodinámica es la *caloría*. Por definición, una caloría es la energía que se necesita para incrementar la temperatura de 1 g de agua en 1°C.



Diferentes cantidades de energía son requeridas para elevar la temperatura de diferentes sustancias en un mismo rango de temperaturas.



Calor específico

$$c = \frac{Q}{m\Delta T} = \left(\frac{\text{cal}}{\text{g}^\circ\text{C}} \right) = \left(\frac{\text{J}}{\text{kg}^\circ\text{C}} \right)$$

Sustancia	J /kg °C
Aluminio	448
Cobre	4186
Hierro	234
Acero	1700

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Principios básicos de Termodinámica

calor se define como: $Q = mc \Delta T$

capacidad calorífica $\Rightarrow Q = C \Delta T$

capacidad calorífica molar $\Rightarrow Q = n C_m \Delta T$

infinitesimal de volumen

$$\int n C_m dT$$

La transferencia de energía en forma de calor depende del camino recorrido, es decir, de cómo se ejecutó el proceso.

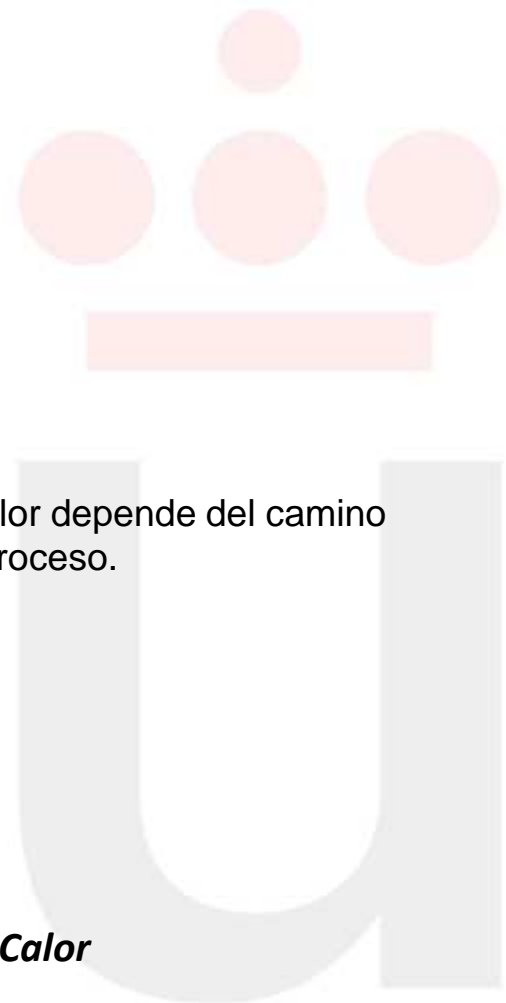
una función de estado

! no es exacto!!!

capacidades caloríficas molares

$$\delta Q = n C_p dT$$

Definición matemática del Calor



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Principios básicos de Termodinámica

Capacidad calorífica de un gas ideal

Para un gas ideal se definen dos capacidades caloríficas molares: a **volumen constante** (C_v), y a **presión constante** (C_p).

La capacidad calorífica a volumen constante es la cantidad de calor que es necesario suministrar a un mol de gas ideal para elevar su temperatura en un grado mediante una *transformación isócora*.

La capacidad calorífica a presión constante es la cantidad de calor que es necesario suministrar a un mol de gas ideal para elevar su temperatura en un grado mediante una *transformación isóbara*.

Estas dos capacidades caloríficas puede determinarse con ayuda de la teoría cinética de los gases.

	Monoatómico	Diatómico
C_v	$\frac{3}{2}R$	$\frac{5}{2}R$
C_p	$\frac{5}{2}R$	$\frac{7}{2}R$

$$C_v = \frac{i}{2}R \quad i: \text{grados de libertad del sistema}$$

$$C_p - C_v = R \quad \text{Ley de Mayer}$$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Principios básicos de Termodinámica

a

objeto caliente en un baño de agua en condiciones oscuras y cerramos el sistema con tapas.

Conservación de la Energía

$$Q_s = Q_{ced}$$



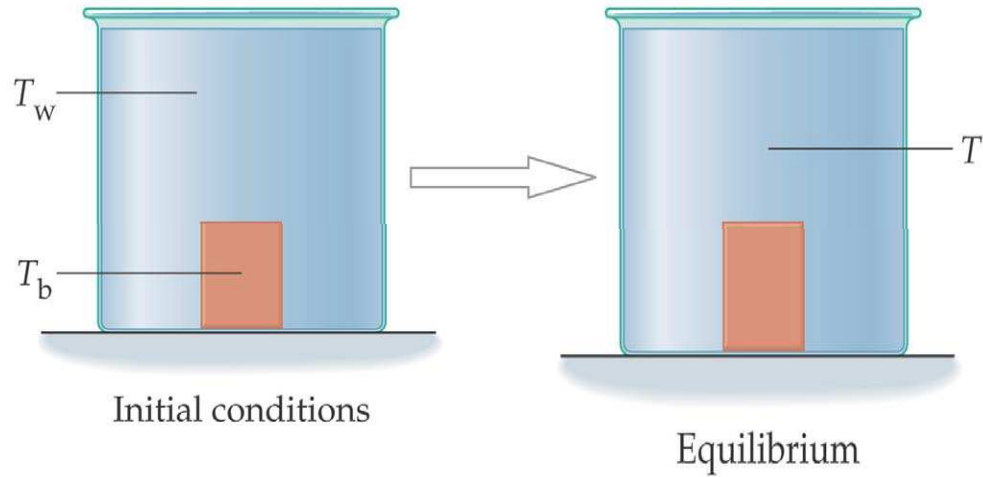
$$Q_b = -Q_b$$



$$Q_w = 0$$

$$m_b c_b (T - T_b) + m_w c_w (T - T_w) = 0 \Rightarrow$$

$$T = \frac{m_b c_b T_b - m_w c_w T_w}{m_b c_b + m_w c_w}$$



ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

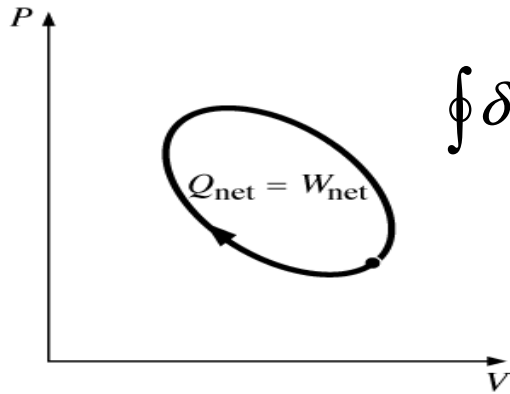
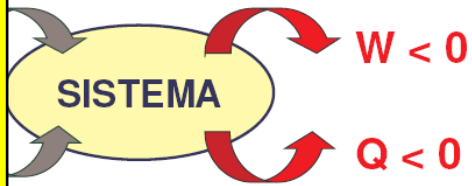
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

Termodinámica
 Tecnología

Principios básicos de Termodinámica

Energía para un Ciclo

Criterio de signos



$$\oint \delta Q = \oint \delta W$$

dos Ciclos I (A+B) y II (A+C):



$$\int_1^2 \delta Q_A - \int_1^2 \delta Q_B = - \int_1^2 \delta W_A + \int_1^2 \delta W_B$$



$$- \int_1^2 \delta Q_B + \int_1^2 \delta Q_C = \int_1^2 \delta W_B - \int_1^2 \delta W_C$$

$$\int_1^2 \delta Q_A - \int_1^2 \delta Q_C = - \int_1^2 \delta W_A + \int_1^2 \delta W_C$$

Termodinámica
Tecnología

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Principios básicos de Termodinámica

Energía para un Ciclo

$$E_{(A)B} = \int_1^2 (\delta Q + \delta W)_C$$

Como son caminos arbitrarios, la ecuación anterior sugiere que a pesar de que el calor δQ y el trabajo δW son variables termodinámicas dependientes del proceso, la suma de ambos no lo es, es una función de estado que depende del camino recorrido. Es decir, es una propiedad del sistema que sólo depende de los estados inicial y final.

$$\delta Q + \delta W \Rightarrow \int_1^2 dE = \int_1^2 \delta Q + \int_1^2 \delta W$$

Primer Principio de la Termodinámica

El cambio de energía de un sistema termodinámico cerrado es igual a la suma de la cantidad de calor y la cantidad de trabajo intercambiados por el sistema con sus alrededores.

$$E_c + E_p + U : \text{energía interna}$$

Termodinámica
Tecnología

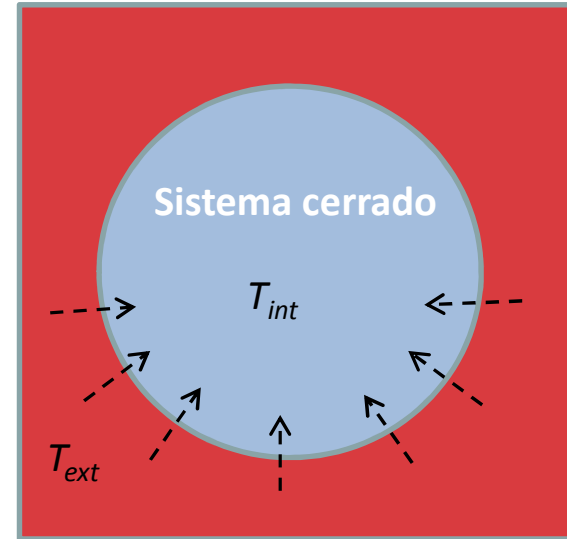
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Principios básicos de Termodinámica

terna, U

en forma diferencial la energía
 por un sistema cerrado a volumen

$$T_{int} < T_{ext}$$



$$\delta E_{int} \Rightarrow \delta E_{ext} - \delta E_{int} = dU$$

de energía requerida para elevar la temperatura del

Definición matemática de energía interna

El diferencial es exacto, es una función de estado.

Despreciamos los términos cinético y potencial

Primer Principio en forma diferencial

$$dE_c + dE_p \Rightarrow dE = \delta Q + \delta W \Rightarrow dU = \delta Q + \delta W$$

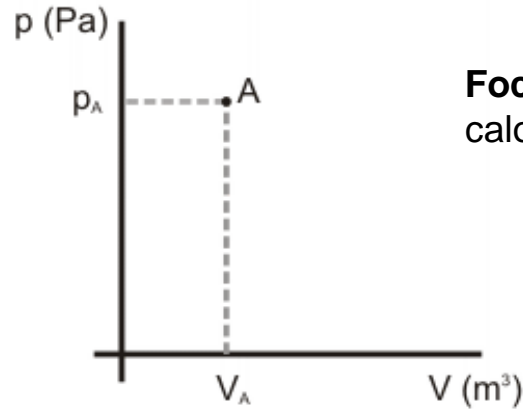
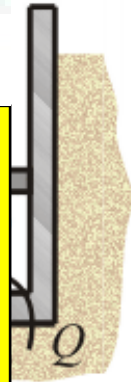
mica
 notecnia

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Principios básicos de Termodinámica

Termodinámicos

Expansión isotérmica



Foco térmico: Sustancia capaz de ceder o absorber calor sin modificar su temperatura.

Isotermo: $T = cte \Rightarrow T_A = T_B = T_0$

$$dU = \delta Q + \delta W$$

$$\int_{U_A}^{U_B} dU = \int_{T_A}^{T_B} n C_v dT \Rightarrow \Delta U_{AB} = n C_v (T_B - T_A) \Rightarrow \Delta U_{AB} = 0$$

$$\int \delta W = - \int_{V_A}^{V_B} p dV \Rightarrow \int \delta W = -n R T_0 \int_{V_A}^{V_B} \frac{dV}{V} \Rightarrow W_{AB} = -n R T_0 \ln \frac{V_B}{V_A}$$

$$\delta W \Rightarrow [\Delta U_{AB} = 0] \Rightarrow Q_{AB} = -W_{AB} \Rightarrow Q_{AB} = n R T_0 \ln \frac{V_B}{V_A}$$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

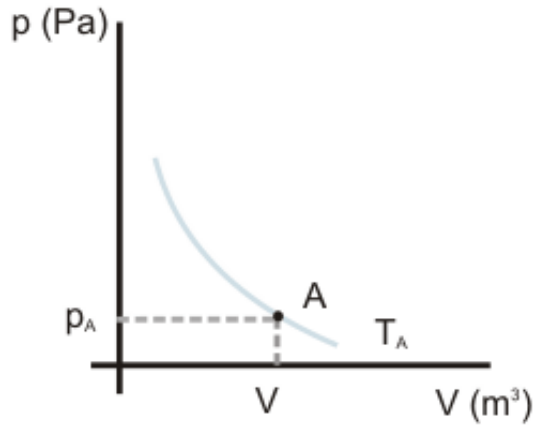
Principios básicos de Termodinámica

Termodinámicos

Transformación isócora

Isócora: $V = cte \Rightarrow V_A = V_B = V_0$

$$dU = \delta Q + \delta W$$



$$\delta W = -p dV \Rightarrow W_{AB} = 0$$

$$\delta Q = dU - \delta W \Rightarrow [W_{AB} = 0] \Rightarrow Q_{AB} = \Delta U \Rightarrow Q_{AB} = n C_v (T_B - T_A)$$

$$Q_{AB} = n C_v (T_B - T_A)$$

Termodinámica
Tecnología

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

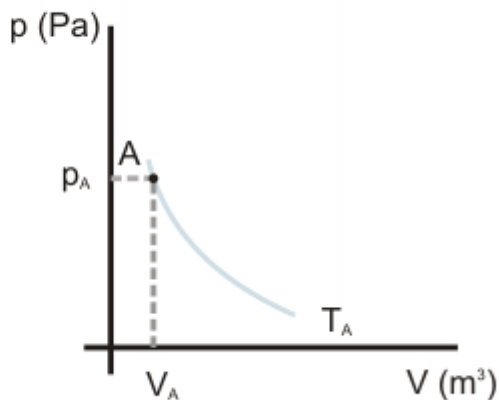
Principios básicos de Termodinámica

Termodinámicos

Expansión isobárica

Isócora: $p = cte \Rightarrow p_A = p_B = p_0$

$$dU = \delta Q + \delta W$$



$$dV \Rightarrow \int \delta W = -p \int_{V_A}^{V_B} dV \Rightarrow W_{AB} = -p_0 (V_B - V_A)$$

$$dT \Rightarrow \int_{U_A}^{U_B} dU = \int_{T_A}^{T_B} n C_v dT \Rightarrow \Delta U_{AB} = n C_v (T_B - T_A)$$

$$\delta W \Rightarrow Q_{AB} = n C_v (T_B - T_A) + p_0 (V_B - V_A)$$

Termodinámica
Tecnología

Principios básicos de Termodinámica

Termodinámicos

Expansión isobárica

Isócora: $p = cte \Rightarrow p_A = p_B = p_0$

$$Q_{AB} = n C_v (T_B - T_A) + p_0 (V_B - V_A)$$



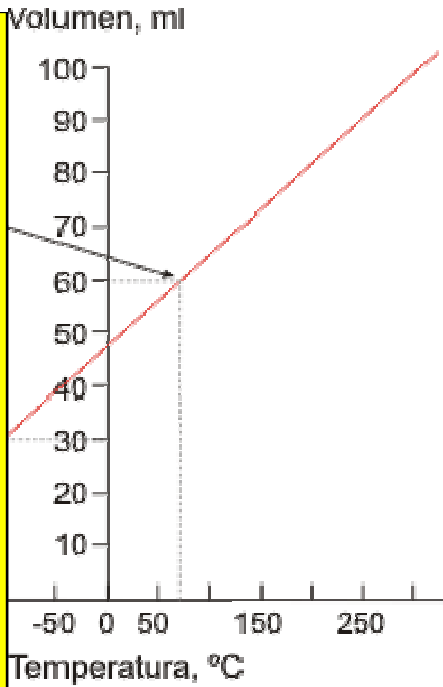
Ec. Estado gas ideal: $pV = nRT$

$$Q_{AB} = n C_v (T_B - T_A) + n R (T_B - T_A)$$



Ley de Mayer: $C_p = C_v + R$

$$Q_{AB} = n C_p (T_B - T_A)$$



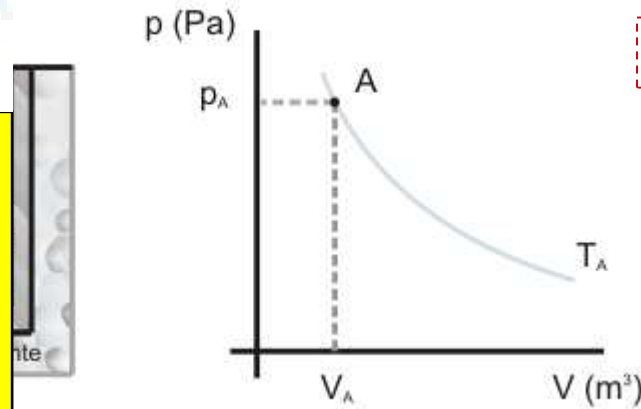
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Termodinámica
 Ingeniería de Tecnología

Principios básicos de Termodinámica

Termodinámicos



Expansión adiabática

$$\delta Q = 0$$

Adiabata:

$$pV^\gamma = cte \Rightarrow p_A V_A^\gamma = p_B V_B^\gamma$$

$$TV^{\gamma-1} = cte \Rightarrow T_A V_A^{\gamma-1} = T_B V_B^{\gamma-1}$$

$$T^\gamma p^{1-\gamma} = cte \Rightarrow T_A^\gamma p_A^{1-\gamma} = T_B^\gamma p_B^{1-\gamma}$$

$$-p dV \Rightarrow \int \delta W = - \int_{V_A}^{V_B} p dV \Rightarrow W = - \int_{V_A}^{V_B} \frac{cte}{V^\gamma} dV \Rightarrow$$

$$W_{AB} = \frac{1}{1-\gamma} (p_A V_A - p_B V_B)$$

$$Q + \delta W \Rightarrow [Q_{AB} = 0] \Rightarrow \Delta U_{AB} = n C_v (T_B - T_A) = W_{AB}$$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Termodinámica
 Tecnología

Principios básicos de Termodinámica

específicas

Integrando de 1 a 2:

$$dU = \delta Q + \delta W \Rightarrow U_{1-2} = Q_{1-2} + W_{1-2}$$

Si consideramos m constante y dividimos por la misma:

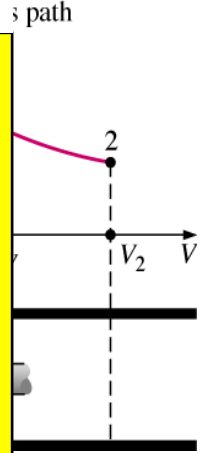
$$u_2 - u_1 = q_{1-2} + w_{1-2}$$

$$u = \frac{U}{m} \quad q_{1-2} = \frac{Q_{1-2}}{m} \quad w_{1-2} = \frac{W_{1-2}}{m}$$

volumen específico: $v = \frac{V}{m} \Rightarrow v = v(p, u) \quad T = T(p, u)$

$u = u(T, v)$ Así aparece tabulada en la tablas de propiedades.

Termodinámica
tecnología



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Principios básicos de Termodinámica

Propiedades

Además de los datos de temperatura, presión y volumen específico las tablas de propiedades incluyen otras de gran importancia en la termodinámica como son las entalpías y entropías específicas. La entalpía se define a partir del segundo principio de la termodinámica.

Para un proceso a presión constante:

$$\delta W \Rightarrow dU = \delta Q - p dV \Rightarrow \text{Integramos: } Q = U + pV$$

$$H = U + pV$$

La Entalpía es el calor intercambiado a presión constante.

$$dH = \delta Q_p$$

El diferencial es exacto, es una función de estado.

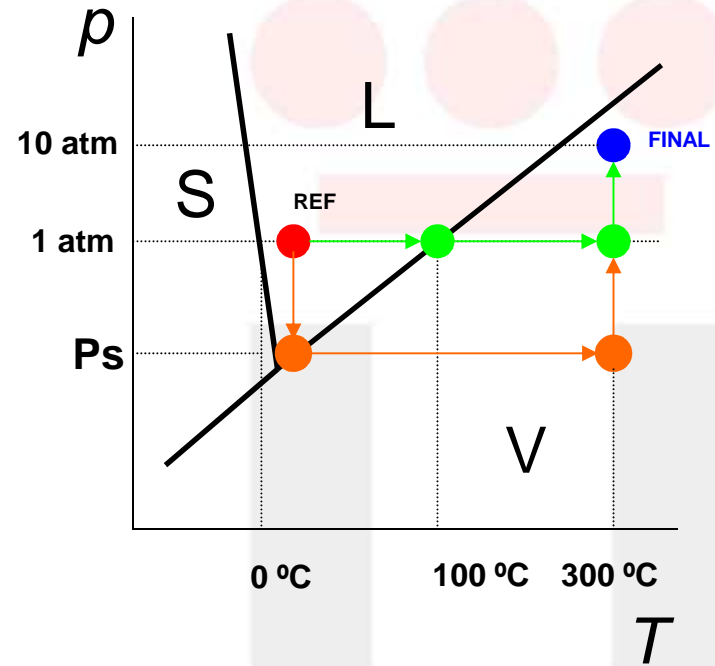
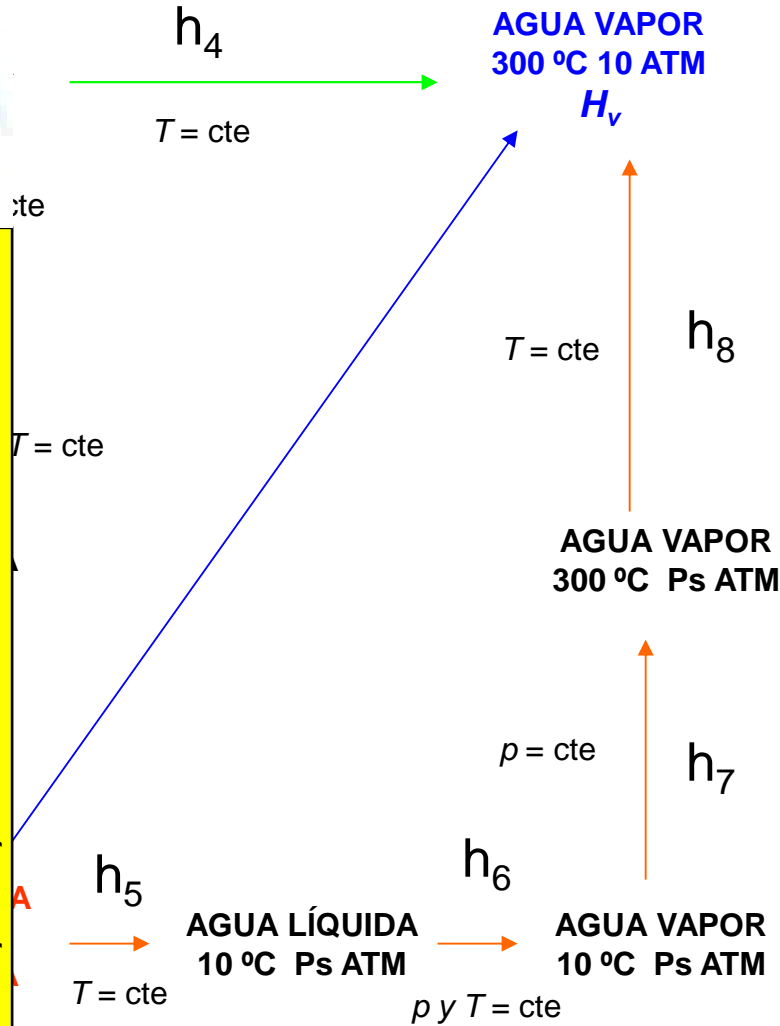
Por unidad de masa:

$$h = u + p v$$

La entalpía es una propiedad del sistema muy útil en el análisis de los balances de energía en sistemas cerrados, como por ejemplo, en un sistema cilindro-pistón.

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Principios básicos de Termodinámica



$$H = f(T, p)$$

$$H_v = h_1 + h_2 + h_3 + h_4 = h_5 + h_6 + h_7 + h_8$$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Principios básicos de Termodinámica

Propiedades

En proceso a presión constante:

$$U_2 - U_1 = Q_{1-2} + W_{1-2}$$



$$Q_{1-2} = U_2 - U_1 + p(V_2 - V_1) = (U_2 + pV_2) - (U_1 + pV_1)$$



$$Q_{1-2} = H_2 - H_1 = \Delta H$$



$$q_{1-2} = h_2 - h_1$$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Principios básicos de Termodinámica

Propiedades

Para un sistema de dos fases, la energía total es igual a la suma de las energías de los componentes:

$$m u_f + m_{vap} u_g \Rightarrow u = \frac{m - m_{vap}}{m} u_f + \frac{m_{vap}}{m} u_g$$

En estos sistemas se define la variable *calidad del vapor* como el porcentaje másico de vapor en el sistema. Es una propiedad intensiva del sistema.

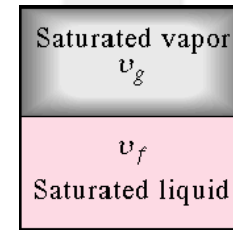
$$\frac{m_g}{m_{total}} = \frac{m_g}{m_f + m_g} \Rightarrow u = (1 - \chi) u_f + \chi u_g$$

$$\chi = \frac{v - v_f}{v_{fg}}$$

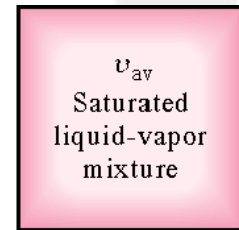
$$u_{fg} = u_g - u_f$$

$$h_{fg} = h_g - h_f$$

$$s_{fg} = s_g - s_f$$



≡



h_{fg} se denomina *entalpía de vaporización* (calor latente de evaporización)

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Principios básicos de Termodinámica

Propiedades

Specific volume, m ³ /kg		Internal energy, kJ/kg			Enthalpy, kJ/kg			Entropy, kJ/kg·K		
Sat. liquid, v _f	Sat. vapor, v _g	Sat. liquid, u _f	Evap., u _{fg}	Sat. vapor, u _g	Sat. liquid, h _f	Evap., h _{fg}	Sat. vapor, h _g	Sat. liquid, s _f	Evap., s _{fg}	Sat. vapor, s _g
	206.00	0.00	2374.9	2374.9	0.00	2500.9	2500.9	0.0000	9.1556	9.1556
0.001000	147.03	21.02	2360.8	2381.8	21.02	2489.1	2510.1	0.0763	8.9487	9.0249
0.001000	106.32	42.02	2346.6	2388.7	42.02	2477.2	2519.2	0.1511	8.7488	8.8999
0.001001	77.885	62.98	2332.5	2395.5	62.98	2465.4	2528.3	0.2245	8.5559	8.7803
0.001002	57.762	0.001 000 83.91	2318.4	2402.3	83.91	2453.5	2537.4	0.2965	8.3696	8.6661
0.001003	43.340	104.8 3	2304.3	2409.1	104.83	2441.7	2546.5	0.3672	8.1895	8.5567
0.001004	32.879	125.7 3	2290.2	2415.9	125.74	2429.8	2555.6	0.4368	8.0152	8.4520

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Principios básicos de Termodinámica



Specific volume, m ³ /kg			Internal energy, kJ/kg		Enthalpy, kJ/kg			Entropy, kJ/kg·K		
Sat. liquid, v_f	Sat. vapor, v_g	Sat. liquid, u_f	Evap., u_{fg}	Sat. vapor, u_g	Sat. liquid, h_f	Evap., h_{fg}	Sat. vapor, h_g	Sat. liquid, s_f	Evap., s_{fg}	Sat. vapor, s_g
0.001000	206.00	0.00	2374.9	2374.9	0.00	2500.9	2500.9	0.0000	9.1556	9.1556
0.001000	129.19	29.30	2355.2	2384.5	29.30	2484.4	2513.7	0.1059	8.8690	8.9749
0.001001	87.964	54.69	2338.1	2392.8	54.69	2470.1	2524.7	0.1956	8.6314	8.8270
0.001001	66.990	73.43	2325.5	2398.9	73.43	2459.5	2532.9	0.2606	8.4621	8.7227
0.001002	54.242	88.42	2315.4	2403.8	88.42	2451.0	2539.4	0.3118	8.3302	8.6421
0.001003	45.654	100.98	2306.9	2407.9	100.98	2443.9	2544.8	0.3543	8.2222	8.5765
0.001004	34.791	121.39	2293.1	2414.5	121.39	2432.3	2553.7	0.4224	8.0510	8.4734
0.001005	28.185	137.75	2282.1	2419.8	137.75	2423.0	2560.7	0.4762	7.9176	8.3938
0.001008	19.233	168.74	2261.1	2429.8	168.75	2405.3	2574.0	0.5763	7.6738	8.2501
0.001010	14.670	191.79	2245.4	2437.2	191.81	2392.1	2583.9	0.6492	7.4996	8.1488
0.001014	10.020	225.93	2222.1	2448.0	225.94	2372.3	2598.3	0.7549	7.2522	8.0071
0.001017	7.6481	251.40	2204.6	2456.0	251.42	2357.5	2608.9	0.8320	7.0752	7.9073
0.001020	6.2034	271.93	2190.4	2462.4	271.96	2345.5	2617.5	0.8932	6.9370	7.8302
0.001022	5.2287	289.24	2178.5	2467.7	289.27	2335.3	2624.6	0.9441	6.8234	7.7675

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Termodinámica
 Ingeniería de Mecánica



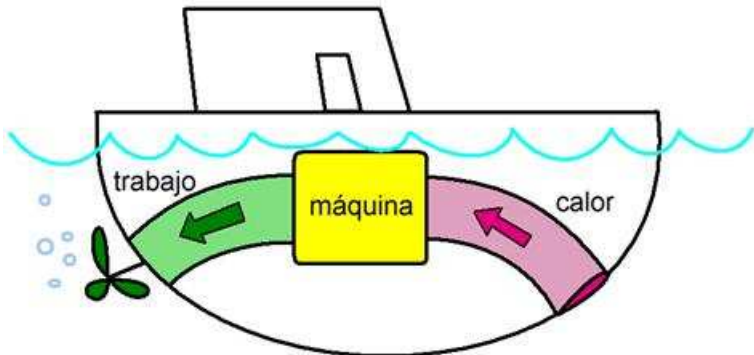
Principios básicos de Termodinámica

o Principio de la Termodinámica

termodinámicas

Refrigerador de Carnot

Enunciado estadístico. Tercera Ley de la Termodinámica.



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

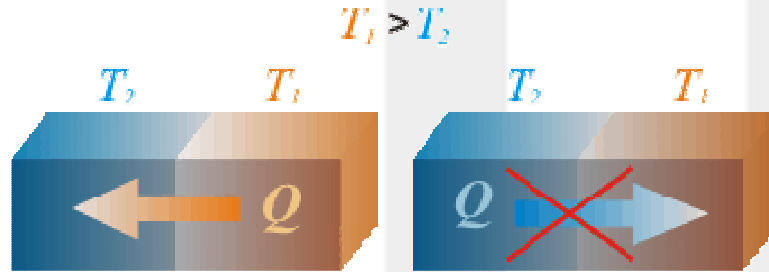
Principios básicos de Termodinámica

Primer Principio de la Termodinámica

El primer principio de la Termodinámica implica que en todo proceso termodinámico la energía se conserva. Sin embargo, este principio no es suficiente para determinar si un proceso concreto puede ocurrir o no.

Es necesario establecer otro principio (Segundo Principio de la Termodinámica) que indique qué procesos pueden ocurrir y cuándo no, aunque se siga cumpliendo el Primer Principio.

Transferencia de calor de un cuerpo caliente a otro frío: Si ponemos en contacto dos cuerpos a distinta temperatura, el calor siempre se transfiere del cuerpo caliente al cuerpo frío, nunca en sentido contrario.



Proceso adiabático:

El gas nunca evoluciona en sentido inverso, comprimiéndose para volver a su estado inicial.

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

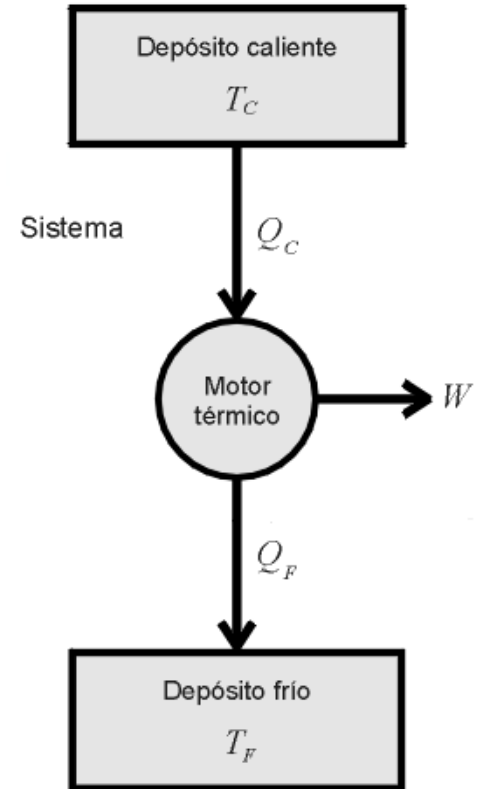
Principios básicos de Termodinámica

Térmicas

Una máquina térmica es un dispositivo cuyo objetivo es convertir calor en trabajo. Para ello utiliza de una sustancia de trabajo (vapor de agua, gas, etc.) que realiza una serie de transformaciones de forma cíclica, para que la máquina pueda funcionar continuamente. A través de dichas transformaciones la sustancia se calienta (normalmente, de un foco térmico) que transforma en trabajo.

- (a) calor absorbido
- (b) trabajo realizado
- (c) calor cedido

El estudio de la Termodinámica y más en concreto del Segundo Principio de la Termodinámica está motivado por la necesidad de aumentar la cantidad de trabajo que se puede obtener para una determinada cantidad de calor absorbido.



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Principios básicos de Termodinámica

Térmicas

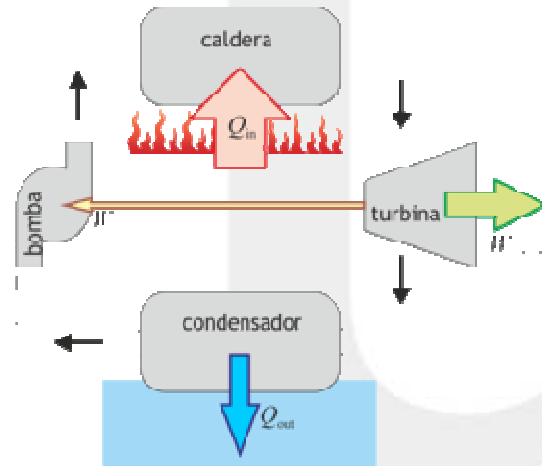
Las máquinas térmicas deben trabajar en ciclos, la variación de energía interna es nula.
 Por el Primer Principio el trabajo producido se puede expresar:

$$\begin{aligned} W &= \Delta U \\ &= Q_{neto} \\ &= Q_c - Q_f \end{aligned}$$

Enunciado de Kelvin-Planck

No es posible ninguna transformación **cíclica** que transforme íntegramente el calor absorbido en trabajo.

(Enunciado termodinámico del Segundo Principio)



Esto implica que la cantidad de energía absorbida ser transformada en trabajo debe ser en forma de calor a otro foco térmico, es decir, una máquina debe trabajar al menos entre dos focos térmicos.

¿Trabajo son equivalentes termodinámicos?

Termodinámica
 Ingeniería de Tecnología

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Principios básicos de Termodinámica

Térmicas

Rendimiento

Una máquina es aumentar la relación entre el trabajo producido y el calor absorbido; se define el rendimiento como el cociente entre ambos. Si tenemos en cuenta la limitación impuesta por el enunciado de Kelvin-Planck, el rendimiento siempre será menor que uno:

$$\eta = 1 - \frac{Q_f}{Q_c}$$

Habitualmente se expresa el rendimiento en porcentaje, multiplicando el valor anterior por cien. Para las máquinas más comunes este rendimiento se encuentra en torno al 20%.

Es importante señalar que el enunciado de Kelvin-Planck habla de procesos cíclicos, que dejan al sistema en un estado final igual al inicial. Sí es posible transformar calor en trabajo si el estado final es diferente del inicial. Por ejemplo en un motor térmico de un gas, todo el calor que entra al sistema se transforma íntegramente en trabajo, pero al final del ciclo el gas es diferente del inicial.

Termodinámica
tecnología

Principios básicos de Termodinámica

lores

es un dispositivo cuyo objetivo es extraer calor de un cuerpo a una temperatura más alta y cederlo a otro que se encuentra a una temperatura más baja. El ciclo realiza una serie de transformaciones termodinámicas de modo que al final de cada ciclo sucede con las máquinas térmicas.

de Clausius

Un proceso que tenga como resultado el paso de calor de un cuerpo frío a uno caliente.

$Q_c < 0$ (negativo) calor cedido

$W > 0$ (positivo) trabajo consumido

$Q_f > 0$ (positivo) calor absorbido

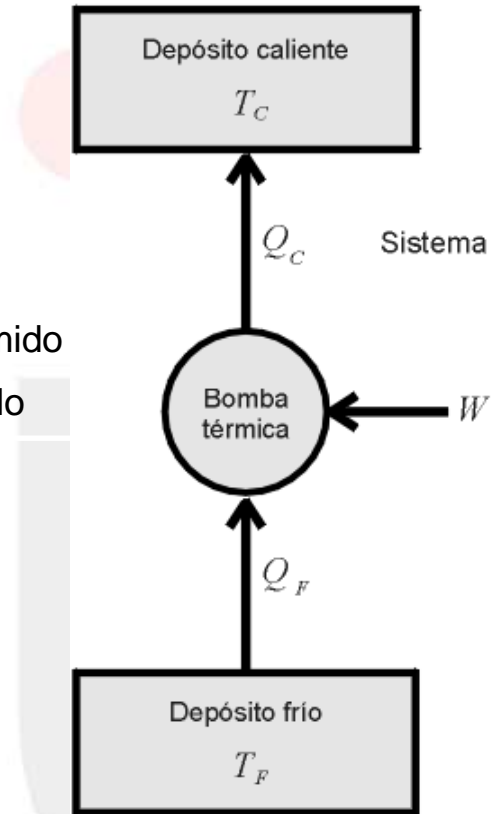
Termodinámico del Segundo Principio)

$$W_{neto} = \Delta U$$

$$W_{neto} = -Q_{neto}$$

$$W_{neto} = Q_c - Q_f$$

Clausius establece un sentido para la propagación del calor. Éste fluye espontáneamente de los cuerpos calientes a los fríos, nunca a la inversa.



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Principios básicos de Termodinámica

lores

Eficiencia (ϵ)

Se optimizará reduciendo el trabajo consumido para la misma cantidad de calor extraída. La eficiencia (ϵ o η) de un refrigerador se define entonces como:

$$\eta = \frac{Q_f}{Q_c - Q_f} = \frac{Q_f}{W} \Rightarrow \eta = \frac{Q_f}{W_{neto}}$$

$$0 \Rightarrow \eta < \infty$$

La limitación impuesta por el enunciado de Clausius nos indica simplemente que la eficiencia debe ser menor que infinito, ya que el trabajo debe ser distinto de cero.

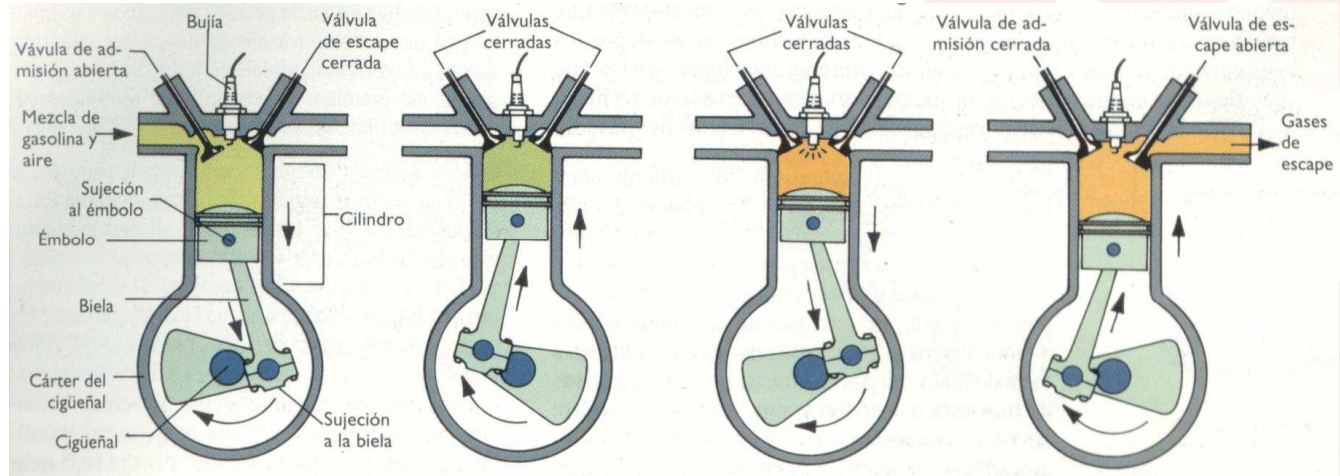
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Principios básicos de Termodinámica

térmicas reversibles. Ciclo de Carnot

¿Qué máquina térmica opera al máximo rendimiento posible?



de reversibilidad

Para un intercambio de calor, el proceso debe ser isotermo (debe haber una diferencia infinitesimal de temperaturas entre el sistema y su ambiente).

Por lo tanto, si existe una diferencia finita de temperaturas entre el sistema y el ambiente, el proceso no puede ser adiabático.

Termodinámica
Tecnología

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Principios básicos de Termodinámica

Expansión isotérmica

En una expansión isotérmica, el sistema está en contacto con el foco caliente T_1 , realiza un trabajo $W_1 < 0$, y recibe del entorno, un calor equivalente Q_1 :

$$[\Delta U = 0]$$

$$W = nRT_0 \ln \frac{V_2}{V_1} = Q_1$$

Expansión adiabática

En una expansión adiabática no hay transferencia de calor, el gas debe realizar un trabajo al émbolo, para lo que el cilindro debe estar aislado térmicamente.

$$[Q = 0]$$

$$C_v (T_3 - T_2) = W$$

Compresión isotérmica

En una compresión isotérmica, el sistema está en contacto con el foco frío T_2 . El sistema y el entorno realiza trabajo $W_2 > 0$ y se cede una energía Q_2 en forma de calor:

$$[\Delta U = 0]$$

$$W = nRT_0 \ln \frac{V_4}{V_3} = Q_2$$

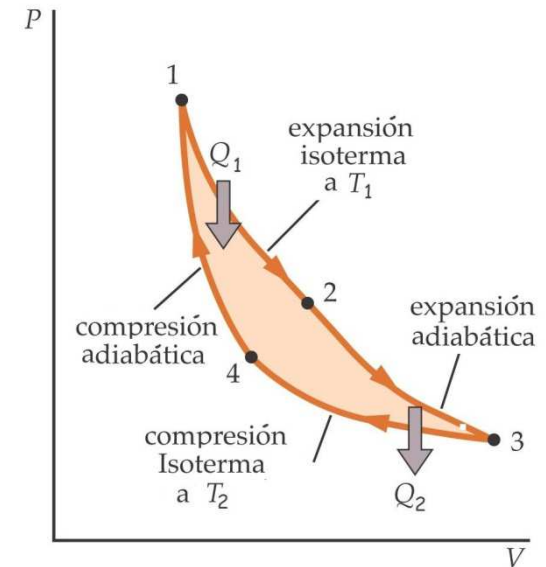
Compresión adiabática

En una compresión adiabática no hay intercambio de calor con el entorno.

$$[Q = 0]$$

$$\Delta U = n C_v (T_1 - T_4) = W$$

Ciclo de Carnot



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Principios básicos de Termodinámica

$$\Rightarrow \eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} \Rightarrow \eta = 1 - \frac{nRT_2 \ln \frac{V_4}{V_3}}{nRT_1 \ln \frac{V_1}{V_2}} \quad (I)$$

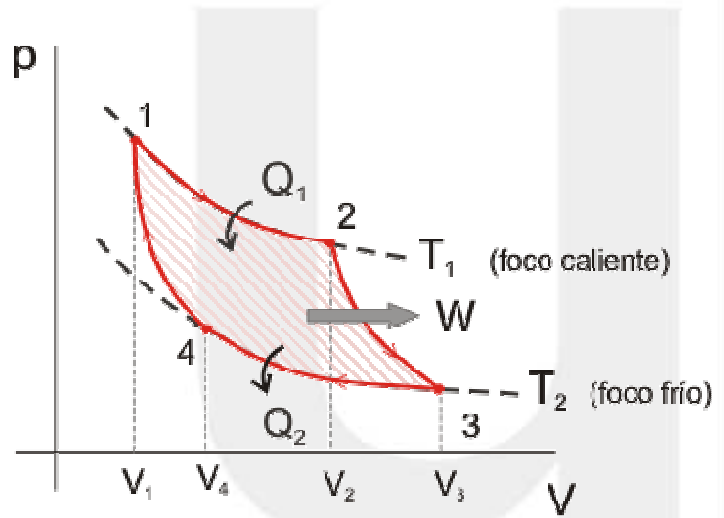
$$\begin{aligned} T_1 V_1^{\gamma-1} &= T_4 V_4^{\gamma-1} & T_1 &= T_2 \\ T_2 V_2^{\gamma-1} &= T_3 V_3^{\gamma-1} & T_3 &= T_4 \end{aligned} \Rightarrow \frac{V_4}{V_3} = \frac{V_1}{V_2} \quad (II)$$

$$1 - \frac{T_2}{T_1} \Rightarrow \eta = 1 - \frac{T_f}{T_c} \left\{ \begin{array}{l} \lim_{T_f \rightarrow 0} \eta = 1 \\ \lim_{T_c \rightarrow \infty} \eta = 1 \end{array} \right.$$

Depende de las temperaturas de los focos térmicos.

Rendimiento

Motor de Carnot



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Principios básicos de Termodinámica

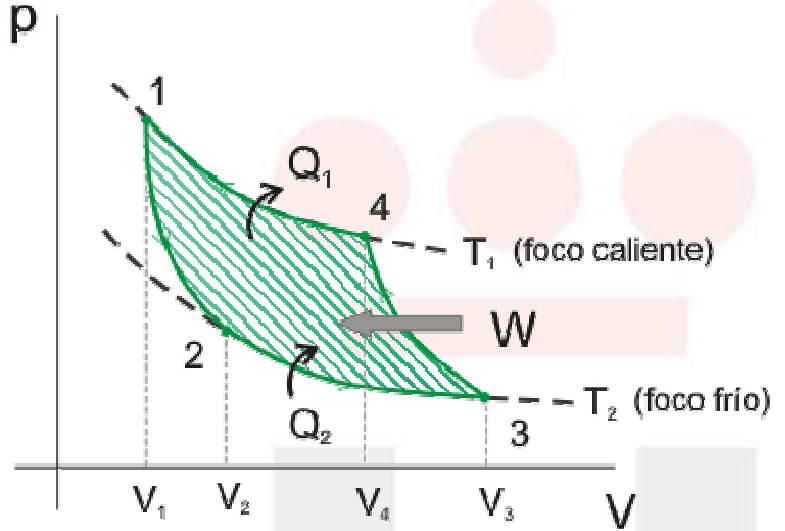
Refrigerador de Carnot

Expansión adiabática

Expansión isoterma

Compresión adiabática

Compresión isoterma



$$\eta = \frac{Q_f}{Q_c - Q_f} \Rightarrow \eta = \frac{Q_2}{Q_1 - Q_2}$$

$$\frac{nRT_2 \ln \frac{V_3}{V_2}}{nRT_1 \ln \frac{V_4}{V_1} - nRT_2 \ln \frac{V_3}{V_2}} \Rightarrow \frac{V_4}{V_3} = \frac{V_1}{V_2} \Rightarrow \eta = \frac{T_2}{T_1 - T_2}$$

Química
Tecnología

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Principios básicos de Termodinámica

Carnot

Carnot es un enunciado alternativo del Segundo Principio de la Termodinámica, que se deduce de la comparación entre máquinas reversibles y máquinas irreversibles como:

Una máquina M funcionando entre dos focos térmicos tiene mayor rendimiento que el de una máquina cualquiera funcionando entre dichos focos.

Máquinas reversibles que operen entre dos focos poseen el mismo rendimiento, dado por el de Carnot.

$$\eta_M \leq \eta_{rev}$$

La igualdad si la máquina M es también reversible y la desigualdad si es irreversible.

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

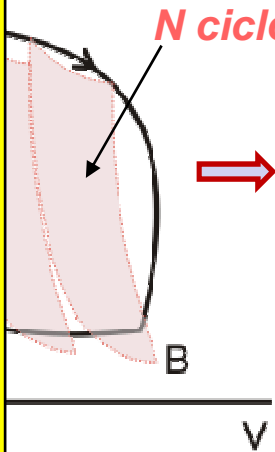
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP:689 45 44 70

Principios básicos de Termodinámica

En termodinámica, la entropía (S), permite cuantificar la parte de la energía que no puede utilizarse para producir trabajo. Es decir, permite cuantificar la irreversibilidad de un proceso termodinámico.

$$\Rightarrow 1 - \frac{Q_f}{Q_c} \leq 1 - \frac{T_f}{T_c} \Rightarrow \frac{Q_f}{T_f} + \frac{Q_c}{T_c} \leq 0$$

Cumplíndose la igualdad para un ciclo reversible y la desigualdad si es irreversible.



N ciclos de Carnot

$$\Rightarrow \sum_{i=1}^N \left(\frac{Q_f^i}{T_f^i} + \frac{Q_c^i}{T_c^i} \right) = 0 \Rightarrow \lim_{N \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^N \left(\frac{\delta Q_f^i}{T_f^i} + \frac{\delta Q_c^i}{T_c^i} \right) = \oint \frac{\delta Q}{T}$$

$$\Rightarrow \oint \frac{\delta Q_{rev}}{T} = 0 \Rightarrow \oint \frac{\delta Q}{T} \leq 0$$

Desigualdad de Clausius

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

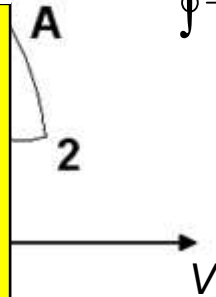
Principios básicos de Termodinámica

Se considera un ciclo reversible formado por dos procesos internamente reversibles A y B.

$$\oint \frac{\delta Q}{T} = 0 \Rightarrow \int_{1A}^{2A} \frac{\delta Q}{T} + \int_{2B}^{1B} \frac{\delta Q}{T} = 0 \Rightarrow \int_{1A}^{2A} \frac{\delta Q}{T} - \int_{1B}^{2B} \frac{\delta Q}{T} = 0$$

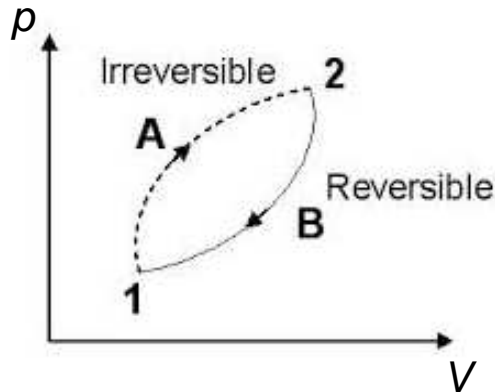
$$\Rightarrow \int_{1A}^{2A} \frac{\delta Q}{T} = \int_{1B}^{2B} \frac{\delta Q}{T} \Rightarrow \boxed{\int dS = \int \frac{\delta Q}{T}}$$

No importa el camino recorrido



$$\frac{\delta Q_{neto}}{T} \text{ Irreversible}$$

$$\frac{\delta Q_{neto}}{T} \text{ Reversible}$$



$$\Delta S_{rev} = \int_1^2 \frac{\delta Q_{neto}}{T}$$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

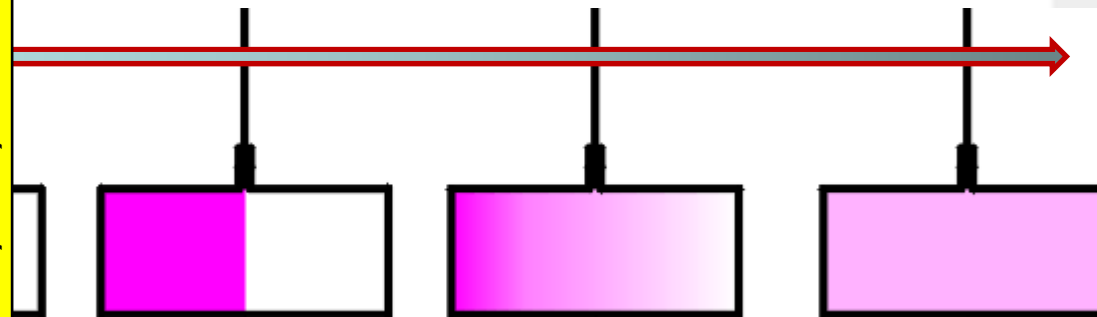
Principios básicos de Termodinámica

...ca, la entropía (S), nos permite cuantificar la energía que no puede utilizarse para ... Es decir, permite cuantificar la irreversibilidad termodinámico.

$$S = k \ln W$$

En un sistema aislado, la variación de entropía es siempre positiva cuando está en equilibrio termodinámico.

(Formulación Estadística del Segundo Principio)

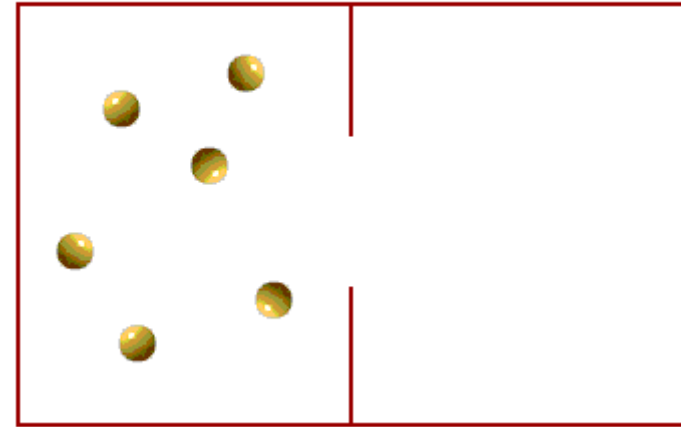


...mica
...notecnia

Procesos irreversibles

probabilidad termodinámica = 1

probabilidad = $\frac{1}{64}$



Mecánica Estadística

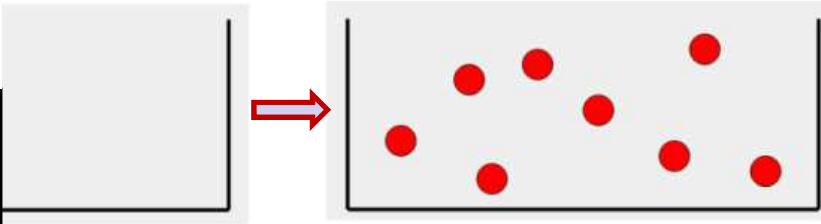
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

Principios básicos de Termodinámica

Procesos irreversibles

Expansión libre de Joule

$$\left. \begin{array}{l} Q = 0 \\ W = 0 \end{array} \right\} \Delta U = 0$$

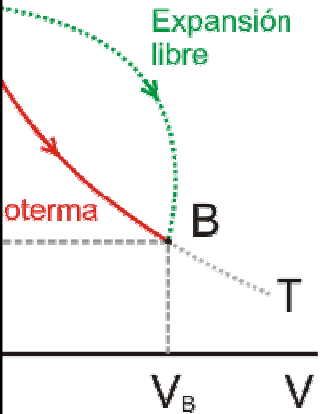


$$\Delta S_{irrev} = \Delta S_{rev}$$

$$\int dS = \int \frac{\delta Q}{T} = \frac{1}{T} \int \delta Q = -\frac{1}{T} \int \delta W = -\frac{1}{T} \int (-p dV)$$

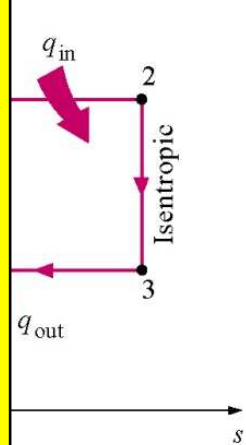
$$\int dS = \frac{1}{T} \int \frac{nRT}{V} dV = nR \int \frac{dV}{V}$$

$$\Delta S = S_B - S_A = nR \int_{V_A}^{V_B} \frac{dV}{V} = nR \ln \frac{V_B}{V_A}$$



Principios básicos de Termodinámica

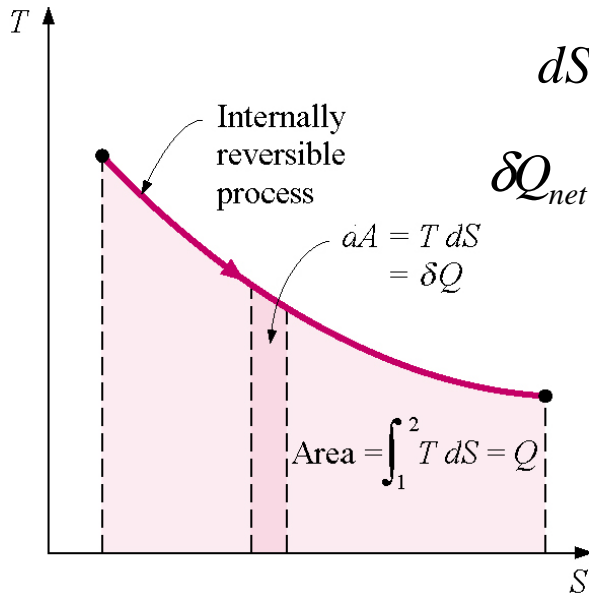
Ciclo de Carnot



Enunciado de Nerst

La entropía de una sustancia pura y cristalina en el cero absoluto es nula. Esta ley provee de un punto de referencia absoluto para la determinación de la entropía. La entropía relativa a este punto es la entropía

**Termodinámica
Tecnología**



$$dS = \frac{\delta Q_{net}}{T}$$

$$\delta Q_{net} = TdS$$

(Tercer Principio) Tercera Ley de la Termodinámica

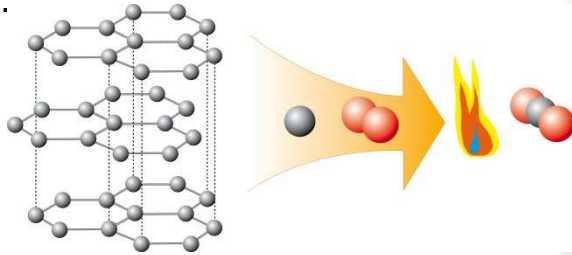
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Principios básicos de Termodinámica

Reacciones y Combustión

Reacción química exotérmica, de oxidación – reducción entre dos o más sustancias, combustible y oxidante, que se realiza a gran velocidad.



El oxidante más importante de la combustión. En el motor de combustión interna es el **oxígeno** del aire que se encuentra en una proporción del 21% frente al 79% de nitrógeno.

El combustible es el factor limitante de la combustión. En los motores de combustión interna son hidrocarburos derivados de los combustibles líquidos. Mezclas de éstos con otras sustancias.

Los combustibles líquidos están formados por carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno y azufre.

Termodinámica
Tecnología

Principios básicos de Termodinámica

Inicio de Combustión

- Oxidación rápida.
- Produce calor.
- Produce luz, con o sin llama.

Combustibles y Combustión

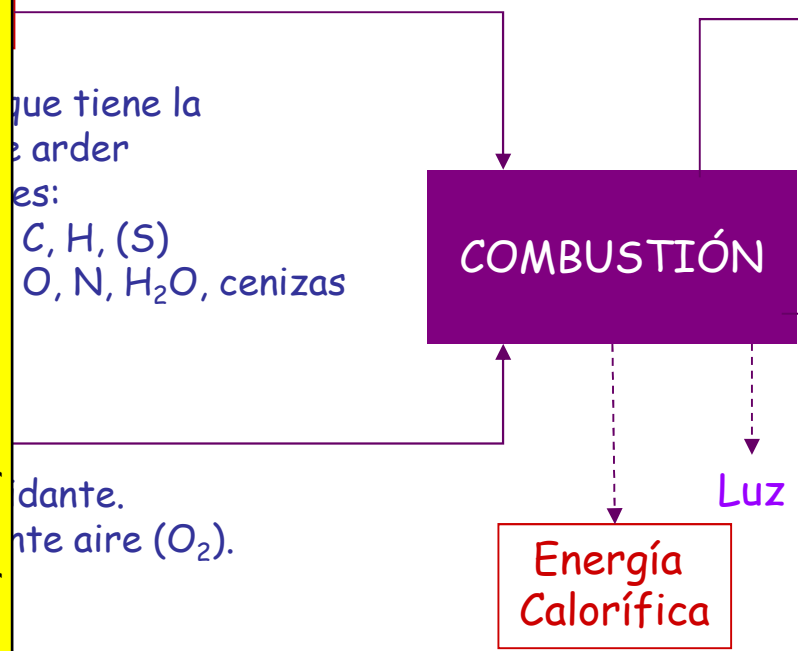
Productos de la Combustión

Gases de Combustión

- Completa: CO_2 , H_2O , O_2 , N_2 , (SO_2 , NO_x)
- Incompleta: Anteriores + CO , H_2

Partículas

Cenizas
Escorias



CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70

 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Principios básicos de Termodinámica

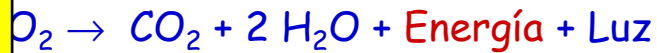
Reacción General de Combustión



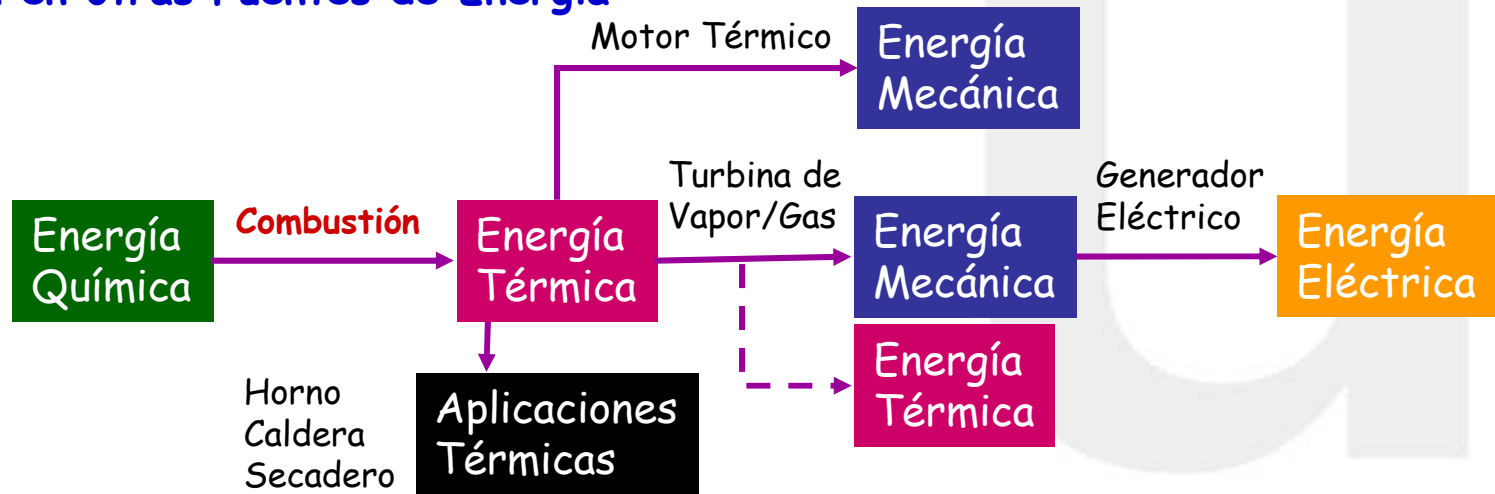
Energía Química

Energía Calorífica

Combustión del Gas Natural



Aplicación en otras Fuentes de Energía

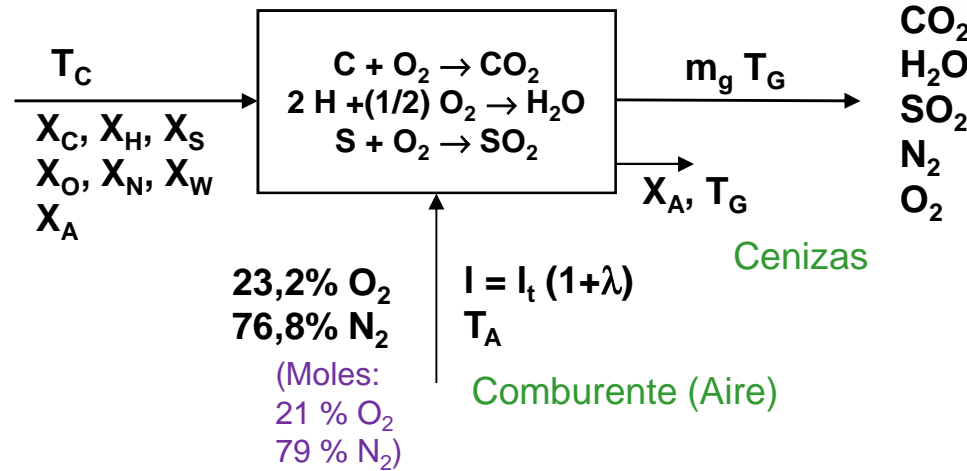


CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Principios básicos de Termodinámica

ENERGÉTICO DE LOS COMBUSTIBLES

de combustible



Fracción másica por elementos

$$x_C + x_H + x_S + x_O + x_N + x_W + x_a = 1$$

$$\chi_i = \frac{M_i}{M_{combustible}}$$

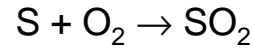
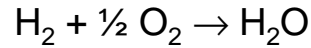
CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Principios básicos de Termodinámica

Combustión

Consumo de O₂ o Aire

Químico:



Estequiometría de O₂ necesaria para combustión completa de los distintos componentes del combustible

$$\left(\frac{\chi_C}{12}\right) + \frac{1}{2} \left(\frac{\chi_H}{2}\right) \cdot (32) + \left(\frac{\chi_S}{32}\right) \cdot (32) - \chi_O \quad \Rightarrow \quad O_t \text{ (kg)} = \frac{8}{3} \chi_C + 8\chi_H + \chi_S - \chi_O$$

Consumo mínimo específico de aire (L_t):

$$L_t = \frac{O_t}{0.232}$$

Consumo mínimo de aire para quemar completamente 1 kg de combustible

Consumo real de aire:

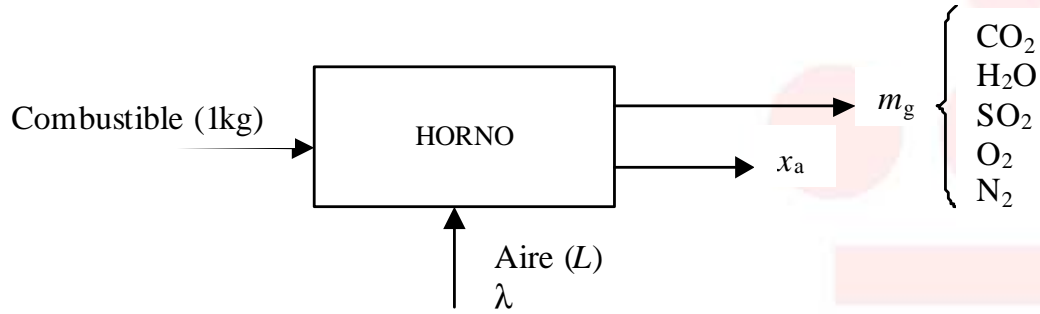
$$L = L_t (1 + \lambda) \quad \lambda = \text{Coeficiente de exceso}$$

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

Principios básicos de Termodinámica

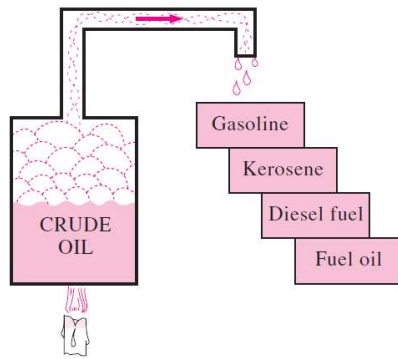
Combustión

2 Aire



Aire → gases + cenizas $\Rightarrow 1 + L = m_g + m_a \Rightarrow m_g = 1 + L(1 + \lambda) - m_a$

Combustible $AC = \frac{m_{aire}}{m_{comb}}$



A comparison of some alternative fuels to the traditional petroleum-based fuels used in transportation

Fuel	Energy content kJ/L	Gasoline equivalence,* L/L-gasoline
Gasoline	31,850	1
Light diesel	33,170	0.96
Heavy diesel	35,800	0.89
LPG (Liquefied petroleum gas, primarily propane)	23,410	1.36
Ethanol (or ethyl alcohol)	29,420	1.08
Methanol (or methyl alcohol)	18,210	1.75
CNG (Compressed natural gas, primarily methane, at 200 atm)	8,080	3.94
LNG (Liquefied natural gas, primarily methane)	20,490	1.55

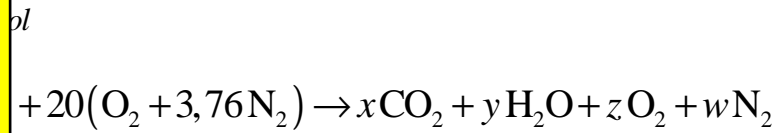
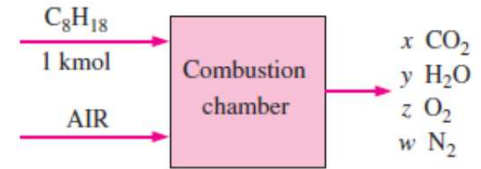
ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVIÁ WHATSAPP: 689 45 44 70

Principios básicos de Termodinámica

Ecuación de Combustión

El octano (C_8H_{18}) se quema con aire que contiene 20 kmol de O_2 , como se muestra en la figura. Los productos contienen sólo CO_2 , H_2O , O_2 y N_2 , determine el número de moles en cada gas en la mezcla aire-combustible para este proceso de combustión.



Combustible + Aire \rightarrow gases

aire / kg combustible

Termodinámica
Tecnología

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70

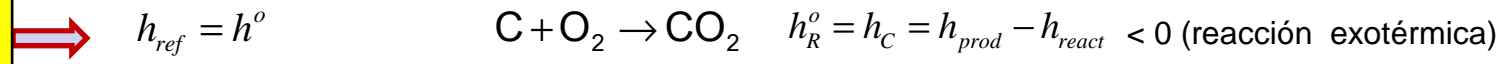
Principios básicos de Termodinámica

o

en la combustión completa de 1 Kg de combustible suponiendo que combustible, comburente y gases de encuentran a la misma temperatura.

$$-\Delta E_{química} \Rightarrow \Delta E_{estado} = 0 \quad \Delta E_{química} \Rightarrow Q = H_{prod} - H_{react} \Rightarrow H_{react} = 0$$

normalizando a la masa



$$h_{f,CO_2}^o = -393,52 \text{ kJ / kmol}$$

calórico $P_c^o = h_C$

que el agua formada en la combustión se encuentre en estado líquido o gas se define:

calorífico superior (PCS): agua en estado líquido

calorífico inferior (PCI): agua en estado gaseoso

$$PCS = PCI + (m h_{fg})_{H_2O}$$

Química
Tecnología

CLASES PARTICULARES, TUTORÍAS TÉCNICAS ONLINE
 LLAMA O ENVÍA WHATSAPP: 689 45 44 70
 ONLINE PRIVATE LESSONS FOR SCIENCE STUDENTS
 CALL OR WHATSAPP: 689 45 44 70