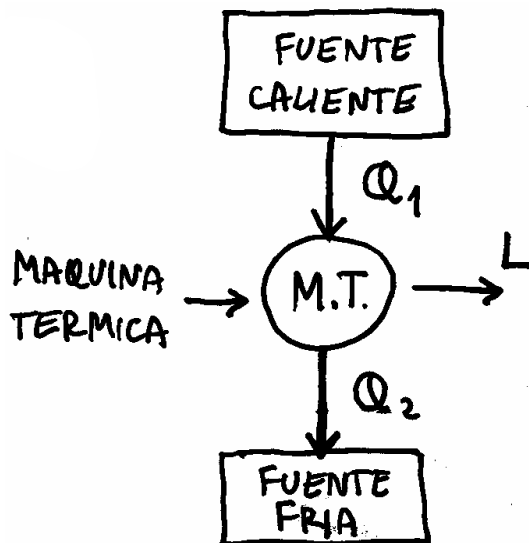


# SEGUNDO PRINCIPIO

## DE LA

# TERMODINAMICA

- \* ENTROPIA
  - \* EVOLUCION REVERSIBLE
  - \* MAQUINA TERMICA
  - \* RENDIMIENTO DE CARNOT
  - \* MAQUINAS FRIGORIFICAS
- 



$$|Q_1| = |Q_2| + |L|$$

$$\eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$$

↑  
RENDIMIENTO DE UNA  
MÁQUINA TERMICA

---

# SEGUNDO PRINCIPIO DE LA TERMODINAMICA

El tema de 2do principio es un poco complicado. Formulas difíciles, conceptos poco intuitivos, cosas sacadas de la galera y demás. En un tema que no se lo podés preguntar a tu papá o a tu tío ingeniero porque no lo van a saber. A lo sumo te van a decir que se acuerdan que era un tema medio inentendible. Aparte de esto, no hay lugar como la gente de donde uno pueda leer el tema de 2do principio. Conclusión: Yo voy a tratar de explicarte un poco como es el asunto. Pero no esperes entender perfectamente este tema. Nadie entiende del todo bien el 2do principio de la termodinámica. Yo voy a mostrarte las principales fórmulas sin hilar finito. La idea es que puedas tratar de entender un poco. Hecha estas aclaraciones, empiezo.

## CONCEPTO DE 2<sup>DO</sup> PRINCIPIO

El 2<sup>do</sup> principio de la termodinámica tiene 20 formas diferentes de ser enunciado. Te pongo acá algunos de esos enunciados.

- 1 - El trabajo se puede transformar totalmente en calor. El calor no se puede transformar totalmente en trabajo.
- 2 - El calor pasa siempre de los cuerpos calientes a los cuerpos fríos.
- 3 - El desorden de un sistema aislado siempre tiende a aumentar.
- 4 - La entropía del universo siempre aumenta.
- 5 - Una máquina térmica necesita siempre 2 fuentes para poder funcionar: una fría y otra caliente
- 6 - Toda evolución que ocurre en la realidad hace que la entropía del universo aumente.
- 7 - No hay manera de hacer que la entropía del universo disminuya.
- 8 - Toda aparato que funcione tira calor a la atmósfera.
- 9 - Todo sistema tiende a llegar al equilibrio.

Todas estas frases referidas al 2do principio necesitan bastante explicación. Así puestas no parecen decir mucho. Después voy a tratar de explicarte el asunto con un poco más de detalle.

### ENTROPIA (s) (Atento)

Si un cuerpo que está a temperatura constante  $T$  recibe una cierta cantidad de calor, la variación de entropía que tiene se calcula con esta fórmula:

$$\Delta S = \frac{Q}{T}$$

← CALCULO DE LA VARIACIÓN DE ENTROPIA

En esta fórmula  $Q$  es el calor entregado o recibido.  $T$  es la temperatura en Kelvin.

$$\Delta S = \frac{Q}{T}$$

← CALOR ENTREGADO o RECIBIDO PUEDE SER  $\oplus$  o  $\ominus$ .

← TEMPERATURA A LA QUE FUE ENTREGADO EL CALOR. VA EN KELVIN. DEBE SER cte.

Atención, esta fórmula sólo se puede usar SI LA TEMPERATURA ES CONSTANTE.

Hay 2 casos típicos en dónde se puede usar esta ecuación:

1) - Cuando uno tiene hielo que se derrite o agua que se congela. Ídem si uno tiene agua que se está evaporando o vapor que se está condensando. En estas situaciones la temperatura se mantiene constante o en cero grados ( 273 K ) o en 100 °C ( 373 K ).

2) - Cuando una fuente de calor de una máquina térmica entrega o recibe calor. Se supone que una fuente térmica es algo gigantescamente grande ( por ejemplo, la atmósfera o el océano ). Así que al entregar o recibir calor, la temperatura de la fuente no varía.

### UNIDADES DE LA ENTROPIA

La entropía se calcula como  $Q/T$ , de manera que las unidades van a ser Joule / Kelvin o Kcal / Kelvin

$$[S] = \frac{\text{Joule}}{\text{Kelvin}} \text{ o } \frac{\text{Kilocal}}{\text{Kelvin}}$$

← Unidades de la entropía.

### IMPORTANTE AL USAR LA FÓRMULA $\Delta S = Q / T$ :

\* El calor  $Q$  tiene signo. Vos tenés que ponerlo con el signo que corresponda. Si entra

calor al sistema,  $Q$  es positivo y la entropía aumenta. Si sale calor del sistema,  $Q$  es negativo y la entropía disminuye

\* En la fórmula  $\Delta S = Q / T$  la temperatura va siempre EN KELVIN. ( Ojo )

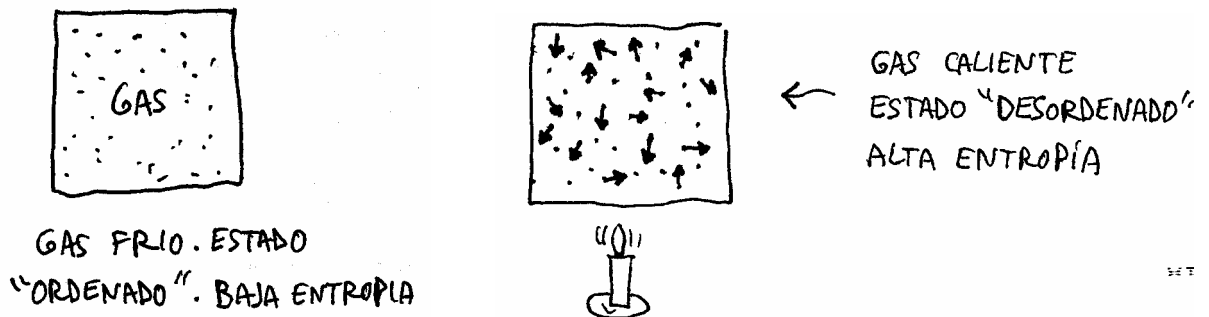
### ¿ QUÉ ES LA ENTROPÍA ?

Se dice que cuando un sistema se desordena, aumenta su entropía. Ahora, ¿ Qué significa decir que un sistema " se desordene " ?

Rta: Bueno, esto es un poco difícil de explicar. A grandes rasgos el concepto de desorden que ellos usan acá en física es parecido al que vos usas en la vida diaria. Si en tu pieza todo está en su lugar como corresponde, uno dice que la pieza está ordenada. Si está todo tirado por el piso y todo revuelto, uno dice que la pieza está desordenada.

Desde el punto de vista de la termodinámica y sin hilar finito se puede decir así:

Imaginate que tengo un gas en un cilindro. Si caliento el gas, sus moléculas se empiezan a mover caóticamente. Golpean unas contra otra. Se dice que al calentar, el gas " se desordena ". Su entropía aumenta.



Resumiendo:

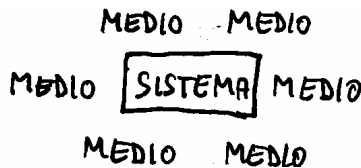
LA ENTROPÍA ES EL GRADO DE DESORDEN DE UN SISTEMA

Una de las maneras de cambiar la entropía de un sistema es calentarlo o enfriarlo. Al calentar algo, estoy aumentando su entropía. Al enfriar algo, estoy disminuyendo su entropía. Ahora ojo, calentar o enfriar no son la únicas maneras de cambiar la entropía de algo. Ejemplo: Vos agarrás una lata y ponés adentro una pila de monedas toda ordenadita. Tapás la lata y la dejás todo en el piso. Ahora le das una patada.

Todas las monedas se desordenaron. El sistema se desordenó. Su entropía aumentó. Lo que quiero que veas en este ejemplo es que la entropía del sistema aumentó pero no hubo calor entregado.

SISTEMA Y MEDIO

Cuando uno calcula la entropía, tiene que aclarar a qué le llama sistema y a qué le llama medio. Sistema va a ser el cuerpo que vos estás considerando. (La mayoría de la veces va a ser el gas en el cilindro). El medio va a ser todo lo que rodea al sistema.



El Universo va a ser el conjunto de sistema + medio.

$$\text{SISTEMA} + \text{MEDIO} = \text{UNIVERSO}$$

Uno puede calcular la entropía del sistema, del medio o del universo. Siempre se tiene que cumplir que la variación de entropía del sistema + la variación de entropía del medio tiene que ser igual a la variación de entropía del Universo.

$$\Delta S_{\text{SIST}} + \Delta S_{\text{MEDIO}} = \Delta S_{\text{UNIV}}$$

FORMULAS PARA CALCULAR VARIACIONES DE ENTROPIA

Estas fórmulas que pongo ahora no dan la entropía del sistema, dan LA VARIACIÓN de entropía ( Ojo ). Uno puede calcular la variación de entropía de cualquier cosa. Esa cosa puede ser una piedra, una máquina, un gas, un avión, un pájaro o un ser humano. En la mayoría de los casos, vos siempre vas a tener que calcular variaciones de entropía para gases ideales encerrados en cilindros. Para esos casos van estas fórmulas que pongo acá. La deducción de estas ecuación es un poco complicada. Salen de resolver una integral.

ENTROPIA PARA UNA EVOLUCIÓN A P = cte

Esta ecuación se usa cuando uno quiere calcular la variación de entropía para un cuerpo que se calienta ( o se enfría ) a presión constante desde una temperatura T<sub>0</sub> hasta una temperatura T<sub>FINAL</sub>. La fórmula es :

$$\Delta S = c_p m \ln \frac{T_F}{T_0} \quad \leftarrow \text{VARIACIÓN DE ENTROPIA PARA UNA EVOLUCIÓN ISOBÁRICA (p = cte)}$$

$\Delta S$  es la variación de entropía.  $C_p$  es el calor específico a presión constante.  $T_0$  y  $T_{FINAL}$  son las temperaturas inicial y final del cuerpo. Ojo, las temperaturas van en Kelvin.

Ejemplo:

Se calientan 2 litros de agua en una pava de 20 °C a 100 °C.  
Calcular la variación de entropía del agua.

**Rta:** Se supone que el agua de la pava está todo el tiempo a presión atmosférica. Por lo tanto es una evolución a presión constante. Planteo:

$$\Delta S = C_p m \ln ( T_F / T_0 )$$

$$\rightarrow \Delta S = 1 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg K}} 2 \text{ kg} \times \ln \frac{373 \text{ K}}{293 \text{ K}} = 0,48 \frac{\text{Kcal}}{\text{K}}$$

Fijate que puse el  $c_p$  en Kcal / kg Kelvin. Esto se puede hacer porque 1 grado centígrado mide lo mismo que un grado Kelvin.

ENTROPIA PARA UNA EVOLUCIÓN A V = Cte

$$\Delta S = C_v m \ln \frac{P_F}{P_0} \quad \leftarrow \text{VARIACIÓN DE ENTROPIA PARA UNA EVOLUCIÓN ISOCÓRICA (V = cte)}$$

Ejemplo:

Se ponen 2 moles de un gas monoatómico dentro de un cilindro rígido. Se calienta el gas desde  $P_0 = 1$  atmósfera a  $P_F = 5$  Atm.  
Calcular su variación de entropía.

**Rta:** Se supone que al ser el cilindro rígido, su volumen no varía. Por lo tanto es una evolución a volumen constante. Planteo:

$$\Delta S = C_v n \ln ( P_F / P_0 )$$

Como es un gas monoatómico, puedo poner que  $C_v = 3/2 R$ . Entonces:

$$\rightarrow \Delta S = \frac{3}{2} \cdot 0,082 \frac{\text{l. atm}}{\text{K mol}} \cdot 2 \text{ moles} \times \ln \frac{5 \text{ Atm}}{1 \text{ Atm}} = 0,39 \frac{\text{Litro. Atm}}{\text{K}}$$

$$\Delta S = 0,0039 \frac{\text{Joule}}{\text{K}}$$

### CALCULO DE LA ENTROPIA PARA UNA EVOLUCIÓN ISOTERMICA

La fórmula que pongo ahora te da la variación de entropía para un gas que pasa de un volumen  $V_0$  a un volumen  $V_F$  en forma isotérmica

$$\Delta S_{\text{isot}} = n R \ln \frac{V_F}{V_0} \quad \leftarrow \text{VARIACIÓN DE ENTROPIA PARA UNA EVOLUCIÓN ISOTERMICA (UNICAMENTE)}$$

Recordar que en las 3 fórmulas que te di para calcular variaciones de entropía vale la ecuación de los gases ideales:

$$\frac{P_0 N_0}{T_0} = \frac{P_F \cdot N_F}{T_F} \quad \leftarrow \text{ECUACION DE LOS GASES IDEALES}$$

Quiere decir que

$$\text{Si } p = \text{cte} \Rightarrow \frac{N_0}{T_0} = \frac{N_F}{T_F} \Rightarrow \frac{T_F}{T_0} = \frac{N_F}{N_0}$$

$$\text{Si } N = \text{cte} \Rightarrow \frac{P_0}{T_0} = \frac{P_F}{T_F} \Rightarrow \frac{P_F}{P_0} = \frac{T_F}{T_0}$$

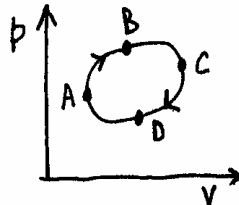
Entonces, en la parte del logaritmo de las fórmulas se puede reemplazar  $T_F/T_0$  por  $V_F/V_0$  y también  $P_F/P_0$  por  $T_F/T_0$

### CALCULO DE LA ENTROPIA PARA UNA EVOLUCIÓN ADIABATICA

No hay fórmula para calcular la variación de entropía en una evolución adiabática. Lo único que se puede decir es que El delta S en una evolución adiabática va a ser CERO si la evolución es reversible.

CALCULO DE LA ENTROPIA PARA UNA EVOLUCIÓN EN UN CICLO

La Entropía es una función de estado. Quiere decir que la variación de entropía va a depender solamente de los estados inicial y final. En un ciclo, el estado inicial es igual al estado final. Por lo tanto,  $\Delta S_{CICLO} = 0$



$\Delta S_{CICLO} = 0$

RESUMEN POLENTA ( = CUADRO SALVADOR PARA CALCULAR VARIACIONES DE ENTROPIA)

EVOLUCIÓN	$\Delta S =$
$p = cte$ (ISOBARA)	$C_p m \ln \frac{T_f}{T_o}$
$N = cte$ (ISOCORA)	$C_v m \ln \frac{T_f}{T_o}$
$T = cte$ (ISOTÉRMICA)	$m R \ln \frac{V_f}{V_o}$
$Q = 0$ (ADIABÁTICA)	0 solo en el caso de que sea adiabática reversible
CICLO	0

← CUADRO SALVADOR PARA CALCULAR VARIACIONES DE ENTROPIA

SISTEMA AISLADO

Un sistema es aislado si nada puede entrar o salir de él. Cuando digo " nada " quiero decir nada, es decir, ni materia, ni energía, ni calor, ni trabajo, ni nada. Atención, un cilindro adiabático no es un sistema aislado. Un gas puesto en un cilindro adiabático no puede recibir calor. Pero si la tapa del cilindro es móvil, puede recibir o entregar trabajo.

Ahora, atención a esto: El universo es un sistema aislado. El universo " no tiene afuera ". Por lo tanto , nada puede salir ni entrar a él. ¿ Conclusión ?



Todo lo que yo diga para un sistema aislado, vale para el universo. Todo lo que yo diga para el universo, vale para un sistema aislado. Por ejemplo, dentro de un rato te voy a decir una de las frases del millón que es: EN TODO SISTEMA AISLADO LA ENTROPIA SOLO PUEDE AUMENTAR, NUNCA PUEDE DISMINUIR. A LO SUMO, LA ENTROPIA DE ESE SISTEMA AISLADO PUEDE MANTENERSE CONSTANTE SI LA EVOLUCIÓN QUE OCURRIÓ FUE REVERSIBLE.

Esta frase dicha para un sistema aislado, también vale para el universo.

### EVOLUCION CUASIESTATICA

Cuasi-estática = Casi estática. Una evolución cuasiestática es una evolución que se produce en forma infinitamente lenta. Cuando se dice "en forma infinitamente lenta" no quiere decir que la evolución dure un día o una semana o un mes. Infinitamente lenta quiere decir que dura millones de años. Las evoluciones cuasiestáticas no existen en la realidad. Son un invento para poder definir "Evolución reversible"

### EVOLUCION REVERSIBLE

Una evolución reversible es una evolución que se produce en forma infinitamente lenta (= cuasiestática), sin rozamiento y con calor que se transfiere con una mínima diferencia de temperatura entre sistema y medio. Toda evolución que aparezca en la realidad real es irreversible. Es decir, no se produce en forma cuasiestática ni con rozamiento cero. Las evoluciones reversibles no existen en la realidad. Son un invento para poder tener un caso donde no varíe la entropía del universo.

Lo único que tenés que saber respecto de las evoluciones reversibles es que cuando se produce una evolución reversible, el universo no cambia su entropía. O sea, cuando un sistema tiene una evolución reversible, la entropía del universo no aumenta. Queda igual. La evolución reversible es el único tipo de evolución que hace que no aumente el desorden en el universo.

En una evolución cualquiera, la entropía de un sistema puede disminuir o puede aumentar. (Ojo, ahora estoy hablando de la entropía del sistema, no la del universo). Pero al ocurrir esta evolución, la entropía de todo el universo en su conjunto tiene que aumentar. (Atento). Si por algún motivo la entropía del universo se mantiene constante, entonces la evolución que tuvo el sistema tiene que haber sido una evolución reversible.

$$\Delta S_{univ} = 0 \leftarrow \text{SOLO VALE PARA EVOLUCIÓN REVERSIBLE}$$

Por favor recordá que todo esto que te estoy diciendo para el universo vale en realidad para cualquier sistema aislado. Es decir, cualquier sistema en donde nada pueda entrar ni salir de él. Ellos suelen poner esto así:

$$\Delta S_{UNIV} = \text{SIEMPRE } \oplus \text{ (o CERO)}$$

$$\Delta S_{UNIV} \geq 0$$

↑  
MAYOR  
o IGUAL

Entonces, ¿qué es una evolución reversible en la realidad ?

Rta: Bueno, difícil de explicar. Una evolución reversible es una evolución que tiene variación de entropía del universo = a cero. La entropía del universo no aumenta ni disminuye en una evolución reversible. En la práctica una evolución es reversible si uno puede hacer la evolución al revés de manera que el universo no se entere de que esa evolución ocurrió.

Para hacer una evolución reversible el sistema tiene que pasar del punto A al punto B en forma infinitamente lenta, sin que haya rozamiento y transfiriendo calor sin que haya diferencia de temperatura entre el sistema y el medio. Si pensás un poco, te vas a dar cuenta que lograr una evolución reversible es algo imposible. Y es así. Las evoluciones reversibles son algo teórico. No existen en la realidad. Toda evolución real de un sistema es irreversible.

### EL UNIVERSO NO TIENE " DESHACER ACCIÓN "

Suponé que vos tirás un vaso de vidrio al piso. El vaso se rompe en muchos pedazos. ¿ se puede volver la situación atrás ?

Rta: Bueno, uno podría agarrar todos los pedazos y pegarlos. Pero la situación no sería exactamente igual a la situación original-original de la que partiste. No es lo mismo un vaso sano, que un vaso roto y todo pegoteado. Romper un vaso es una evolución irreversible. El universo se entera de que el vaso fue roto. El universo no es el mismo con el vaso sano que con el vaso roto y pegoteado. La evolución fue irreversible. La entropía del universo aumentó al romper el vaso.

Suponé que vos agarrás y le decís a tu novio que no lo querés más y que se vaya al diablo. ¿ Podés volver la situación atrás ?

Rta: Como poder, podés. Podés llamarlo a los 5 minutos y decirle que te perdona y que querés volver. (Bah, bah, siempre dicen lo mismo. Primero lo insultan a uno y después quieren volver). La cosa es que tal vez tu novio vuelve y todo está " como era

antes". Vos decís: Bueno, nada cambió. Todo bien. Pero en realidad no es así. Nada está "exactamente como era antes". Tu novio sabe que vos lo pateaste y que después te arrepentiste. No es lo mismo.

Resumiendo, vos fijate lo que pasa en la computadora. Si vos borrás algo en la máquina, no hay problema. Ponés "deshacer acción" y asunto solucionado. ( Undo ). El universo no tiene "deshacer acción". Una vez que hiciste algo, no podés volver atrás. O sea, como poder, podés, pero nunca podrás volver **EXÁCTAMENTE** a la situación original - original de la que partiste. No hay vuelta atrás.

Entonces una evolución reversible sería una evolución en donde teóricamente hablando " se podría volver todo atrás como si nada hubiera pasado". Repito: Las evoluciones reversibles no existen en la realidad. Son imposibles. Pero uno puede considerar que " teóricamente " podrían llegar a existir.

---

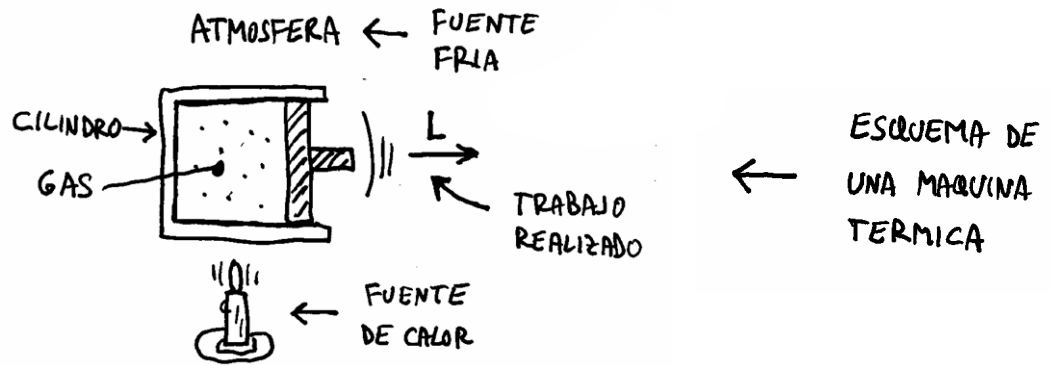
### MAQUINAS TERMICAS

Una máquina térmica es un aparato que transforma calor en trabajo. Vos le entregás calor, ella te entrega trabajo. Estas máquinas térmicas funcionan con una fuente fría y una fuente caliente. La fuente caliente suele ser una caldera donde se mete leña. La fuente fría suele ser la atmósfera. Por ejemplo, son máquinas térmicas los motores de los autos, las locomotoras antiguas, las viejas máquinas de vapor y cosas por el estilo. En realidad cualquier máquina que funcione con calor es una máquina térmica. Por ejemplo una heladera también es una máquina térmica.

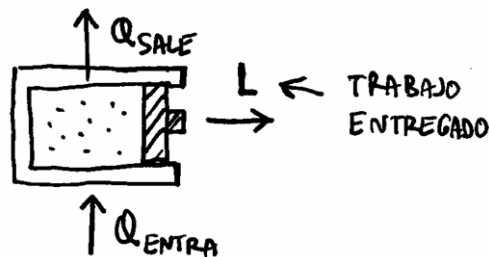
En principio una máquina térmica es un aparato hecho con tuercas y tornillos como una locomotora o el motor de un auto. Pero en realidad una máquina térmica es cualquier cosa que agarra calor y lo transforma en trabajo. Visto de esta manera, el cuerpo humano también es una maquina térmica. Vos le das calor al cuerpo en forma de energía química con los alimentos y él te lo transforma en trabajo. Ese trabajo puede ser correr, andar en bicicleta, subir una montaña o lo que sea.

Todo muy lindo pero en la práctica para resolver los problemas hay que considerar que una máquina térmica es un cilindro con gas al que se le entrega calor. Vos le entregás calor, el gas se expande, el pistón del cilindro se mueve y con ese movimiento uno puede realizar un trabajo.

Por ejemplo un pistón en movimiento puede abrir y cerrar una puerta, puede mover un auto, puede levantar un ascensor, lo que sea. Es decir, una máquina térmica sería algo así:



Desde el punto de vista de la termodinámica uno dice que tiene un sistema que es un gas encerrado dentro de un cilindro. Ese gas recibe calor de una fuente de calor. Lo llamo  $Q_{ENTRA}$ . La máquina usa ese calor  $Q_{ENTRA}$  para expandir el gas. El gas se expande y genera un trabajo  $eL_e$ . Pero todo el calor  $Q_{ENTRA}$  no puede ser aprovechado. Hay una parte que se pierde y se va a la atmósfera. A ese calor desaprovechado lo llamo  $Q_{SALE}$ . Mirá el dibujito:



Supongamos que hago entrar 100 Kilocalorías al gas del cilindro. Ponele que de esas 100 Kcal logro aprovechar 10 Kcal para realizar trabajo y el resto se pierde. Puedo decir que :

$Q_{ENTRA} = 100 \text{ Kcal}$ ,  $L_{REALIZADO} = 10 \text{ Kcal} (= 41.860 \text{ Joule})$ ,  $Q_{SALE} = 90 \text{ Kcal}$   
 Para obtener el calor perdido hice la cuenta  $Q_{Sale} = 100 \text{ Kcal} - 10 \text{ Kcal}$ . Conclusión, la fórmula que voy a usar de ahora en adelante para las máquinas térmicas es la que dice que todo el calor que entra a la máquina sale parte en forma de trabajo y parte en forma de calor que se pierde en la fuente fría. Es decir:

$$|Q_{ENTRA}| = |L_{REALIZADO}| + |Q_{SALE}|$$

Pongo todo en valor absoluto para no tener problemas con los signos. Si llamo  $Q_1$  al calor que entra y  $Q_2$  al calor que sale puedo poner :

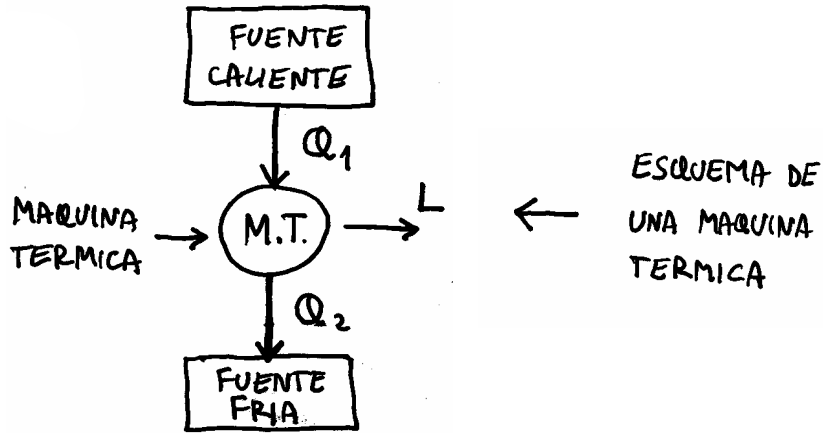
$$|Q_1| = |Q_2| + |L|$$

O Lo que es lo mismo:

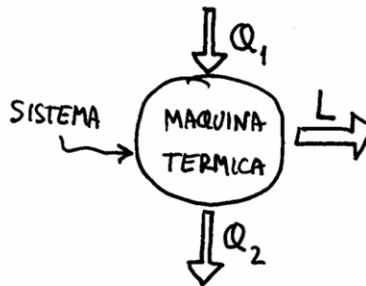
$$|L| = |Q_1| - |Q_2|$$

← FÓRMULA PARA LAS MÁQUINAS TÉRMICAS

No hay que complicarse mucho. Todo este asunto de tener un cilindro con un gas encerrado al que se le entrega calor y realiza trabajo es la famosa máquina térmica. Para las máquinas térmicas se usa un dibujito que tenés que saberlo porque se usa todo el tiempo. Se la simboliza así:



Ellos dicen que la máquina térmica evoluciona siguiendo ciclos. Esto está bien porque el gas que está adentro se calienta, se expande, realiza trabajo, se enfría y finalmente se contrae. Ahí otra vez se le entrega calor y el ciclo vuelve a empezar. Dentro de la máquina térmica, el sistema es el gas. Todo lo que yo planteo de acá en adelante para la máquina térmica, en realidad lo estoy planteando para el gas dentro del cilindro. Repito: mi sistema es el gas. Es decir que lo que en realidad tengo es esto :



De acá sacamos una conclusión importante que es esta: como el gas de adentro evoluciona haciendo ciclos,  $\Delta U_{\text{gas}} = 0$ . Cuando digo  $\Delta U_{\text{gas}} = 0$  quiero decir que para la máquina térmica  $\Delta U = 0$ . Esto es así porque en realidad la máquina térmica es el gas que tiene adentro. Entonces, recuadremos:

PARA UNA MÁQUINA TÉRMICA  
LA VARIACIÓN DE ENERGÍA  
INTERNA ES CERO PORQUE  
LA MÁQUINA EVOLUCIONA EN  
FORMA CÍCLICA.

$\Delta U = 0$  PARA UNA  
MÁQUINA TÉRMICA

### RENDIMIENTO DE CARNOT

Para las máquinas térmicas se define una cosa que se llama rendimiento de Carnot. Se lo pone como  $\eta_{\text{CAR}}$ . La letra  $\eta$  se lee "Eta". La máquina térmica siempre funciona entre 2 temperaturas  $T_1$  y  $T_2$ . Estas temperaturas son las de la fuente caliente las de la fuente fría y. El rendimiento de Carnot depende de esas temperaturas  $T_{\text{FRÍA}}$  y  $T_{\text{CALIENTE}}$ . El  $\eta_{\text{CAR}}$  se calcula así:

$$\eta_{\text{CAR}} = 1 - \frac{T_{\text{FRÍA}}}{T_{\text{CAL}}}$$

← RENDIMIENTO  
DE CARNOT

Atención, las temperaturas  $T_1$  y  $T_2$  de la fórmula van siempre **EN KELVIN**.

El rendimiento de Carnot siempre es un número menor que 1. Por ejemplo 0,25 (= 25 %). Lo que hace este número es darme una idea del **máximo** trabajo que puede realizar una máquina térmica ideal. Una máquina térmica real tiene cierto rendimiento. Ese rendimiento **NUNCA** puede ser mayor que el rendimiento de la máquina térmica ideal de Carnot.

### RENDIMIENTO REAL DE UNA MÁQUINA TÉRMICA

El rendimiento de Carnot es el máximo rendimiento que puede tener una máquina térmica. Este rendimiento es algo teórico. Nunca se puede alcanzar. El rendimiento real que tiene una máquina térmica es siempre **menor** que el rendimiento de Carnot. Este  $\eta_{\text{REAL}}$  que se obtiene se calcula haciendo la relación entre el calor que entrego y

el trabajo que obtengo. O sea:

$$\eta = \frac{L_{\text{REALIZADO}}}{Q_{\text{SUMINISTRADO}}}$$

ETA → ← RENDIMIENTO DE UNA MÁQUINA TÉRMICA (NO ES EL DE CARNOT)

El trabajo realizado es el calor entregado menos el calor que se pierde en la fuente fría. Es decir,  $L = Q_1 - Q_2$ . Me queda:

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$$

$$\eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$$

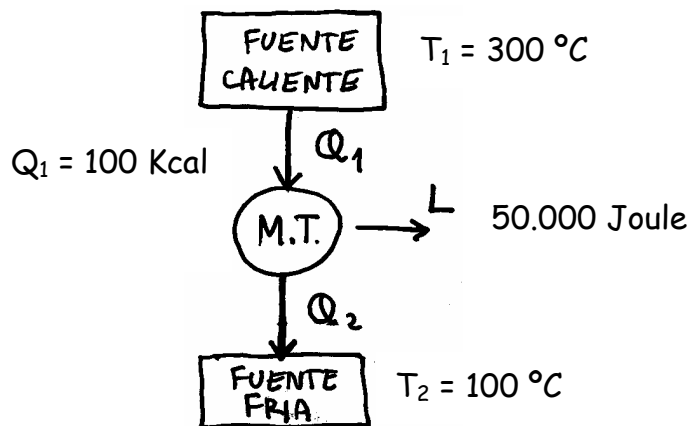
← RENDIMIENTO DE UNA MÁQUINA TÉRMICA

**Ejemplo:**

Una máquina térmica trabaja entre 2 temperaturas  $T_1 = 300 \text{ }^\circ\text{C}$  y  $T_2 = 100 \text{ }^\circ\text{C}$ . Se le entrega a la máquina una cantidad de calor  $Q_1 = 100 \text{ Kcal}$ . La máquina entrega un trabajo de 50.000 Joule. Calcular:

- a) – El rendimiento de la máquina térmica.
- b) – El rendimiento máximo que podría llegar a tener esa máquina térmica.
- c) – El calor que se pierde en la fuente fría.

Solución: Hago un dibujito:



Paso las temperaturas a Kelvin:  $T_1 = 300 \text{ }^\circ\text{C} = 573 \text{ Kelvin}$ .  $T_2 = 100 \text{ }^\circ\text{C} = 373 \text{ Kelvin}$ . Paso 50 mil Joule a Kilocalorías:  $50.000 / 4186 = 11,95 \text{ Kcal}$ . Hago las cuentas:

$$\eta = \frac{L_{\text{REALIZADO}}}{Q_{\text{SUMINISTRADO}}}$$

→  $\text{Eta} = 11,95 \text{ Kcal} / 100 \text{ Kcal}$

→  $\text{Eta} = 0,1195 = 11,95 \%$

El máximo rendimiento de la máquina térmica es el rendimiento ideal de Carnot. Entonces, uso la fórmula de Carnot:

$$\eta_{\text{CAR}} = 1 - \frac{T_{\text{FRIO}}}{T_{\text{CAL}}}$$

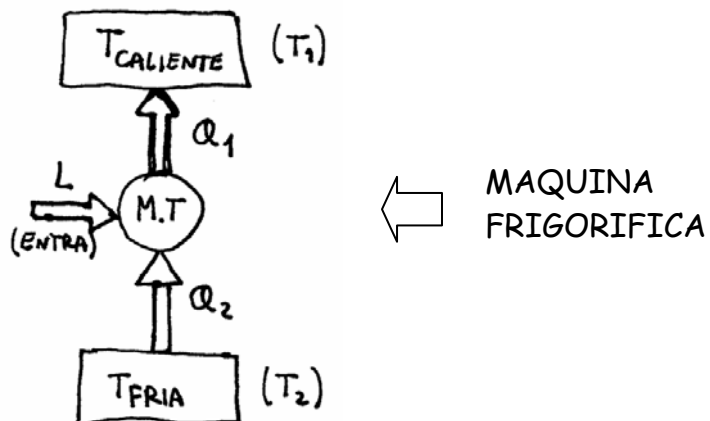
$\text{Eta}_{\text{CAR}} = 1 - 373 \text{ K} / 573 \text{ K}$

→  $\text{Eta}_{\text{CAR}} = 0,349 = 34,9 \%$

Esta máquina térmica No es muy eficiente. Desaprovecha mucho la energía. De cada 100 Kcalorias que se le entregan sólo usa 12 Kcal. Las otras 88 Kcal se pierden. El rendimiento real de esta máquina es del 12 % mientras que el máximo teórico dado por la fórmula de Carnot es del 35 % .

### MAQUINAS FRIGORIFICAS

Las máquinas frigoríficas enfrían. ( Como una heladera ). Sacan calor de una fuente fría y lo tiran a una fuente caliente. Fijate.



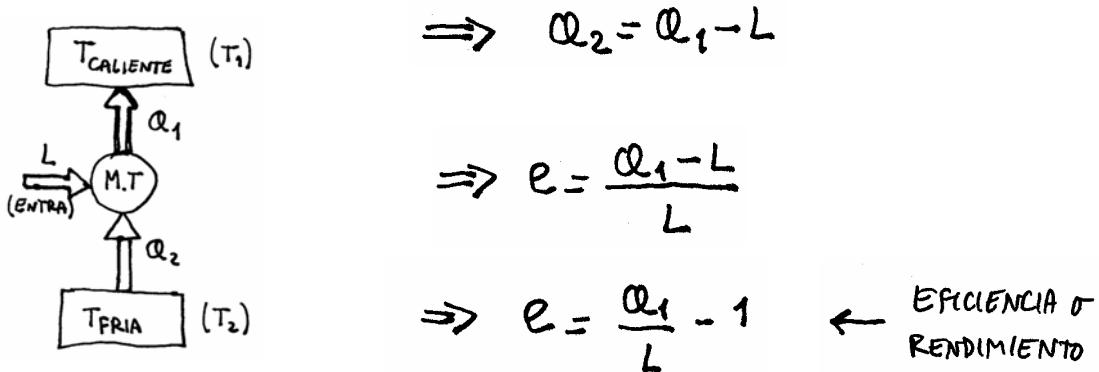


Para poder hacer esto hay que entregar un trabajo  $L$ . Vos le das un trabajo  $L$  en Joules y ella enfría. El dibujito de una máquina frigorífica es al revés que el de una máquina térmica.

La máquina frigorífica saca calor de una fuente que está fría ( el congelador ) y lo tira a la fuente caliente ( el medio ambiente ). En las máquinas frigoríficas no se trabaja con el rendimiento. Se trabaja con la EFICIENCIA (  $e$  ). Tenete por ahí estas fórmulas para calcular la eficiencia de una máquina frigorífica:

$$e = \frac{Q_2}{L} \quad \leftarrow \text{EFICIENCIA PARA UNA MAQUINA FRIGORIFICA}$$

Entonces,  $e = Q_2/L$ . Pero  $|Q_2| + |L| = |Q_1|$  ( Mirá el dibujito de la máquina frigorífica )



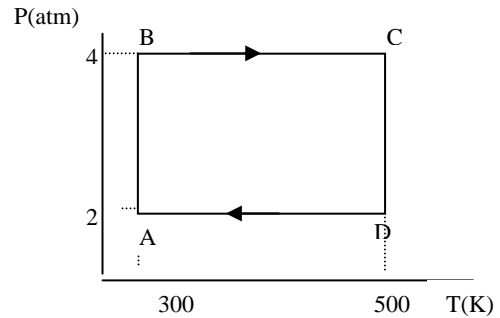
Atención, la eficiencia de una máquina frigorífica es siempre **mayor que 1**.

---

**2do PRINCIPIO - PROBLEMAS DE PARCIALES**

1 - Un mol de gas ideal evoluciona cumpliendo el ciclo en sentido ABCD ¿ Cuáles de las afirmaciones acerca de la variación de entropía del gas (  $\Delta S$  ) es la correcta ?

- a)  $\Delta S_{\text{ciclo}} > 0$       b)  $\Delta S_{ab} = \Delta S_{cd}$
- c)  $\Delta S_{\text{ciclo}} < 0$       d)  $\Delta S_{ab} > \Delta S_{cd}$
- e)  $\Delta S_{ab} < \Delta S_{cd}$     e)  $\Delta S_{ab} = 0$ .



**SOLUCION**

Los tramos AB y CD ocurren a  $T = \text{cte.}$  ( Isotérmica ). Entonces,

$$\Delta S = n R \ln (V_f/V_o)$$

Usando la ecuación de gases ideales, podemos calcular los datos que faltan (  $V_o$  y  $V_f$  ) para cada tramo por separado.

Respuesta (e)  $\Rightarrow \Delta S_{ab} < \Delta S_{cd}$

2 - Una máquina térmica toma, en cada ciclo, una cantidad de calor  $Q_2$  de una fuente a una  $T^\circ = 600 \text{ K}$ ; entrega un calor  $Q_1$  a otra fuente de  $T^\circ = 400 \text{ K}$  y suministra un trabajo  $W$ . Indique entre las opciones de la tabla, el único caso que es posible porque NO viola un principio termodinámico:

Caso	$Q_2(\text{J})$	$Q_1(\text{J})$	$W(\text{J})$
A	10.000	4.185	4.185
B	30.000	0	30.000
C	30.000	22.000	8.000
D	10.000	30.000	20.000
E	30.000	10.000	20.000
F	30.000	18.000	12.000

**SOLUCION**

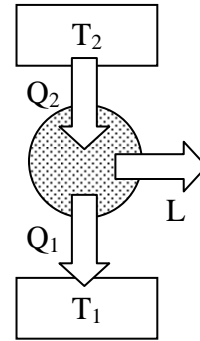
Como es un ciclo,  $W = Q_2 - Q_1$  (según el 1er ppio). Además,  $\Delta S_{\text{total}}$  debe ser mayor que cero por el 2º ppio. ( O a lo sumo igual, pero NUNCA menor). Es decir,

$$\Delta S = \Delta S_1 + \Delta S_2 \geq 0$$

$$Q_1/T_1 + Q_2/T_2 \geq 0$$

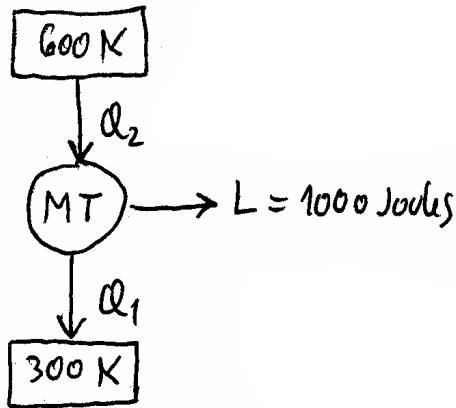
Correcta la (C)

3 -El círculo representa una máquina cíclica (o sea que repite su estado al cabo de un período) que opera entre las temperaturas  $T_2 = 600 \text{ K}$  y  $T_1 = 300 \text{ K}$ . Las flechas verticales indican intercambios de calor, y la horizontal, de trabajo. ¿Qué valores de  $Q_2$  y de  $Q_1$ , entre los que siguen, serían posibles para que la máquina entregue un trabajo de mil joules por ciclo, sin contravenir ninguno de los principios termodinámicos?



- |  |  |   |
|--|--|---|
| <input type="checkbox"/> 1080 J y 80 J   | <input type="checkbox"/> 2000 J y 1800 J | <input type="checkbox"/> 1800 J y 800 J |
| <input type="checkbox"/> 2100 J y 1100 J | <input type="checkbox"/> 1200 J y 200 J  | <input type="checkbox"/> 1300 J y 300 J |

SOLUCION



$$Q_2 = Q_1 + L$$

$$Q_2 = Q_1 + 1000 \text{ Joule}$$

Para la máquina térmica la variación de entropía es CERO. ( La M. T. funciona haciendo ciclos, y en los ciclos  $\Delta S = 0$  ). Entonces, la única variación de entropía estará dada por el medio, o sea, las fuentes caliente y fría. Planteo que la variación de entropía de las fuentes tiene que ser mayor o igual que cero. Me queda:

$$\frac{Q_2(-)}{600 \text{ K}} + \frac{Q_1(+)}{300 \text{ K}} > 0$$

Conclusión: Tengo que agarrar estas últimas dos fórmula y ver si se cumplen para algún par de valores. Voy probando y veo que:

$$\Rightarrow \ominus \frac{2100 \text{ Joule}}{600 \text{ K}} + \frac{1100 \text{ Joule}}{300 \text{ K}} = 0,16 \frac{\text{Joule}}{\text{Kelvin}}$$

Correcta la opción: 2.100 J y 1.100 J

4 - Un recipiente que contiene agua en equilibrio con su vapor a temperatura de 100°C intercambia calor con el medio que se halla a 20°C. Al cabo de 10 segundos se han condensado dentro del recipiente 10 gramos de vapor. ¿Cuál es la variación de entropía (en cal/K) del ambiente en este proceso ?

- a) 14,5    b) -14,5    c) 18,4    d) -18,4    e) 32,9    f) 3,9

**SOLUCION**

La correcta es la (c)  $\Rightarrow \Delta S_{amb} = 18,43 \text{ cal/K}$ . Sabemos que  $\Delta S_{amb} = Q_{amb}/T_{amb}$  (siempre que el proceso sea a T° cte... ojo !! Siempre en kelvins !! ).

$Q_{amb} = - Q_{agua}$  (el calor que pierde el agua es absorbido por el ambiente).  $Q_{agua} = - L_v \cdot m$ . (negativo porque cede calor)  $L_v = 540 \text{ cal/gr}$ . Y con esto sale.

5 - Una barra de latón está en contacto térmico con una fuente térmica de 127 °C por uno de sus extremos y con una fuente térmica de 27 °C por el otro. Al cabo de cierto tiempo se han transferido 1.200 cal por conducción a través de la barra. Se verifica en el proceso:

- a) El sistema formado por ambas fuentes y la barra disminuyó su entropía en 1 cal/K
- b) El sistema formado por ambas fuentes y la barra aumentó su entropía en 1 cal/K
- c) El sistema formado por ambas fuentes y la barra aumentó su entropía en 12 cal/K
- d) La barra aumentó su entropía en 12 cal/K
- e) La barra disminuyó su entropía en 12 cal/K
- f) El sistema formado por ambas fuentes y la barra mantuvo constante su entropía.

**SOLUCION**

Respuesta b)  $\Rightarrow \Delta S_{fuente + barra} = 1 \text{ cal/K}$ . Durante el proceso la barra no absorbe calor, sólo lo transmite, por lo tanto  $\Delta S_{barra} = 0$ . Para saber  $\Delta S_{fuentes}$ , calculamos la variación de entropía de cada fuente ( $\Delta S = Q/T$ ) y las sumamos.