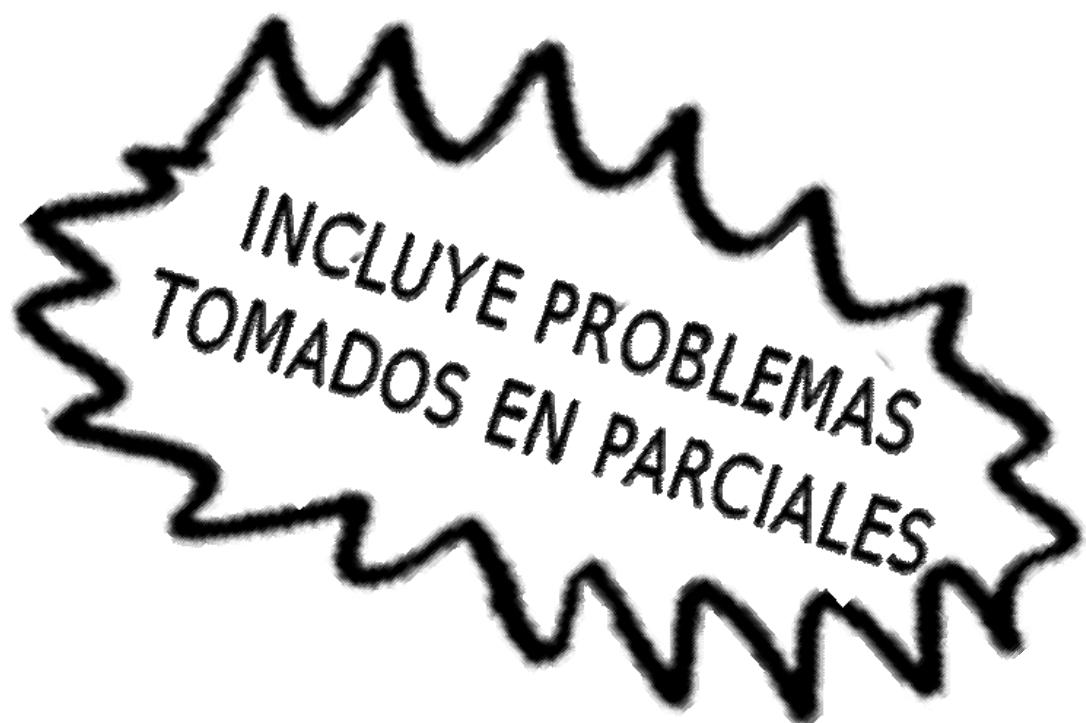


# ASIMOV, BIOFÍ PARA SEGUNDA

LIBRO DE ASIMOV CON TEORIA  
Y EJERCICIOS RESUELTOS.  
TIENE TODOS LOS TEMAS DE LA  
MATERIA HABLADOS  
EN CASTELLANO

# SICA EL CBC PARTE



INCLUYE PROBLEMAS  
TOMADOS EN PARCIALES

**ASIMOV - BIOFISICA PARA EL CBC, Parte 2**



# BIOFISICA

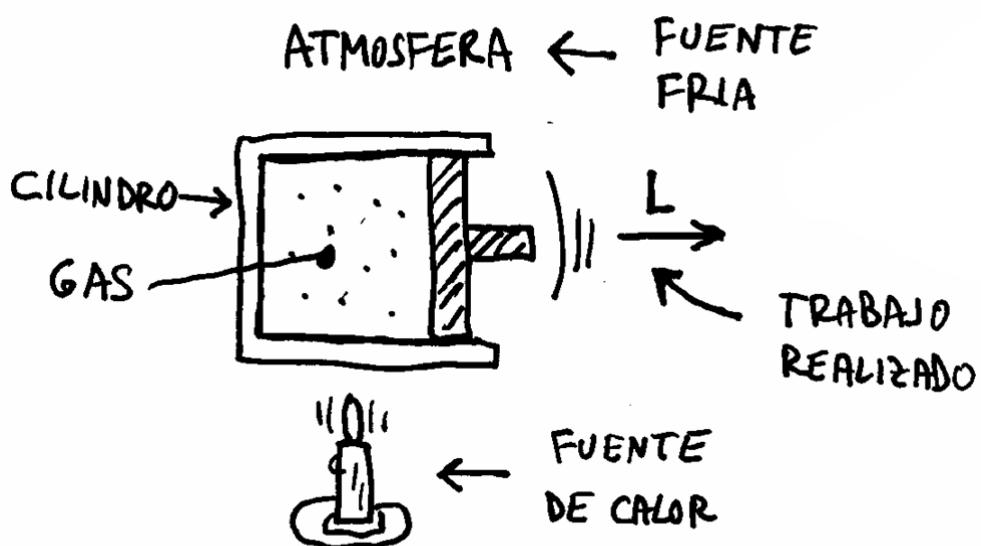
## Para el CBC

- 2<sup>da</sup> PARTE -

---

### ELECTRICIDAD Y CALOR

-Por ANÍBAL-



Biofísica para el CBC, Parte 2

- 2<sup>a</sup>. edición. - Buenos Aires: Editorial Asimov, 2020

232 p.; 21 x 27 cm.

ISBN: 978-987-23534-2-1

Biofísica para el CBC, Parte 2

- 2a ed. - Buenos Aires : Asimov, 2020

v.2, 232 p. ; 20 x 27 cm.

**ISBN 978-987-23534-2-1**

1. Biofísica. Título

CDD 574.19

Fecha de catalogación: Marzo de 2007

© 2007 Editorial Asimov

Derechos exclusivos

Editorial asociada a Cámara del Libro

2<sup>a</sup> edición. Tirada: 50 ejemplares.

Se terminó de imprimir en Septiembre de 2020

**HECHO EL DEPÓSITO QUE ESTABLECE LA LEY 11.723**

Prohibida su reproducción total o parcial

**IMPRESO EN ARGENTINA**

**ASIMOV**

# **BIOFISICA**

## **Para el CBC**

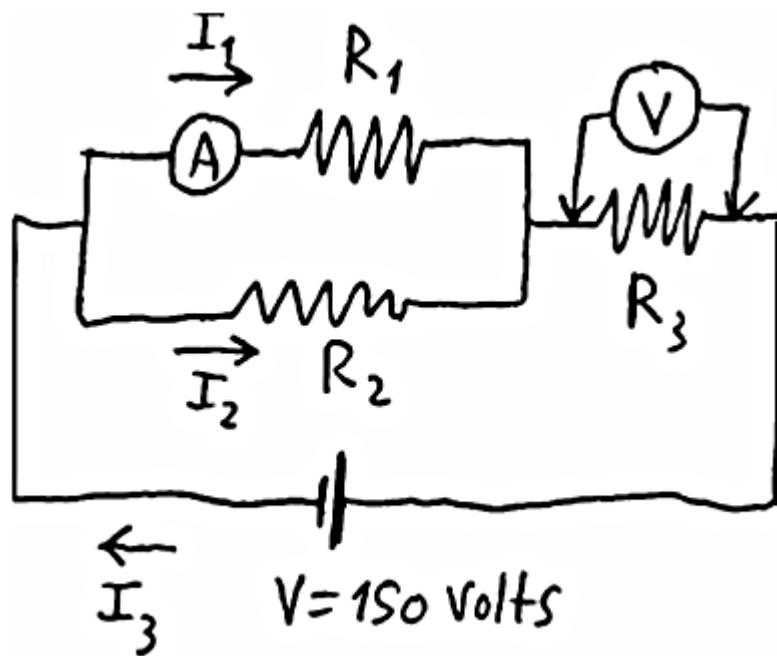
**- 2<sup>da</sup> PARTE -**

---

- \* ELECTROSTATICIA
  - \* CAPACITORES
  - \* RESISTENCIAS
  - \* LEY DE OHM - CIRCUITOS
  
  - \* CALORIMETRIA
  - \* TRANSMISION DEL CALOR
  - \* 1<sup>er</sup> PRINCIPIO
  - \* 2<sup>do</sup> PRINCIPIO Y ENTROPÍA
  - \* MÁQUINAS TERMICAS
-

¿ Ves algo en este libro que no está bien ?  
¿ Encontraste algún error ?  
¿ Hay algo que te parece que habría que cambiar ?  
Mandame un mail y lo corrijo.

[www.asimov.com.ar](http://www.asimov.com.ar)



## BIOFISICA - 2<sup>da</sup> PARTE

Hola. Va acá la teoría de la 2<sup>da</sup> parte de Biofísica. Estos son los temas para el 2<sup>do</sup> parcial. La gente pregunta si esta segunda parte es más difícil que la primera.

Rta: Ermmmm... Bueno, esto depende un poco de cada persona. A grandes rasgos te puedo decir que si la primera parte te pareció fácil, esta te va a parecer más fácil. Pero si la primera parte te pareció difícil, esta te va a parecer más difícil. ( Bienvenido a Biofísica ).

**Importante:** Como siempre, el truco en física está en saber resolver problemas. Eso es lo que te van a tomar. Resolvé los ejercicios de la guía. Buscá otros problemas. Conseguite parciales viejos. Fijate que acá al final de cada tema yo pongo ejercicios y ejemplos. Muchos de esos ejercicios son problemas sacados de parciales. Miralos bien.

Para entender esta segunda parte de la materia hay que saber bastante matemática. Muchas veces te va a parecer que no entendés física. Pero probablemente lo que va a estar pasando es que no estás entendiendo la parte matemática.

Tus profesores te van a decir que esto es fácil, que es siempre lo mismo, que todos los problemas son iguales... Falso. Mienten. En física nada es fácil. ( Bienvenido a la UBA ).

Según el programa, la Unidad 3 es termodinámica y la unidad 4 es electricidad. Sin embargo la mayoría de los docentes dan estos temas al revés. Este cambio de orden se hizo hace algún tiempo porque así lo pidieron las facultades de Medicina, Far-

macia y Odontología. Yo voy a empezar primero con electricidad y voy a seguir después con calor y Termodinámica. Entonces, finalmente el asunto queda así :

## ELECTRICIDAD

\* ELECTROSTATICA - CARGAS ELECTRICAS - CAPACITORES  
- RESISTENCIAS - LEY DE OHM - CIRCUITOS.

## CALOR Y TERMODINAMICA

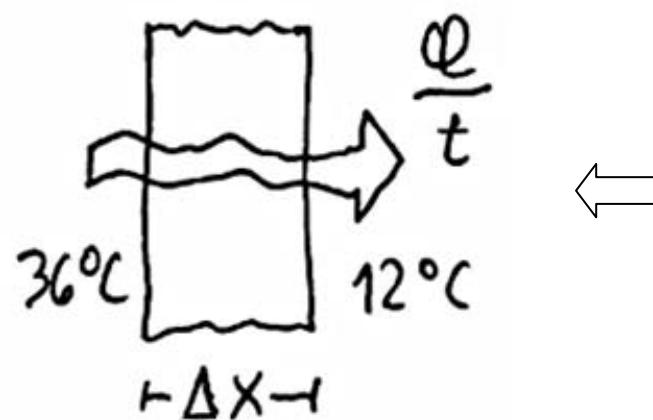
CALORIMETRIA - TRANSMISION DEL CALOR - 1<sup>er</sup> PRINCIPIO  
- 2<sup>do</sup> PRINCIPIO - ENTROPÍA - MÁQUINAS TERMICAS

Al final de todo te puse un súper resumen de todas las fórmulas. Leelo y hacé de ahí tu propio resumen. Acordate que se puede llevar al parcial una hoja con las fórmulas.

Como siempre, ¿ Encontraste algún error en el libro ? ¿ Hay algo que te parece que está mal explicado ? ¿ Querés preguntarme algo ? Estoy del otro lado de la computadora. Mandame un mail ( [www.asimov.com.ar](http://www.asimov.com.ar) )

SUERTE EN EL PARCIAL !

Saludos  
Aníbal



El flujo de calor  
 $Q/t$  pasa a través  
de la pared

$$\frac{Q}{t} = K \cdot A \frac{(T_1 - T_2)}{\Delta X}$$

# ASIMOV

## - INDICE -

### PARTE 2 - TEMAS DEL 2<sup>do</sup> PARCIAL

#### ELECTRICIDAD

ELECTROSTATICA - Pág. 1

CAPACITORES - Pág. 21

CIRCUITOS - Pág. 35

#### CALOR Y TERMODINAMICA

CALORIMETRIA - Pág. 55

TRANSMISION DEL CALOR - Pág. 77

1<sup>er</sup> PRINCIPIO - Pág. 93

2<sup>do</sup> PRINCIPIO - Pág. 141

RESUMEN DE FORMULAS : PAGINAS 187 A 202

# OTROS APUNTES

## ASIMOV

### \* EJERCICIOS RESUELTOS DE BIOFÍSICA

Tiene todos los ejercicios de la guía resueltos y explicados.

### \* PARCIALES RESUELTOS

Son parciales que fueron tomados el año pasado. Hay también de años anteriores. Todos los ejercicios están resueltos.

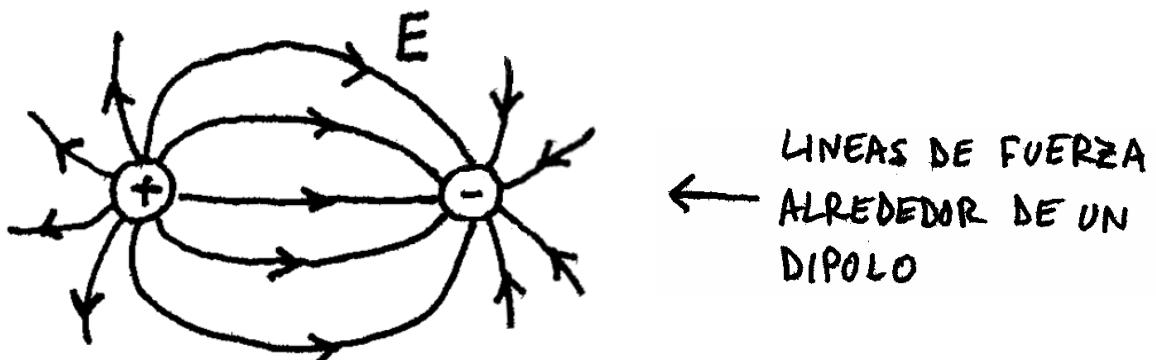
### \* FINALES RESUELTOS

Son finales que fueron tomados el año pasado, Hay también de años anteriores. Todos los ejercicios están resueltos.



# ELECTROSTÁTICA

- \* CARGAS ELECTRICAS
- \* LEY DE COULOMB
- \* CAMPO ELECTRICO
- \* LINEAS DE FUERZA
- \* LINEAS DE FUERZA EN UN DIPOLO
- \* CAMPO ENTRE 2 PLACAS PARALELAS
- \* DIFERENCIA DE POTENCIAL
- \* VOLTAJE
- \* TRABAJO PARA MOVER UNA CARGA



↑  
DIPOLO CON CARGAS  
DE SIGNO CONTRARIO

Las líneas de fuerza muestran hacia dónde apunta la fuerza que actúa sobre una carga positiva puesta en ese lugar.

$$F = \frac{K}{\epsilon_r} \times \frac{Q_1 \times Q_2}{d^2}$$

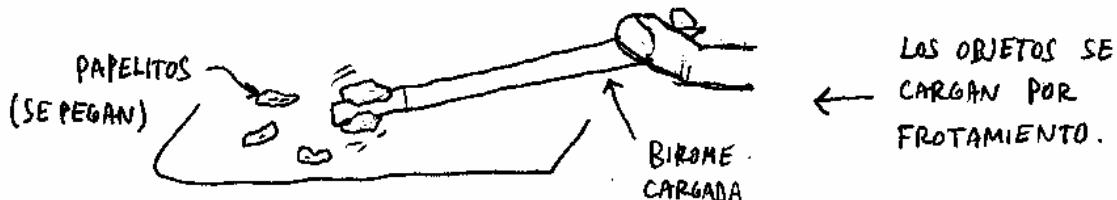
↔ LEY de  
COULOMB

# ELECTROSTATICAS

## CARGAS ELECTRICAS

Electro-estática. Significa: Cargas quietas. Poné unos papelitos sobre la mesa. Raspá una birome contra la ropa o contra el pelo. Acercá la birome a los papelitos. Vas a ver que la birome los atrae. Cosas parecidas pasan en otros casos. Por ejemplo, al peinarse o al sacarse un pulóver. Fijate que las bolsas de plástico tienden a pegarse entre ellas y también se pegan al cuerpo.

Al cortar Telgopor quedan un montón de bolitas que se atraen. Un peine frotado o una birome frotada pueden atraer cosas y hacer que queden pegadas. A veces pasa que uno frota una cosa y comprueba que esa cosa empieza a atraer a otras cosas. Ellos dicen que por efecto del frotado los cuerpos "quedan cargados".



Hay otros hechos raros que ocurren. A veces al ponerse un pulóver se escucha un "cri-cri". Incluso pueden llegar a salir chispas. A veces las manijas de los autos dan patada. También los carritos de supermercado. A veces pasa que uno recibe una patada al tocar las patas de una silla con respaldo de plástico. También pueden saltar chispas al darle la mano a una persona o al tocar a un perro.

La explicación que ellos dan a estas cosas raras es la siguiente: Los objetos que sacan chispas o que dan patada están "cargados eléctricamente". Es un poco complicado explicar que quiere decir la frase "estar cargado". Se supone que al frotar 2 cosas los electrones de uno de los objetos pasan al otro objeto. Los electrones son cargas negativas. Entonces al frotar, uno de los cuerpos pierde electrones y queda cargado positivamente. El otro cuerpo gana electrones y queda cargado negativamente.

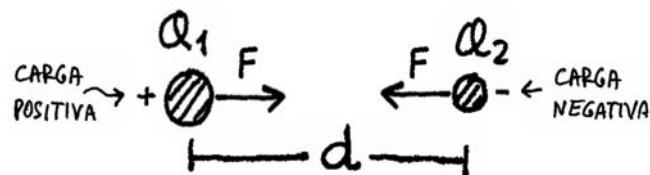
Haciendo algunos experimentos se comprobó lo siguiente:

- 1 ) - Hay 2 tipos de carga : positiva (+) y negativa (-).
- 2 ) - Las cargas de distinto signo se atraen. Las cargas de igual signo se repelen.
- 3 ) - La fuerza de atracción ( o de repulsión ) disminuye a medida que aumenta la distancia entre las cargas.

Todo esto es un poco parecido a lo que pasa en los imanes. Los imanes también se atraen y se repelen de acuerdo a si son del mismo polo o de distinto polo.

## LEY DE COULOMB

La carga eléctrica se pone con la letra Q. Se mide en Coulomb ( C ). Voy a dibujar las cargas como pelotitas. Suponé que tengo dos cargas  $Q_1$  y  $Q_2$  separadas una distancia  $d$ :



Si las cargas son de distinto signo se van a atraer. Si las cargas son de igual signo se van a repeler. Para calcular la fuerza de atracción o de repulsión entre las cargas se usa la siguiente fórmula :

$$F = \frac{K}{\epsilon_r} \times \frac{Q_1 \times Q_2}{d^2}$$

← LEY DE COULOMB

Esta fórmula se la llama ley de Coulomb. Me da la fuerza que actúa sobre cada una de las cargas. En esta fórmula:

F es la fuerza de atracción (o repulsión) entre las cargas. Se mide en Newtons.

$Q_1$  y  $Q_2$  son las cargas. Van en Coulombs.

d es la distancia que separa a las cargas. Se pone en metros. Va al<sup>2</sup> en la fórmula.

K es una constante. Se la llama constante de Coulomb. El valor de K es:

$$K = 9 \times 10^9 \frac{N \cdot m^2}{Coul^2}$$

Epsilon Erre ( $\epsilon_r$ ) es lo que se llama " Constante dieléctrica del material ". Es un número sin unidad. El valor de  $\epsilon_r$  depende del material que haya entre las cargas. Si hay aire o vacío,  $\epsilon_r$  vale 1. Si entre las cargas hay algún material raro,  $\epsilon_r$  vale tendrá otro valor. En la mayoría de los casos el Epsilon Erre es dato.

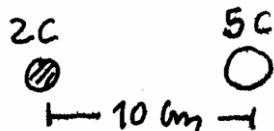
$$\epsilon_r = \text{cte dieléctrica} \quad (1 \text{ o mayor que } 1)$$

### EJEMPLO ( Ley de Coulomb )

Se tienen 2 cargas positivas  $Q_1 = 2$  Coulomb y  $Q_2 = 5$  Coulomb separadas una distancia de 10 cm en el vacío.

- Calcular la fuerza que actúa entre las cargas.
- Idem si se pone entre las cargas un material de constante dieléctrica  $\epsilon_r = 10$
- ¿Qué ocurre si se duplica la distancia entre las cargas ?
- Qué fuerza es mayor, la que actúa sobre  $Q_1$  o la que actúa sobre  $Q_2$  ?

a) - Planteo la ley de Coulomb. La fuerza que aparece va a ser de repulsión porque las 2 cargas son positivas. Hago un dibujito :



Reemplazo los valores en la ley de Coulomb. En el caso a)  $\epsilon_r = 1$  porque hay vacío. Entonces :

$$F = \frac{K}{\epsilon_r} \frac{q_1 \times q_2}{d^2}$$

$$\Rightarrow F = 9 \times 10^9 \frac{N \cdot m^2}{Coul^2} \times \frac{2C \times 5C}{(0,1m)^2}$$

$$\Rightarrow F = 9 \times 10^{12} N$$

b) - Cuando pongo el material de constante dieléctrica  $\epsilon_r = 10$ , la fuerza será  $F/\epsilon_r$ . Es decir  $F = 9 \times 10^{11} N$ .

c) - Si duplico la distancia entre las cargas la fuerza disminuye a la cuarta parte. ( Hacé la cuenta ). Esto pasa porque las fuerzas entre cargas varían con la inversa del cuadrado de la distancia.

d) - La fuerza que actúa es igual sobre cada carga. No importa que una de las cargas sea más grande que la otra. Si la fuerza que la carga A ejerce sobre la carga B vale  $9 \times 10^{11} N$ , la fuerza que la carga B ejerce sobre la carga A también valdrá  $9 \times 10^{11} N$ . Esto es por la Ley de Newton de acción y reacción.

### OTRA MANERA DE ESCRIBIR LA LEY DE COULOMB

A veces la fórmula de Coulomb se pone en función de otra constante que se llama Epsilon Cero ( $\epsilon_0$ ). En vez de usar la constante K se pone el choclozo  $1/4 \pi \epsilon_0$ . Se lee "uno sobre cuatro PI Epsilon cero". Todo este numero 1 sobre 4 PI  $\epsilon_0$  reemplaza a la constante K. Es decir,  $1/4 \pi \epsilon_0 = 9 \times 10^9 N \cdot m^2 / Coul^2$ .

$$F = \frac{1}{4 \pi \epsilon_0 \epsilon_r} \frac{q_1 \times q_2}{d^2} \quad \leftarrow \quad \begin{array}{l} \text{OTRA MANERA DE} \\ \text{ESCRIBIR LA LEY} \\ \text{DE COULOMB.} \end{array}$$

( Pongo esta fórmula porque a veces aparece en los libros ).

El valor de  $\epsilon_0$  es :

$$E_0 = 8,85 \times 10^{-12} \frac{\text{Coul}^2}{\text{N} \cdot \text{m}^2}$$

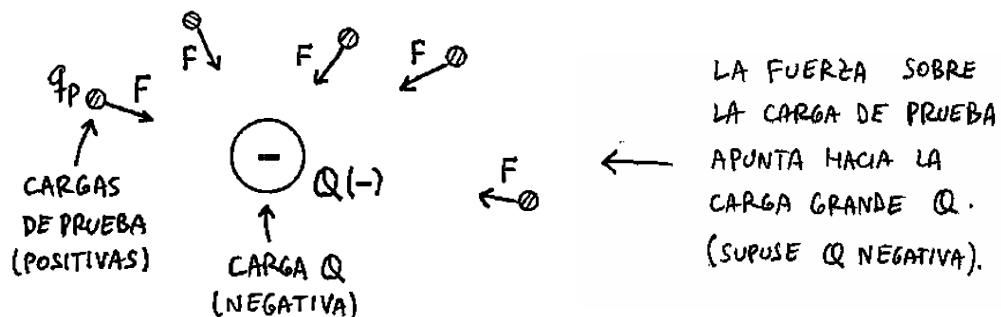
Pude ser que en algún libro veas la ecuación de Coulomb escrita de esta manera.

### Aclaraciones:

- \* Las cargas eléctricas pueden ser positivas o negativas pero no hace falta ponerlas con el signo en la fórmula de Coulomb. Para hacer la cuenta uno pone todo con signo positivo y calcula el valor de la fuerza. Después hay que indicar para donde apunta la fuerza diciendo si es de atracción o de repulsión.
- \* El signo + o - de las cargas no tiene un significado matemático. El hecho de hablar de cargas positivas y cargas negativas es una convención. La gente se puso de acuerdo en llamarlas así. Podrían haberlas llamado cargas Norte y cargas Sur (como los polos de los imanes). O también cargas A y cargas B o cargas lindas y cargas feas. Positivo y negativo son sólo nombres.

### CAMPO ELECTRICO

Supongamos que tengo una carga grande que está quieta y no se mueve. Esta carga está pegada a la mesa con plastilina. Agarro una carga chica y la voy poniendo a distintas distancias de la carga grande. A esta carga chica la voy a llamar carga de prueba. ( $q_p$ ). La voy a tomar positiva y de valor 1 Coulomb.



Veo que ponga donde ponga la carga de prueba, aparece una fuerza sobre ella. Esta fuerza está generada por la carga grande que está fija a la mesa. Si pensás un poco el asunto, podés llegar a esta conclusión:

La carga grande hace que aparezcan fuerzas a su alrededor. Se dice entonces que la carga genera una especie de "campo de fuerza". A este campo que aparece alrededor de una carga se lo llama campo eléctrico. Se lo llama "eléctrico" porque está generado por cargas eléctricas.

Al campo eléctrico se lo pone con la letra  $E$ . Es un vector. Tiene dirección, sentido y módulo. Se habla de "vector campo". La fórmula para calcular el campo eléctrico es:

$$E = \frac{F}{q_p}$$

CAMPO ELÉCTRICO →  $E = \frac{F}{q_p}$  FUERZA QUE ACTÚA  
CARGA DE PRUEBA

Al calcular el campo eléctrico a una distancia d de una carga, lo que estoy calculando es la fuerza que actuaría en ese punto si yo pusiera ahí una carga de prueba de valor 1 Coulomb. Las unidades de E son Newton sobre Coulomb. Pero también se lo puede poner en otras unidades que son voltios sobre metro.

$$[E] = \frac{\text{Newton}}{\text{Coulomb}} \text{ o } \frac{\text{Volt}}{\text{m}}$$

La equivalencia entre newton sobre Coulomb y volts por metro es esta:

$$1 \frac{\text{Newton}}{\text{Coulomb}} = 1 \frac{\text{Volt}}{\text{m}}$$

### EJEMPLO:

**CALCULAR EL CAMPO ELECTRICO A UNA DISTANCIA DE 1 metro DE UNA CARGA Q = 10 COULOMB RODEADA DE AIRE**

Hago un dibujito. El campo eléctrico a una distancia de 1 m es la fuerza que actúa sobre una carga de 1 Coulomb.



Entonces:

$$E = \frac{F}{q}$$

La fuerza que actúa a una distancia d la calculo por la ley de Coulomb. Vale :

$$F = \frac{K}{\epsilon_r} \times \frac{Q_1 \times Q_2}{d^2}$$

Suponiendo que la carga está rodeada por aire, el Epsilon Erre vale 1. Entonces el campo E vale :

$$E = K \frac{Q_1 \times q_p}{d^2 q_p}$$

$$\Rightarrow E = K \frac{Q}{d^2}$$

CAMPO A UNA DISTANCIA  
d DE UNA CARGA Q.

Reemplazo por los datos:

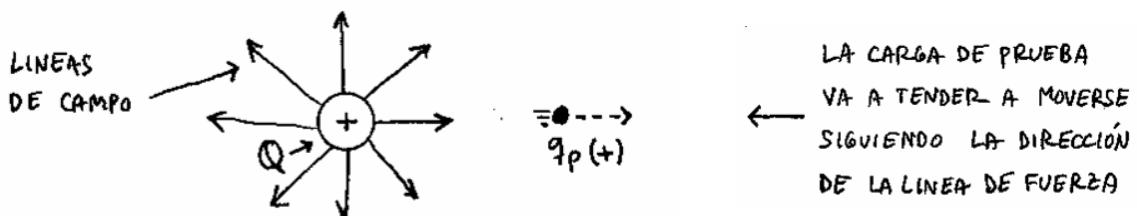
$$E_Q = 9 \times 10^9 \frac{\text{N m}^2}{\text{Coul}^2} \times \frac{10 \text{ Coulomb}}{(1 \text{ m})^2}$$

$$\rightarrow E = 9 \times 10^{10} \text{ Newton / Coulomb}$$

Este es el valor del campo a una distancia de 1 m. Para otra distancia, el campo tendrá otro valor.

## LINEAS DE FUERZA

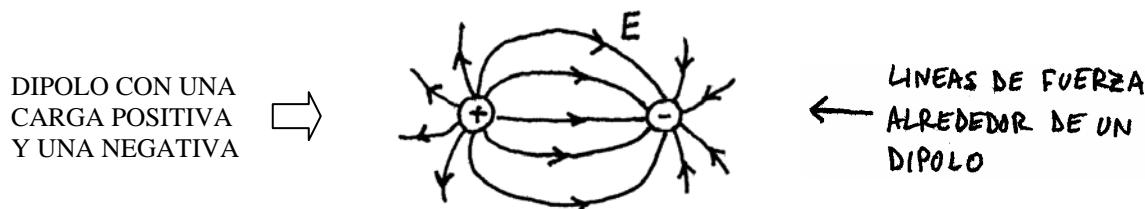
Las líneas de fuerza alrededor de una carga indican para donde apunta el vector campo  $\mathbf{E}$ . Más concretamente, las líneas de fuerza en un punto me muestran hacia dónde apunta la fuerza que actúa sobre una carga de prueba puesta en ese punto. A las líneas de fuerza también se las llama líneas de campo.



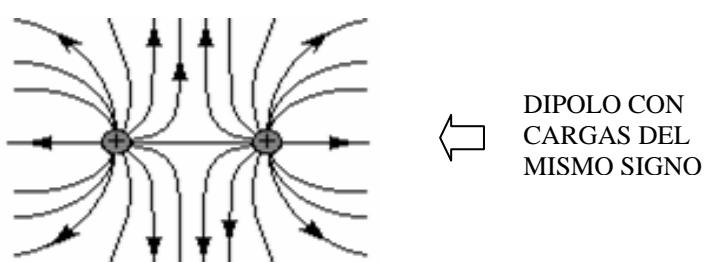
Si lo querés ver de otra manera, podés pensar lo así: Si una carga de prueba se coloca sobre una línea de fuerza, esa carga de prueba se va a mover siguiendo la dirección de la línea de fuerza. La línea de fuerza indica la dirección de movimiento en ese momento. Para dibujar las líneas de fuerza hay que acordarse de que estas líneas siempre salen de las cargas positivas y entran en las negativas. Esto pasa porque por convención la carga de prueba  $q_p$  se elige siempre positiva.

## LINEAS DE FUERZA ALREDEDOR DE UN DIPOLO

Di-polo = Dos polos. Un dipolo son 2 cargas separadas una cierta distancia. Las cargas pueden ser del mismo signo o de signo contrario. Fijate cómo quedan las líneas de campo para un dipolo con una carga positiva y una negativa :



Ahora hagamos las líneas de campo para un dipolo con dos cargas del mismo signo :

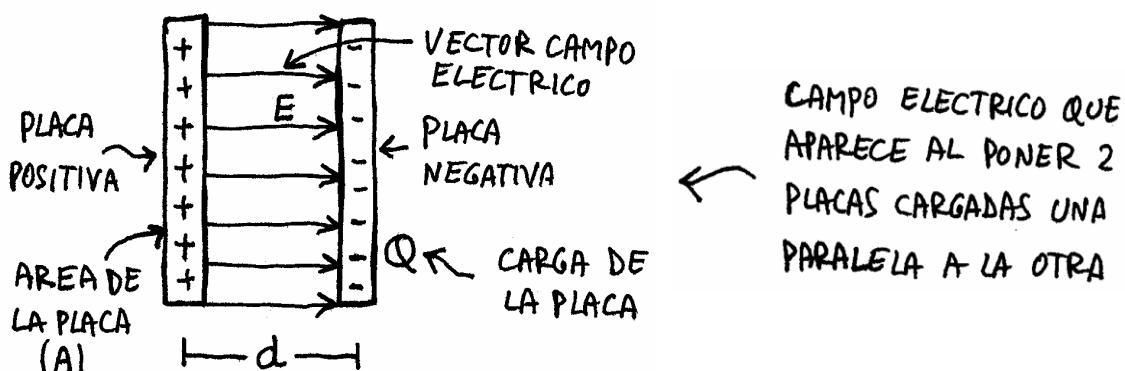


Atención, para dibujar las líneas de fuerza siempre suponemos que la carga de prueba es positiva. Eso quiere decir que las líneas de campo van a salir siempre de las cargas positivas y van a entrar en las cargas negativas.

## PLACAS PARALELAS

Supongamos que tengo 2 placas planas. Las placas son paralelas. Pongo cargas en las placas. Ahora una placa tiene una carga positiva  $+Q$  y la otra placa tiene una carga negativa  $-Q$ . Por ejemplo, una placa puede tener una carga de  $+20$  Coulombs y la otra  $-20$  Coulombs. ( Las cargas en cada placa tienen que ser iguales ).

Las placas están una enfrente de la otra. Fijate el dibujito.



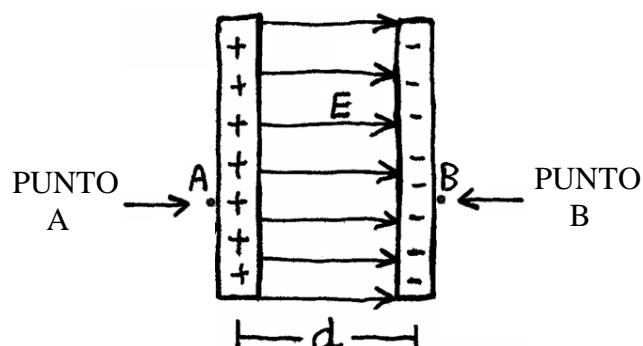
Yo dibujé las placas en forma vertical pero pueden ser verticales u horizontales. La cosa es que como cada placa tiene carga, va a aparecer un campo eléctrico. A ese campo eléctrico se lo pone con la letra  $E$ .

En el dibujito yo dibujé las líneas de fuerza. Fijate que van de la placa positiva a la negativa. ( Y no al revés ). Las líneas de campo siempre salen de las cargas positivas y van a las negativas.

El campo eléctrico entre las placas es UNIFORME. Eso quiere decir que ese campo vale lo mismo en cualquier lugar. Por ejemplo, si  $E$  vale 10 Newtons/Coulomb, eso significa que en el medio el campo vale 10, más arriba también vale 10, cerca de la placa de la izquierda vale 10, cerca de la placa de la derecha también vale 10. En cualquier lugar el campo vale 10.

## DIFERENCIA DE POTENCIAL ( $V$ , $\Delta V$ , $V_{AB}$ o $V_B - V_A$ )

La diferencia de potencial entre 2 puntos A y B es el trabajo que hay que hacer para llevar una carga de 1 Coulomb desde el punto A hasta el punto B. Cuando uno tiene 2 placas planas se dice que uno lleva una carga de 1 Coulomb desde la placa de la izquierda hasta la placa de la derecha. ( O al revés ).



A esta diferencia de potencial se la pone como  $V$ ,  $\Delta V$ ,  $V_{AB}$  o  $V_B - V_A$ . También se la llama voltaje porque se mide en **VOLTIOS**. Entonces:

Diferencia de potencial entre 2 puntos  $A$  y  $B$ : Es el trabajo que hay que hacer para llevar una carga de 1 Coulomb desde el punto  $A$  hasta el punto  $B$ . A esta diferencia de potencial se la pone como  $V$ ,  $\Delta V$ ,  $V_{AB}$  o  $V_B - V_A$  ( Voltios )

$$V_{AB} = L \text{ Para llevar 1 Coulomb de } A \text{ a } B \text{ ( Voltios )}$$

**NOTA:** Vos no tenés que saber esta definición de diferencia de potencial. No tenés que saberla ni tenés que entenderla. Vos solo tenés que saber calcular el delta  $V$  entre las placas. ( O sea, el voltaje ).

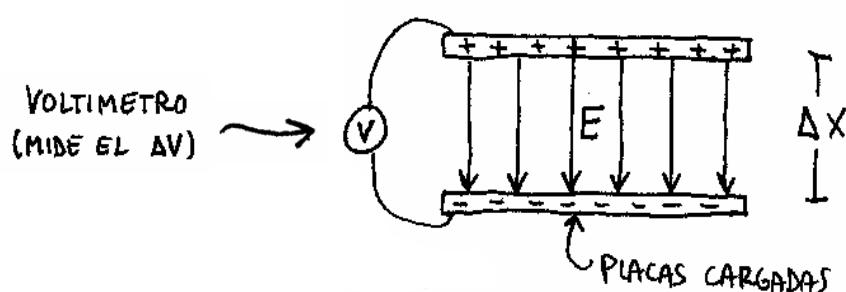
La diferencia de potencial es lo que en la vida diaria suele llamarse **voltaje**. También se la llama tensión. Entonces, el verdadero nombre es "diferencia de potencial entre las placas". Pero también se usan todos estos nombres:

- \* Potencial
- \* Potencial entre placas
- \* Diferencia de potencial entre placas
- \* Tensión
- \* Tensión entre placas
- \* Voltaje
- \* Voltaje entre las placas.
- \* Voltaje de las placas.

← DISTINTOS  
NOMBRES PARA  
EL VOLTAJE

### FÓRMULA PARA CALCULAR EL VOLTAJE ENTRE PLACAS

Para calcular la diferencia de potencial entre las placas hay que multiplicar el valor del campo por la distancia entre placas. Si pongo el campo con la letra  $E$  y a la distancia la llamo delta equis, queda la fórmula para el voltaje:  $\Delta V = E \times \Delta X$ .



$$\Delta V = E \cdot \Delta X$$

↑ DIFERENCIA DE POTENCIAL (VOLTAJE)      ↑ CAMPO ELECTRICO (VOLTS/M)      ↑ DISTANCIA ENTRE PLACAS (M).

Al  $\Delta V$  se lo suele poner directamente como  $V$ . A la distancia  $\Delta x$  se la suele llamar  $d$ . Así que la fórmula también se pone como :

$$V = E \cdot d$$

RELACION ENTRE  
EL POTENCIAL V  
Y EL CAMPO E.

DIFERENCIA DE POTENCIAL ENTRE PLACAS. (VOLTS)

VECTOR CAMPO ELECTRICO (Volts/m)

DISTANCIA ENTRE PLACAS (m)

Para el campo eléctrico antes usábamos la unidad Newtons/Coulombs. Ahora vamos a usar la unidad Volts/metro.

$$[E] = \frac{\text{Newton}}{\text{Coulomb}} \sigma \frac{\text{Volt}}{\text{m}} \quad \leftarrow \text{UNIDADES DEL CAMPO ELECTRICO}$$

La equivalencia es 1 a 1, o sea:

$$1 \frac{\text{Newton}}{\text{Coulomb}} = 1 \frac{\text{Volt}}{\text{m}}$$

### TRABAJO PARA MOVER UNA CARGA DE A a B

La diferencia de potencial entre placas es el trabajo para mover una carga de 1 Coulomb de una placa a la otra. Si en vez de mover una carga de 1 Coulomb, quiero mover una carga  $q$  que tiene otro valor, el trabajo que tengo que hacer va a ser igual al producto de la carga  $q$  por la diferencia de potencial entre las 2 placas. O sea,  $L = q \times V$ . Como  $V = E \cdot d$  me queda:

$$L_{AB} = q \times V \quad o \quad L_{AB} = q \cdot E \cdot d \quad \leftarrow \text{TRABAJO PARA LLEVAR UNA CARGA } q \text{ DEL PUNTO A AL B}$$

En la 1ra fórmula  $q$  es la carga que yo quiero mover (Coulombs) y  $V$  sería la diferencia de potencial entre los puntos A y B. (El voltaje, digamos).

En la 2da fórmula,  $q$  es la carga que yo quiero mover (Coulombs),  $E$  es el campo eléctrico (en Volts/metro) y  $d$  es la distancia entre los puntos A y B. (metros)

NOTA: Se puede hablar de trabajo necesario para mover una carga o energía necesaria para mover una carga. Es lo mismo. Los 2 se miden en joules.

### FÓRMULA PARA CALCULAR EL CAMPO ELECTRICO ENTRE LAS PLACAS

Entre las 2 placas paralelas cargadas va a aparecer un campo eléctrico  $E$ . El valor de este campo se calcula con esta fórmula choclaza :

$$E = \frac{1}{\epsilon_0 \epsilon_r} \frac{Q}{A}$$

VECTOR CAMPO

CARGA (Coulomb)

AREA (m<sup>2</sup>)

CAMPO ENTRE 2 PLACAS PLANAS PARALELAS

En esta fórmula:

- \*  $Q$  es la carga de una de las placas. [ Va en Coulomb ]
- \*  $A$  es el área de una de las placas. [ Va en  $m^2$  ]
- \*  $\epsilon_r$  (Epsilon erre) es la cte dieléctrica del material que hay entre las placas.  
Si ese material es aire o vacío,  $\epsilon_r$  vale 1
- \* Epsilon Cero ( $\epsilon_0$ ) es una constante que vale :  $\epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12} \frac{Coul^2}{N \cdot m^2}$

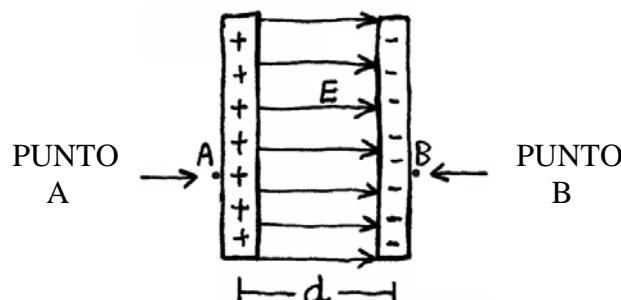
Es raro que tomen esta fórmula porque los números son muy feos y es un lio hacer las cuentas. Pero tenela anotada porque podría aparecer una pregunta teórica que se conteste mirando esta fórmula.

Por ejemplo, qué pasaría si aumento el tamaño de las placas al doble, qué pasaría si duplico la carga  $Q$ , qué pasaría si pongo un material dieléctrico de constante doble entre las placas, etc.

### EJEMPLO:

**ENTRE 2 PLACAS PLANAS CARGADAS SEPARADAS UNA DISTANCIA DE 10 cm HAY UN CAMPO ELECTRICO DE 20 VOLT / METRO. ¿QUE TRABAJO HAY QUE HACER PARA MOVER UNA CARGA POSITIVA DE 5 COULOMB DE LA PLACA POSITIVA A LA NEGATIVA ?**

Hago un dibujito de las 2 placas. Las líneas de campo salen de la placa positiva y llegan a la negativa.



El trabajo para llevar una carga de una placa a la otra es  $L_{AB} = q E d$ . El campo de 20 volt por metro es equivalente al de 20 Newton/Coulomb. La distancia es de 10 cm, o sea 0,1 m. Entonces :

$$L_{AB} = q \cdot E \cdot d$$

$$L_{AB} = 5 \text{ Coul} \times 20 \text{ Newton/Coul} \times 0,1 \text{ m}$$

$$\underline{L_{AB} = 10 \text{ Joules}}$$

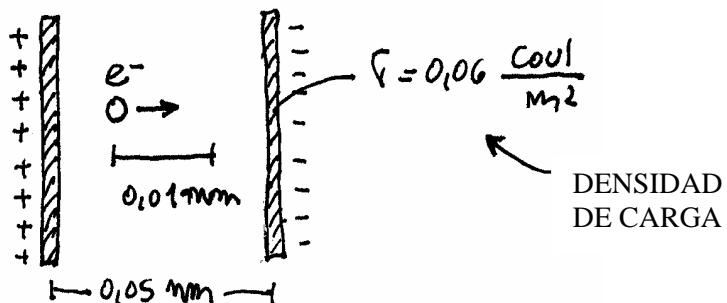
Cuando uno calcula el trabajo realizado usando la fórmula  $L_{AB} = q \times E \times d$  ese trabajo puede ser positivo o negativo. Es un poco complicado explicar cuál es el signo del trabajo. En general no lo preguntan, pero si te lo preguntan... y bueno, es más fácil hacer ta - te - ti que razonarlo. (= Bienvenido a Biofísica ).

### UN PROBLEMA DE PARCIAL

Entre dos placas metálicas paralelas, distanciadas 0,05 mm y con una densidad de carga igual a  $0,06 \text{ C/m}^2$ , se mueve un electrón acercándolo 0,01 mm a la placa negativa. ¿Qué ocurrió con su energía potencial?

- a) Disminuyó  $1,09 \times 10^{-14} \text{ J}$ .
- b) Aumentó  $1,09 \times 10^{-14} \text{ J}$ .
- c) Disminuyó  $5,43 \times 10^{-14} \text{ J}$ .
- d) Aumentó  $5,43 \times 10^{-14} \text{ J}$ .
- e) Aumentó, pero no se puede calcular su valor
- f) No varió.

Hago un dibujito del electrón entre las 2 placas paralelas:



Calculo el valor del campo eléctrico entre las placas con la fórmula para placas planas:

$$E = \frac{1}{\epsilon_0 \epsilon_r} \frac{Q}{A}$$

Hay que darse cuenta de que ellos dan como dato la densidad de carga Sigma ( $\sigma$ ). Esta densidad de carga parece ser un dato raro. Pero si uno lo piensa un poco te vas a dar cuenta que Sigma es justamente la carga  $Q$  sobre el área de la placa. O sea,  $\sigma = Q / \text{Área}$ .

Ahora, una cosa: En el problema no aclaran si entre las placas hay un dieléctrico o no. ( Bienvenido a biofísica ). Entonces supongo que hay aire. O sea, tomo que el  $\epsilon_r$  vale 1 ). Me da:

$$\Rightarrow E = \frac{1}{8,85 \times 10^{-12} \frac{\text{Coul}^2}{\text{N} \times \text{m}^2}} \times 0,06 \frac{\text{Coul}}{\text{m}^2}$$

$$\Rightarrow E = 6,78 \times 10^9 \frac{\text{N}}{\text{Coul}}$$

Teniendo el valor del campo eléctrico puedo calcular el trabajo realizado con la fórmula:  $L_{AB} = q \cdot E \cdot d$ . Entonces :

$$L_{AB} = q E d$$

La carga de 1 electrón es  $1,6 \times 10^{-19} \text{ Coulombs}$ . Reemplazo y me queda:

$$L_{AB} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ Coul} \times 6,78 \times 10^9 \frac{\text{N}}{\text{Coul}} \times 0,01 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$\Rightarrow L_{AB} = 1,084 \times 10^{-14} \text{ Joule}$$

← TRABAJO PARA  
MOVER LA  
CARGA 0,01 mm

Ahora viene la pregunta del millón: ¿ La Energía potencial del electrón aumentó o disminuyó ?

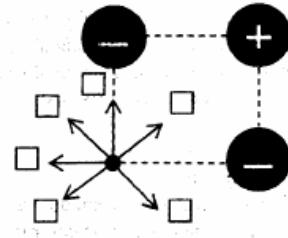
Rta: La Energía potencial aumentó porque uno está empujando al electrón ( que es negativo ) para que se acerque a la placa negativa. Hay que hacer trabajo sobre el electrón para lograr esto. ( Esto hay que pensarlo un poco ).

→ Correcta la b)

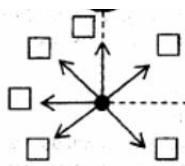
Bueno, yo te dije que esto no lo tomaban. Pero como ves, lo tomaron.

### OTRO PROBLEMA DE PARCIAL

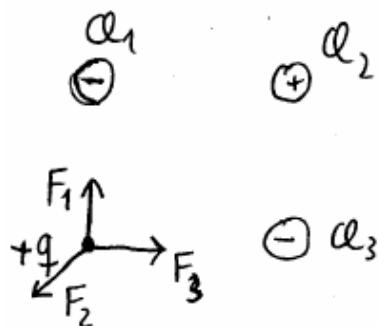
1. Las tres cargas de la figura tienen el mismo valor y están ubicadas en los vértices de un cuadrado. ¿Cuál de los vectores propuestos podría corresponder al campo eléctrico producido por esas tres cargas en el otro vértice?



Me Dicen que tengo 3 cargas que están en las puntas de un cuadrado. Me piden calcular para donde apunta el vector campo eléctrico sobre la carga de la esquina de abajo a la izquierda. ( Ojo, no piden calcular cuánto vale el campo eléctrico, sólo piden decir para dónde apunta ). Estas son las direcciones posibles:



Bueno, acá primero tenés que saber algo que es que para calcular el campo eléctrico en un punto SIEMPRE SUPONEMOS QUE EN ESE PUNTO HAY UNA CARGA POSITIVA. Entonces, si la carga chiquita en el vértice es positiva, la carga  $Q_1$  la atrae. La fuerza  $F_1$  va a ser atractiva. La carga  $Q_2$  la repele, la fuerza  $F_2$  va a ser una fuerza de repulsión. La carga  $Q_3$  es negativa, así que la fuerza  $F_3$  va a ser de atracción. Dibujo entonces las 3 fuerzas que actúan sobre el vértice de abajo:

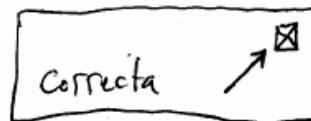


Si lo pensás un poco, vas a llegar a la conclusión de que las fuerzas  $F_1$  y  $F_3$  son iguales y son más grandes que  $F_2$ . ( Esto pasa porque  $Q_2$  está más lejos ).

Entonces  $F_1$  y  $F_3$  sumadas van a dar una fuerza así:  ( Por Pitágoras ). Esta fuerza va a ser más grande que  $F_2$ . Entonces la suma de las 3 fuerzas va a seguir apuntando así: 

Ahora bien, el vector campo eléctrico siempre apunta en la dirección de la fuerza que actúa en ese punto. Conclusión:

$$F_1 = F_3 \quad F_2 < F_1; F_2 < F_3$$

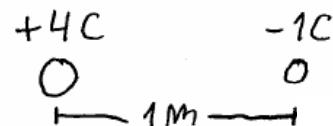


**NOTA:** También te podrían haber pedido que digas para dónde apunta la resultante de las fuerzas que actúan en ese vértice. Es lo mismo.

### UN PROBLEMA MORTAL

Este problema se ha tomado muchas veces en parciales y finales causando numerosas bajas. No es difícil pero tiene trampa. Fijate:

**Dos cargas de 4 Coulomb y -1 Coulomb se encuentran separadas una distancia de 1 metro como indica la figura. Calcular donde hay que poner una tercera carga  $Q_3$  positiva para que ésta quede en equilibrio .**

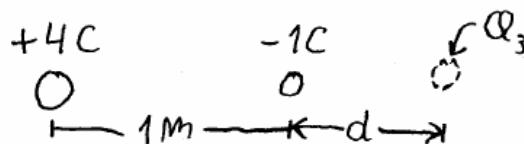


La idea es esta: Me dicen que la carga  $Q_3$  que tengo que poner es positiva. Quiere decir que esta  $Q_3$  va a ser atraída por la carga de  $-1 C$  y rechazada por la carga de  $+4 C$ . Lo que me están pidiendo es el lugar donde tengo que poner a  $Q_3$  para que no se mueva. Es decir, para que la atracción que ejerce la carga de  $-1 C$  se compense con el rechazo que ejerce la carga de  $+4 C$  Coulomb.

Veamos como calculo esto. Pregunta: la carga  $Q_3$  tiene que estar entre la cargas de  $+4 C$  y  $-1 C$  ?

¿ Rta ? No. La carga  $Q_3$  es positiva. Nunca se lograría el equilibrio poniéndola entre las 2 cargas que me dan. Esto hay que pensarlo un poco. Quiere decir que la  $Q_3$  va a tener que estar **FUERA** de la línea que une las cargas. Puede estar a la derecha de la carga de  $-1 C$  o a la izquierda de la carga de  $+4 C$ . ( Ojo, en otra situación sí podría ser que hubiera que poner la carga entre las 2 cargas que me dan )

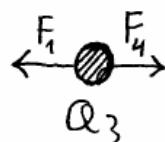
Probemos ponerla a la derecha. Me quedaría esto:



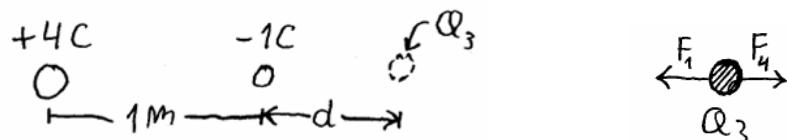
Ahora tengo que plantear que la  $Q_3$  tiene que estar en equilibrio. ¿Qué significa esto?

**Rta:** Significa que la carga  $Q_3$  no se tiene que mover. **Tiene que estar quieta.**

Hagamos un dibujito : Estas son las fuerzas que la carga  $Q_3$  tiene aplicadas :



Para que  $Q_3$  no se mueva, la fuerza que ejerce la carga de  $-1 C$  ( $F_1$ ) tiene que ser igual a la fuerza que ejerce la carga de  $+4 C$  ( $F_4$ ). Ese es el truco. Vamos a hacer ese planteo. Me queda :



$$\begin{aligned} F_{(4C)} &= F_{(1C)} \Rightarrow K \frac{4 \cdot Q_3}{(d+1m)^2} = K \frac{1 \cdot Q_3}{(d)^2} \\ \Rightarrow 4d^2 &= d^2 + 2d \cdot 1m + 1m^2 \\ \Rightarrow 3d^2 - 2d - 1m^2 &= 0 \end{aligned}$$

Acá me queda una ecuación cuadrática. La resuelvo con la fórmula.

$$x_{1-2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

En este caso  $a = 3$ ,  $b = -2$  y  $c = -1$ . Me da:

$$d = 1m \quad (\text{A la derecha de la carga de } 1C)$$

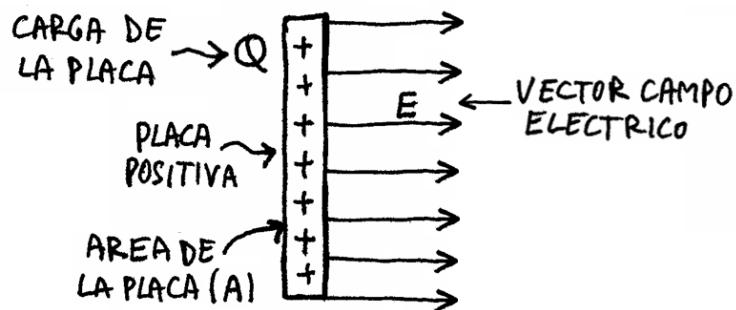
Nota 1 : La ecuación cuadrática también tiene un resultado negativo. Ese valor no se considera porque no puede haber una distancia negativa.

Nota 2 : Uno también podría haber supuesto que la carga  $Q_3$  estaba a la izquierda de la carga de  $+4 C$ . En ese caso las 2 distancias hubieran dado negativas. Eso me estaría diciendo que la carga  $Q_3$  no puede estar a la izquierda. Tiene que estar a la derecha.

### CAMPO PARA UNA SOLA PLACA PLANA

Supongamos que te dan una sola placa cargada. Se supone que esta placa es muy grande ( Infinita ). Frente a la placa plana va a aparecer un campo eléctrico. En realidad a la izquierda de la placa también hay un campo eléctrico, pero yo dibujo sólo el de la derecha para que se entienda mejor.

Sería una cosa así :



Este campo eléctrico es UNIFORME. Eso quiere decir que ese campo vale lo mismo en cualquier lugar. Por ejemplo, si vos hacés la cuenta y el campo eléctrico te da 10 Newtons / Coulomb, va a valer 10 Newtons / Coulomb en el medio de la placa, cerca de la placa, lejos de la placa, arriba de la placa o debajo de la placa. En cualquier lugar el campo va a valer 10.

La fórmula para calcular el valor del campo para una placa plana es esta:

$$E = \frac{1}{2 \epsilon_0} \frac{Q}{A}$$

VECTORE CAMPO → E ← CARGA (Coulomb)  
Q ← AREA (m<sup>2</sup>)

En esta fórmula:

- \* Epsilon Cero ( $\epsilon_0$ ) es una constante que vale :  $\epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12} \frac{\text{Coul}^2}{\text{N} \cdot \text{m}^2}$
- \* Q es la carga de la placa en Coulombs
- \* A es el área de la placa en m<sup>2</sup>

Unas aclaraciones sobre esta fórmula:

- \* Esta fórmula se usa poco, por eso la puse al final. ( Pero tenela por ahí por las dudas ).
- \* El valor del campo para una sola placa es la mitad del valor del campo cuando uno tenía 2 placas. O sea:

$$\text{Campo para una sola placa} = \frac{1}{2} \text{ Campo para 2 placas}$$

Esto es lógico, porque no tengo 2 placas, tengo 1, entonces el campo vale la mitad.

- \* Al valor carga/área ellos lo llaman "densidad de carga". Lo ponen con la letra sigma ( $\sigma$ ). O sea:

$$\sigma = \frac{Q}{A}$$

← CARGA (Coulomb) ← DENSIDAD DE CARGA SIGMA  
 ↓ ↓ AREA (m<sup>2</sup>)

Esta densidad de carga se mide en Coulombs/m<sup>2</sup>.

La llaman "densidad de carga" o también "densidad superficial de carga". Entonces en la fórmula que puse antes para el campo eléctrico puedo reemplazar  $Q/A$  por sigma y me queda esta otra fórmula:

$$E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$$

CAMPO ELÉCTRICO  
PARA UNA SOLA  
PLACA PLANA

Esta fórmula les gusta a ellos más que la anterior. Entonces en los problemas, en vez de darte como dato la carga de la placa y el área de la placa, directamente te dan sigma como dato. Esto suele confundir un poco a la gente que nunca termina de entender del todo bien qué es la densidad de carga.

Rta: El significado de sigma sería decir cuantos coulombs hay distribuidos en cada metro cuadrado de la placa. O sea que sigma es una especie de "densidad". Dice cuántas cargas hay en cada metro cuadrado.

### ACLARACIONES PARA TODO EL TEMA DE ELECTROSTÁTICA:

#### \* EL mili-COULOMB y el micro-COULOMB

Conviene recordar estas equivalencias que ellos suelen usar:

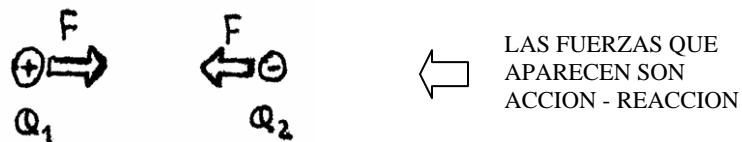
$$1 \text{ mC} = 1 \text{ milicoulomb} = 10^{-3} \text{ Coulomb}$$

$$1 \text{ μC} = 1 \text{ microCoulomb} = 10^{-6} \text{ Coulomb}$$

A veces también se usa el nano-Coulomb. ( Nano = Nueve ).  $1 \text{ nC} = 10^{-9} \text{ Coulomb}$

#### \* F y F SON ACCION - REACCION

Cuando uno tiene 2 cargas separadas una cierta distancia, calcula la fuerza de atracción o de repulsión con la fórmula de Coulomb.



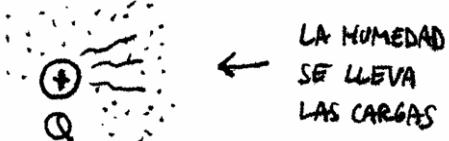
La fuerza que uno está calculando es tanto la que actúa sobre la carga 1 como la que actúa sobre la carga 2. Estas fuerzas son un par acción-reacción. Son iguales y opuestas. O sea, ( atención ) valen lo mismo en módulo. Esto significa que si la fuerza que la carga A hace sobre la carga B vale 22 Newton, la fuerza que la carga B hace sobre la carga A también va a valer 22 Newton. No importa que una de las cargas sea de 2 Coulomb y la otra de 10 Coulomb. Digamos que cada carga tira de la otra con la misma fuerza.

#### \* LOS EXPERIMENTOS NO SALEN

Uno puede hacer experimentos para tratar de ver las fuerzas eléctricas.

Por ejemplo, podés cortar pelotitas de telgopor o algo por el estilo. La cosa es que a veces uno frota un cuerpo y la fuerza eléctrica no aparece. ¿Por qué pasa esto?

Rta: Por la humedad que hay en el ambiente. La humedad del aire hace que los cuerpos se descarguen.



Los días secos es más común recibir una patada de la manija de un auto o de un carrito de supermercado.

#### \* ELECTRICIDAD ESTÁTICA EN LA COMPUTADORA

Las plaquetas para la computadora suelen venir en unas bolsas medio gris oscuro. Son bolsas antiestáticas. En la bolsa suele haber una indicación que dice que no hay que tocar la plaqueta con la mano. Eso es por la electricidad estática que uno puede llegar a tener. En la práctica, si uno está en un lugar con mucha humedad relativa, no hay problema. Podés tocar la plaqueta todo lo que quieras y no la vas a arruinar. ( Ejemplo, en Buenos Aires ).

#### \* COLITA RUTERA

Los autos se cargan cuando viajan porque rozan con el aire. Por eso a veces dan patada cuando uno los toca. Para evitar esto la gente a veces suele poner una cadena o una especie de goma colgada que va tocando el piso. ( La Colita rutera, los camiones suelen tenerla ). Supuestamente esto descarga el auto haciendo que las cargas pasen al suelo.

#### \* CARGA DE UN ELECTRÓN

Las cargas negativas en realidad son electrones cargados. La carga que tiene un electrón es  $q = -1,6 \times 10^{-19}$  Coulomb. A su vez  $1 \text{ Coulomb} = 6,23 \times 10^{18}$  electrones.

#### \* EL ELECTRON-VOLT

Un electrón volt ( eV ) es la energía que adquiere un electrón al pasar a través de una diferencia de potencial de un volt. O lo que es lo mismo, un eV es el trabajo que hay que hacer para mover una carga de 1 electrón en un campo eléctrico que tiene una diferencia de potencial de 1 volt. Como la carga que tiene un electrón es  $q = -1,6 \times 10^{-19}$  Coulomb, un eV equivale a  $1,6 \times 10^{-19}$  joules. O bien un joule son  $6,2 \times 10^{18}$  eV

#### \* IMANES

Si querés tener una idea de cómo se comporta una carga eléctrica o de como va a ser un campo eléctrico, podés imaginarte que tenés imanes. Los imanes también atraen a las cosas y también tienen un campo magnético alrededor. En vez de pensar que tenés una carga imaginate que tenés un imán.

### \* ¿ DA PATADA ?

Hay gente que es propensa a que las cosas le den patada. A veces la patada te la da la manija de una puerta. A veces al tocar el perro. A veces pasa en los supermercados al tocar el carrito. Puede pasar también al tocar la pata de metal de una silla que tiene respaldo de plástico.

Los líquidos también pueden dar patada. Por ejemplo, el chorro de una canilla. ( O sea, el agua misma ). Por eso los días muy secos, hay que tener cuidado si uno va a estar cerca de líquidos inflamables. ( Nafta, por ejemplo ).

Dicen que por eso no dejan usar el celular mientras uno está cargando nafta en las estaciones de servicio.

Incluso puede haber patada cuando le das la mano a una persona. A veces hasta se ve la chispa y todo.

¿ Sos propenso a que las cosas te den patada ? Para evitarlo tenés que tratar de no ir muy aislado. Por ejemplo, no uses zapatillas de goma, usá zapatos de cuero que no tengan suela de goma. Mejor si tienen suela de cuero.

No uses pullóveres de nylon, ni camperas de plástico ni cosas que parezcan tela pero que sean de plástico.

Los días secos, cada tanto tocá alguna cosa grande de metal para descargarte. Puede ser una puerta, una columna o algo por el estilo. En el super cada tanto hacé que la parte de metal del carrito toque las estanterías o cosas de metal. Eso va a descargar el carrito.

### \* LOS RAYOS

Las nubes se cargan con electricidad estática. Digamos que se frotan unas con otras y adquieren carga. ( Así dicen ). Eso causa que cada tanto se descarguen por medio de una gigantesca chispa que se llama rayo.

### \* ¿ QUERÉS VER LA ELECTRICIDAD ESTÁTICA YA ?

Agarrá 2 bolsas de plástico que sean grandes y finitas. Los electrodomésticos suelen venir envueltos en este tipo de bolsas. Pueden ser bolsas de residuos también. Acercá las dos bolsas y fijate como se atraen. Probá acercártelas al cuerpo y fijate que también se te quedan pegadas. Esto pasa porque el polietileno es un material que se carga con mucha facilidad.

### \* CAMPO DE FUERZA ALREDEDOR DEL PRESIDENTE

La idea de campo eléctrico es interesante. Fijate que al poner una carga eléctrica en algún lugar, aparece un campo de fuerza. Es decir, todo el espacio alrededor de la carga "se modifica". Si tratás de mirar un campo eléctrico no vas a ver nada. El campo no se ve. Todo parece normal. Pero algo cambió, porque al acercar otra carga de prueba, esta carga de prueba es repelida o atraída. Podés pensarlo con imanes. Poné un imán sobre la mesa. Hay un campo de fuerza alrededor de él. Todas las cosas de hierro que acerques al imán son atraídas.

Es algo parecido a esto: Imaginate que lo ponés al presidente de la Nación en medio de la facultad. Al verlo, toda la gente se pondría como loca y se armaría un alboroto. ( ¡ El presidente, el presidente, vino el presidente ! ). Sin embargo, fíjate que el tipo en sí no hace nada. El está ahí, y sólo por el hecho de estar ahí, todo el espacio a su alrededor se modifica. Hay una especie de "campo de fuerza que lo rodea". Fíjate también que cuanto más cerca del tipo estés, mayor será el alboroto. Quiere decir que el campo de fuerza es más fuerte cuánto más cerca estás del excelentísimo señor presidente.

### ULTIMA CUESTION

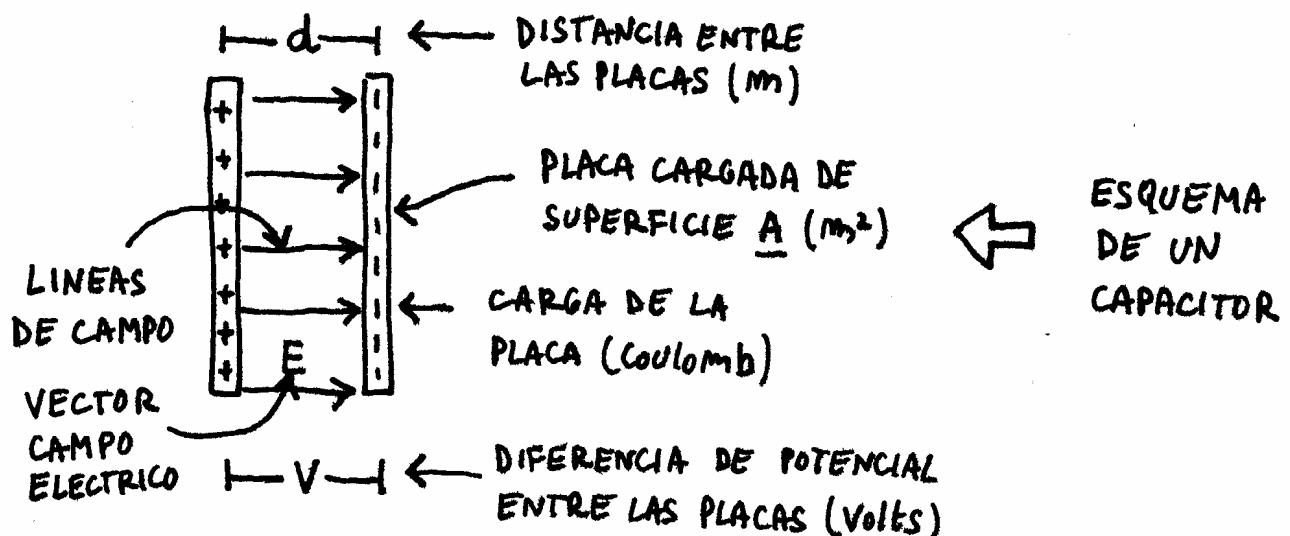
Electrostática es un tema poco tomado. No hay muchos problemas que se puedan inventar. Ellos prefieren siempre tomar cosas más complicadas como capacitores o circuitos. Y si toman electrostática, generalmente es un choice. Es raro encontrar un problema a desarrollar de cargas eléctricas.

---

FIN ELECTROSTATICA

# CAPACITORES

- \* ANATOMIA DE UN CAPACITOR
- \* CAMPO ELECTRICO EN EL INTERIOR
- \* DIFERENCIA DE POTENCIAL ENTRE PLACAS
- \* CALCULO DE LA CAPACIDAD
- \* ENERGIA EN UN CAPACITOR
- \* CAPACITORES EN SERIE Y EL PARALELO



$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{d}$$

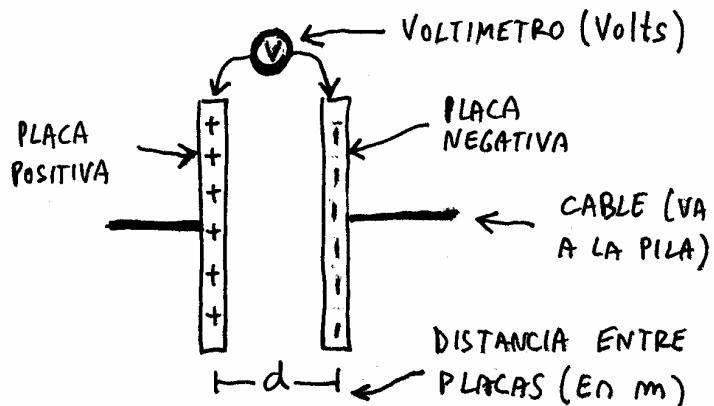
AREA ( $m^2$ )

DISTANCIA (m)

# CAPACITORES

## ¿ QUE ES UN CAPACITOR ?

Sin entrar en grandes detalles, un capacitor está formado de 2 placas una enfrente de la otra. Las placas se cargan con cargas eléctricas. Una placa es positiva y la otra negativa. Entre las 2 placas cargadas aparece un campo eléctrico. Sería algo así :



Podés ver capacidores adentro de las radios, en los estereos o en las plaquetas de las computadoras. En la realidad real los capacidores son algo así:



En el capacitor en forma de lenteja, cada pata conecta a una de las placas que están adentro de la lenteja. En el capacitor cilíndrico, las placas están enrolladas formando un tubito. Las placas son como un papel finito de aluminio. Para que no se toquen se coloca una especie de papelito aislante entre ellas. ( Dieléctrico ). Cada pata conecta a una de las placas.

¿ Para que sirve un capacitor ?

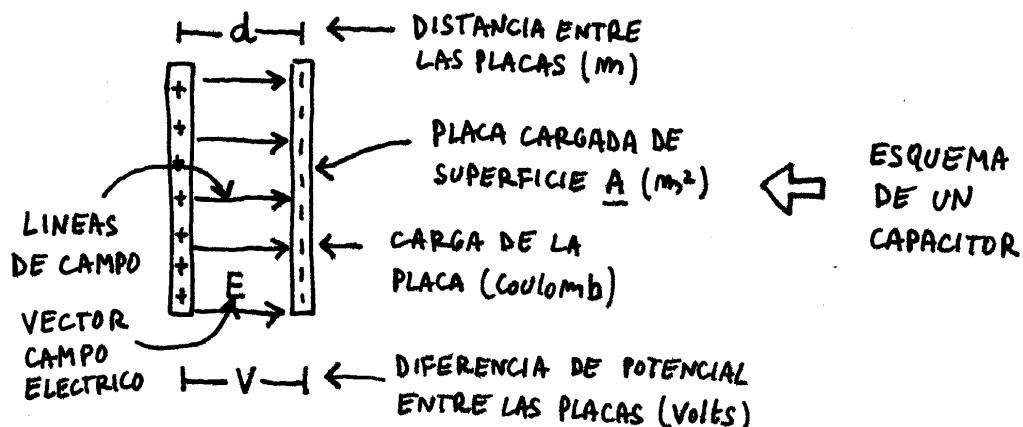
Sin hilar finito digamos que un capacitor sirve para almacenar carga. Un capacitor es como una especie de recipiente con cargas adentro. Tiene carga en sus placas. Esa carga está ahí guardada y no se va a ningún lado. Mientras el capacitor esté cargado, la carga se conserva. Después uno puede usar esa carga para lo que uno necesite.

Se lo llama capacitor porque tiene capacidad para almacenar carga. A veces se usa también el nombre condensador. ( Viejo ).

## ANATOMIA DE UN CAPACITOR PLANO

Suponé que tengo 2 placas de metal. Cada placa tiene área A . Cargo cada placa con una carga Q y las separo una distancia d. Esto es lo que se llama capacitor plano. O sea, un capacitor plano consiste en 2 placas de metal cargadas separadas cierta distancia d.

Entre las placas hay una diferencia de potencial. Acá te pongo un capacitor plano. Miralo por favor.



### CAMPO ELECTRICO ENTRE LAS PLACAS DEL CAPACITOR

Como las placas del capacitor están cargadas, entre ellas se forma un campo eléctrico. Este campo eléctrico vale :

$$E = \frac{1}{\epsilon_0 \epsilon_r} \frac{Q}{A}$$

VECTORE CAMPO →

CARGA (Coulomb) ← Q

AREA ( $m^2$ ) ← A

En esta fórmula,  $A$  es el área de una de las placas ( va en  $m^2$  ).  $Q$  es la carga de una de las placas ( va en Coulomb ).  $\epsilon_0$  y  $\epsilon_r$  son :

$$\epsilon_r = \text{cte dielectrica del material (sin unidad)}$$

$$\epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12} \frac{\text{Faradlos}}{\text{m}} \left( \sigma \frac{\text{Coulomb}^2}{\text{N} \cdot \text{m}^2} \right) \leftarrow \begin{array}{l} \text{PERMISIVIDAD} \\ \text{DEL VACIO} \end{array}$$

A veces esta fórmula se la puede poner también usando la constante  $k$  de Coulomb.

$$\epsilon_0 = \frac{1}{4 \pi \cdot k} \leftarrow 9 \times 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{Coul}^2}$$

Ejemplo:

CALCULAR EL CAMPO ELECTRICO FORMADO ENTRE LAS PLACAS DE UN CAPACITOR QUE TIENE UN DIELECTRICO DE CONSTANTE  $\epsilon_r = 5$ , CARGA 10 COULOMB Y PLACAS DE  $1 m^2$  DE SUPERFICIE.

Solución: El campo entre las placas vale :  $E = \frac{1}{\epsilon_0 \epsilon_r} \cdot \frac{Q}{A}$

Reemplazando:

$$E = \frac{1}{8,85 \times 10^{-12} \frac{\text{Coul}^2}{\text{N} \cdot \text{m}^2} \times 5} \times \frac{10 \text{ Coul}}{1 \text{ m}^2}$$

$$E = 2,26 \times 10^{11} \text{ N / Coul}$$

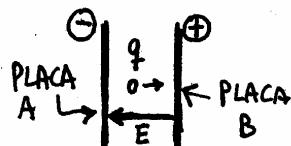
### DIFERENCIA DE POTENCIAL ( V )

En cada placa del capacitor hay la misma cantidad de carga. Esas cargas son iguales. Una es positiva y la otra es negativa. Las cargas de una de las placas van a atraer a las cargas de la otra placa. Esto va a hacer que aparezca una diferencia de potencial. La diferencia de potencial será  $\Delta V$ . Se la llama Delta V o directamente V.

Es un poco difícil explicar qué es esta diferencia de potencial. Digamos que la diferencia de potencial entre 2 puntos A y B vendría a ser la diferencia de energía que hay entre esos puntos. Esa diferencia de energía se calcula como el trabajo en joules que hay que entregarle a una carga de 1 Coulomb para moverla desde A hasta B.



En el caso de un capacitor la diferencia de potencial entre placas sería el trabajo que hay que hacer ( o la energía que hay que entregar ) para mover una carga de 1 coulomb desde una placa hasta la otra.



A la diferencia de potencial se la mide en Volts. Este delta V es la resta entre los potenciales de las dos placas. Es decir,  $\Delta V = V_2 - V_1$ . Hay una fórmula que relaciona el potencial entre placas V con el campo eléctrico E y la distancia entre placas. La relación es  $V = E \times d$ . Fijate cuál es el significado de cada cosa en esta fórmula:

$$V = E \cdot d$$

DIFERENCIA DE POTENCIAL ENTRE PLACAS. (VOLTS)    VECTOR CAMPO ELECTRICO (Volts/m)    DISTANCIA ENTRE PLACAS (m)

← RELACION ENTRE EL POTENCIAL V Y EL CAMPO E.

En esta ecuación V va en Volts, E va en Volts/m y la distancia entre placas va en metros.

### Ejemplo:

CALCULAR LA DIFERENCIA DE POTENCIAL ENTRE LAS PLACAS DE UN CAPACITOR QUE TIENE UN CAMPO DE VALOR 10 NEWTON / COULOMB Y PLACAS SEPARADAS 20 CM.

Solución:  $1 \text{ N/Coul} = 1 \text{ Volt/m}$ . Entonces el campo entre las placas vale 10 Volt/m.

Planteo:

$$V = E \times d$$

$$\rightarrow V = 10 \text{ Volt} / \text{m} \times 0,2 \text{ m}$$

$$\rightarrow V = 2 \text{ Volts}$$

### CAPACIDAD DE UN CAPACITOR

La capacidad de un capacitor relaciona la carga que tienen las placas con su diferencia de potencial.

$$C = \frac{Q}{V}$$

CARGA (COULOMB)

VOLTIOS

CAPACIDAD DE UN CAPACITOR (FARADIOS)

La unidad de capacidad es el Faradio. 1 Faradio es 1 Coulomb / 1 volt. La capacidad de almacenar carga que tiene un capacitor depende del área de las placas, de la distancia de separación y de la constante dieléctrica del material que se pone entre las placas.

$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{d}$$

AREA (m<sup>2</sup>)

DISTANCIA (m)

De acá se deduce que la capacidad de un capacitor es mayor cuanto mayor sea el área de sus placas, cuanto menor sea la distancia de separación y cuanto mayor sea la cte dieléctrica del material entre placas.

Una cosa importante: La capacidad de un capacitor aumenta si se le pone un material aislante entre las placas. A este material aislante se lo llama dieléctrico. La relación entre las capacidades de un capacitor con dieléctrico y un capacitor sin dieléctrico es:

$$C_{(\text{CON DIELECTRICO})} = \epsilon_r \times C_{(\text{SIN DIELECTRICO})}$$

Ejemplo: Supongamos que tengo un capacitor  $C = 20$  Faradios que tiene vacío entre sus placas. ( $\epsilon_r \text{ VACIO} = 1$ ). Si ahora pongo un material de  $\epsilon_r = 5$  entre las placas, la capacidad del capacitor se multiplicará por 5 y pasará a valer 100 Faradios.

### ENERGIA DE UN CAPACITOR

Para calcular la energía almacenada en el capacitor hay 3 fórmulas:

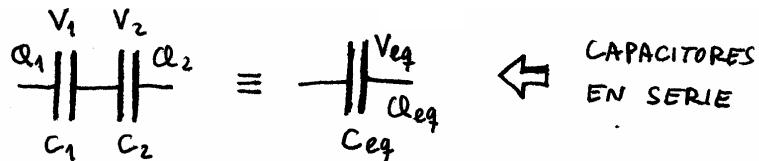
$$\text{Energy} = \frac{1}{2} C V^2 = \frac{1}{2} Q V = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C}$$

ENERGIA EN UN CAPACITOR (JOULES)

Podés usar cualquiera de las 3 fórmulas, dependiendo qué te den como dato. Como siempre, la energía se mide en Joules.

CAPACITORES EN SERIE Y EN PARALELO.

Para capacitores, las fórmulas de la capacidad equivalente quedan al revés que para las resistencias. Fijate:

CAPACITORES EN SERIE

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \quad (\text{or} \quad C_{eq} = \frac{C_1 \times C_2}{C_1 + C_2}) \quad \leftarrow \boxed{\text{SERIE}}$$

Ojo, esta fórmula  $C_{eq} = \frac{V_{eq}}{V_1 + V_2}$ ;  $Q_{eq} = Q_1 = Q_2$  ; capacitores en serie.

Importante: Recordar que para capacitores en serie el voltaje total es la suma de los voltajes. Y muy importante, la carga es la misma en cada capacitor.

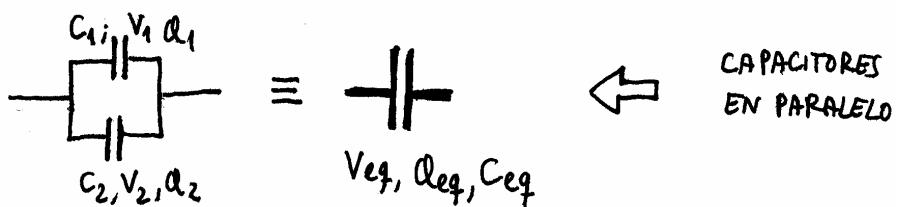
$$V_{\text{TOTAL}} = V_{(\text{CAPACITOR 1})} + V_{(\text{CAPACITOR 2})}$$

$$Q_{(\text{CAPACITOR 1})} = Q_{(\text{CAPACITOR 2})}$$

FÓRMULA PARA  
CAPACITORES  
EN SERIE

CAPACITORES EN PARALELO

Para la conexión el paralelo, la capacidad total es la suma las capacidades. Otra vez la fórmula queda al revés que la de las resistencias.



$$C_{eq} = C_1 + C_2 \quad Q_{eq} = Q_1 + Q_2; \quad V_{eq} = V_1 = V_2 \quad \leftarrow \boxed{\text{PARALELO}}$$

Importante: recordar que para capacitores en paralelo el voltaje total es el mismo para los 2 capacitores y la carga total es la suma de las cargas.

$$V_{\text{TOTAL}} = V_{(\text{CAPACITOR 1})} = V_{(\text{CAPACITOR 2})}$$

$$Q_{\text{TOTAL}} = Q_{(\text{CAPACITOR 1})} + Q_{(\text{CAPACITOR 2})}$$

FÓRMULA PARA  
CAPACITORES  
EN PARALELO

Por último, tené anotados estos valores que te pueden llegar a servir :

Carga de un capacitor = Carga de UNA de sus placas

Área de un capacitor = área de UNA de sus placas

$$1 \text{ mfarad} = 1 \text{ milifarad} = 10^{-3} \text{ Farad}$$

$$1 \text{ } \mu\text{farad} = 1 \text{ microfarad} = 10^{-6} \text{ Farad}$$

$$1 \text{ nfarad} = 1 \text{ nanofarad} = 10^{-9} \text{ Farad}$$

$$1 \text{ pfarad} = 1 \text{ picofarad} = 10^{-12} \text{ Farad}$$

$$K = 9 \times 10^9 \frac{N \cdot m^2}{Coul^2} = \frac{1}{4 \pi \epsilon_0} , \quad \epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12} \frac{Coul^2}{N \cdot m^2} \left( = \frac{\text{Faradio}}{m} \right)$$

$$1 \text{ \AA} = 1 \text{ Armstrong} = 10^{-10} \text{ m}$$

$$1 \text{ nm} = 1 \text{ nanómetro} = 10^{-9} \text{ m}$$

### USO REAL DE LOS CAPACITORES

Un capacitor es algo que sirve para almacenar carga. La idea es que después uno puede usar esa carga para lo que quiera. Por ejemplo, fijate el flash de las cámaras de fotos. El capacitor del flash tarda un tiempo en cargarse. Se va cargando con la energía que le da la pila. Después esa carga se usa toda junta para prender el flash y sacar la foto.

A veces hay carteles atrás de los aparatos que advierten que no hay que meter la mano adentro porque el aparato puede dar patada aún cuando esté desconectado. Esto es cierto especialmente en los televisores. La gente no entiende como puede dar patada un televisor desenchufado. La respuesta es que adentro suele haber un capacitor cargado. Y si uno toca ese capacitor le puede dar flor de patada, si señor.

En los aparatos suele haber una lucecita roja que indica que el aparato está prendido. Fijate que cuando apagás el aparato, la lucecita se apaga de a poco. Es el capacitor que se está descargando.

¿Viste Terminator 1? Al final de todo cuando el tipo fenece, la lucecita roja del ojo se va apagando. Es el capacitor que se está descargando.

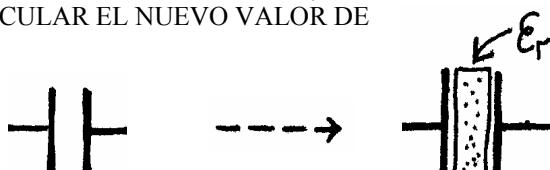
### EJEMPLOS DE PROBLEMAS DE CAPACITORES

Siempre toman capacitores. Es un tema que les encanta. Hay muchos tipos de problemas diferentes. Algunos son bastante rebuscados y bastante difíciles.

Van acá algunos ejemplos.

SE TIENE UN CAPACITOR PLANO DE CAPACIDAD  $C_1$  EN EL AIRE. SE LO ESTIRA HASTA OBTENER EL DOBLE DE ÁREA, SE CUADRURIPLICA LA DISTANCIA QUE SEPARA AMBAS PLACAS Y LO SUMERGE EN AGUA DESTILADA ( CONSTANTE DIELÉCTRICA DEL AGUA DESTILADA = 80 ). CALCULAR EL NUEVO VALOR DE LA CAPACIDAD .

Hago un dibujito:



$$\text{Planteo: } C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{A}{d}$$

Calculo la capacidad del capacitor al principio ( $C_1$ ) y la capacidad del capacitor al final ( $C_2$ )

$$C_1 = \epsilon_0 \cdot 1 \times \frac{A_1}{d_1} \quad \text{y} \quad C_2 = \epsilon_0 \cdot 80 \times \frac{2 \times A_1}{4 \times d_1}$$

Supuse que entre las placas del capacitor 1 había aire. ( $\rightarrow \epsilon_r = 1$ ). Haciendo la división entre  $C_2$  y  $C_1$  me queda:

$$\frac{C_2}{C_1} = \frac{\epsilon_0 \times 80 \times 2 \times A_1}{\epsilon_0 \times 1 \times A_1 \times 4 \times d_1}$$

$$\Rightarrow \frac{C_2}{C_1} = 40$$

$$\Rightarrow C_2 = 40 C_1$$

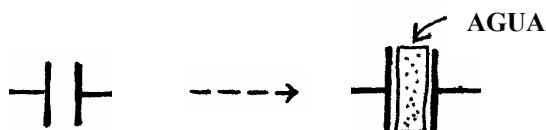
CAPACIDAD DEL  
2do CAPACITOR

UN PAR DE PLACAS METÁLICAS PARALELAS SEPARADAS POR AIRE FORMAN UN CAPACITOR, QUE ESTÁ CONECTADO A UNA BATERÍA DE 120 VOLTS. SIN DESCONECTAR LA BATERÍA SE SUMERGEN LAS PLACAS EN AGUA DESTILADA

- DECIR QUÉ OCURRE CON LA CARGA Y CON LA TENSIÓN ENTRE LAS PLACAS.
- IDEM SI SE SUMERGE AL CAPACITOR CON LA BATERÍA DESCONECTADA.

DATO:  $\epsilon_r \text{ AGUA} = 80$

Veamos. Primero tengo al capacitor solo y después lo tiro al agua pato. Esto es una manera indirecta de decir que entre las placas se pone un dieléctrico de agua.



La diferencia de potencial entre las placas la mantiene la batería entregando las cargas que sean necesarias. Si no se desconecta la batería, la diferencia de potencial va a seguir siendo la misma cuando se meta el dieléctrico de agua. Quiere decir que en el caso a) la tensión entre placas no se modifica.

$$V_{\text{con agua}} = V_{\text{con aire}} = 120 \text{ VOLTS}$$

Al poner dieléctrico de agua destilada, la capacidad del condensador aumenta porque el Epsilon Erre del agua es mayor que el del aire. Entonces:

$$C_{(\text{CON DIELECTRICO})} = \epsilon_r \times C_{(\text{SIN DIELECTRICO})}$$

$$C_{\text{agua}} = \epsilon_r \times C_{\text{aire}}$$

$$C_{\text{agua}} = 80 C_{\text{aire}}$$

Entonces al poner el dieléctrico de agua, la capacidad aumenta. Se multiplica por 80.

Vamos a ver qué pasa con la carga.  $C = Q / V \rightarrow Q = C \times V$ . Entonces :

$$Q_{\text{aire}} = C_{\text{aire}} \times V_{\text{aire}}$$

$$Q_{\text{agua}} = C_{\text{agua}} \times V_{\text{agua}} = \epsilon_r \text{ agua} \times V_{\text{agua}}$$

Y como  $V_{\text{con agua}} = V_{\text{con aire}}$

$$\Rightarrow Q_{\text{agua}} = 80 \times Q_{\text{aire}}$$

La carga del capacitor con el agua es mayor que la carga en el aire, porque  $\epsilon_r \text{ agua} = 80$ .

Ahora, pregunta: ¿De dónde salió la carga adicional que entró al capacitor?

Rta: La entregó la pila. A grandes rasgos las pilas son como una fuente de electrones.

b) - Ahora pongo el dieléctrico de agua pero sin la pila. Al no haber pila, no hay electrones que se puedan aportar. Entonces la carga en las placas seguirá siendo la misma. O sea:

$$Q_{\text{con aire}} = Q_{\text{con agua}}$$

Veamos qué pasa con la diferencia de potencial.  $V = Q / C$ . La carga no se modifica al poner el dieléctico, pero la capacidad sí.

$$V_{\text{con aire}} = Q_{\text{con aire}} / C_{\text{con aire}}$$

$$V_{\text{con agua}} = Q_{\text{con agua}} / C_{\text{con agua}}$$

Y como  $C_{\text{agua}} = \epsilon_r \times C_{\text{aire}}$

$$\Rightarrow V_{\text{con agua}} = Q_{\text{con agua}} / \epsilon_r \times C_{\text{aire}}$$

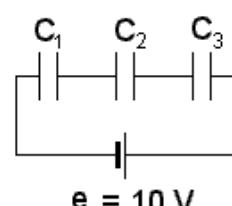
Quiere decir que

$$V_{\text{con agua}} = 1/80 V_{\text{con aire}}$$

$$V_{\text{con agua}} = 120 \text{ Volts} / 80 = 1,5 \text{ Volts}$$

Conclusión: Al poner el dieléctrico de agua sin la batería, la carga en las placas no se modifica y la tensión pasa a valer 1,5 volts.

SE TIENEN TRES CAPACITORES, DE CAPACITANCIAS  $C_1 > C_3 > C_2$ , INICIALMENTE DESCARGADOS. LOS TRES CAPACITORES SE CONECTAN EN SERIE ENTRE SÍ CON UNA BATERÍA DE 10 VOLTS. ENTONCES:



- |                      |   |                   |                      |   |                   |
|----------------------|---|-------------------|----------------------|---|-------------------|
| a) $V_1 < V_3 < V_2$ | y | $Q_1 = Q_2 = Q_3$ | b) $V_1 = V_2 = V_3$ | y | $Q_1 < Q_3 < Q_2$ |
| c) $V_1 = V_2 = V_3$ | y | $Q_1 > Q_3 > Q_2$ | d) $V_1 > V_3 > V_2$ | y | $Q_1 > Q_3 > Q_2$ |
| e) $V_1 = V_2 = V_3$ | y | $Q_1 = Q_2 = Q_3$ | f) $V_1 > V_3 > V_2$ | y | $Q_1 = Q_2 = Q_3$ |

Cuando se conectan capacitores descargados en serie todos quedan con la misma carga. Esto pasa porque si la primer placa de la izquierda se carga con una carga  $+Q$ , la placa enfrentada a esta se cargará por inducción con una carga  $-Q$ . Esto deja la placa del condensador siguiente con una carga  $+Q$ . A su vez esta carga  $+Q$  induce de nuevo una carga  $-Q$  en su placa enfrentada. Así hasta terminar la serie, todos se cargan con la misma cantidad de carga... O sea,  $Q_1 = Q_2 = Q_3$ .

Entonces la respuesta está entre las a), e) y f). Pero nos dicen que  $C_1 > C_3 > C_2$

Entonces:

$$C_1 > C_3 > C_2 \Rightarrow \frac{Q}{V_1} > \frac{Q}{V_3} > \frac{Q}{V_2}$$

Como todas las  $Q$  son iguales, las simplifico y me queda:

$$\frac{1}{V_1} > \frac{1}{V_3} > \frac{1}{V_2}$$

Para que se entienda mejor voy a poner esto así:

$$\frac{1}{V_1} > \frac{1}{V_3} \text{ y } \frac{1}{V_3} > \frac{1}{V_2}$$

Entonces, paso de miembro y me queda:  $V_1 < V_3$  y  $V_3 < V_2$

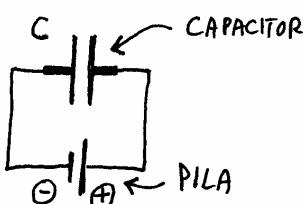
$$\Rightarrow V_1 < V_3 < V_2$$

Entonces la respuesta correcta es la a).

### PROBLEMA PARA EXPERTOS

UN CAPACITOR INICIALMENTE DESCARGADO SE CONECTA A UNA PILA Y ADQUIERE UNA CARGA DE 2 mC Y UNA DIFERENCIA DE POTENCIAL ENTRE SUS PLACAS DE 10 V. SE DESCONECTA LA PILA Y SE CONECTAN LOS EXTREMOS DEL CAPACITOR CON LOS DE OTRO IDÉNTICO, PERO DESCARGADO. ¿ CUAL SERÁ LA TENSIÓN Y LA CARGA EN ESTE ÚLTIMO CAPACITOR ?

Tengo un capacitor que se carga poniéndole una pila. Hagamos un dibujito.



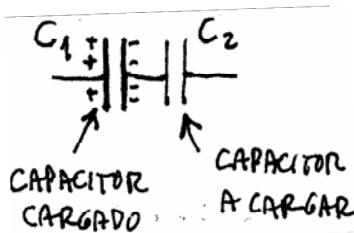
El coso adquiere una carga de 2 mili-Coulomb y una tensión de 10 V. Su capacidad es:

$$C = \frac{Q}{V}$$

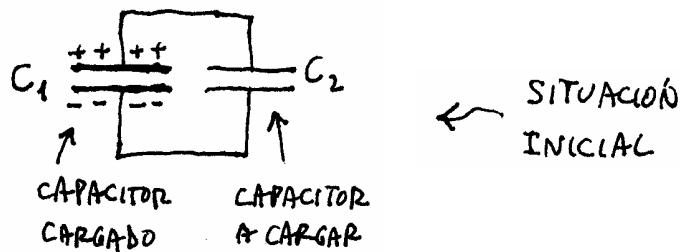
$$C = 2 \times 10^{-3} \text{ Coul / 10 Volt}$$

$$\Rightarrow C = 2 \times 10^{-4} \text{ F} = 0,2 \text{ mF}$$

Ahora lo conectamos con otro capacitor de la misma capacidad. Pero hay un problema... ¿Los conecto en serie o en paralelo? No lo aclaran! ( Bienvenido a biofísica ). Y bueno, probemos conectarlos de las 2 maneras a ver qué pasa. Probemos primero ponerlos en serie. Me quedaría algo así:



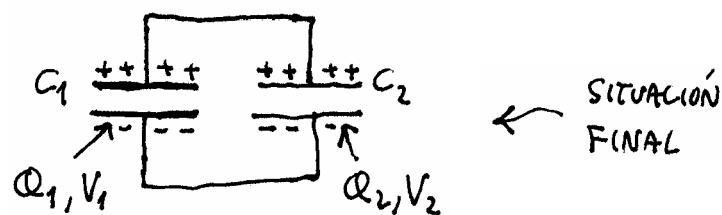
Esta conexión no tiene mucho sentido porque el capacitor 2 nunca se cargaría. Entonces probemos con la conexión en paralelo: Me quedaría algo así:



¿Qué va a pasar ahora?

Rta: Bueno, pensemos. Los capacitores están en paralelo. Quiere decir que tienen que tener la misma diferencia de potencial. (= el mismo voltaje). Entonces las cargas se van a empezar a distribuir hasta que la diferencia de potencial en los 2 capacitores sea igual. Llamo  $C_1$  al capacitor original y  $C_2$  al nuevo.

En el estado final tengo esto:



Ahora,  $V_1 = V_2$ . Pero como  $V = Q/C$ , puedo plantear que:

$$Q_{1 \text{ FINAL}} / C_1 = Q_{2 \text{ FINAL}} / C_2$$

$$\Rightarrow Q_{2 \text{ FINAL}} = (C_2 / C_1) \times Q_{1 \text{ FINAL}}$$

Ahora, dicen que el capacitor  $C_2$  es 2 idéntico al  $C_1$ . Se supone que eso quiere decir que los dos tienen la misma capacidad. Entonces,  $C_1 = C_2$ . Se simplifica  $C_2 / C_1$  y me queda:

$$Q_1 \text{ FINAL} = Q_2 \text{ FINAL}$$

Ahora viene lo importante: fíjate que la carga total en el circuito **TIENE QUE SER LA CARGA QUE TENÍA INICIALMENTE EL  $C_1$** . Esto es así porque la carga no tiene donde irse. Parte de la carga inicial pasará al capacitor 2 y parte quedará en el capacitor 1. Pero la suma de las 2 cargas va a tener que ser la carga inicial que tenía el capacitor 1. Entonces:

$$Q_{C1 \text{ Initial}} = Q_{1 \text{ FINAL}} + Q_{2 \text{ FINAL}}$$

$$2 \text{ mili Coulomb} = Q_1 \text{ FINAL} + Q_2 \text{ FINAL}$$

Pero  $Q_1 \text{ FINAL} = Q_2 \text{ FINAL}$

$$\Rightarrow Q_2 \text{ FINAL} = 1 \text{ mili Coulomb}$$

Y su tensión va a ser:

$$V_2 \text{ FINAL} = Q_2 \text{ FINAL} / C_2 = 1 \text{ mC} / 0,2 \text{ mF}$$

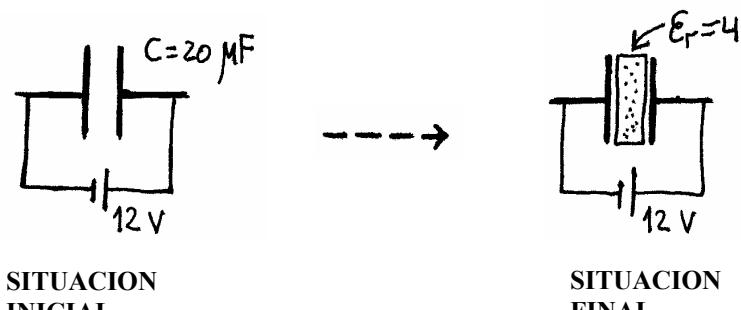
$$\Rightarrow \underline{V_2 \text{ FINAL} = 5 \text{ Volt}}$$

Resumiendo, los 2 capacitores terminan con la misma carga y el mismo voltaje.

UN CAPACITOR PLANO DE AIRE DE  $20 \mu\text{F}$  ESTÁ CONECTADO A UNA FUENTE DE TENSIÓN CONTINUA DE 12 V. SIN DESCONECTARLO DE ESTA FUENTE SE LE INTRODUCE UN DIELÉCTRICO CUYA CONSTANTE DE PERMEABILIDAD RELATIVA VALE  $\epsilon_r = 4$ .

- a) - CALCULAR LA CARGA QUE DA O RECIBE LA BATERIA EN EL PROCESO DE INTRODUCIR EL DIELÉCTRICO ENTRE LAS PLACAS
  - b) - ¿ QUE VARIACIÓN DE ENERGIA TIENE EL CAPACITOR DESPUES DE INTRODUCIR EL DIELÉCTRICO ?

Hago un dibujito del capacitor sin dieléctrico y con dielectrico.



$$C = \frac{Q}{V} \Rightarrow Q = C \cdot V$$

La carga del capacitor 1 es  $Q_1 = C_1 \times V$

$$\Rightarrow Q_1 = 20 \mu F \times 12 V = 240 \mu C$$

Al poner el dieléctrico la capacidad del capacitor 2 aumenta:  $C_2 = C_1 \times \epsilon_r$

$$C_2 = 4 C_1 = 80 \mu F$$

La carga del capacitor 2 es  $Q_2 = C_2 \times V$ . el voltaje sigue siendo 12 volts. Entonces :

$$\Rightarrow Q_2 = C_2 \times V = 80 \mu F \times 12 V$$

$$Q_2 = 960 \mu C$$

La batería entrega carga. Esa carga vale:

$$Q_{\text{Batería}} = Q_2 - Q_1 = 960 \mu C - 240 \mu C$$

$$\underline{Q_{\text{Batería}} = 720 \mu C} \quad \leftarrow \text{CARGA ENTREGADA POR LA PILA}$$

b) Calculo la variación de energía al introducir el dieléctrico. La energía de un capacitor es:

$$\text{Energ} = \frac{1}{2} Q \cdot V$$

$$E_0 = \frac{1}{2} 240 \mu C \times 12 V = 1440 \mu \text{ joules}$$

$$E_F = \frac{1}{2} Q_F \times V_F$$

$$E_F = \frac{1}{2} 960 \mu C \times 12 V = 5760 \mu \text{ joules}$$

$$\Delta \text{Energia} = E_F - E_0$$

$$\Rightarrow \Delta \text{Energ} = 5760 \mu \text{ Joules} - 1440 \mu \text{ Joules}$$

$$\Rightarrow \underline{\Delta \text{Energ} = 4320 \mu \text{ Joules}}$$

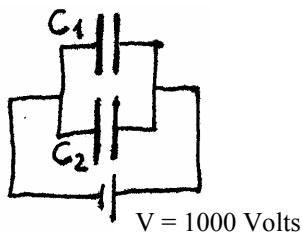
El capacitor aumenta su energía cuando se introduce el dieléctrico

### PROBLEMA PARA EXPERTOS

DOS CONDENSADORES, UNO DE 1 mF Y OTRO DE 2 mF SE CONECTAN EN PARALELO A UNA FUENTE DE 1000 V. UNA VEZ CARGADOS SE DESCONECTAN DE LA FUENTE Y SE CONECTAN ENTRE SÍ, UNIENDO LAS ARMADURAS QUE TIENEN CARGA DE DISTINTO SIGNO. ¿ CUAL ES LA CARGA FINAL DE CADA UNO CUANDO SE ALCANZA EL EQUILIBRIO ?

- |                     |                      |                      |
|---------------------|----------------------|----------------------|
| a) 333 mC y 667 mC  | b) Cero y cero       | c) 1000 mC y 2000 mC |
| d) 667 mC y 1333 mC | e) 1000 mC y 1000 mC | f) otro valor        |

Hagamos un dibujito. Para cargar los capacitores los conectan en paralelo a la fuente. Quiere decir que quedan con una tensión de 1000 Volts cada uno.



Calculo la carga de cada capacitor :

$$Q_1 = C_1 \times V = 1 \times 10^{-3} \text{ F} \times 1000 \text{ V} = 1000 \text{ mC}$$

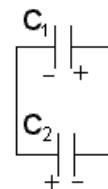
$$Q_2 = C_2 \times V = 2 \times 10^{-3} \text{ F} \times 1000 \text{ V} = 2000 \text{ mC}$$

Al conectarlos entre sí con las chapas de signos opuestos las cargas se reacomodan hasta que las tensiones de los dos capacitores se igualen y ya no permitan la circulación de cargas.

$$\Rightarrow V_1 = Q_1/C_1 = Q_2/C_2 = V_2$$

$$\Rightarrow Q_1 = (C_1/C_2) \cdot Q_2$$

$$\Rightarrow Q_1 = (C_1/C_2) \times Q_2 = (1 \times 10^{-3} \text{ F} / 2 \times 10^{-3} \text{ F}) \times Q_2$$



$$\Rightarrow Q_1 = \frac{1}{2} Q_2$$

O sea que  $Q_1$  debe ser la mitad de  $Q_2$ , lo que sólo nos descarta la respuesta e)...

Pero por otro lado, como al conectar los condensadores uno tiene 2.000 mC y el otro 1.000 mC, al final quedarán sólo  $Q_{\text{final}} = 1.000 \text{ mC}$  de carga neta repartida entre los dos. Esto nos da una relación extra que es:

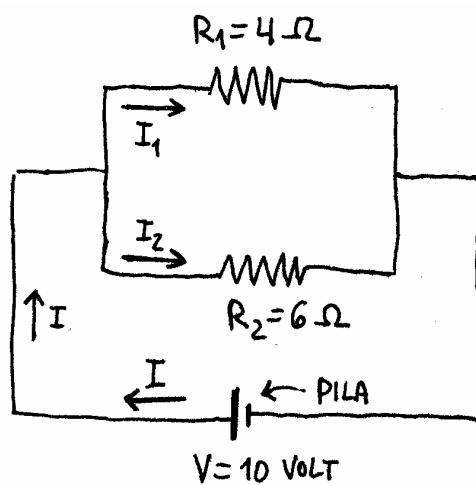
$$Q_{\text{final}} = Q_1 + Q_2 = \frac{1}{2} Q_2 + Q_2 = \frac{3}{2} Q_2 \Rightarrow$$

$$Q_2 = \frac{2}{3} Q_{\text{final}} = \frac{2}{3} \times 1000 \text{ mC} = 667 \text{ mC}$$

Y con esto  $Q_1 = 333 \text{ mC}$

# CIRCUITOS ELECTRICOS

- \* CORRIENTE ELECTRICA
- \* RESISTENCIA - LEY DE OHM
- \* RESISTENCIAS EN SERIE Y EN PARALELO
- \* ENERGIA Y POTENCIA
- \* EFECTO JOULE
- \* RESISTIVIDAD
- \* CIRCUITOS ELECTRICOS
- \* CAIDA DE POTENCIAL
- \* VOLTIMETRO Y AMPERIMETRO



$$I_1 = I \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

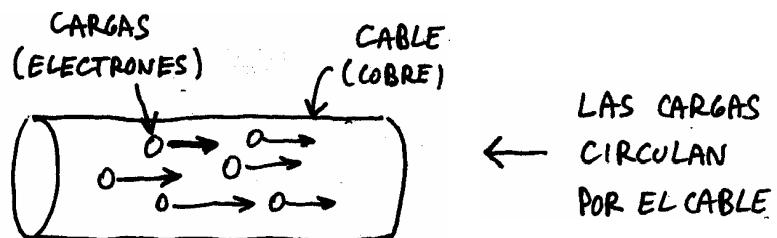
← CORRIENTE QUE CIRCULA  
POR LA RAMA ①

$$I_2 = I \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

← CORRIENTE QUE CIRCULA  
POR LA RAMA ②

## CORRIENTE ELECTRICA

La corriente eléctrica es el movimiento de cargas por un cable. En la realidad estas cargas son electrones. Los metales pueden conducir la corriente. Cuando uno pone una pila entre las 2 puntas de un cable, la pila obliga a estos electrones a moverse. Estos electrones moviéndose es lo que se llama corriente eléctrica.



La corriente eléctrica sería el número de cargas que están circulando por segundo. Hablamos de intensidad de corriente eléctrica. (I). La I Se mide en Amperes.

$$I = \frac{\text{CARGA}}{\text{tiempo}}$$

INTENSIDAD (AMPERES)

Coulombs

seg

INTENSIDAD DE LA CORRIENTE ELECTRICA (AMPERES)

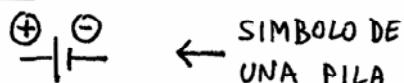
Esta fórmula  $I = \text{Carga} / \text{tiempo}$  no la vas a usar en los problemas, pero conviene que la conozcas para que entiendas lo que es la corriente eléctrica. Fijate que al decir que I es el "número de cargas que circulan en cierto tiempo", indirectamente uno está hablando de una especie de "caudal". Lo que pasa es que en vez de ser un caudal de litros por segundo ahora es un caudal de "cargas por segundo". Es decir, puede entenderse la corriente eléctrica como si fuera un "caudal de cargas que circulan por un cable". O sea, una especie de líquido compuesto por cargas. De ahí viene el asunto de que a veces a la electricidad se la llama "flujo eléctrico". (A veces en la radio dicen "de tal hora a tal hora habrá una interrupción en el suministro del fluido eléctrico" ).

### PILAS

Una pila es lo que vos conocés de la vida diaria. Es un poco complicado explicar como funciona una pila en la realidad. Sin hilar finito digamos que una pila es como una fuente de electrones. Algo así como un tanque lleno de cargas. Cuando uno conecta un cable a la pila, las cargas (electrones) salen del tanque y empiezan a viajar por el cable.



La pila empuja a los electrones y los obliga a circular por el cable. La "fuerza" que hace la pila para mover a las cargas por el cable se llama **fuerza electromotriz** (f.e.m). La **fem** se mide en volts. Es lo que en la vida diaria se llama "voltaje de la pila". La f.e.m. vendría a ser la fuerza que empuja a los electrones y hace que se muevan. Acá en electricidad simbolizamos a las pilas de esta manera:

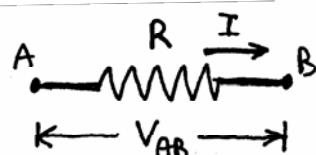


La f.e.m de la pila tiene otros nombres. Se la llama también **diferencia de potencial**, **potencial**, **tensión**, **tensión de la pila** o **voltaje**. En la práctica se usa más que nada la palabra **voltaje**. Cuanto más voltaje tiene una pila, más fuerza tiene para empujar a los electrones. Al voltaje se lo pone generalmente con la letra **V**. A veces también se usa la letra E. (Atento).

## RESISTENCIA ELECTRICA

Los cables se oponen al paso de los electrones. A la corriente le cuesta circular por un cable. A esta resistencia se la pone con la letra **R**. Se mide en Ohms.

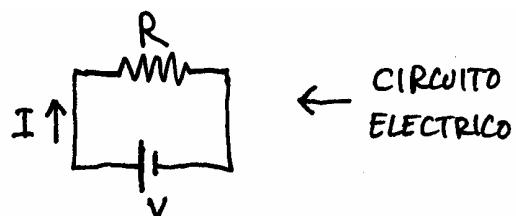
A veces para ahorrar tiempo en vez de poner la palabra Ohms se usa el símbolo " **$\Omega$** ". (Es la letra griega Omega). El dibujito de una resistencia es este:



Mirá un poco el asunto: Por la resistencia circula una corriente que la llamo **I**. Esta **I** va en Amperes. Entre los bordes de la resistencia hay una tensión **V<sub>AB</sub>**. (puntos A y B). Esta tensión **V<sub>AB</sub>** es lo que se llama **caída de potencial en la resistencia**. Se mide en volts.

## LEY DE OHM (Atento)

Hagamos un circuito eléctrico. Un circuito está hecho con una pila y una resistencia. La pila manda electrones y los electrones circulan por el cable. Estos electrones circulando son la corriente eléctrica (**I**).



A la corriente se la pone con la letra **I** porque el verdadero nombre de la corriente eléctrica es "Intensidad de corriente". La ley de Ohm dice que en un circuito eléctrico siempre se cumple que  $V = I \times R$ .

En la fórmula  $V = I \times R$ , V es la diferencia de potencial, I es la corriente que circula y R es la resistencia del cable.

$$V = I \cdot R$$

↑      ↑      ↑  
Volts Amperes Ohms

LEY DE OHM

También se puede poner la ley de Ohm como  $I = V / R$ .

$$I = \frac{V}{R}$$

↔ LEY DE OHM

Se puede ver el significado de la fórmula  $I = V / R$  diciendo que la corriente que circula por un cable es proporcional al voltaje e inversamente proporcional a la resistencia del cable. O sea, a mayor voltaje, mayor corriente que circula. A mayor resistencia, menor corriente que circula.

### RELACION DE LA LEY DE OHM CON EL CAUDAL QUE CIRCULA POR UN TUBO

La circulación de las cargas eléctricas en un cable se parece a la circulación del agua por un tubo. Fíjate. Antes cuando un líquido iba por un tubo usábamos la ley de Poiseuille que decía  $\Delta P = Q \times R_H$ .

CAUDAL QUE CIRCULA  $\rightarrow Q$    $\Delta P = Q \cdot R_H$

En la ley de Poiseuille, el  $\Delta P$  era la diferencia de presión,  $R_H$  era la resistencia hidrodinámica y  $Q$  era el caudal que circulaba. En la fórmula  $\Delta P = Q \times R_H$  el caudal  $Q$  es proporcional a la diferencia de presión  $\Delta P$  e indirectamente proporcional a la resistencia hidrodinámica  $R_H$ . Podemos hacer un razonamiento parecido para la corriente eléctrica. El caudal sería la corriente I, la presión sería el voltaje V y la resistencia hidrodinámica sería la resistencia del cable R. A su vez la pila cumpliría la función de una bomba que impulsa el líquido para que circule.

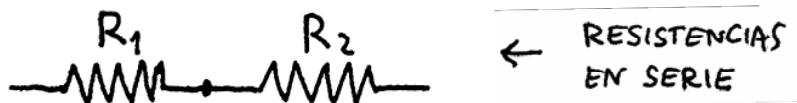
El caudal  $Q$  es la cantidad de litros que pasan por segundo. La corriente también representaría "una especie de caudal". Sería el caudal de cargas que pasan por segundo. La diferencia de presión obliga a un líquido a moverse. El voltaje de la pila sería algo parecido a esa diferencia de presión. La diferencia de potencial de la pila obliga a las cargas a circular por el cable. El tubo por donde va el agua tiene resistencia hidrodinámica y pierde presión. En el tubo hay una caída de presión. El cable por donde circulan las cargas tiene resistencia eléctrica y las cargas " pierden voltaje ". A lo largo de la resistencia hay una caída de potencial.

¿Ves como es el asunto? Esto es lo que se llama "analogía hidráulica para la corriente eléctrica".

## RESISTENCIAS EN SERIE Y EN PARALELO (Importante)

### RESISTENCIAS EN SERIE

Suponete que tengo dos resistencias una a continuación de la otra. O sea, pongo las resistencias en serie. Mirá el dibujo de 2 resistencias  $R_1$  y  $R_2$  puestas en serie:



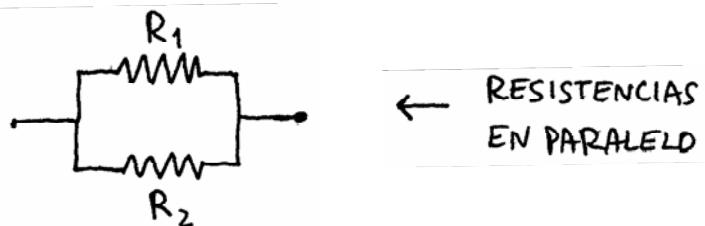
La pregunta es: ¿Qué resistencia tienen en conjunto  $R_1$  y  $R_2$  puestas una a continuación de la otra? O sea, quiero reemplazar a  $R_1$  y a  $R_2$  por una sola  $R$  que tenga una resistencia equivalente. A esta resistencia equivalente se la llama justamente resistencia equivalente (o resistencia total). ( $R_{EQ}$  o  $R_T$ ). Para dos resistencias en serie, la resistencia equivalente es la suma de las resistencias.

$$R_T = R_1 + R_2 \quad \leftarrow \text{RESISTENCIAS EN SERIE}$$

Este mismo razonamiento se aplica si tengo más de 2 resistencias conectados en serie. (O sea, se suman las  $R$ ). Si tengo 3 resistencias  $R_1$ ,  $R_2$  y  $R_3$  en serie, la resistencia total va a ser  $R_{TOT} = R_1 + R_2 + R_3$

### RESISTENCIAS EN PARALELO

Tengo una conexión en paralelo cuando pongo las resistencias una paralela a la otra. Sería algo así:



En el caso de resistencias en paralelo la  $R$  total se calcula sumando las inversas:

$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \quad \leftarrow \text{RESISTENCIAS EN PARALELO}$$

Si vos despejás  $R_{TOTAL}$  de este choclo te queda esto:

$$R_T = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2} \quad \leftarrow \text{FÓRMULA PARA 2 RESISTENCIAS EN PARALELO.}$$

Ojo, esto se puede usar sólo para **DOS** resistencias. Si tenés 3, esta fórmula no sirve. ( Para 3 resistencias NO se puede hacer  $1/R_{TOT} = R_1 \times R_2 \times R_3 / (R_1 + R_2 + R_3)$  ).

Atención, para que 2 resistencias estén en paralelo tiene que haber una ramificación. La corriente se divide en 2 al pasar por el paralelo.

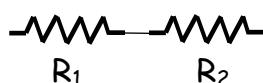
¿Qué pasa si en vez de tener 2 R en paralelo tengo 3 R en paralelo?

Rta: Bueno, si las tres resistencias tienen resistencias  $R_1$ ,  $R_2$  y  $R_3$  me quedaría:

$$\frac{1}{R_e} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

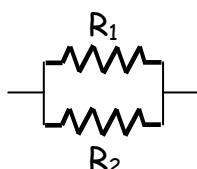
Y lo mismo va para muchas resistencias conectados en paralelo. ( Es decir, tengo que poner que 1 sobre la  $R_{TOTAL}$  es la suma de todas las  $1/R$  ).

Para dibujar las resistencias en serie o en paralelo se suelen usar estos dibujitos que pongo acá.



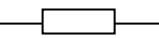
Resistencias en serie:

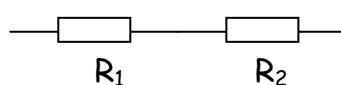
$$R_{TOT} = R_1 + R_2$$



Resist. en paralelo

$$\frac{1}{R_{EQ}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

NOTA: A veces para indicar una resistencia ellos usan este símbolo   
Por ejemplo, 2 resistencias en serie quedarían así:



OTRA MANERA DE SIMBOLIZAR A LAS RESISTENCIAS

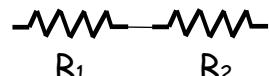
### EJEMPLO:

CALCULAR LA RESISTENCIA EQUIVALENTE PARA DOS RESISTENCIAS CONECTADAS EN SERIE Y EN PARALELO CUYOS VALORES SON  $R_1 = 10 \Omega$  Y  $R_2 = 5 \Omega$

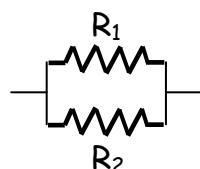
### SOLUCION:

Cuando las pongo en serie directamente hago

$$R_{TOT} = R_1 + R_2 \rightarrow R_{TOT} = 15 \text{ Ohms}$$



Cuando las pongo en paralelo hago un dibujito y aplico la fórmula:



$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \Rightarrow \frac{1}{R_T} = \frac{1}{5\Omega} + \frac{1}{10\Omega}$$

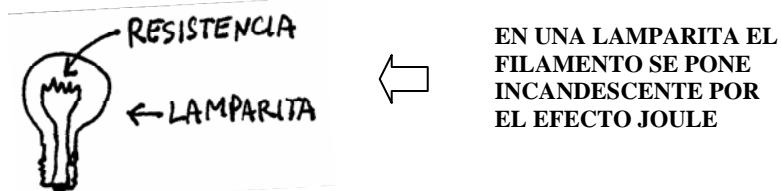
$$\rightarrow R_{TOT} = 3,33 \text{ Ohms}$$

IMPORTANTE: La resistencia equivalente de una conexión en paralelo siempre tiene que dar MENOR QUE LA MENOR de las resistencias. Fíjate que calculé la  $R_{EQ}$  para 2 resistencias de 5 y de 10 y me dió  $R_{EQ} = 3,33 \Omega$ , que es menor que  $5 \Omega$ .

### POTENCIA EN CIRCUITOS ELÉCTRICOS - EFECTO JOULE

A veces piden calcular la potencia que se gasta cuando una corriente circula por una resistencia. Se habla de potencia gastada, potencia consumida o potencia entregada por la resistencia. Esta potencia es la energía disipada por el rozamiento de las cargas eléctricas contra el cable. Es energía que se libera en forma de calor.

A este calentamiento de los cables cuando circula una corriente eléctrica se lo llama "Efecto Joule". A veces vas a ver que el enchufe de la pared está calentito. Eso pasa por el efecto Joule. Mucha corriente circuló por el enchufe y el enchufe se calentó. Lo mismo va para las lamparitas. Una lamparita se calienta por efecto Joule. O sea, lo que se calienta es la resistencia que está adentro. (que es el filamento, aclaro).



Para calcular la potencia que consume una resistencia se usa alguna de estas 3 fórmulas:  $\text{Potencia} = V \times I$  o  $\text{Potencia} = R \times I^2$  o  $\text{Potencia} = V^2 / R$ .

$$\text{Pot} = V \cdot I = R \cdot I^2 = \frac{V^2}{R} \quad \leftarrow \text{POTENCIA (WATTS)}$$

Podés usar cualquiera de las 3 fórmulas dependiendo de los datos que te den.

### EJEMPLO

- CALCULAR LA CORRIENTE QUE CIRCULA POR UNA LAMPARITA COMÚN DE 100 WATTS QUE SE CONECTA A UN ENCHUFE DE 220 VOLTS.
- ¿QUÉ CANTIDAD DE CALOR DISIPA LA LAMPARITA EN 1 HORA ?

Rta: La lámpara tiene 100 watss de potencia y un voltaje de 220 volts.

Entonces :

$$\begin{aligned} \text{Pot} &= V \times I \rightarrow I = \text{Pot} / V \rightarrow I = 100 \text{ watts} / 220 \text{ volts} \\ &\rightarrow I = 0,454 \text{ Ampere} \end{aligned}$$

$$\text{Pot} = V^2 / R \rightarrow R = V^2 / \text{Pot} \rightarrow R = (220 \text{ Volts})^2 / 100 \text{ Watts}$$

$$\rightarrow R = 484 \text{ Ohms}$$

La Potencia es:  $\text{Pot} = \text{Energía} / \text{tiempo} \rightarrow \text{Energía} = \text{Pot} \times \Delta t$

$$\rightarrow \text{Energ} = 100 \text{ Watts} \times 3600 \text{ seg}$$

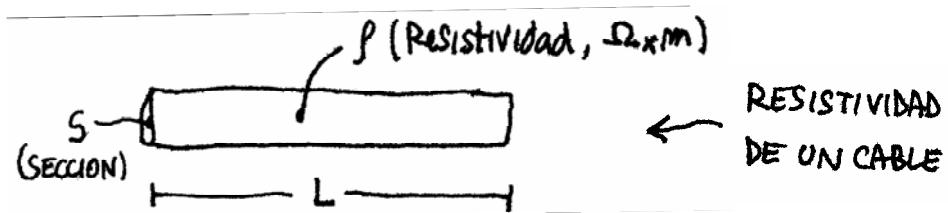
$$\rightarrow \text{Energ} = 360.000 \text{ Joule}$$

Puedo poner esto en calorías para que quede más lindo. Divido por 4186

$$\rightarrow \underline{Q_{\text{ENTREGADO}} = 86 \text{ Kcal}} \quad \leftarrow \begin{matrix} \text{CALOR ENTREGADO} \\ \text{EN 1 HORA} \end{matrix}$$

### RESISTIVIDAD DE UN CABLE

Supongamos que tengo un cable por donde circula una corriente. Ese cable tiene cierta resistencia al paso de la corriente.



Se comprobó que la resistencia que tiene el cable es proporcional a la longitud del cable e inversamente proporcional a la sección. La fórmula es :

$$R = \rho \frac{L}{S}$$

RESISTIVIDAD  $(\Omega \times m)$       LONGITUD (m)      SECCIÓN  $(m^2)$

RESISTENCIA DE UN CABLE

El valor Rho ( $\rho$ ) es lo que se llama RESISTIVIDAD DEL CABLE. La resistividad depende del material con el que está hecho el cable. Cada material tiene un valor de Rho. El cobre tiene un valor, el hierro tiene otro valor, la plata tiene otro valor, etc. Rho me da la resistencia en Ohmios para un cable de 1 metro de longitud y de 1  $m^2$  de sección. A Rho también se la llama a veces resistencia específica.

### EJEMPLO:

CALCULAR LA RESISTENCIA ESPECÍFICA PARA UN CABLE DE 100 m DE LARGO QUE TIENE UNA SECCION DE 1  $cm^2$  Y UNA RESISTENCIA DE 10 Ohms

### SOLUCIÓN:

$$R = \rho \frac{L}{S}$$

$$\Rightarrow 10 \Omega = \rho \times \frac{100 \text{ m}}{0,00001 \text{ m}^2}$$

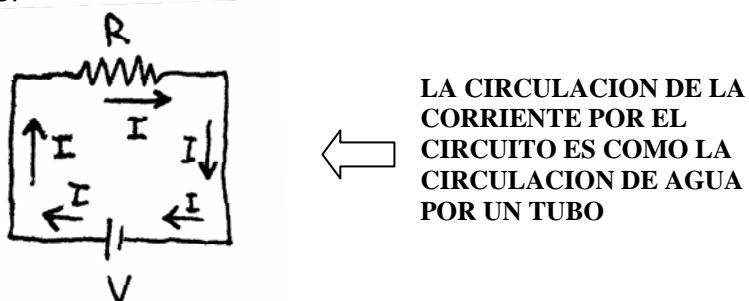
$$\rightarrow \underline{\rho = 10^{-6} \Omega \times m}$$

Nota: El valor de la  $R$  de un material depende de la temperatura. Generalmente, a mayor temperatura, mayor  $\rho$ . Este aumento de la resistividad con la temperatura provoca que la resistencia de un cable también aumente con la temperatura. Por ejemplo, si medís la resistencia de una lamparita con un tester te va a dar cierto valor. Ese valor es la resistencia del filamento de la lamparita a temperatura ambiente. Pero cuando la lamparita está prendida, la temperatura es de más de 1.000 grados. De manera que la resistencia del filamento a esa temperatura va a ser mucho más grande.

Por eso, vos no podés medir la resistencia de una lamparita y después tratar de calcular la potencia que consume haciendo la cuenta  $P_{ot} = (220 \text{ V})^2 / R$ . ( Porque vos mediste la resistencia de la lamparita cuando estaba fria y esa no va ser la resistencia de la lamparita cuando esté caliente )

### CIRCULACION DE LA CORRIENTE EN UN CIRCUITO ELECTRICO

Supongamos que tengo un circuito formado por una pila y una resistencia. La pila empuja a los electrones y los obliga a moverse por el cable. Los electrones salen de un polo de la pila, circulan por el circuito, pasan por la resistencia y vuelven a la pila por el otro lado. Sería algo así:

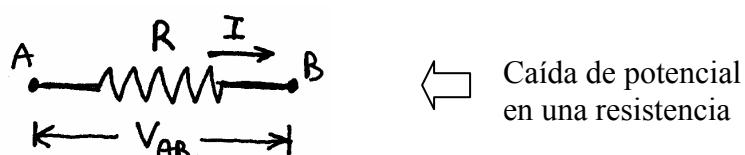


Fijate que la corriente viaja por el circuito como si fuera agua por un tubo. A lo largo del circuito no hay "corriente que se pierde". Todo el caudal que sale, es el caudal que entra. Todas las cargas que salen por un lado de la pila vuelven a entrar por el otro lado de la pila. No hay cargas que se pierdan.

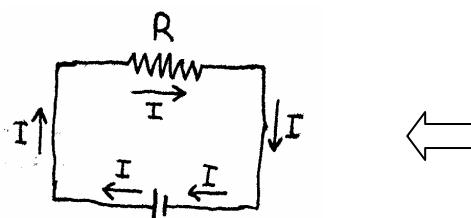
Este concepto es muy importante. La corriente es como un caudal que circula. El caudal no se pierde. Todo lo que entra, sale. Todo lo que sale, entra.

### CAIDA DE POTENCIAL EN UNA RESISTENCIA

A medida que el agua circula por un tubo, pierde presión. De la misma manera, a medida que la corriente circula por un cable, pierde "voltaje". Entre las puntas de una resistencia hay una diferencia de potencial. Se la suele llamar  $V$ ,  $\Delta V$  o  $V_{AB}$ . Esta diferencia de potencial es el voltaje de la resistencia.

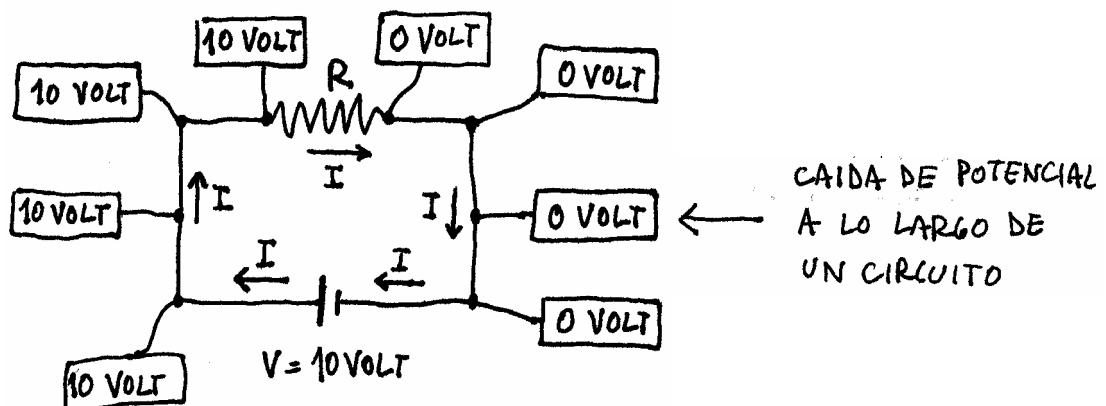


El asunto es así: La corriente circula por el circuito. Da vueltas y vueltas. Cuando la corriente pasa por la resistencia, el voltaje cae. A la entrada de la resistencia, el voltaje es alto, a la salida de la resistencia el voltaje es bajo.



CIRCULACION DE LA CORRIENTE POR EL CIRCUITO

Fijate. Suponé que tengo un circuito con una pila de 10 voltios. A la salida de la pila el potencial es 10 volts. Hasta llegar a la resistencia el potencial sigue siendo 10 volts. Recién en la resistencia se produce una caída de potencial. Ahí el potencial va disminuyendo gradualmente. Si hay una sola resistencia en el circuito, el potencial a la entrada de la resistencia será 10 volts y a la salida de la resistencia será 0 volts. Mirá bien este dibujo :



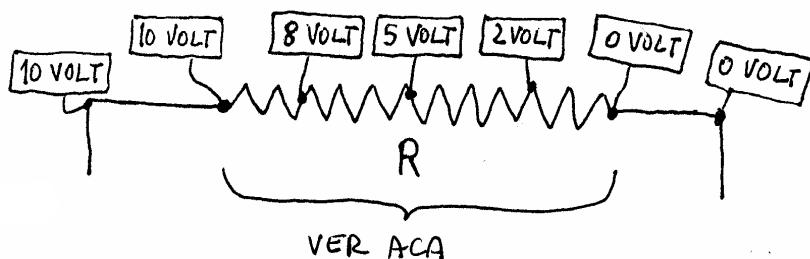
La caída de potencial en la resistencia se calcula con la siguiente fórmula:

$$V = I R$$

Caída de potencial en una resistencia

En esta fórmula,  $V$  es la caída de potencial en la resistencia,  $I$  es la corriente que circula y  $R$  es el valor de la resistencia.

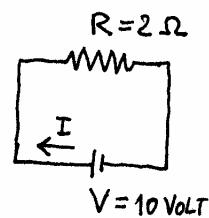
Quiero ampliar un poco más el asunto para que veas bien como esto de la caída de potencial. Voy a mirar lo que pasa adentro de la resistencia. Fijate:



Si entendiste este dibujo, entendiste la ley de Ohm.

EJEMPLOS DEL USO DE LA LEY DE OHM

1 - PARA EL SIGUIENTE CIRCUITO CALCULAR LA CORRIENTE QUE CIRCULA, LA CAIDA DE POTENCIAL EN LA RESISTENCIA Y LA POTENCIA CONSUMIDA



SOLUCION:

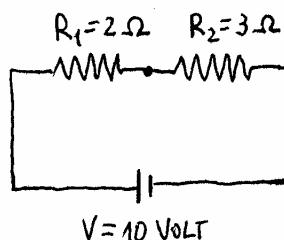
$$I = \frac{V}{R} = \frac{10 \text{ VOLT}}{2 \Omega} = 5 \text{ AMPERE}$$

La caída de potencial en la resistencia es directamente el voltaje de la pila, o sea 10 Volts. Es decir, a la izquierda de la resistencia el potencial es 10 volts y a la derecha de la resistencia es CERO.

La potencia consumida vale:  $\text{Pot} = V \times I = 10 \text{ Volt} \times 5 \text{ Ampere}$

$$\rightarrow \text{Pot} = 50 \text{ Watts}$$

2 - PARA EL SIGUIENTE CIRCUITO CALCULAR LA CORRIENTE QUE CIRCULA, LA CAIDA DE POTENCIAL EN CADA RESISTENCIA Y LA POTENCIA CONSUMIDA EN TOTAL Y POR CADA RESISTENCIA



Solución: La resistencia total del circuito es  $2 \Omega + 3 \Omega = 5 \Omega$ . La corriente que circula por el circuito va a ser:

$$I = \frac{V}{R} = \frac{10 \text{ VOLT}}{5 \Omega} = 2 \text{ AMPERE}$$

Esta corriente circula por todo el circuito. Sale de la pila, pasa por la  $R_1$ , pasa por la  $R_2$  y vuelve a la pila.

La caída de potencial en cada resistencia la calculo como  $V = I \times R$

$$V_{R1} = I \times R_1 = 2 \text{ A} \times 2 \Omega = 4 \text{ Volts}$$

CAIDA DE POTENCIAL  
← EN LA  $R_1$

$$V_{R2} = I \times R_2 = 2 \text{ A} \times 3 \Omega = 6 \text{ Volts}$$

CAIDA DE POTENCIAL  
← EN LA  $R_2$

Fijate que las caídas de potencial me dieron 4 volts y 6 volts. Si las sumo obtengo la caída de potencial total, o sea, 10 volts. La caída de potencial total siempre tiene que ser igual al voltaje de la pila.

La potencia en cada resistencia la calculo como  $\text{Pot} = V \times I$

$$Pot_{R1} = V_{R1} \times I = 4V \times 2A = \underline{8 \text{ Watts}}$$

POTENCIA  
← EN LA  $R_1$

$$Pot_{R2} = V_{R2} \times I = 6V \times 2A = \underline{12 \text{ Watts}}$$

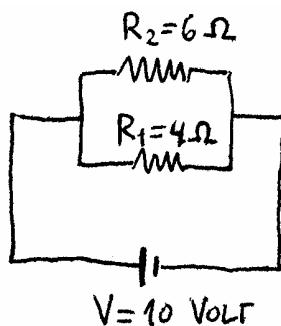
POTENCIA  
← EN LA  $R_2$

Fijate por favor que la potencia total consumida por el circuito es la suma de las potencias. Es decir :

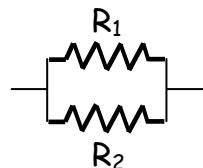
$$Pot_{TOTAL} = 8 \text{ Watts} + 12 \text{ Watts} = \underline{20 \text{ Watts}}$$

Notá esto: También podría haber calculado esta potencia total haciendo la cuenta : Caída de potencial total  $\times I_{TOTAL}$ . O sea,  $Pot_{TOTAL} = 10V \times 2A = \underline{20 \text{ Watts}}$

3 - PARA EL SIGUIENTE CIRCUITO CALCULAR LA CORRIENTE QUE CIRCULA, LA CAIDA DE POTENCIAL EN CADA RESISTENCIA, LA CORRIENTE EN CADA RESISTENCIA Y LA POTENCIA CONSUMIDA EN TOTAL Y POR CADA RESISTENCIA



SOLUCION: Acá tengo 2 resistencias en paralelo. Calculo la resistencia equivalente

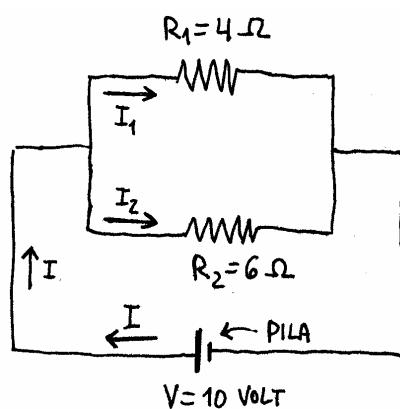


$$\frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \quad \Rightarrow \quad R_T = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}$$

$$R_T = \frac{4 \Omega \times 6 \Omega}{4 \Omega + 6 \Omega}$$

$$\rightarrow R_{TOTAL} = 2,4 \text{ Ohms}$$

Hagamos un análisis de cómo circulan las corrientes por el circuito. De la pila sale cierta intensidad de corriente  $I$ . Esta  $I$  entra al paralelo y se divide en 2 corrientes  $I_1$  e  $I_2$ .



Ahora, es importante darse cuenta que la caída de potencial en las 2 resistencias es la misma. Esta caída de potencial es 10 Volt. ( El voltaje de la pila ).

$$V_{R1} = \underline{10 \text{ Volts}}$$

CAIDAS DE POTENCIAL  
← EN LA  $R_1$  Y EN LA  $R_2$

$$V_{R2} = \underline{10 \text{ Volts}}$$

Calculo la corriente en cada resistencia:

$$I_1 = V_1 / R_1 = 10 \text{ V} / 4 \Omega = \underline{2,5 \text{ A}}$$

← CORRIENTES EN  
LA  $R_1$  Y EN LA  $R_2$

$$I_2 = V_2 / R_2 = 10 \text{ V} / 6 \Omega = \underline{1,66 \text{ A}}$$

La corriente total es la suma de las corrientes. En este caso la  $I_{\text{TOTAL}}$  vale:

$$I = 2,5 \text{ A} + 1,66 \text{ A} = \underline{4,166 \text{ A}}$$

Fijate que también podría haber calculado la corriente total usando la resistencia equivalente. En ese caso tendría que haber hecho la cuenta:

$$I_{\text{TOT}} = V_{\text{PILA}} / R_{\text{EQUIV}} = 10 \text{ V} / 2,4 \Omega = \underline{4,166 \text{ A}}$$

La potencia en cada resistencia la calculo como  $\text{Pot} = V \times I$

$$\text{Pot}_{R1} = V_{R1} \times I = 10 \text{ V} \times 2,5 \text{ A} = \underline{25 \text{ Watts}}$$

POTENCIA  
← EN LA  $R_1$

$$\text{Pot}_{R2} = V_{R2} \times I = 10 \text{ V} \times 1,66 \text{ A} = \underline{16,6 \text{ Watts}}$$

POTENCIA  
← EN LA  $R_2$

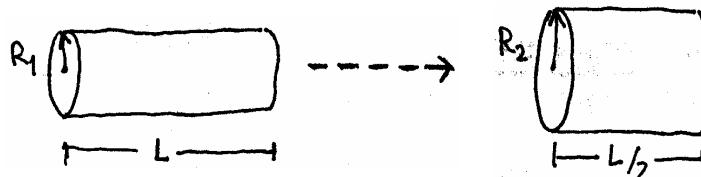
Fijate por favor que la potencia total consumida por el circuito es la suma de las 2 potencias. Es decir :

$$\text{Pot}_{\text{TOTAL}} = 25 \text{ Watts} + 16,6 \text{ Watts} = \underline{41,66 \text{ Watts}}$$

También podría haber calculado esta potencia total haciendo la cuenta : Caída de potencial total  $\times I_{\text{TOTAL}}$ . O sea:  $\text{Pot}_{\text{TOTAL}} = 10 \text{ V} \times 4,166 \text{ A} = \underline{41,66 \text{ Watt}}$

### PROBLEMAS DE ELECTRICIDAD SACADOS DE PARCIALES

UN CILINDRO DE PLASTILINA CONDUCTORA SE CONECTA A UNA FUENTE DE TENSIÓN DE MODO QUE CIRCULA POR ÉL UNA CORRIENTE DE 100 mA.. SE AMASA EL CILINDRO PARA FORMAR OTRO DE LONGITUD MITAD QUE EL ANTERIOR Y SE LO VUELVE A CONECTAR A LA MISMA FUENTE DE TENSIÓN. ¿ CUANTO VALE LA NUEVA CORRIENTE ?



← El CILINDRO DE  
LARGO L SE  
ACORTA A L/2.

El largo del cilindro se acorta. Como el volumen se tiene que conservar, el radio del cilindro tiene que aumentar. Planteo entonces que el volumen al principio es igual al volumen al final:

$$\text{Vol}_1 = \text{Vol}_2 \Rightarrow \pi \cdot r_1^2 \cdot L = \frac{\pi \cdot r_2^2 \cdot L}{2}$$

$$\Rightarrow r_2^2 = 2r_1^2 \Rightarrow r_2 = \sqrt{2} r_1 \leftarrow \text{RADIO DEL 2do CILINDRO}$$

$$R = \rho \cdot \frac{L}{S} \Rightarrow R_1 = \rho \cdot \frac{L}{\pi r_1^2} \leftarrow \text{RESISTENCIA DEL CILINDRO 1}$$

$$y R_2 = \rho \cdot \frac{L/2}{\pi r_2^2}$$

$$r_2^2 = 2r_1^2 \Rightarrow R_2 = \rho \cdot \frac{L/2}{\pi \cdot 2r_1^2}$$

$$\Rightarrow R_2 = \rho \cdot \frac{L}{4\pi r_1^2} \leftarrow \text{RESISTENCIA DEL CILINDRO 2}$$

Calculé las resistencias  $R_1$  y  $R_2$ . Las divido y me da:

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{\cancel{\rho} \frac{L}{4\pi r_1^2}}{\cancel{\rho} \frac{L}{\pi r_1^2}}$$

$$\Rightarrow \frac{R_2}{R_1} = \frac{1}{4} \Rightarrow R_2 = \frac{R_1}{4}$$

$$\text{Ahora, } I = \frac{V}{R} \Rightarrow I_1 = \frac{V}{R_1} \text{ e } I_2 = \frac{V}{R_2}$$

$$I_1 = 100 \text{ mA } y R_2 = \frac{R_1}{4} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 100 \text{ mA} = \frac{V}{R_1} \text{ e } I_2 = \frac{V}{R_1/4} = \frac{4V}{R_1}$$

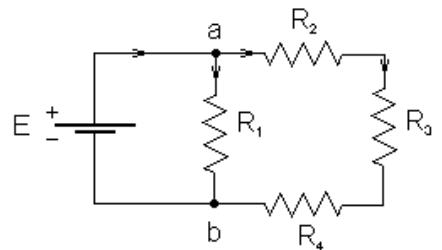
Ahora hago  $\frac{I_2}{I_1}$ . Me queda:

$$\Rightarrow \frac{I_2}{100 \text{ mA}} = \frac{4\cancel{V}/\cancel{R_1}}{\cancel{V}/\cancel{R_1}}$$

$$\Rightarrow I_2 = 400 \text{ mA} \quad \leftarrow \text{CORRIENTE EN EL 2do CILINDRO}$$

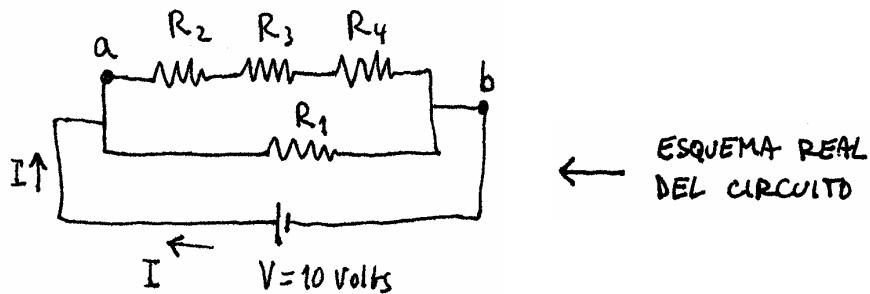
EN EL SIGUIENTE CIRCUITO LA PILA TIENE UNA TENSION DE 10 VOLTIOS Y LAS RESISTENCIAS VALEN  $R_1 = 1 \Omega$ ,  $R_2 = 2 \Omega$ ,  $R_3 = 3 \Omega$  Y  $R_4 = 4 \Omega$ . CALCULAR:

- A ) - LA RESISTENCIA EQUIVALENTE
- B ) - LA CORRIENTE QUE CIRCULA POR LA PILA
- C ) - LA CORRIENTE QUE CIRCULA POR  $R_1$  Y  $R_2$



A ver, a ver: ¿ quién está en paralelo y quién está serie ?

Rta: Una forma de ver esto es buscando nodos, que son los puntos en donde la corriente puede tomar distintos caminos. En el dibujo los marqué con las letras a y b. Entonces, las cosas que estén en una de las ramas que salen de cada nodo están en paralelo con las cosas de las otras ramas que nacen del mismo nodo. O sea: la  $R_1$  está en paralelo con la  $R_2$  la  $R_3$ , y la  $R_4$ . Ahora bien, las cargas que pasan por  $R_2$  son las mismas que pasan por  $R_3$  y  $R_4$ . Estas R están en serie. Quiere decir que el circuito equivalente queda así:



Entonces la cuenta que tenemos que hacer para calcular la R equivalente es:

$$\frac{1}{R_{\text{equiv}}} = \underbrace{\frac{1}{R_1}}_{\text{Están en paralelo}} + \underbrace{\frac{1}{R_2 + R_3 + R_4}}_{\text{Están en serie}}$$

$$\frac{1}{R_{\text{eq}}} = \frac{1}{1\Omega} + \frac{1}{2\Omega + 3\Omega + 4\Omega}$$

$$\Rightarrow \frac{1}{R_{\text{eq}}} = 1,1 \Omega$$

$$\rightarrow R_{\text{EQUIV}} = 0,9 \text{ Ohms}$$

b) - La corriente que circula por la pila va a ser:

$$I = V / R_{\text{EQUIV}} = 10 \text{ Volts} / 0,9 \text{ Ohms}$$

$$\rightarrow \underline{\underline{I = 11,11 \text{ A}}}$$

c) - Calculo la corriente que va por  $R_1$  y la que va por las  $R_{2,3}$  y  $4$  :

$$I_1 = V_{AB} / R_1 = 10 \text{ V} / 1 \Omega = \underline{\underline{10 \text{ A}}}$$

$$I_{2,3 \text{ y } 4} = V_{AB} / R_{2,3 \text{ y } 4} = 10 \text{ V} / 9 \Omega = \underline{\underline{1,11 \text{ A}}}$$

La corriente total es la suma de las corrientes. En este caso la  $I_{\text{TOTAL}}$  vale:

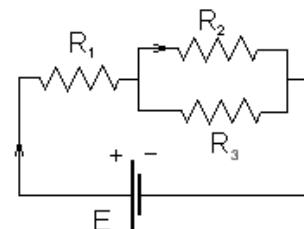
$$I = 10 \text{ A} + 1,11 \text{ A} = \underline{\underline{11,11 \text{ A}}} \quad (\text{VERIFICA})$$

EN EL CIRCUITO DE LA FIGURA LA PILA TIENE UNA TENSIÓN DE 9V Y LOS VALORES DE LAS RESISTENCIAS SON  $R_1 = 180 \Omega$ ,  $R_2 = 960 \Omega$  Y  $R_3 = 100 \Omega$ .

ENCONTRAR:

a) - LA DIFERENCIA DE POTENCIAL EN CADA UNA DE LAS TRES RESISTENCIAS.

b) LA POTENCIA ENTREGADA POR LA PILA.



Para calcular las caídas de potencial necesito saber cuál es la corriente que circula por las resistencias. Para eso lo que tengo que hacer primero es encontrar la  $R$  equivalente. Entonces, si pensás en la corriente que sale de la pila (siguiendo la flecha del dibujo), todas las cargas van a pasar por  $R_1$ . En cambio por  $R_2$  y  $R_3$  pasan distintas cargas: unas que van por el cable de arriba y otras por el de abajo. O sea: erre dos y erre tres están en paralelo. Erre uno está en serie con ellas dos. Por lo tanto, la resistencia equivalente es:

$$R_{\text{equiv}} = R_1 + \frac{1}{\left( \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right)} = R_1 + \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3} =$$

$$= 180 \Omega + \frac{960 \Omega \cdot 100 \Omega}{960 \Omega + 100 \Omega} = 270,57 \Omega$$

Por lo tanto, la corriente total, que es la que circula por la  $R_1$ , es:

$$E = R_{\text{equiv}} \cdot I_{\text{total}} \quad \Rightarrow \quad I_{\text{total}} = \frac{E}{R_{\text{equiv}}} = \frac{9V}{270,57 \Omega} = 0,033 \text{ A}$$

Con esto ya podemos calcular la caída en  $R_1$ :

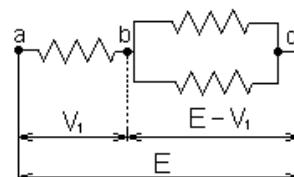
$$V_1 = R_1 \cdot I_1 = R_1 \times I_{\text{total}} = 180 \Omega \times 0,033 \text{ A}$$

$$\underline{\underline{V_1 = 5,99 \text{ V}}}$$

Y como las otras dos  $R$  están en paralelo, tienen la misma diferencia de potencial entre sus puntas, o sea:

$$V_2 = V_3$$

Para determinar  $V_2$  hay que mirar el circuito y ver que si entre los puntos a y c hay una tensión  $E$ , y yendo de a hacia c, se produce una caída de potencial  $V_1$ , el potencial del punto b con respecto al c va a ser lo que queda: esto es  $E - V_1$  (O sea, lo que había menos lo que cayó)



$$\Rightarrow V_2 = E - V_1 = 9 \text{ V} - 5,99 \text{ V}$$

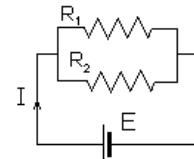
$$\Rightarrow \underline{V_2 = 3,01 \text{ V}}$$

b) - Para calcular la potencia total entregada por la pila hago:

$$\text{Pot}_{\text{TOTAL}} = V_{\text{PILA}} \times I_{\text{TOTAL}} = 9 \text{ V} \times 0,033 \text{ A}$$

$$\rightarrow \underline{\text{Pot}_{\text{TOTAL}} = 0,3 \text{ Watts}}$$

EN EL CIRCUITO ELÉCTRICO DE LA FIGURA SE SABE QUE LAS RESISTENCIAS 2 Y 3 DISIPAN LAS POTENCIAS  $P_2 = 25 \text{ W}$  Y  $P_3 = 75 \text{ W}$ . CALCULAR LA CORRIENTE QUE ENTREGA LA FUENTE DE TENSIÓN SI SU VOLTAJE ES DE 36 V.



Acá la corriente tiene solamente dos caminos por donde ir (por  $R_1$  o por  $R_2$ ). La corriente total entregada por la batería será la suma de  $I_1 + I_2$ . Para calcular estas corrientes tenemos la potencia disipada en cada  $R$ , entonces hacemos:

$$P_1 = I_1 \cdot V_1 \Rightarrow I_1 = \frac{P_1}{V_1} \quad \text{y} \quad P_2 = I_2 \cdot V_2 \Rightarrow I_2 = \frac{P_2}{V_2}$$

Pero la tensión sobre ambas resistencias es la misma y es igual a la de la pila, porque no hay ninguna caída de potencial antes de estas resistencias en paralelo. Entonces:

$$I_1 = \frac{P_1}{V_1} = \frac{P_1}{E} = \frac{25 \text{ W}}{36 \text{ V}} = 0,69 \text{ A} \quad \Rightarrow \quad I_2 = \frac{P_2}{V_2} = \frac{P_2}{E} = \frac{75 \text{ W}}{36 \text{ V}} = 2,08 \text{ A}$$

Por lo tanto, la corriente total entregada por la batería es:

$$I_{\text{total}} = I_1 + I_2 = 0,69 \text{ A} + 2,08 \text{ A}$$

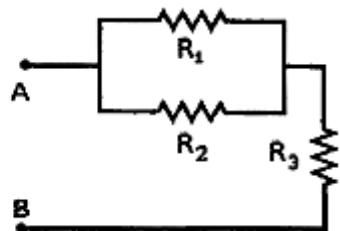
$$\rightarrow \underline{I_{\text{total}} = 2,77 \text{ A}}$$

6) En el circuito del esquema las resistencias  $R_1$  y  $R_3$  valen  $R_1 = R_3 = 20 \Omega$ .  $R_2 = 30 \Omega$ . La corriente que atraviesa la resistencia  $R_3$  es de 5 A. Entonces se puede afirmar que:

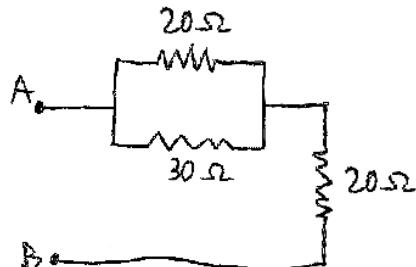
$I_1 = 2 \text{ A}$   $I_2 = 3 \text{ A}$   
  $I_1 = 5 \text{ A}$   $I_2 = 5 \text{ A}$

$I_1 = 2,5 \text{ A}$   $I_2 = 2,5 \text{ A}$   
  $I_1 = 2 \text{ A}$   $I_2 = 2 \text{ A}$

$I_1 = 3 \text{ A}$   $I_2 = 3 \text{ A}$   
  $I_1 = 3 \text{ A}$   $I_2 = 2 \text{ A}$



Dan un circuito eléctrico. Acá está:



Dicen que por la resistencia vertical de 20 Ohms ( Que sería la  $R_3$  ) circula una corriente de 5 Amperes. Preguntan cuánto valen las corrientes en el paralelo ( que serían  $I_1$  e  $I_2$  ).

En este ejercicio no está puesta la pila. Sabemos que está puesta entre A y B pero no sabemos el voltaje. El asunto parece complicado, pero no, porque nos están diciendo que en la resistencia vertical la corriente es de 5 Amperes.

Calculo la resistencia del paralelo :

$$R_{//} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

$$\Rightarrow R_{//} = \frac{20 \Omega \cdot 30 \Omega}{20 \Omega + 30 \Omega} = 12 \Omega$$

O sea, puedo reemplazar el paralelo por una sola resistencia de 12 Ohms. Ahora calculo la caída de voltaje en el paralelo. Planteo la ley de Ohm,  $V = I \times R$  :

$$V = I \times R \Rightarrow V = 5 \text{ A} \times 12 \Omega$$

$$\Rightarrow V_{//} = 60 \text{ Volts}$$

Entonces sé que la resistencia de arriba (  $R_1$  ) está sometida a un voltaje de 60 voltios y la resistencia de abajo (  $R_2$  ) también está sometida a un voltaje de 60 voltios. Entonces, en la R de arriba (  $R_1 = 20 \Omega$  ) :

$$V_{R1} = I_1 \times R_1 \Rightarrow 60 \text{ V} = I_1 \times 20 \Omega$$

$$\Rightarrow I_1 = 3 \text{ A} \quad \leftarrow \text{Corriente en la } R_1$$

Entonces, en la R de abajo (  $R_2 = 30 \Omega$  ) :

$$V_{R2} = I_2 \times R_2 \Rightarrow 60 \text{ V} = I_2 \times 30 \Omega$$

$$\rightarrow I_2 = 2 \text{ A} \quad \leftarrow \text{Corriente en la } R_2$$

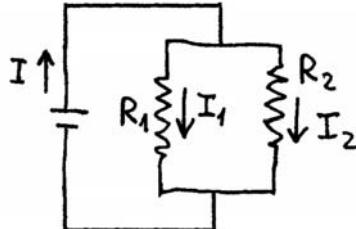
Entonces la respuesta correcta es la última de abajo  $I_1 = 3 \text{ A}$  e  $I_2 = 2 \text{ A}$

NOTA: Fijate que se verifica que la suma de las corrientes  $I_1$  e  $I_2$  da 5 Amperes. En realidad sabiendo que la suma de las corrientes tenía que dar 5 Amperes, sólo había 2 respuesta posibles: La 1ra y la última. La que dice 2,5 A y 2,5 A no puede ser porque las resistencias del paralelo no valen lo mismo. Las corrientes no pueden dar iguales.

## FORMULA SALVADORA PARA RESISTENCIAS EN PARALELO

Supongamos que tengo un circuito con 2 resistencias en paralelo. O sea, tenés un cable que se divide en dos cables con resistencias  $R_1$  y  $R_2$ . Las intensidades de corriente que circularán por los cables van a ser  $I_1$  e  $I_2$ .

$$I = I_1 + I_2$$



Las fórmulas salvadoras dan la corriente que circula por las resistencias  $R_1$  y  $R_2$ . Para deducir estas fórmulas se parte de algo importante que es esto: Las 2 resistencias tendrán la misma diferencia de potencial. Las 2 fórmulas salvadoras quedan :

$$I_1 = I \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

← CORRIENTE QUE CIRCULA POR LA RAMA ①

$$I_2 = I \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

← CORRIENTE QUE CIRCULA POR LA RAMA ②

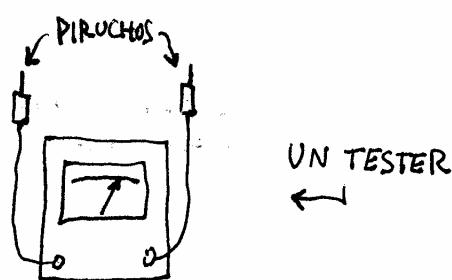
Tené anotadas por ahí estas fórmulas. Ahorran tiempo al hacer cuentas.

## TESTER, VOLTÍMETRO Y AMPERÍMETRO

Un **voltímetro** mide el voltaje, o la diferencia de potencial entre dos puntos. Se conecta en paralelo. Tiene una resistencia muy alta. Al ser alta la resistencia, la corriente va por el circuito en vez de pasar por el aparato.

El **amperímetro** mide la intensidad de la corriente que pasa por un cable. Se conecta en serie. Tiene una resistencia muy chica, por eso el circuito no es influido al tener el amperímetro metido en serie. Hay un aparato que se puede usar como voltímetro, amperímetro o medidor de resistencias. Es el Tester.

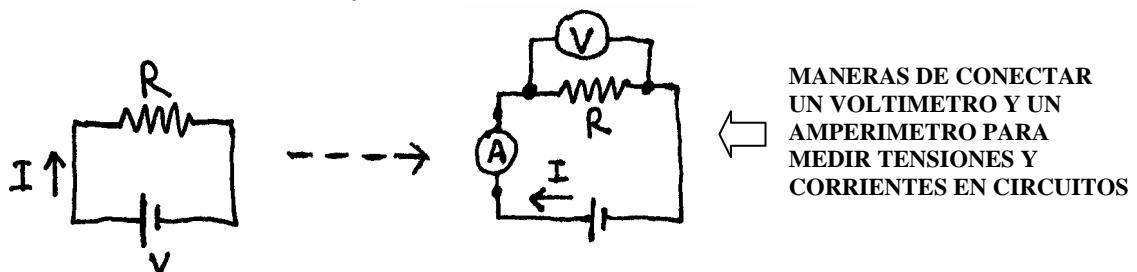
Un tester es una cosa así:



El tester tiene una palanquita que lo convierte en voltímetro, en amperímetro o en medidor de resistencia. Después, según como uno conecte el tester al circuito, se puede medir el voltaje, la corriente o la resistencia.

Por ejemplo, si agarro un tester, lo pongo en voltímetro y pongo las 2 patas en el enchufe, tendría que marcar 220 volts.

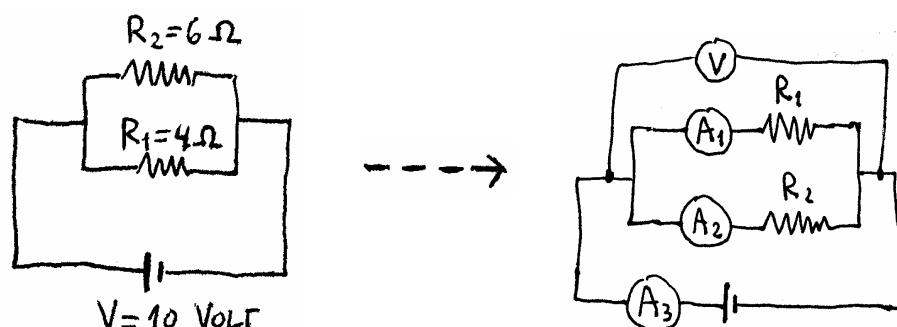
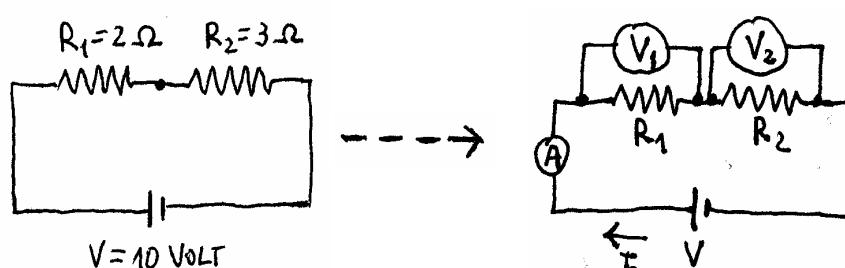
Pongo ahora varios circuitos y te indico como hay que conectar el voltímetro y el amperímetro para medir la tensión y la corriente en el circuito. Llamo A al Amperímetro y V al voltímetro. Fijate:



Lo que tenés que observar en todos estos dibujos es que : ( Importante )

El voltímetro mide el voltaje, o sea, la diferencia de potencial entre dos puntos. Tiene una resistencia muy alta. Se conecta en paralelo. El amperímetro mide la intensidad de la corriente que pasa por un cable. Se conecta en serie. Tiene una resistencia muy chica.

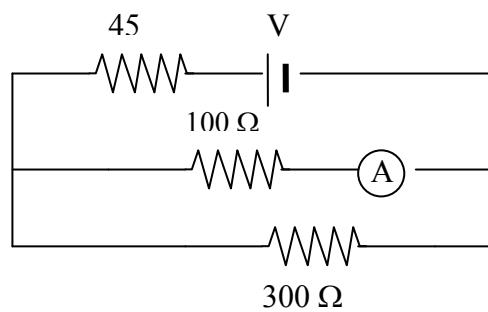
← LEER



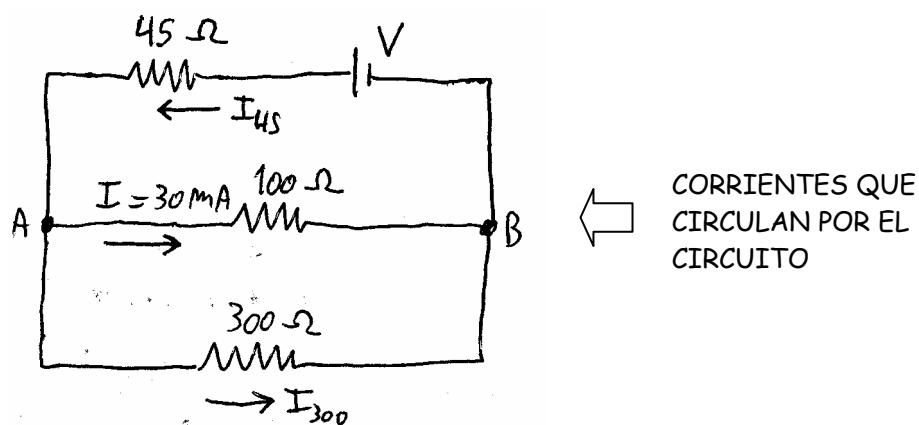
UN PROBLEMA CON AMPERIMETRO

La figura representa un circuito eléctrico que es alimentado por una fuente de tensión  $V$ . El amperímetro indica que por la resistencia de 100 Ohms circulan 30 miliamperes.

- a) ¿Cuál es el valor de la tensión de la fuente?  
 b) ¿Qué potencia entrega la fuente?



Lo principal que hay que entender de este enunciado es que la frase "el amperímetro indica que por la resistencia de 100 Ohms circulan 30 miliamperes" significa que la corriente que pasa por la resistencia de 100 Ohmios es de 30 miliamperes ( $= 0,030$  Amperes). En base a esto hago un dibujito con las corrientes que circulan por el circuito:



Entre los puntos A y B puedo plantear la ley de Ohm,  $V = I \cdot R$ :

$$V_{AB} = I_{100} \times 100 \Omega$$

$$V_{AB} = 30 \text{ mA} \times 100 \Omega$$

$$\Rightarrow V_{AB} = 3000 \text{ mV} = \underline{\underline{3 \text{ Volt}}}$$

La resistencia de 300 ohmios tiene también una diferencia de potencial de 3 Volts. Entonces :

$$V_{AB} = I_{300} \times 300 \Omega \Rightarrow$$

$$3 \text{ Volt} = I_{300} \times 300 \Omega$$

$$\Rightarrow I_{300} = 0,01 \text{ A} = \underline{\underline{10 \text{ mA}}}$$

La intensidad de corriente que pasa por la resistencia de 45 Ohms tiene que ser la suma de las otras 2 corrientes. O sea :

$$I_{45} = I_{100} + I_{300} \Rightarrow$$

$$I_{45} = 30 \text{ mA} + 10 \text{ mA}$$

$$\Rightarrow \underline{I_{4S} = 40 \text{ mA}}$$

El voltaje AB tiene que ser el voltaje de la pila menos la caída de potencial que hay en la resistencia de  $45 \Omega$ . Lo planteo:

$$\begin{aligned} V_{\text{PILA}} - V_{4S} &= V_{AB} \Rightarrow \\ V_{\text{PILA}} &= V_{AB} + I_{4S} R_{4S} \\ \Rightarrow V_{\text{PILA}} &= 3 \text{ Volts} + 0,04 \text{ A} \times 45 \Omega \end{aligned}$$

$$\boxed{V_{\text{PILA}} = 4,8 \text{ Volts}} \quad \leftarrow \quad \begin{array}{l} \text{VOLTAJE} \\ \text{DE LA PILA} \end{array}$$

b) - Calculo la potencia que entrega la pila:

$$Pot = V_{\text{PILA}} \times I_{4S} = 4,8 \text{ V} \times 0,04 \text{ A}$$

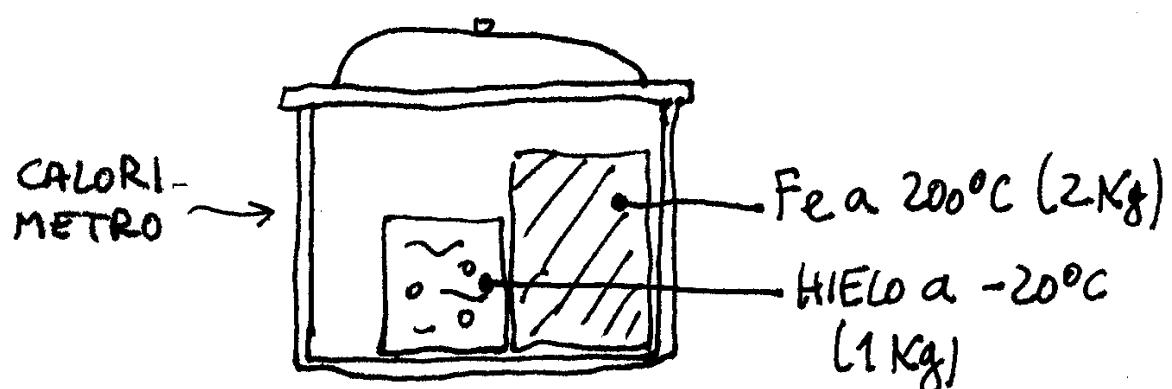
$$\Rightarrow \boxed{Pot = 0,192 \text{ W}} \quad \leftarrow \quad \begin{array}{l} \text{POTENCIA} \\ \text{DE LA PILA} \end{array}$$

Rta:  $V_{\text{PILA}} = 4,8$  volts y  $Pot = 0,192$  Watts.

FIN ELECTRICIDAD

# CALORIMETRIA

- \* TEMPERATURA Y CALOR
- \* EQUIVALENCIA ENTRE KILOCALORIAS Y JOULES
- \* CALOR ESPECIFICO
- \* ECUACION  $Q = c \cdot m \cdot (T_f - T_i)$
- \* CALOR DE FUSION Y CALOR DE VAPORIZACION
- \* DIAGRAMA TEMPERATURA - CALOR ENTREGADO
- \* CALORIMETRO - RECIPIENTES ADIABATICOS
- \* TEMPERATURA DE EQUILIBRIO
- \* PROBLEMAS DE TANTEO
- \* CALORIAS DE LOS ALIMENTOS



$$Q = c \cdot m \cdot (T_f - T_i)$$

Diagram illustrating the components of the calorimetry equation:

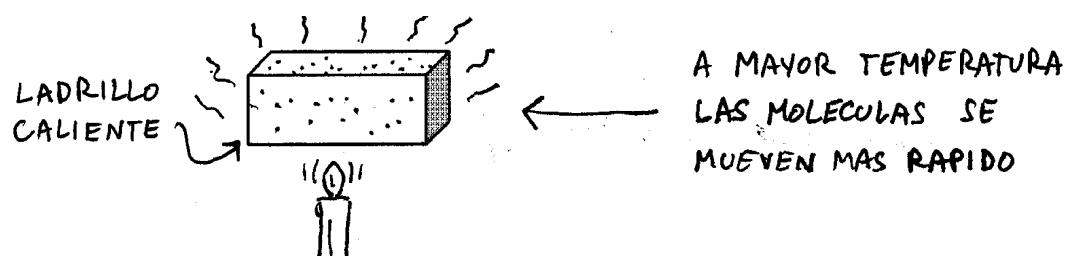
- CALOR RECIBIDO (cal o Kcal)
- CALOR ESPECIFICO (DATO)
- MASA DEL CUERPO
- TEMPERATURA FINAL  $\ominus$  TEMP. INICIAL
- CANTIDAD DE CALOR RECIBIDA POR UN CUERPO

# CALORIMETRIA

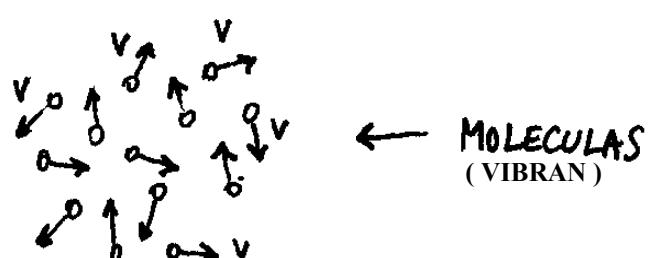
La palabra calorimetría significa "medición del calor". Para poder entender como se mide el calor tenés que saber primero algunas otras cosas. Vamos.

## TEMPERATURA

Supongamos que uno tiene un ladrillo y lo pone al fuego. Ahora el ladrillo tiene mayor temperatura. Me doy cuenta de esto porque lo toco y veo que está calentito. Desde el punto de vista de la física, calentar una cosa significa hacer que sus moléculas se muevan más rápido. ( Se muevan = vibren ). Esa medida de la agitación de las moléculas se llama TEMPERATURA. Cuando vos tocás algo y te quema, lo que estás sintiendo es el golpeteo de las moléculas que chocan contra tu mano.



Entonces, sin hilar finito digamos que la temperatura de una cosa es una medida de la velocidad con la que se mueven las moléculas de esa cosa. Si uno pudiera mirar un cuerpo caliente con un microscopio vería algo así:



O sea, uno vería que las moléculas del objeto se mueven para todos los lados. Cuanto más rápido vibran las moléculas, más alta es la temperatura del cuerpo. La temperatura se mide con los termómetros. Generalmente la van a dar en grados centígrados ( °C ). Puede ser que la tengas que

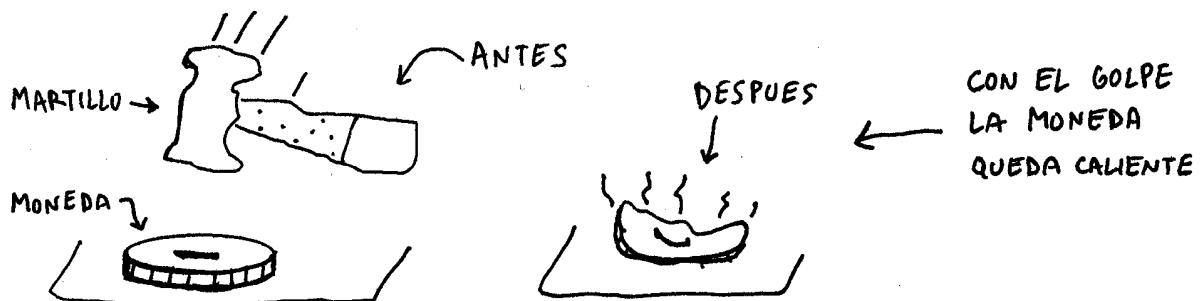
pasarla a grados Kelvin. En ese caso hay que sumarle 273. ( Ej: 27 °C son 300 K ).

Los norteamericanos usan los grados Fahrenheit. Cuando alguien tiene fiebre nosotros decimos: "Tiene fiebre, tiene 38". Ellos dicen: "Tiene fiebre, tiene 100". ( 38 °C son 100 Fahrenheit ). No hace falta que se pasen pasar de centígrados a Fahrenheit. ( No es difícil pero hay que hacer una cuenta media rara ).

## CALOR

Dale un martillazo con toda tu fuerza a una moneda. Fijate que queda calentita. ¿ Por qué pasa esto ?

Rta : Porque la energía cinética que tenía el martillo se transformó en calor. El calor es una forma de energía. Esa es la idea.

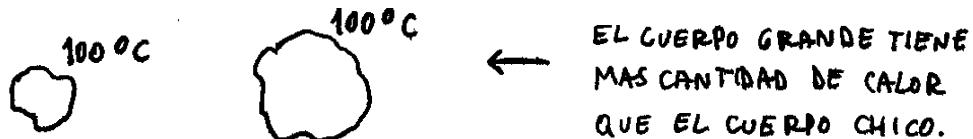


Entender exactamente lo que es el calor es un poco complicado. A grandes rasgos el calor vendría a ser algo así como la suma de la energía cinética total que tienen todas las moléculas de un cuerpo. Cada molécula se mueve a cierta velocidad  $v$ . La energía cinética que tiene esa molécula vale  $\frac{1}{2} m v^2$ . Si vos sumás la cantidad de energía que tienen todas las moléculas del objeto, tenés la cantidad de calor que tiene ese objeto.

Pregunta :

¿ Cuánto más temperatura tiene un cuerpo más cantidad de calor tiene ?

Rta : Bueno, a grandes rasgos, sí. El calor depende de la temperatura. A mayor  $T$ , mayor  $Q$ . Pero la cantidad de calor también depende de la masa del objeto. La cantidad de calor depende de cuántas moléculas estén moviéndose .



Si tengo 100 moléculas de gas a 100 °C, tengo cierta cantidad de calor. Pero si tengo un millón de moléculas a 100 °C tengo más cantidad de calor.

Otra cosa. La cantidad de calor que tiene un cuerpo depende del material con que esté hecho el cuerpo. No tiene la misma cantidad de calor un kilo de agua a 100 °C que 1 kilo de hierro a 100 °C. O sea, la cantidad de calor también depende de una cosa que se llama calor específico "c". El significado de este valor c te lo explico en seguida.

## EQUIVALENCIA ENTRE KILOCALORIAS Y JOULES

Poné una olla en el fuego. El agua se calienta. Desde el punto de vista de la física lo que estás haciendo es entregarle energía al agua. Más subís la temperatura, más energía le entregás. Acá en calorimetría los cráneos de la física inventan la energía calórica y dicen esto :

**1 Kilocaloría (1 Kcal):** Es la energía que hay que entregarle a 1 Kilo de agua para que aumente su temperatura en 1 °C.

La **caloría (cal)** es la energía que hay que entregarle a 1 gramo de agua para que aumente su temperatura en 1 °C. Es una unidad 1000 veces menor que la Kilocaloría. La equivalencia es :

$$1 \text{ Kcal} = 1.000 \text{ cal}$$

← EQUIVALENCIA  
ENTRE CALORÍAS  
Y KILOCALORÍAS

¡ Atención futuros médicos y nutricionistas ! En la vida diaria esto se usa muchas veces al revés. Cuando en un paquete de galletitas dice: "valor energético 400 calorías cada 100 g de producto", generalmente esas 400 calorías son 400 **KILO**calorías.

Entre nosotros esto significa que 100 g de galletitas tienen una energía tal que podrían elevar la temperatura de 400 litros de agua en 1 °C o la de 4 litros de agua de 0 a 100 °C. ¿ Me seguiste ?

Cuando vimos energía mecánica no hablábamos de calorías sino de Joules. Calorías y joules representan energía pero medidas en diferentes unidades. La equivalencia es esta:

$$1 \text{ Kcal} = 4186 \text{ Joules}$$

← EQUIVALENCIA  
ENTRE JOULES  
Y KILOCALORÍAS

## CALOR ESPECIFICO DE UN CUERPO

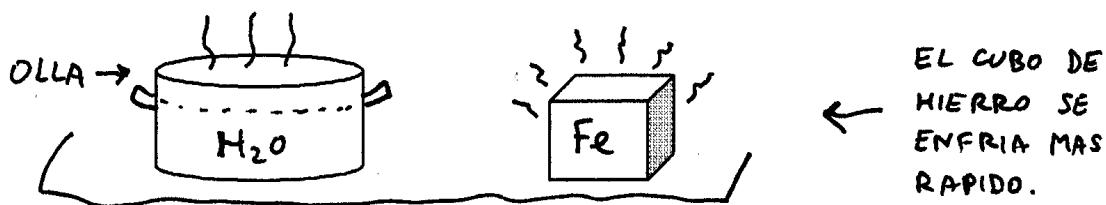
Al calor específico de un cuerpo se lo llama c. Sus unidades son :

$$[c] = \frac{\text{calorías}}{\text{gr} \times ^\circ\text{C}} \quad \text{o} \quad \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg} \times ^\circ\text{C}} \quad \leftarrow \begin{array}{l} \text{UNIDADES} \\ \text{DEL CALOR} \\ \text{ESPECÍFICO} \end{array}$$

El calor específico es una cantidad que me dice cuantas kilocalorías hay que entregarle a 1 Kg de una substancia para hacer que su temperatura aumente  $1^\circ\text{C}$ . Cada substancia tiene su propio calor específico. Los tipos midieron los calores específicos de algunos cuerpos y los pusieron en unas tablas que andan dando vueltas por ahí. Por ejemplo, el calor específico del agua vale 1. El del hierro vale 0,1. Eso quiere decir que es 10 veces más difícil calentar agua que hierro. ( Hay que entregar 10 veces más energía ). Al agua no le gusta ser calentada. Se opone. ( Está perfecto, porque non calentarum, largum vivirum ).

Aclaración: Yo digo "calentar un cuerpo" pero puede ser "calentar o enfriar".

Es decir, una olla con agua fría va tardar más en calentarse que un pedazo de hierro frío. Pero también una olla con agua caliente va tardar más en enfriarse que un pedazo de hierro caliente.



El calor específico es como una especie de "inercia térmica". Vendría a ser la capacidad que tiene el cuerpo para mantener el calor. El hierro tiene poca inercia térmica. Se enfriá rápidamente. El agua tiene gran inercia térmica. Se enfriá despacio. O dicho de otra manera. El agua es una substancia que tiene una gran tendencia a mantener el calor. Entre paréntesis, esto es lo que pasa con el agua del mar. Durante el día el agua del mar se calienta. Pero vos te metés a la noche y sigue calentita. Fíjate que eso no pasa ni con las piedras ni con la arena de la playa. Están pelando durante el día, pero apenas se va el sol, se enfrián enseguida. Esto pasa por que el c de las piedras y de la arena es chico.

## CALOR RECIBIDO Y CALOR ENTREGADO

Suponé que tenés un pedazo de fierro a  $20^{\circ}\text{C}$ . Lo calentás y ahora está a  $80^{\circ}\text{C}$ . Pregunta: ¿Cómo sabés que cantidad de calor le entregaste?

Rta :

$$Q = c \cdot m \cdot (T_f - T_i)$$

CANTIDAD DE  
CALOR RECIBIDA  
POR UN CUERPO

CALOR RECIBIDO (Cal o Kcal)    CALOR ESPECÍFICO (DATO)    MASA DEL CUERPO    TEMPERATURA FINAL  $\odot$  TEMP. INICIAL

En esta fórmula Q es el calor que recibió o que entregó el cuerpo. Puede ir en cal o en Kcal.

m es la masa del cuerpo. Va en kg o en gr.  $T_f$  y  $T_i$  son las temperaturas final e inicial que tiene el cuerpo. Van en  $^{\circ}\text{C}$ .

c es el calor específico del cuerpo. Va en Kcal / kg  $^{\circ}\text{C}$  o Cal / gr  $^{\circ}\text{C}$ .

Convención de signos:

Si Q te da (+), el cuerpo recibió calor (se calentó). Si Q te da (-) el cuerpo entregó calor. (Se enfrió). Atención con esta convención de signos porque es importante.

Ahora esto: ¡cuidado con la ecuación  $Q = c \cdot m \cdot (T_f - T_i)$ ! Esta fórmula sólo se puede usar si la substancia NO cambia de estado. Es decir, si al principio la substancia era sólida, al final tiene que seguir siendo sólida. (Y lo mismo si al principio era líquida. Al final tiene que seguir siendo líquida). La fórmula NO se puede usar si la substancia está cambiando de un estado a otro. Por ejemplo, de sólido a líquido, de líquido a sólido, de líquido a vapor, etc. Fijate este ejemplo:

CALCULAR QUE CANTIDAD DE CALOR HAY QUE ENTREGARLE A UNA MASA DE 3 Kg DE AGUA PARA CALENTARLA DE  $20^{\circ}\text{C}$  A  $100^{\circ}\text{C}$ . IDEM PARA 3 Kg DE HIERRO. DATOS:  $C_{\text{FE}} = 0,1 \text{ kcal / Kg } ^{\circ}\text{C}$  .  $C_{\text{H}_2\text{O}} = 1 \text{ kcal / Kg } ^{\circ}\text{C}$  .

Hago el planteo del calor entregado al cuerpo. Para el agua:

$$Q = c \cdot m \cdot (T_f - T_i)$$

$$\rightarrow Q_{H_2O} = 1 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg} \times ^\circ\text{C}} 3 \text{ Kg} . (100^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C})$$

$$Q_{H_2O} = \underline{240 \text{ kcal}}$$

$$\text{Para el hierro: } Q = c.m (T_f - T_i) \Rightarrow Q_{Fe} = 0,1 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg} \times ^\circ\text{C}} 3 \text{ Kg} . (100^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C})$$

$$Q_{Fe} = \underline{24 \text{ kcal}}$$

Fijate algo: En este ejemplo la masa de hierro es la misma que la masa de agua ( 3 kg ). El cambio de temperatura es el mismo para el hierro y para el agua ( 80 °C ). Sin embargo, la cantidad de calor que hay que entregarle al agua es 10 veces mayor que la que hay que entregarle al hierro. Esto pasa por lo que te dije antes: el c del agua es 10 veces mayor que el c del fe.

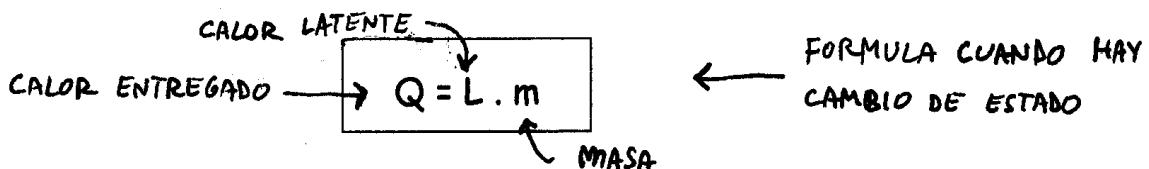
## CALOR DE FUSION Y CALOR DE VAPORIZACION

Vos tenés hielo. Para derretirlo tenés que entregarle calor. La cantidad de calor que hay que darle a una substancia para derretirla (fundirla) se llama **calor latente de fusión**. Se lo suele poner con la letra L. Para el hielo el calor de fusión  $L_f$  es 80 Kcal / Kg ( = 80 cal / g ). Lo mismo si querés evaporar agua. El calor de vaporización para el agua es  $L_v = 540$  cal / g ( o kcal / kg ).

Este valor  $L_f = 80$  Kcal / Kg significa que para derretir 1 kg de hielo hay que entregar 80 kilocalorías. O lo que es lo mismo, para congelar 1 kg de agua hay que quitarle 80 kcal.

$L_v = 540$  cal / g significa que para evaporar 1 kg de agua hay que entregarle 540 kcal. O lo que es lo mismo, para condensar 1 kg de vapor hay que quitarle 540 kcal. Conclusión:

La fórmula que se usa para calcular la cantidad de calor que hay que entregarle a una cierta masa para que se derrita, se congele, se evapore o se condense es:

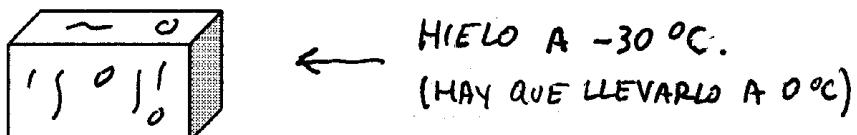


Atento con esto: Esta fórmula se usa sólo cuando el cuerpo cambia de estado. Es decir, si pasa de sólido a líquido, de líquido a vapor, etc. También acordate que mientras una substancia cambia de estado, la temperatura se mantiene constante. T no cambia mientras un hielo se derrite. T no cambia mientras el agua hierve.

EJEMPLO:

CALCULAR LA CANTIDAD DE CALOR QUE HAY QUE ENTREGARLE A UN CUBITO DE HIELO DE 50 gr QUE ESTÁ A  $-30^{\circ}\text{C}$  PARA DERRETIRLO Y OBTENER AGUA A  $0^{\circ}\text{C}$ .  
 $C_{\text{HIELO}} = 0,5 \text{ kcal / Kg } ^{\circ}\text{C}$  .  $L_{\text{HIELO}} = 80 \text{ kcal/Kg}$  .

Veamos. Tengo un cubito de hielo a  $-30^{\circ}\text{C}$  y quiero derretirlo. Primero tengo que llevar el hielo de  $-30^{\circ}\text{C}$  a  $0^{\circ}\text{C}$ .



La cantidad de calor a entregar es:

$$Q = c \cdot m (T_f - T_i) = 0,5 \frac{\text{cal}}{\text{gr} \times ^{\circ}\text{C}} 50 \text{ gr} \times [0^{\circ}\text{C} - (-30^{\circ}\text{C})]$$

$$\Rightarrow Q = 25 \frac{\text{cal}}{^{\circ}\text{C}} \times 30^{\circ}\text{C}$$

$$\Rightarrow \underline{Q = 750 \text{ cal}}$$

Para derretir el hielo se necesitará :  $Q = m \times L_f = 80 \text{ cal/gr} \times 50 \text{ gr}$

$$\underline{Q = 4.000 \text{ cal}}$$

Entonces la cantidad de calor total que necesito es  $750 \text{ cal} + 4.000 \text{ cal}$  .

$$Q_{\text{tot}} = 4.750 \text{ cal}$$

## DIAGRAMA TEMPERATURA - CALOR ENTREGADO ← LEER

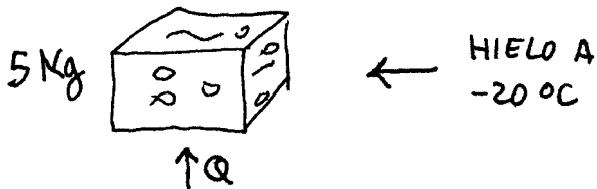
Cuando una cosa se calienta o se enfria uno puede dibujar el calentamiento o el enfriamiento en un diagrama temperatura - calor entregado. Te lo explico con un ejemplo. Fijate:

SE TIENEN 5 Kg DE HIELO -20 °C. ¿ QUE CANTIDAD DE CALOR HAY QUE ENTREGARLE AL HIELO PARA LLEVARLO A VAPOR A 100 °C . IDEM PARA LLEVAR DE NUEVO EL VAPOR A 100 °C A HIELO A -20 °C. DIBUJAR LAS 2 EVOLUCIONES EN UN DIAGRAMA TEMPERATURA – CALOR ENTREGADO.

DATOS:  $C_{HIELO} = 0,5 \text{ kcal / Kg } ^\circ\text{C}$  .  $L_{HIELO} = 80 \text{ kcal/Kg}$  .  
 $C_{H_2O} = 1 \text{ kcal / Kg } ^\circ\text{C}$  .  $L_{H_2O} = 540 \text{ kcal/Kg}$

Entonces, lo que tengo son 5 Kg de hielo que están a -20 °C. Quiero derretir ese hielo y llevarlo a vapor a 100 °C. Voy calculando la cantidad de calor que necesito para cada una de estas operaciones. Fijate:

1 - LLEVAR EL HIELO DE - 20 °C A 0 °C :

$$C_{HIELO} = 0,5 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg } ^\circ\text{C}}$$


$$Q_{(-20^\circ\text{C} \text{ a } 0^\circ\text{C})} = C_{HIELO} m (0^\circ\text{C} - (-20^\circ\text{C}))$$

$$Q_{(-20 \text{ a } 0)} = 0,5 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg } ^\circ\text{C}} \cdot 5 \text{ Kg} \times 20^\circ\text{C}$$

$$Q_{(-20 \text{ a } 0)} = 50 \text{ Kcal}$$

2 - DERRETIR EL HIELO

$$Q_{(\text{derretir})} = m L_f$$

$$\Rightarrow Q_{(\text{derretir})} = 5 \text{ Kg} \times 80 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}}$$

$$Q_{(0^\circ\text{C} \text{ a } 100^\circ\text{C})} = C_{H_2O} m (100^\circ\text{C} - 0^\circ\text{C}) :$$

$$\Rightarrow Q_{\text{derri}} = 400 \text{ Kcal}$$

## 3 - LLEVAR EL AGUA DE 0 °C A 100 °C

$$Q(0^{\circ}\text{C} \text{ a } 100^{\circ}\text{C}) = C_{\text{H}_2\text{O}} M (100^{\circ}\text{C} - 0^{\circ}\text{C})$$

$$\Rightarrow Q(0 \text{ a } 100^{\circ}\text{C}) = 1 \frac{\text{Kcal}}{\text{kg}\text{°C}} \times 5 \cancel{\text{kg}} \times 100 \cancel{\text{°C}}$$

$$Q(0^{\circ}\text{C} \text{ a } 100^{\circ}\text{C}) = 500 \text{ Kcal}$$

## 4 - EVAPORAR EL AGUA

$$Q_{(\text{EVAPORAR})} = M L_{\text{vap}} \Rightarrow Q_{\text{EVAP}} = 540 \frac{\text{Kcal}}{\text{kg}} \times 5 \cancel{\text{kg}}$$

$$\Rightarrow Q_{\text{EVAP}} = 2700 \text{ Kcal}$$

Ahora sumo todas las cantidades de calor para obtener el  $Q_{\text{total}}$  entregado:

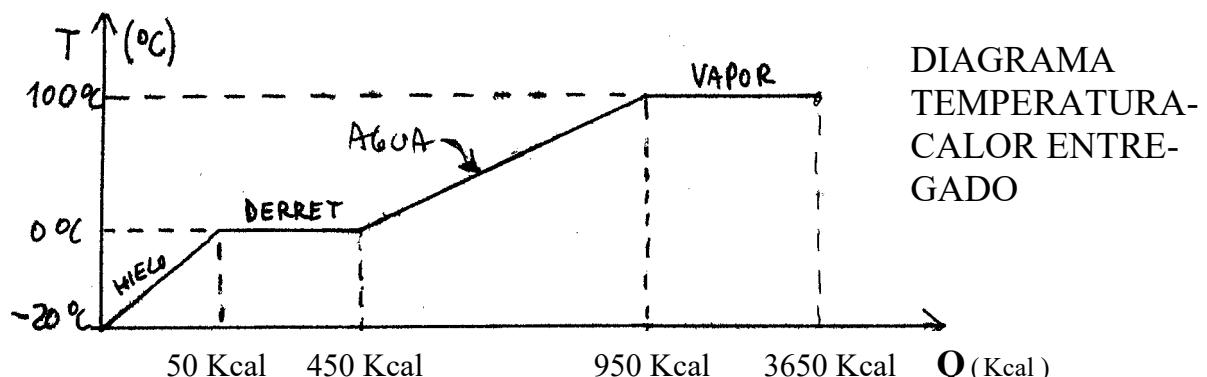
$$Q_{\text{TOTAL}} = Q_{(\text{CALENTAR EL HIELO})} + Q_{(\text{DERRETIR EL HIELO})} + \\ + Q_{(\text{CALENTAR EL AGUA})} + Q_{(\text{EVAPORAR EL AGUA})}$$

$$Q_{\text{TOTAL}} = 50 \text{ Kcal} + 400 \text{ Kcal} + 500 \text{ Kcal} + 2.700 \text{ Kcal}$$

$$Q_{\text{TOTAL}} = 3650 \text{ Kcal}$$

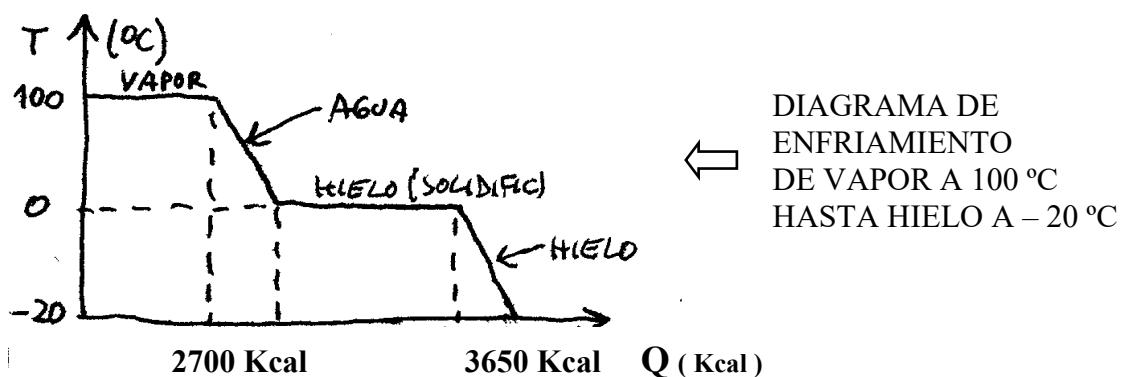
CANTIDAD TOTAL DE CALOR QUE HAY QUE ENTREGAR EN TODO EL PROCESO

Para hacer el diagrama de temperatura - calor entregado voy representando cada una de las evoluciones. El diagrama se puede hacer con valores o en forma cualitativa.



Para hacer el diagrama sumé las cantidades de calor que fui entregando. Fijate que cada vez que hay cambio de estado la temperatura se mantiene constante. Entonces en el diagrama esa temperatura constante estará representada por una línea horizontal. (Meseta)

De la misma manera, para llevar el vapor que está a 100 °C a hielo a -20 °C tengo que quitarle 3.650 Kcal. Puedo hacer en forma cualitativa el diagrama de enfriamiento del vapor a 100 grados hasta llevarlo a hielo a -20 grados. Eso me daría una cosa así:



### UNA CONCLUSION IMPORTANTE:

Mirá el gráfico. Fijate que de todas las cantidades de calor entregadas, la más grande es la que se usa para evaporar el agua. ( $= 2.700 \text{ Kcal}$ ). Evaporar agua es siempre muy costoso. Costoso quiere decir que hay que entregar mucha cantidad de calor. El  $L_v$  del agua es muy grande ( $= 540 \text{ Kcal / kg}$ ). Hay que entregar 540 Kilocalorías para evaporar 1 kg agua.

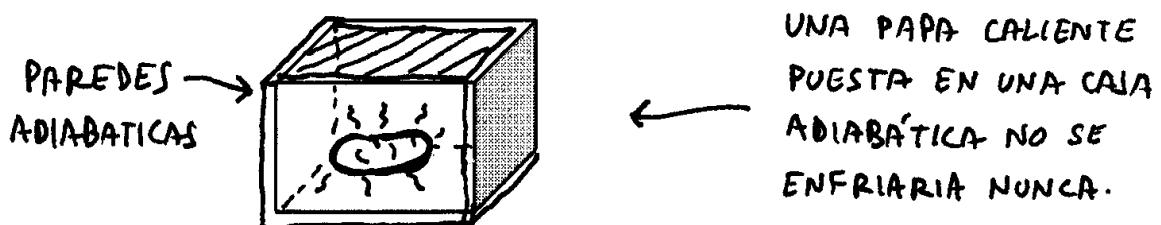
Poné una pava al fuego y fijate cuánto tarda en llegar a 100 °C. Ahora dejala hervir y fijate cuánto tarda en evaporarse toda el agua. Vas a ver que el agua tarda muchísimo más en evaporarse que en hervir. Esta es la razón por la que el cuerpo humano usa la transpiración para enfriarse. Transpirar es evaporar agua. Y ese proceso de transpiración se lleva mucho calor de la piel. (Que es justo lo que el cuerpo necesita)

## CALORIMETRO - RECIPIENTES ADIABATICOS

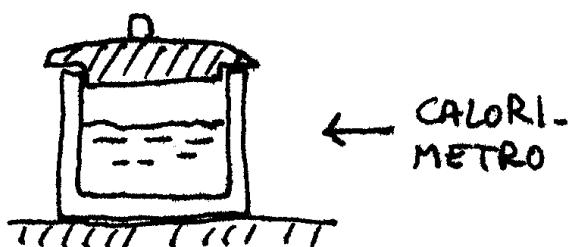
Vamos a la idea de **PARED ADIABATICA**. Una pared adiabática es una pared aislante del calor. El calor no puede atravesar una pared adiabática. Si vos consiguieras un recipiente total y absolutamente adiabático, cualquier cosa caliente que pusieras adentro no se enfriaría nunca. ( nunca ).

Ahora, digo "si vos consiguieras" porque esto es teórico. Los recipientes adiabáticos no existen en la realidad. Lo más parecido a un recipientes adiabático es un termo. Pero si ponés agua caliente en un termo, al rato se enfriá.

En un recipiente adiabático no puede salir calor de adentro ni tampoco puede entrar el calor de afuera. Quiere decir que algo frío puesto en un recipiente perfectamente adiabático, seguiría frío por los siglos de los siglos. Y lo mismo para algo caliente. ( Repito, esto es teórico ).



En la realidad se usa lo que se llama "calorímetro". Un calorímetro es una especie de olla con tapa. Conserva bien el frío y el calor. No es totalmente adiabático, pero sirve para hacer experimentos. Un calorímetro es una cosa así:



Un pote de tergopol de los que se usan para el helado sirve perfectamente como calorímetro.

## TEMPERATURA FINAL DE EQUILIBRIO PARA 2 CUERPOS QUE SE PONEN EN UN CALORIMETRO

Tengo una olla con agua a  $20^{\circ}\text{C}$ . Tiro a la olla 1 kilo de hierro a  $80^{\circ}\text{C}$ .

Pregunto: ¿Cuál será la temperatura final del agua con el hierro?

Rta: Para explicarte como se hace esto, vamos directamente a un ejemplo de cómo se calcula la temperatura final de equilibrio para 2 cuerpos que se ponen en un calorímetro: Pongamos 1 kg de agua a  $20^{\circ}\text{C}$  en un calorímetro. Ahora agreguemos 1 kg de hierro a  $80^{\circ}\text{C}$ .



El fe se va a enfriar (Va a ceder calor). El agua se va a calentar (Va a recibir calor). Después de un tiempo el hierro y el agua van a estar a la misma temperatura. Esa temperatura  $T_f$  tendrá que estar entre 20 y  $80^{\circ}\text{C}$ . Lo que quiero es calcular esa temperatura final. (importante).

Digo:

El recipiente es adiabático y no puede salir calor. Quiere decir que el calor que pierde el hierro tiene que ser ganado por el agua. Entonces puedo poner:

$$Q_{\text{Ganado por el H}_2\text{O}} = -Q_{\text{Cedido por el Fe}}$$

Fijate que le puse un signo menos al calor cedido por el hierro. Esto es porque para el fe, la  $T_{\text{final}}$  es menor que la  $T_{\text{initial}}$ . Entonces el valor  $Q_{\text{Fe}} = c \cdot m (T_f - T_i)$  me va a dar negativo. Pasando al mismo miembro:

$$Q_{\text{Ganado por el H}_2\text{O}} + Q_{\text{Cedido por el Fe}} = 0$$

Conclusión: Cuando ponen en un recipiente adiabático 2 substancias que inicialmente están a distinta temperatura y me piden calcular la temperatura final, tengo que plantear siempre:

$$Q_{\text{Ganado}} + Q_{\text{Cedido}} = 0$$

ECUACION PARA  
CALCULAR LA  
TEMPERATURA FINAL

Entonces, en este caso, el planteo queda así:

$$1 \frac{\text{kcal}}{\text{kg} \text{ } ^\circ\text{C}} 1 \text{ kg} \cdot (T_f - 20 \text{ } ^\circ\text{C}) + 0,1 \frac{\text{kcal}}{\text{kg} \text{ } ^\circ\text{C}} 1 \text{ kg} \cdot (T_f - 80 \text{ } ^\circ\text{C}) = 0$$

$$1 \frac{\text{kcal}}{\text{kg} \text{ } ^\circ\text{C}} T_f - 1 \frac{\text{kcal}}{\text{kg} \text{ } ^\circ\text{C}} 20 \text{ } ^\circ\text{C} + 0,1 \frac{\text{kcal}}{\text{kg} \text{ } ^\circ\text{C}} T_f - 0,1 \frac{\text{kcal}}{\text{kg} \text{ } ^\circ\text{C}} 80 \text{ } ^\circ\text{C} = 0$$

$$\Rightarrow 1,1 \frac{\text{kcal}}{\text{kg} \text{ } ^\circ\text{C}} T_f - 28 \text{ kcal} = 0$$

$$\underline{T_f = 25,45 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

NOTA: En los problemas siempre te van a dar sólo 2 cuerpos en un calorímetro. Pero la ecuación  $Q_{\text{Ganado}} + Q_{\text{Cedido}} = 0$  se puede usar también para 3 cuerpos o más. ( No suelen tomar problemas con 3 cuerpos porque son muy largas las cuentas )

## PROBLEMAS DE TANTEO

( PROBLEMAS EN DONDE LA TEMPERATURA FINAL ES 0  $^\circ\text{C}$  o 100  $^\circ\text{C}$  )

Hay un tipo de problema medio raro en donde no es fácil calcular la temperatura final de equilibrio. Generalmente son problemas donde se mezcla hielo con algo muy caliente y uno no sabe si la temperatura final va a dar 0 grados, por abajo de 0 grados, o por arriba de cero grados. Para poder resolver este tipo de problemas hay que hacer una especie de tanteo. Fijate este ejemplo :

SE PONE 1 Kg DE HIELO A - 20  $^\circ\text{C}$  EN UN CALORÍMETRO.

SE AGREGAN 2 Kg DE HIERRO A 200  $^\circ\text{C}$ . CALCULAR LA TEMPERATURA FINAL DE EQUILIBRIO.

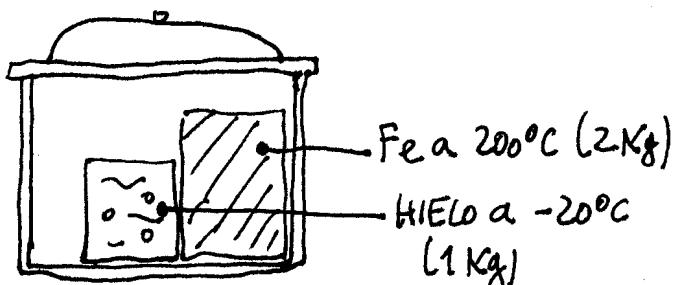
$C_{\text{HIELO}} = 0,5 \text{ kcal} / \text{Kg} \text{ } ^\circ\text{C}$  .  $L_{\text{HIELO}} = 80 \text{ kcal/Kg}$  .

$C_{\text{H}_2\text{O}} = 1 \text{ kcal} / \text{Kg} \text{ } ^\circ\text{C}$ .  $C_{\text{Fe}} = 0,1 \text{ kcal} / \text{Kg} \text{ } ^\circ\text{C}$

Hagamos un dibujito. Tengo el hielo y el hierro en el calorímetro. El hierro se va a enfriar y el hielo se va a calentar. Pero acá es un poco de lio calcular la temperatura de equilibrio. ¿ Por qué ?

Rta: Porque yo no sé si la  $T_f$  va a dar 0 grados, por abajo de 0 grados, o

por arriba de cero grados. Es importante saber aproximadamente por donde va a dar la temperatura final, porque si hay cambio de estado, no se puede plantear la ecuación  $Q = c.m (T_f - T_i)$



Fijate que hay varias posibilidades. El Fe está muy caliente ( $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Quiere decir que tal vez todo el hielo podría llegar a derretirse y subir su temperatura por arriba de  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . O podría llegar a los  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Incluso (tal vez) podría evaporarse parte del agua. Pero también podría pasar que el hielo enfrié al hierro. De esa manera el Fe podría bajar su temperatura hasta algún valor entre  $0$  y  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Por último, podría pasar que la temperatura de equilibrio fuera justo  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Y también (un poco arriesgado), uno podría llegar a suponer que el hielo enfriá tanto al Fe que el Fe termina por debajo de los  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$

Entonces: ¿el hielo enfriará al Fe o el Fe calentará al hielo?  
¿Quién va a ganar?

Rta: Esto va a depender de los calores específicos del hielo, del agua y del Fe. Y también va a depender del calor de fusión del hielo. ( $L_F$ ). No hay manera de saber a ojo el resultado. Hay que hacer las cuentas, ir probando y ver qué da. Veamos cuál de todas las situaciones posibles es la que ocurre acá.

Digo:

Supongamos que todo el sistema termina con una temperatura de  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Calculo las cantidades de calor que serían necesarias para que eso ocurra. El hielo ganaría una cantidad de calor que vale:

$$Q_{HIELO} = Q_{(-20\text{ }^{\circ}\text{C} \text{ a } 0\text{ }^{\circ}\text{C})} + Q_{\text{derretir}} + Q_{(0\text{ }^{\circ}\text{C} \text{ a } 50\text{ }^{\circ}\text{C})}$$

$$\Rightarrow Q_{HIELO} = 0,5 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg }^{\circ}\text{C}} \times 1\text{ Kg} (0\text{ }^{\circ}\text{C} - (-20\text{ }^{\circ}\text{C})) + 80 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}} \times 1\text{ Kg} + 1 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg }^{\circ}\text{C}} \times 1\text{ Kg} (50\text{ }^{\circ}\text{C} - 0\text{ }^{\circ}\text{C})$$

$$\Rightarrow \underline{Q_{HIELO} = 140 \text{ Kcal}} \quad \leftarrow \begin{array}{l} Q \text{ Para llevar el Hielo} \\ \text{dl } -20^{\circ}\text{C a } 50^{\circ}\text{C} \end{array}$$

Vamos ahora al hierro. Quiero llevarlo de  $200^{\circ}\text{C}$  a  $50^{\circ}\text{C}$ . La cuenta me da:

$$\underline{Q_{Fe} = 0,1 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}^{\circ}\text{C}} \times 2\text{Kg} (50^{\circ}\text{C} - 200^{\circ}\text{C})}$$

$$\underline{Q_{(200^{\circ}\text{C} \rightarrow 50^{\circ}\text{C})} = -30 \text{ Kcal}} \quad \leftarrow \begin{array}{l} Q \text{ Para llevar el Fe} \\ \text{dl } 200^{\circ}\text{C a } 50^{\circ}\text{C.} \end{array}$$

Analicemos un poco el resultado que obtuvimos: Las cuentas me dicen que necesito 140 Kilocalorías para derretir el hielo y llevarlo a  $50^{\circ}\text{C}$ . Por otro lado necesito solamente 30 Kcal para llevar el hielo de  $200^{\circ}\text{C}$  a  $50^{\circ}\text{C}$ . Esto me está diciendo que la cantidad de calor que tiene el hielo no alcanza a derretir el hielo y llevarlo a  $50^{\circ}\text{C}$ . Gana el hielo. Quiere decir que la temperatura de equilibrio va a estar por debajo de los  $50^{\circ}\text{C}$ . Esto pasa porque el  $c$  del hierro es muy chico. ( $= 0,1 \text{ Kcal/Kg}^{\circ}\text{C}$ ).

Probemos ahora si la cantidad de calor que tiene el hierro alcanza a derretir todo el hielo:

$$\underline{Q_{HIELO} (-20^{\circ}\text{C} \text{ a } 0^{\circ}\text{C DERRITIDO}) = 90 \text{ Kcal}} \quad \leftarrow \begin{array}{l} Q \text{ PARA LLEVAR EL HIELO} \\ \text{dl } -20^{\circ}\text{C a AGUA a } 0^{\circ}\text{C.} \end{array}$$

$$\underline{Q_{Fe} (200^{\circ}\text{C} \text{ a } 0^{\circ}\text{C}) = 40 \text{ Kcal}} \quad \leftarrow \begin{array}{l} Q \text{ PARA LLEVAR EL Fe} \\ \text{de } 200^{\circ}\text{C a } 0^{\circ}\text{C} \end{array}$$

Otra vez analicemos el resultado: Las cuentas me dicen que necesito 90 Kilocalorías para derretir el hielo. Pero con 40 Kcal me alcanza para enfriar el hierro de  $200^{\circ}\text{C}$  a  $0^{\circ}\text{C}$ . Esto me está diciendo que la cantidad de calor que tiene el hierro no alcanza a derretir todo el hielo. Otra vez gana el hielo. El Fe podrá derretir sólo una parte del hielo. Quiere decir que la temperatura de equilibrio va a ser justo  $0^{\circ}\text{C}$ . El estado final será parte agua a  $0^{\circ}\text{C}$ , parte hielo a  $0^{\circ}\text{C}$  y todo el hierro también a  $0^{\circ}\text{C}$ .

Calculemos cuánta masa de hielo se derrite. (Importante). Fijate: Para llevar el Fe de  $200^{\circ}\text{C}$  a  $0^{\circ}\text{C}$  necesito 40 Kcal. Esas 40 Kcal se invierten en elevar la temperatura del hielo de  $-20^{\circ}\text{C}$  a  $0^{\circ}\text{C}$  y derretir una parte. Pero para llevar el hielo de  $-20^{\circ}\text{C}$  a  $0^{\circ}\text{C}$  necesito 10 Kcal. Quiere decir que me quedan 30 kcal disponibles para derretir el hielo.

Planteo:

$$30 \text{ Kcal} = L_{\text{HIELO}} \times \text{masa DERRETIDA}$$

$$\rightarrow 30 \text{ Kcal} = 80 \text{ Kcal/Kg} \times m_{\text{DERRETIDA}}$$

$$\rightarrow \underline{m_{\text{DERRETIDA}} = 0,375 \text{ Kg}} \quad (= \text{Agua})$$

Entonces, la respuesta a este problema es: La temperatura de equilibrio es CERO grados centígrados, con 0,625 Kg de hielo y 0,375 kg de agua .

Aclaración: En este problema la temperatura final de equilibrio dió 0 °C. Eso pasó porque puse hielo en el calorímetro. Pero no siempre la temperatura final va a dar 0 °C. También puede dar 100 °C si hay vapor de agua. La  $T_F$  puede llegar a dar algún valor extraño si las substancias que se ponen en el calorímetro son medio raras. ( Por ejemplo, si se tira un pedazo de hierro en un calorímetro que tiene plomo fundido ).

## CALORIAS DE LOS ALIMENTOS

Los alimentos tienen calorías. Cuando uno come cosas, el cuerpo se las ingenia para agarrar esas calorías y guardárselas. Como el calor es energía, esas calorías son usadas para lo que el cuerpo quiera. Por ejemplo, moverse, calentarse y demás. Todas las cosas ricas tienen muchas calorías. ( Chocolate ). Las cosas feas tienen pocas calorías. ( verdurita ). El cuerpo sabe esto y desea que le des cosas que tengan muchas calorías. Por eso a la gente le encanta comer chocolate, galletitas, alfajores, helados, hamburguesas, panchos, ravioles con salsa y demás. El cuerpo no es tonto. Podés tratar de engañarlo dándole de comer lechuguita y verdurita. Pero al rato se da cuenta.

A los soldados les suelen dar chocolate dentro de sus provisiones

Una cosa: ¿ Te gusta el Mantecol ? ¿ Pensás que a vos solo te gusta ?  
No señor. A todo el mundo le gusta el Mantecol. ¿ Por qué te gusta tanto el Mantecol ?

Rta: Porque tiene MILLONES de calorías.

Acá te pongo una tabla con calorías de algunos alimentos. Especial para los nutricionistas :

## CALORIAS DE LAS HAMBURGUESAS DE MC DONALD' S - Fuente: Mc Donald's

PESO ( gr )	KILOCALORIAS	KILOCALORIAS POR gr	
102	255	2,5	HAMBURGUESA
<b>115</b>	<b>307</b>	<b>2,7</b>	<b>HAMBURGUESA CON QUESO</b>
204	563	2,8	BIG MAC
<b>189</b>	<b>460</b>	<b>2,4</b>	<b>MC POLLO</b>
97	320	3,3	PAPAS MEDIANAS
<b>260</b>	<b>290</b>	<b>1,1</b>	<b>ENSALADA</b>
200	5	0,0	TE o CAFÉ SIN NADA
<b>200</b>	<b>15</b>	<b>0,1</b>	<b>TE o CAFÉ CON LECHE</b>
200	35	0,2	TE o CAFÉ CON AZUCAR
<b>200</b>	<b>55</b>	<b>0,3</b>	<b>CAFÉ CON LECHE Y AZUCAR</b>
35	150	4,3	MEDIALUNA
<b>164</b>	<b>319</b>	<b>1,9</b>	<b>SUNDAE DE CHOCOLATE</b>
115	185	1,6	CONO DE VAINILLA
<b>250</b>	<b>190</b>	<b>0,8</b>	<b>COCA COLA o FANTA MEDIANA</b>
265	118	0,4	JUGO DE NARANJA

Por ejemplo, si te comés un Big Mac con unas papas y una Coca le estás dando al cuerpo unas 1.100 Kilocalorías. ( Sumale un poco de sal, mayonesa y Ketchup ).

Buscá en algún lado cuántas calorías por día necesita para vivir una persona que pesa lo que pesás vos.

## Aclaraciones:

\* La fórmula  $Q_{\text{ganado}} + Q_{\text{cedido}} = 0$  sirve cuando ponés 2 cuerpos en un calorímetro. Si se pusieran 3 cuerpos, la ecuación quedaría  $Q_1 + Q_2 + Q_3 = 0$ . ( Idem si se pusieran 4 cuerpos )

\* Si el calor específico de un cuerpo es por ejemplo  $0,5 \text{ cal/g}^{\circ}\text{C}$  y vos lo querés pasar a  $\text{kcal/kg}^{\circ}\text{C}$ , directamente te queda  $0,5 \text{ kcal/kg}^{\circ}\text{C}$ . Esto es porque 1 kg son justo 1.000 gramos y 1 kcal son justo 1.000 cal. Así que el asunto se compensa y queda igual.

## ALGUNOS EJERCICIOS DE PARCIALES

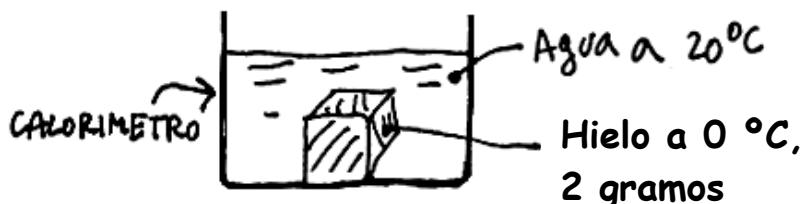
1 - ¿Qué cantidad de agua a 20 °C debería colocarse en un recipiente adiabático para que al echar en ella 2 gr de hielo a 0 °C se obtenga en el equilibrio agua líquida a 0 °C ?

Datos:  $L_{HIELO} = 80 \text{ Cal/gr}$  ,  $C_{AGUA} = 1 \text{ Cal/gr}^{\circ}\text{C}$

- a) 4 gr      b) 1 gr      c) 160 gr      d) 80 gr      e) 40 gr      f) 8 gr

### SOLUCIÓN :

Hagamos un dibujito. Tengo 2 gramos de hielo en un recipiente. El hielo está a 0 °C. Quiero derretirlo todo tirándole agua a 20 °C. El objetivo es que al final haya sólo agua líquida a 0 °C.



Veamos cuánto calor necesito para derretir 2 gramos de hielo:

$$Q_{HIELO} = L_{HIELO} \cdot m_{HIELO} \rightarrow Q_{HIELO} = 80 \text{ Cal/gr} \times 2 \text{ gr}$$

$$Q_{HIELO} = 160 \text{ Calorías}$$

Ahora, el agua se enfriá. Le pasa calor al hielo que se derrite. El calor que pierde el agua tiene que ser el mismo que absorbe el hielo. El que absorbió el hielo ya lo calculé, vale 160 calorías. Entonces:

$$Q_{AGUA} = C_{AGUA} \cdot m_{AGUA} (T_F - T_0)$$

$$- 160 \text{ Cal} = 1 \text{ Cal/gr}^{\circ}\text{C} \cdot m_{AGUA} (0 - 20^{\circ}\text{C})$$

Fijate que le puse signo negativo a las 160 calorías por que el agua PIERDE CALOR.

$$\rightarrow - 160 \text{ Cal} = 1 \text{ Cal/gr}^{\circ}\text{C} \cdot m_{AGUA} (- 20^{\circ}\text{C})$$

$$\rightarrow 160 \text{ Cal} = 20 \text{ Cal/gr}^{\circ}\text{C} \cdot m_{AGUA}$$

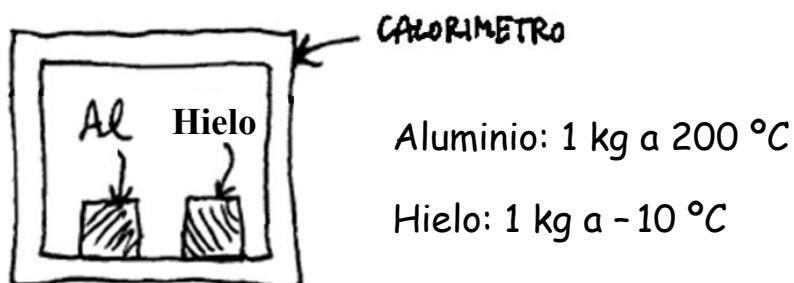
Respuesta correcta: f) la masa de agua debe ser de 8 gr

2 - Los calores específicos del agua líquida, del hielo y del aluminio sólido son, respectivamente de 1,00 ; 0,5 y 0,22 Kcal / (Kg K) y el calor de fusión del hielo es de 80 Kcal/Kg. Se colocan en un recipiente adiabático, a la presión normal, un kilo de aluminio a 200 °C y un kilo de hielo a diez grados bajo cero. Determine:

- La temperatura final del equilibrio.
- La masa de hielo fundido, si es que llegó a fundirse algo de hielo

SOLUCIÓN :

Dicen que se ponen dentro de un calorímetro 1 kg de aluminio a 200 °C y 1 kg de hielo a -10 °C. Hagamos un dibujito :



Este problema es importante porque va a haber que tantejar. A veces toman problemas así. Ahora te explico. El aluminio está a 200 °C. Calculemos primero cuánto calor puede entregar el aluminio si llegara a 0 °C :

$$\rightarrow Q_{ALUM} = C_{ALUM} m_{ALUM} (T_F - T_0)$$

$$\rightarrow Q_{ALUM} = 0,22 \text{ Kcal/kg °C} \times 1 \text{ kg} (0 - 200 \text{ °C})$$

$$\rightarrow Q_{ALUM} = - 44 \text{ Kcal}$$

Con este calor... ¿alcanzo a derretir todo el hielo ?

Primero necesitamos llevar el hielo de -10 °C a 0 °C. Veamos cuánto calor necesito para eso:

$$Q_{HIELO} = C_{HIELO} \cdot m_{HIELO} (T_F - T_0)$$

$$\rightarrow Q_{HIELO} = 0,5 \text{ Kcal/kg °C} \cdot 1 \text{ kg} (0 - (-10 \text{ °C}))$$

Fijate que en la resta de las temperaturas tengo que poner un paréntesis porque es CERO - (-10 °C). Me queda:

$$\rightarrow Q_{HIELO} = 0,5 \text{ Kcal/kg} \cdot \text{ } ^\circ\text{C} \cdot 1 \text{ kg} \times 10 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\rightarrow Q_{HIELO} = 5 \text{ Kcal}$$

Entonces, se necesitan 5 Kcalorías para llevar el hielo hasta CERO  $^\circ\text{C}$ . Esas 5 Kcalorías las entregó el aluminio. Quiere decir que de las 44 Kcalorías que el aluminio tiene para dar, 5 las usa para llevar el hielo hasta 0  $^\circ\text{C}$ . Entonces al aluminio todavía le quedan 39 Kcalorías para derretir el hielo. ( 44 - 5 ).

Veamos cuánto hielo se puede derretir con 39 Kilocalorías:

$$Q_{HIELO} = L_{HIELO} \cdot m_{HIELO} \rightarrow 39 \text{ Kcal} = 80 \text{ Kcal/kg} \times \text{masa}_{DERRETIDA}$$

$$\text{masa}_{DERRETIDA} = 0,4875 \text{ kg}$$

Entonces el calor que puede ceder el aluminio no alcanza para derretir 1 kg de hielo. Solo puede derretir 487,5 gramos.

Entonces, la conclusión es que cediendo sus 44 Kilocalorías, el aluminio se enfriá hasta cero grados y logra derretir 487,5 gramos de hielo.

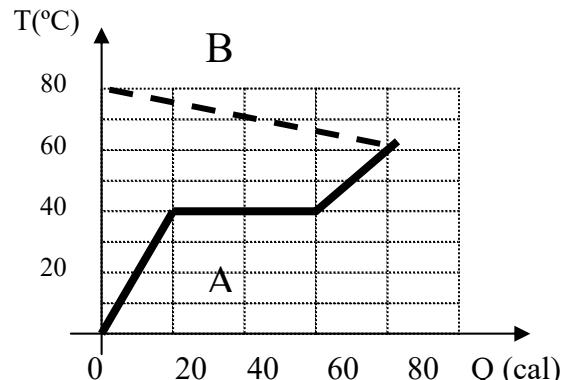
Resultado:

- La temperatura final es de 0  $^\circ\text{C}$ .
- Se derriten 487,5 gramos de hielo. Terminan quedando 512,5 g de hielo + 487,5 g de agua + 1.000 g de aluminio todo a 0  $^\circ\text{C}$ .

3 - La figura representa la evolución de la temperatura en función del calor intercambiado cuando, en un recipiente adiabático que contiene un kilogramo de cierto sólido (A), se introducen 100 gramos de un sólido desconocido (B).

Si se desprecia el calor intercambiado con el recipiente:

- ¿Cuál es el calor latente de fusión de A?
- ¿Cuál es el calor específico de B?



SOLUCIÓN :

a) - Este es un problema importante. Fijate que me dan un gráfico Temperatura - Calor entregado. Todos los datos tenés que sacarlos de ahí. Vamos: Veo que a  $40^{\circ}\text{C}$  el sólido A se está fundiendo. Me doy cuenta de que esto es así porque la temperatura permanece constante. En esa etapa se entrega una cierta cantidad de calor. La cantidad de calor absorbida por el sólido A mientras se funde va a ser:

$$Q_{\text{SOLIDO A}} = L_{\text{FUSION A}} \cdot m_A$$

Mirando el gráfico, puedo calcular el  $L_{\text{FUSION A}}$ :

$$(60 \text{ cal} - 20 \text{ cal}) = 1000 \text{ gr} \times L_{F_A}$$

$$L_{F_A} = 0,04 \frac{\text{cal}}{\text{gr}} \quad \leftarrow \begin{array}{l} \text{CALOR DE} \\ \text{FUSION DE A} \end{array}$$

El cuerpo B es un sólido que no se funde. Su temperatura baja de  $80^{\circ}\text{C}$  a  $60^{\circ}\text{C}$ . Puedo plantear.

$$Q_B = C_B m_B \cdot (T_F - T_0)$$

La cantidad de calor Q vale 80 calorías. Entonces:

$$80 \text{ Cal} = C_B \times 100 \text{ gr} (80^{\circ}\text{C} - 60^{\circ}\text{C})$$

$$\Rightarrow C_B = 0,04 \frac{\text{cal}}{\text{gr}^{\circ}\text{C}} \quad \leftarrow \begin{array}{l} \text{CALOR ESPE-} \\ \text{CIFICO DE B} \end{array}$$

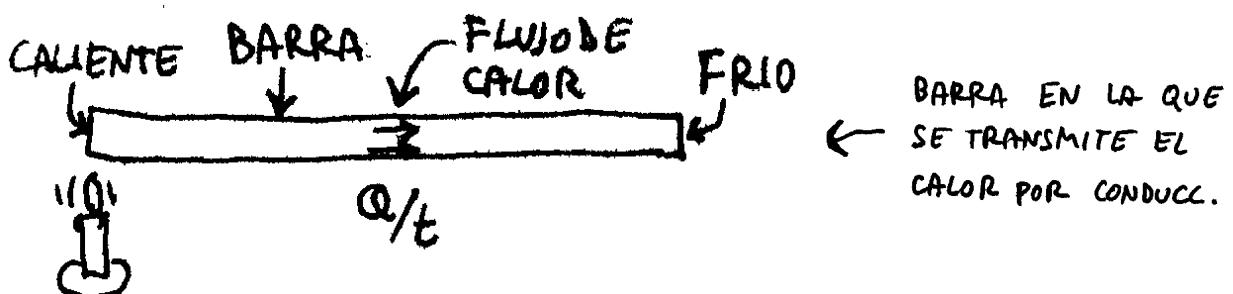
---

FIN CALORIMETRÍA

# ASMOV

# TRANSMISION DEL CALOR

- \* CONDUCCION
- \* LEY DE FOURIER
- \* CONVECCION
- \* RADIACION
- \* LEY DE STEFAN - BOLTZMAN
- \* RADIACION NETA EMITIDA



$$\frac{Q}{t} = K \cdot A \cdot \frac{T_1 - T_2}{\Delta x}$$

LEY DE FOURIER  
(CONDUCCIÓN)

## TRANSMISION DEL CALOR

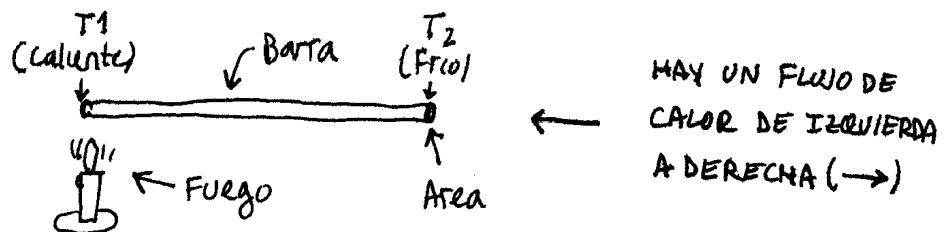
El calor puede viajar de un lado a otro. Hay 3 mecanismos que usa el calor para trasladarse: conducción, convección y radiación.

### CONDUCCION

Si ponés la punta de una cuchara al fuego, al rato el mango también se calienta.



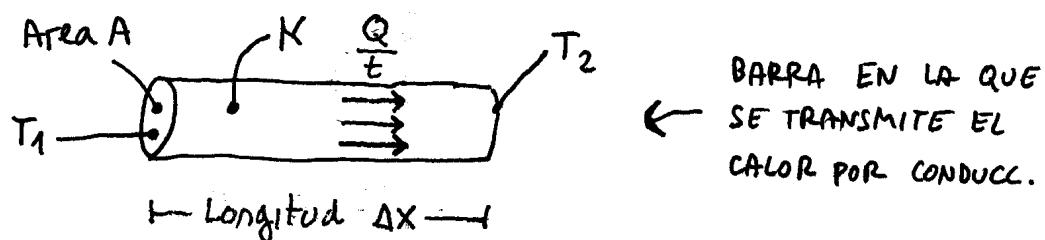
Supongamos que tengo una barra con una punta que está al fuego y la otra no. A través de esta barra se va a transmitir el calor. ¿Cómo hace el calor para transmitirse desde la punta caliente hasta la punta fría?



La cosa es así: lo que hace el calor es ir pasando de molécula a molécula. Al calentar la parte izquierda las moléculas de ese lado se ponen a vibrar más rápido. Esas moléculas van golpeando a las que tienen a la derecha. De esa manera el calor se va propagando a toda la barra para allá  $\rightarrow$ .

### LEY DE FOURIER (Importante)

Suponete que tengo una barra que tiene una longitud delta x y área A. Una punta de está caliente y la otra no. A través de la barra se va a ir transfiriendo un flujo de calor  $Q/t$ . Por ejemplo, si  $Q/t$  es 20 Kcal/seg, eso quiere decir que cada segundo que pasa están pasando por la barra 20 Kilocalorías.



Este flujo de calor puede entenderse como si fuera un caudal de agua que está

circulando por un caño. La fórmula que se usa para calcular la cantidad de calor por conducción es la ley de Fourier. Lo que dice esta ley es lo siguiente :

$$\frac{Q}{t} = K \cdot A \cdot \frac{T_1 - T_2}{\Delta x}$$

← LEY DE FOURIER  
(CONDUCCIÓN)

Fijate el significado de cada cosa en la fórmula:

- \*  $Q/t$  es la cantidad de calor transmitida por unidad de tiempo. A esto se lo llama flujo de calor. Va en Kcal/seg o en Joule/seg. Acordate que 1 Kcal son 4.186 Joule. Y Joule/seg es Watt, así que el flujo de calor en realidad es la potencia transmitida. ( Atento )
- \* A es el área de la barra. A veces en vez de una barra uno puede tener una pared o una ventana. En ese caso, A pasa a ser el área de la pared o de la ventana. El área va en la fórmula en  $m^2$ .
- \*  $T_1$  y  $T_2$  son las temperaturas en los extremos de la barra. Van en  $^{\circ}C$ . Hay que ponerlas de manera que la cuenta  $(T_1 - T_2)$  dé +.
- \*  $\Delta x$  ( o  $L$  ) es el espesor de la pared o la longitud de la barra. Va en metros.
- \* K es lo que se llama CONDUCTIBILIDAD DEL MATERIAL. Es un coeficiente que da una idea de que tan rápido viaja el calor en ese material. K es distinto para cada substancia. Si K es grande, el objeto será buen conductor del calor. ( Los metales, por ejemplo ).

Las unidades del coeficiente de conductibilidad térmica son:

$$[K] = \frac{K \text{ cal}}{m \cdot s \cdot ^{\circ}C} \quad \leftarrow \quad \text{UNIDADES DE } K.$$

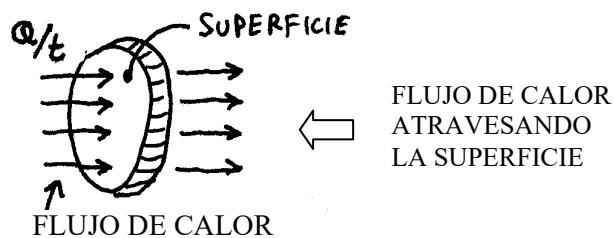
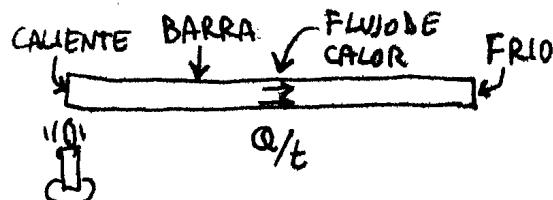
Lo que dice la ley de Fourier es que hay una cierta cantidad de calorías por segundo que van pasando a lo largo de la barra. Esa cantidad de Kcal/seg ( = flujo de calor ) es proporcional al área de la barra ( A ), a la diferencia de temperaturas  $T_1 - T_2$  y al coeficiente de conductibilidad K. A su vez el flujo  $Q/t$  es inversamente proporcional a la longitud de la barra. ( L o  $\Delta x$  )

O sea, a medida que aumentan el área transversal, el delta T y K, aumenta el flujo de calor. A medida que aumenta la longitud de la barra, baja el flujo de calor. Hay otra manera de escribir la ley de Fourier que es pasando el área dividiendo. A veces se usa la fórmula puesta así. Ahora  $Q/t \cdot A$  ( Kcal / seg  $\cdot m^2$  ) sería el flujo de calor ( o potencia calórica ) que atraviesa la barra por unidad de área. En ese caso la fórmula queda:

$$\frac{Q}{t \cdot A} = K \frac{T_1 - T_2}{L}$$

OTRA MANERA DE  
ESCRIBIR LA LEY  
DE FOURIER

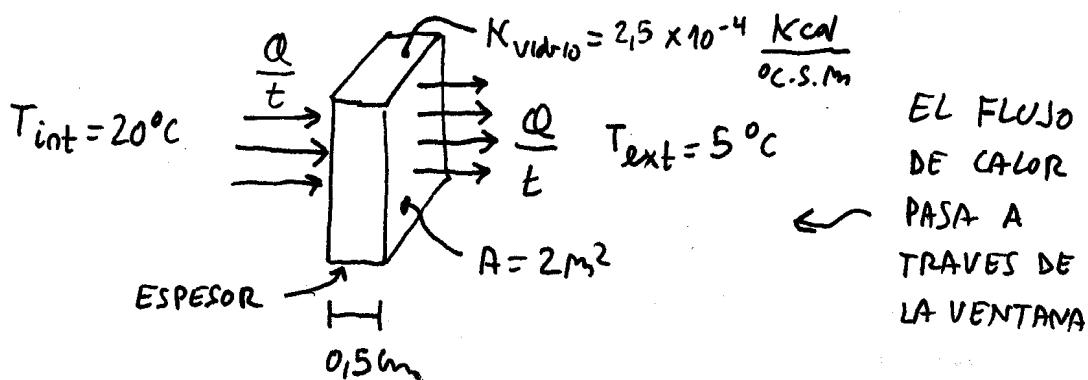
Es decir, si yo tengo una barra por la que está circulando el calor, lo que vería sería esto:



### EJEMPLO:

CALCULAR LA CANTIDAD DE CALOR QUE SE TRANSMITE POR UNIDAD DE TIEMPO A TRAVÉS DE UNA VENTANA DE  $2 \text{ m}^2$  DE SUPERFICIE Y ESPESOR 0,5 cm. TEMPERATURA INTERIOR:  $20^\circ\text{C}$ . TEMPERATURA EXTERIOR:  $5^\circ\text{C}$ . CONDUCTIBILIDAD DEL VIDRIO:  $K = 2,5 \times 10^{-4} \text{ Kcal / m.s. } ^\circ\text{C}$

Hagamos un esquema. Tengo la ventana y el flujo de calor que va pasando a través de ella. Fijate que acá no tengo una barra. Ahora  $\Delta x$  es el espesor de la ventana.



Planteo la ley de Fourier:

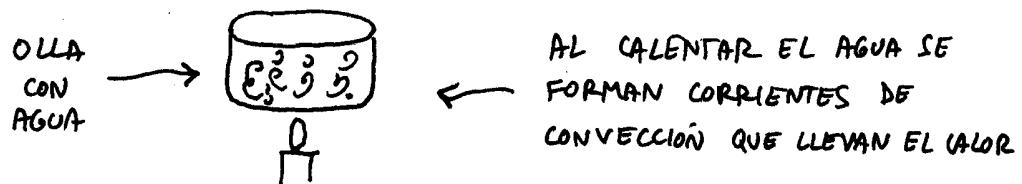
$$\frac{Q}{t} = K \cdot A \frac{(T_{int} - T_{ext})}{\Delta x} \Rightarrow$$

$$\frac{Q}{t} = 2,5 \times 10^{-4} \frac{\text{Kcal}}{\text{m.s.}^\circ\text{C}} \times 2 \text{ m}^2 \times \frac{(20^\circ\text{C} - 5^\circ\text{C})}{0,5 \times 0,01 \text{ m}}$$

$$\Rightarrow \boxed{\frac{Q}{t} = 1,5 \frac{\text{Kcal}}{\text{Seg}}} \quad \leftarrow \text{FLUJO DE CALOR.}$$

## CONVECCIÓN

La convección es una forma de transmisión del calor que sólo se da en líquidos y en gases. Si ponés una olla al fuego, el líquido de abajo se calienta y empieza a subir. A su vez, el líquido de arriba que está más frío empieza a bajar. Así se crea una corriente de líquido que se va moviendo. Estas corrientes que suben y que bajan se llaman corrientes de convección.



Por ejemplo, las corrientes marinas son corrientes de convección. El viento es una corriente de convección. Los huracanes son corrientes de convección. Cuando un ventilador te enfriá, te enfriá por convección. Hay una fórmula media rara para calcular el calor transmitido por convección. No te van a pedir que la sepas porque es un poco complicada. Sin embargo, conviene entender este fenómeno. Es uno de los mecanismos que usa el cuerpo humano para enfriarse.

Lo único que pueden tomar de convección es alguna pregunta teórica en un choice. (Pero sería una pregunta referida al fenómeno de la convección, no un ejercicio con cuentas para resolver).

## RADIACIÓN.

Hay un fenómeno raro que ocurre que es que el calor del Sol llega a la Tierra. Digo "raro" porque entre la Tierra y el Sol no hay nada. (Hay espacio vacío). Entonces... ¿Cómo hace el calor para viajar por el espacio vacío?

Rta: Bueno, se descubrió que en este caso el calor se transmite en forma de ondas. Estas ondas son RADIACIÓN. La radiación no necesita que haya substancia para propagarse. Puede viajar en el vacío o en el aire. Le da lo mismo.

Vamos a un ejemplo: Suponete una de esas estufas eléctricas que tienen resistencias que se ponen al rojo.



Vos ponés la mano lejos y sentís que te llega calorcito. Ese calor que te llega es radiación. O sea, ondas. Ojo, acá la palabra radiación no tiene nada que ver con la palabra radiación de la radiactividad o cosas por el estilo.

La historia es así. Cualquier cuerpo que tenga cierta temperatura emite calor por radiación. Más caliente está el cuerpo, más calor emite.

La fórmula que da el calor emitido por radiación es la Ley de Stefan - Boltzman.

## LEY DE STEFAN - BOLTZMAN

La ley de S-B dice que el calor emitido por radiación se calcula con el siguiente choclazo:

$$\frac{Q}{A \cdot t} = \epsilon \cdot \sigma \cdot T^4$$

Diagrama explicativo de la fórmula:

- CALOR POR UNIDAD DE TIEMPO Y DE ÁREA** (Q/A · t)
- COEFICIENTE DE EMISIVIDAD** ( $\epsilon$  VA DE 0 A 1)
- CONSTANTE DE STEFAN (SIGMA)**
- CALOR EMITIDO POR RADIACIÓN. (LEY DE STEFAN - BOLTZMANN)**
- $T^4$ : TEMPERATURA A LA CUARTA ( $K^4$ )**

Aclaremos un poco el significado de cada cosa en esta fórmula:

$Q/A \cdot t$  es el flujo de calor. Vendría a ser la cantidad de calor emitida por segundo por cada  $m^2$ . Se mide en Kilocalorías/ $m^2 \cdot seg$ . Tiene el mismo significado que tenía en la fórmula de Fourier para la transmisión por conducción. O sea,  $Q/A \cdot t$  te está dando la potencia emitida por  $m^2$  de superficie. (Ojo). Fijate que :

$$\frac{Q}{t \cdot A} = \frac{\text{Joule}}{\text{seg} \cdot m^2} = \frac{\text{watt}}{m^2} \left( \frac{\text{potencia emitida}}{\text{área}} \right)$$

Epsilon ( $\epsilon$ ) es lo que se llama coeficiente de emisividad. Es un número que está entre cero y 1. Da una idea de que tan buen emisor es el cuerpo. Más grande es Epsilon, mejor emite el cuerpo. O sea:

BUEN EMISOR:  $\epsilon$  TIENDE A 1

MAL EMISOR:  $\epsilon$  TIENDE A 0

Este Epsilon depende del color del cuerpo. Si el cuerpo es oscuro,  $\epsilon$  es grande y el objeto es un buen emisor. Resumiendo, las superficies de color negro son buenas emisoras. Las superficies de color claro son malas emisoras.

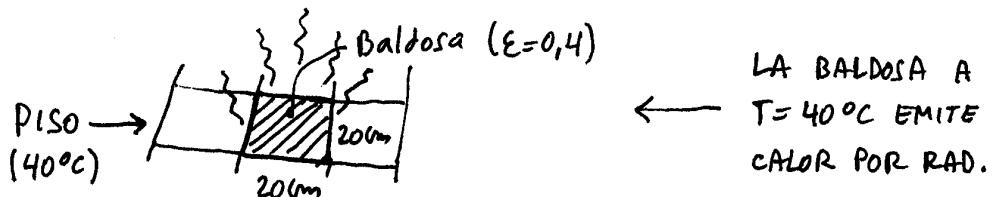
La constante sigma ( $\sigma$ ) vale  $1,35 \times 10^{-11} \frac{\text{Kcal}}{\text{m}^2 \cdot \text{seg} \cdot \text{K}^4}$  ó  $5,67 \times 10^{-8} \frac{\text{watt}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4}$

$T^4$  es la temperatura en Kelvin elevada a la cuarta.

EJEMPLO:

CALCULAR QUE CANTIDAD DE CALOR EMITE POR RADIACIÓN UNA BALDOSA CUADRADA DE 20 Cm DE LADO. LA BALDOSA ESTÁ EN UN PISO A UNA TEMPERATURA DE 40 °C. COEFICIENTE DE EMISIVIDAD DE LA BALDOSA:  $\epsilon = 0,4$ . ¿EMITIRÍA CALOR LA BALDOSA SI EL PISO ESTUVIERA A 0 °C ?

Tenemos la baldosa en el piso que está a 40 °C. Dibujemos:



La superficie de la baldosa es  $0,2 \text{ m} \times 0,2 \text{ m} = 0,04 \text{ m}^2$ . Entonces:

$$\frac{Q}{t} = \epsilon \sigma A T^4 \Rightarrow$$

$$\frac{Q}{t} = 0,4 \times 1,36 \times 10^{-11} \frac{\text{Kcal}}{\text{m}^2 \cdot \text{Seg.} \cdot \text{K}^4} \cdot 0,04 \text{ m}^2 \times (40 + 273 \text{ K})^4$$

La cantidad de calor emitida por unidad de tiempo es:

$$\frac{Q}{t} = 2,08 \times 10^{-3} \frac{\text{Kcal}}{\text{Seg}}$$

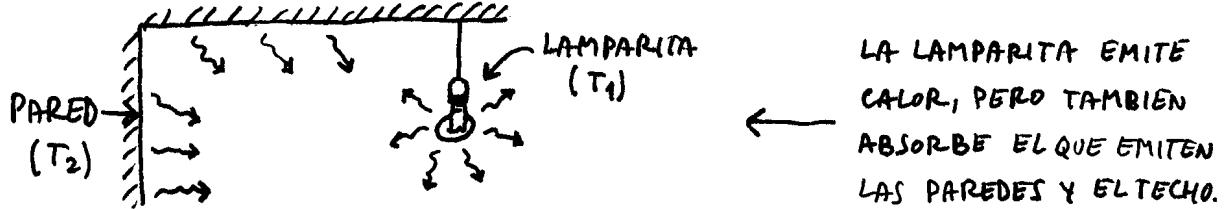
$7,5 \frac{\text{Kcal}}{\text{hora}}$

← CANTIDAD DE CALOR EMITIDA

Si la baldosa estuviera a 0 °C, tengo que reemplazar la fórmula  $T$  por 273 Kelvin. (0 °C = 273 K). En ese caso la cantidad de calor emitida me daría 4,35 Kcal/hora. Es decir, aunque la baldosa esté muy fría (0 °C) igual emite. Cualquier cuerpo a cualquier temperatura emite radiación. Sólo que si la temperatura es muy baja, emitirá menos. Para que un cuerpo no emitiera NADA de calor por radiación tendría que estar a una temperatura de cero Kelvin.

RADIACIÓN NETA EMITIDA ← VER

A veces te pueden pedir calcular el calor NETO que está emitiendo un cuerpo. En ese caso, la cosa es así: El cuerpo emite calor porque está a cierta temperatura. Pero también recibe calor que viene del medio ambiente que está a otra temperatura. Por ejemplo, las paredes del lugar donde está. Entonces, lo que hay que entender es que el tipo emite calor, pero también recibe calor de afuera



Entonces, por un lado lo que el cuerpo emite es  $\epsilon \sigma A T_1^4$  y lo que el cuerpo recibe es  $\epsilon \sigma A T_2^4$ . Entonces restando estas 2 cantidades tengo el flujo neto de calor :

$$\frac{Q}{t} (\text{Neto}) = Q_{\text{EMITIDO}} - Q_{\text{RECIBIDO}}$$

$$\frac{Q}{t} (\text{Neto}) = \epsilon \sigma A T_1^4 - \epsilon \sigma A T_2^4$$

$$\frac{Q}{t} = \epsilon \sigma A (T_1^4 - T_2^4)$$

← FLUJO NETO DE CALOR EMITIDO

En esta fórmula,  $T_1$  es la temperatura del cuerpo y  $T_2$  es la temperatura que tiene lo que lo rodea. Ojo,  $T_1$  y  $T_2$  van en KELVIN. Si el flujo de calor da positivo, quiere decir que el cuerpo emite más de lo que recibe. Si da negativo significa que el cuerpo recibe más de lo que emite.

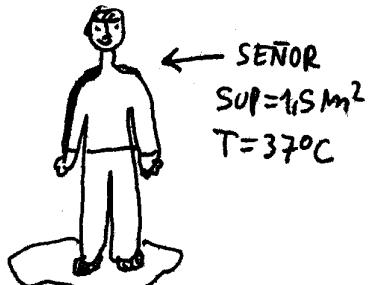
### EJEMPLO

CALCULAR LA CANTIDAD DE CALOR APROXIMADA QUE EMITE UN SER HUMANO AL AMBIENTE. CALCULAR LA CANTIDAD DE CALOR NETA EMITIDA SI LA TEMPERATURA DEL AMBIENTE QUE LO RODEA ES DE 20 °C Y 0 °C.

DATOS: SUP DEL CUERPO HUMANO: 1,5 m<sup>2</sup>.  $\epsilon = 0,5$

Veamos. Tengo el señor con su cuerpo a 37 °C (= 310 Kelvin). La cantidad de calor que emite al medio ambiente vale:

$$\frac{Q}{t} = \epsilon \sigma A T_4$$



Reemplazando por los datos:

$$\Rightarrow \frac{Q}{t} = 0,5 \times 1,36 \times 10^{-11} \frac{\text{Kcal}}{\text{m}^2 \text{ Seg} \text{ K}^4} \times 1,5 \text{ m}^2 (310 \text{ K})^4$$

$$\Rightarrow \frac{Q}{t} = 0,094 \frac{\text{Kcal}}{\text{Seg}} (= 394 \text{ watts})$$

$$\Rightarrow \frac{Q}{t} = 339 \frac{\text{Kcal}}{\text{hora}}$$

CANTIDAD DE CALOR RADIANA HACIA EL EXTERIOR POR UN CUERPO HUMANO.

Ojo, esta es la cantidad de calor que el tipo tira por radiación al exterior. Pero el hombre también recibe calor por radiación de las cosas que lo rodean (= paredes, objetos y todo el medio ambiente). Si considero que todo lo que lo rodea está a  $20^\circ\text{C}$  ( $= 293 \text{ K}$ ), la cantidad de calor NETA emitida por el hombre va a ser:

$$\frac{Q}{t} = E.G. A (T_1^4 - T_2^4)$$

Reemplazando por los datos:

$$\frac{Q}{t} = 0,5 \times 1,36 \times 10^{-11} \frac{\text{Kcal}}{\text{m}^2 \text{Seg} \text{K}^4} \times 1,5 \text{ m}^2 \left[ (310 \text{ K})^4 - (293 \text{ K})^4 \right]$$

$$\frac{Q}{t} (20^\circ\text{C}) = 0,019 \frac{\text{Kcal}}{\text{Seg}} = 68,5 \frac{\text{Kcal}}{\text{hora}} = 79,6 \text{ watts}$$

Haciendo la misma cuenta para  $T_{\text{MEDIO AMBIENTE}} = 0^\circ\text{C}$  ( $= 273 \text{ K}$ ) me da:

$$\frac{Q}{t} (0^\circ\text{C}) = 0,0375 \frac{\text{Kcal}}{\text{Seg}} = 135 \frac{\text{Kcal}}{\text{hora}} = 157 \text{ watts}$$

Pregunta:

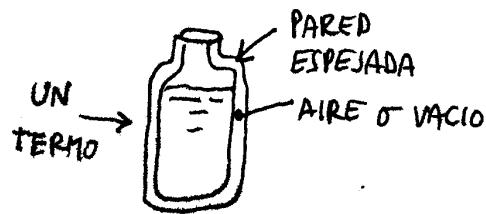
¿Qué cantidad de calor neta emitiría el hombre si la temperatura de todo lo que lo rodea fuera  $37^\circ\text{C}$ ? ¿Qué pasaría si la temperatura de todo lo que lo rodea fuera MAYOR a  $37^\circ\text{C}$ ?

### ALGUNAS APLICACIONES QUE SE USAN EN LA REALIDAD

Todo este asunto de la transmisión del calor se usa mucho en la práctica. Uno siempre tiene que andar aislando las cosas del frío o del calor. Mirá estos ejemplos:

¿QUE ES UN TERMO?

La idea de un termo es tener algo que pueda conservar las cosas frías o calientes. Si tengo algo frío adentro del termo, voy a tratar de evitar que el calor entre de afuera. Si tengo algo caliente, voy a tratar de evitar que el calor se vaya. La solución en los 2 casos es hacer una cosa que sea lo más aislante posible.

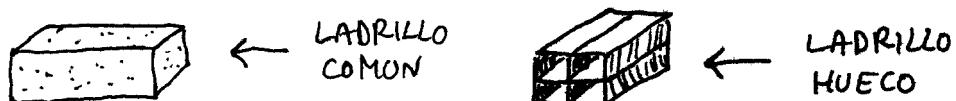


Entonces lo que se hace en la práctica es hacer un recipiente con doble pared. Las paredes se hacen espejadas para que la radiación rebote. En el medio se pone algo bien aislante. Puede ser telgopor, puede ser aire o puede ser vacío.

Fíjate que un termo nunca puede ser un aislante perfecto. Aunque haya vacío en el medio, siempre va a pasar algo de calor al exterior por radiación. La radiación se propaga en el vacío.

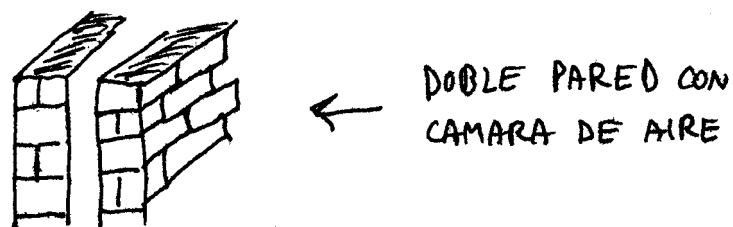
#### PAREDES DE LAS CASAS - LADRILLOS HUECOS

Algo parecido se hace con las paredes de las casas. Uno quiere que su casa esté fresca en verano y calentita en el invierno. Para eso se hacen ladrillos huecos

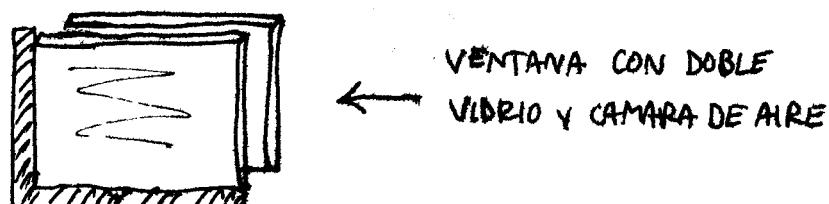


El ladrillo común es macizo. El ladrillo hueco tiene cámaras de aire. El aire es muy aislante y dificulta el paso del frío y del calor.

También a veces se hacen paredes dobles para las casas. Entre las 2 paredes hay aire. La idea es siempre la misma: Aislamiento del interior del exterior. Es decir, tratar de lograr una pared adiabática.



En lugares muy fríos se usan ventanas dobles. Se pone un vidrio, una cámara de aire y otro vidrio. Esto podés verlo en algunas casas caras y también en el sur. Básicamente se usa mucho en cualquier lugar en donde haga mucho frío o mucho calor. Ejemplo: Europa, Estados Unidos o Canadá.



LA AISLACION EN LOS ANIMALES

Los animales también se tienen que proteger del frío y del calor. Para eso tienen la piel gruesa. Pero tener piel gruesa trae un problema: dificulta la transpiración. Por eso algunos animales transpiran por la boca. Los días de mucho calor vos ves a los perros jadeando. Parecen cansados. Pero no están cansados. Están transpirando.

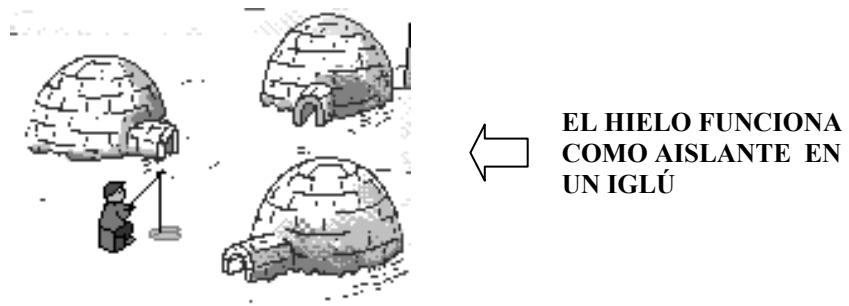
Los patos y algunos pájaros tienen un mecanismo interesante para aislarse del frío y del calor: Las plumas. Las plumas son aislantes. Pero el truco está en que entre las plumas queda aire atrapado. Este aire funciona como una cámara aislante. Las bolsas de dormir de plumas de ganso usan el mismo principio. (Bolsas de Duvet).

EL IGLU

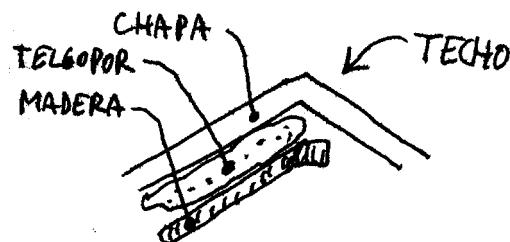
Un caso interesante es el del iglú. El hielo es muy aislante. Los esquimales construyen sus casas con paredes de hielo. La gente dice:

¿Pero cómo es que hacen las paredes de hielo? ¿No se mueren de frío?

Rta: No. Es cierto que el hielo de las paredes puede estar a -5 grados. Pero aún así conviene hacer las paredes de hielo porque afuera puede haber -30 grados. El hielo sirve perfectamente como aislante. Aparte protege del viento.

TELGOPOR AISLANTE Y LANA DE VIDRIO ABAJO DEL TECHO

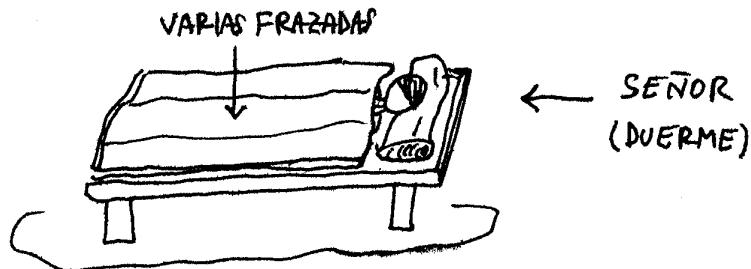
Las chapas de los techos transmiten mucho el calor. Por eso debajo de la chapa se suele poner lana de vidrio o telgopor para aislar. Las heladeras también suelen tener telgopor o lana de vidrio todo alrededor.



### VARIAS FRAZADAS Y VARIOS PULLOVERES

El hecho de ponerse varios pulóveres y usar varias frazadas es la misma historia. Es mejor usar 2 pulóveres uno arriba del otro y 2 frazadas una arriba de la otra que un pulóver grueso o una frazada gruesa. ¿Por qué?

Rta: Porque entre cada pulóver y entre cada frazada queda una cámara de aire. Ese es el truco.



Fíjate que los soldados en las guerras no usan una sola prenda gruesa, usan varias prendas una arriba de la otra.

Vamos ahora a algunas preguntas:

- \* La tele suele hablar de "sensación térmica". ¿Qué es?
- \* El frío se siente más si hay viento. ¿Por qué?
- \* ¿Quienes sienten más el frío, los gordos o los flacos?
- \* Cuando uno tiene mucho frío, lo natural es acurrucarse. ¿Por qué?
- \* Cuando un grupo de personas tiene frío, lo más conveniente es que se pongan todas juntas una al lado de la otra. ¿Por qué?
- \* ¿Por qué un ventilador "enfría"? (La palabra "enfría" está puesta entre comillas porque los ventiladores no enfrián, solo tiran aire que está a la temperatura de la habitación)
- \* ¿Por qué uno tiende a abanicarse cuando tiene calor?
- \* Cuando hace mucho frío, la nariz, las orejas, las manos y los pies son lo primero que empieza a congelarse. ¿Por qué?

### ALGUNOS PROBLEMAS SACADOS DE PARCIALES

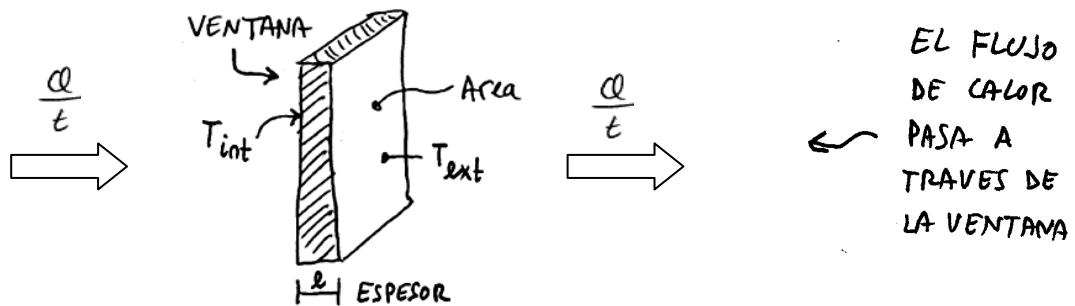
1 - Una ventada cuadrada de vidrio ( $k_{\text{vidrio}} = 0,8 \text{ cal} / ^\circ\text{C m seg}$ ) de 50 cm de lado y 5 mm de espesor conduce calor desde una habitación hacia el exterior a razón de 1000 cal/seg. Si la temperatura exterior es de  $-10^\circ\text{C}$ , entonces la temperatura interior (en  $^\circ\text{C}$ ) es:

- a) 0      b) 10      c) 15      d) 20      e) 25      f) -10

### SOLUCIÓN

Para resolverlo, tenemos que usar la ley de Fourier:  $Q = k \cdot \text{Área} \cdot \Delta T / \Delta x$ . En esta fórmula "Área" es el área de la ventana. Vale  $0,5 \text{ m} \times 0,5 \text{ m} = 0,25 \text{ m}^2$ .

$\Delta T = T_{ext} - T_{int}$  y  $\Delta x$  el espesor de la ventana.



$$\frac{Q}{t} = K \cdot A \cdot \frac{(T_{int} - T_{ext})}{\Delta x} \Rightarrow$$

Reemplazo por los valores:  $Q/t = 1000 \text{ cal/seg}$ ,  $K_{vidrio} = 0,8 \text{ cal / } ^\circ\text{C m seg}$ , Área =  $0,5 \text{ m}^2$ , espesor =  $0,005 \text{ m}$ ,  $T_{ext} = -10 \text{ }^\circ\text{C}$ . No tiene trucos. Hacés la cuenta y da.

La opción correcta es la (c)  $T_{interna} = 15 \text{ }^\circ\text{C}$

2 - Dos varillas del mismo tamaño, pero de diferente material, están unidas por un extremo formando una varilla de longitud doble. Las conductividades térmicas de las varillas son  $k_A$  y  $k_B$ . El extremo libre de la varilla A se mantiene a  $100 \text{ }^\circ\text{C}$  y el extremo libre de la B se mantiene a  $0 \text{ }^\circ\text{C}$ . Toda el área lateral de las varillas está aislada térmicamente. Al alcanzar el régimen estacionario la temperatura de la unión entre ambas varillas es de  $89 \text{ }^\circ\text{C}$ . Entonces, se cumple:

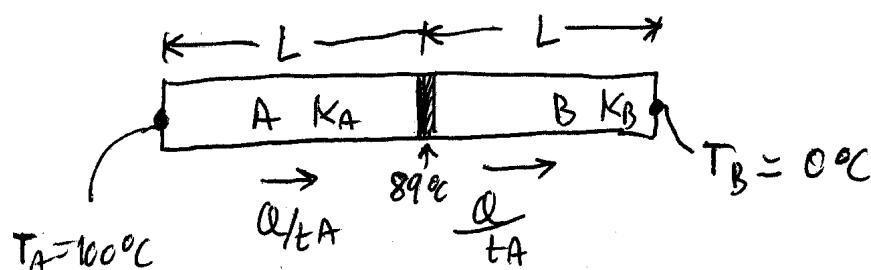
$k_A = 8 k_B$   
  $k_A = 1,25 k_B$

$k_A = 4 k_B$   
  $k_A = 0,8 k_B$

$k_A = 1,8 k_B$   
  $k_A = 0,25 k_B$

### SOLUCIÓN

Atento. Este es un problema importante. Se lo ha tomado infinidad de veces de manera ligeramente diferente. No es difícil, pero la gente siempre cae porque no sabe el truco. Empecemos: Hago un dibujito de la varilla:



Escribo la ley de Fourier

$$\frac{Q}{t \cdot A} = K \cdot \frac{T_1 - T_2}{L}$$

Acá viene el truco: ¿Qué planteo? Acá tengo 2 varillas de diferente material.

Rta: Bueno, el asunto es así: En toda la varilla la cantidad de calor que se transmite es la misma. O sea, hay un flujo de calor que está atravesando la varilla de izquierda a derecha. Ese flujo de calor es como un caudal de agua. Todo el caudal de agua que entra por la punta de un caño, sale por la otra punta. Acá igual. Todo el flujo de calor que atraviesa la varilla A es el mismo flujo de calor que atraviesa la varilla B. (Mirá el dibujo de la varilla que puse antes).

Entonces lo que tengo que plantear es que el flujo de calor es el mismo en toda la varilla. Lo escribo:

$$\text{FLUJO DE CALOR EN LA VARILLA A} = \text{FLUJO DE CALOR EN LA VARILLA B}$$

Es decir:

$$\frac{Q}{t \cdot A} \Big|_A = \frac{Q}{t \cdot A} \Big|_B \Rightarrow$$

$$\Rightarrow K_A \frac{(100^\circ\text{C} - 89^\circ\text{C})}{\text{K}} = K_B \frac{(89^\circ\text{C} - 0^\circ\text{C})}{\text{K}}$$

$$K_A \times 11^\circ\text{C} = K_B \times 89^\circ\text{C}$$

$$\Rightarrow K_A = 8,09 K_B$$

Correcta la 1<sup>ra</sup> opción

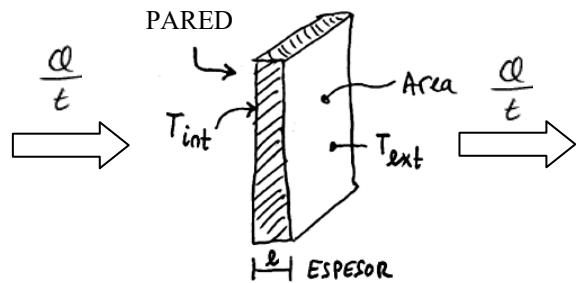
3 - Una habitación a  $19^\circ\text{C}$  está separada del exterior, a  $4^\circ\text{C}$  por un muro de 15 cm de espesor y dimensiones  $2,5 \text{ m} \times 3,5 \text{ m}$  formado por un material de conductividad  $k = 1 \text{ Kcal/m h}^\circ\text{C}$ . Determíñese:

- La potencia calorífica que atraviesa el muro.
- El espesor de una capa aislante de conductividad  $0,035 \text{ Kcal / m h}^\circ\text{C}$  que deberá adosarse a la pared para que las pérdidas de calor queden divididas por 5.

### SOLUCIÓN

Lo que tengo es una pared que está a  $19^\circ\text{C}$  de un lado y a  $4^\circ\text{C}$  del otro. La potencia calórica es lo que se llama "flujo de calor" ( $= Q/t$ ). Al haber diferencia de temperatura entre los dos lados de la pared, va a haber un flujo de calor. Este flujo de calor va de la temperatura más alta a la más baja.

La situación del flujo de calor  $Q/t$  atravesando la pared sería esta :



Entonces planteo la Fórmula de Fourier:

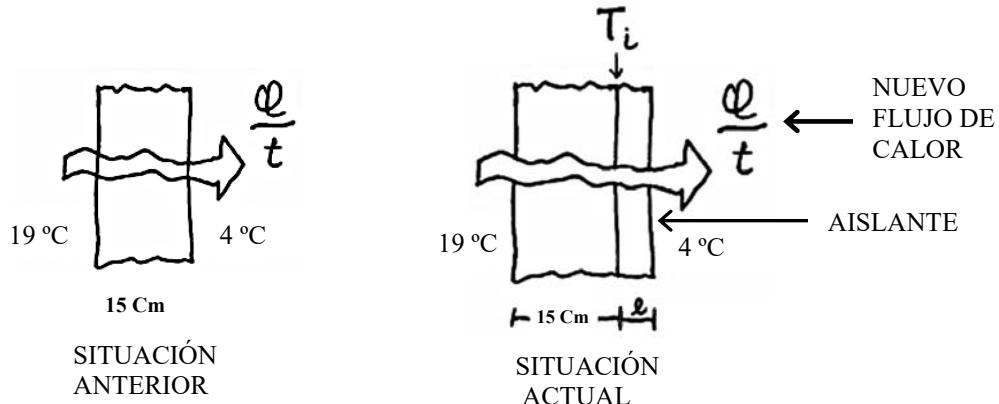
$$\frac{Q}{t} = K A \frac{\text{Temp}_B - \text{Temp}_A}{\text{espesor}}$$

Con cuidado reemplazo por los valores:

$$\frac{Q}{t} = 1 \frac{\text{Kcal}}{\text{m h } ^\circ\text{C}} \times (2,5 \text{ m} \cdot 3,5 \text{ m}) \frac{19^\circ\text{C} - 4^\circ\text{C}}{0,15 \text{ m}}$$

$$\Rightarrow \underline{\text{Pot} = Q/t = 875 \text{ Kcal/h}}$$

b) - Este punto es difícil. Quieren poner una capa de material aislante sobre la pared para que disminuya el flujo de calor. Hagamos un dibujito de la situación :



Dicen que con el aislante puesto el flujo de calor se divide por 5. Quiere decir que el nuevo flujo de calor va a ser:

$$Q/T = 875/5 = 175 \text{ Kcal/h}$$

El problema es que ahora no conozco la temperatura intermedia. La calculo. Planteo Ley de Fourier en la pared de 15 cm :

$$\frac{Q}{t} = K A \frac{19^\circ\text{C} - \text{Temp}_{\text{INT}}}{\text{espesor}}$$

Ahora el flujo de calor es de 175 Kcal/h. Entonces :

$$175 \text{ Kcal/h} = 1 \frac{\text{Kcal}}{\text{m h}^{\circ}\text{C}} \times (2,5 \text{ m} \cdot 3,5 \text{ m}) \frac{19^{\circ}\text{C} - T_{\text{INT}}}{0,15 \text{ m}}$$

$$175 \cancel{\text{Kcal/h}} = 1 \frac{\cancel{\text{Kcal}}}{\cancel{\text{m h}^{\circ}\text{C}}} \times 8,75 \cancel{\text{m}^2} \frac{19^{\circ}\text{C} - T_{\text{INT}}}{0,15 \cancel{\text{m}}}$$

$$20^{\circ}\text{C} = \frac{19^{\circ}\text{C} - T_{\text{INT}}}{0,15}$$

$$3^{\circ}\text{C} = 19^{\circ}\text{C} - T_{\text{INT}}$$

$$T_{\text{INT}} = 16^{\circ}\text{C}$$

Ahora vuelvo a plantear la Fórmula de Fourier para la capa de aislante. Sé que su coeficiente de transmisión  $K$  vale 0,035 Kcal / m h  $^{\circ}$ C. ( Lo dice el enunciado ). La cantidad de calor que está pasando sigue siendo 175 Kcalorías por hora. Lo que no sé es cuánto vale el espesor. Me queda :

$$175 \cancel{\text{Kcal/h}} = 0,035 \frac{\cancel{\text{Kcal}}}{\cancel{\text{m h}^{\circ}\text{C}}} \times 8,75 \cancel{\text{m}^2} \frac{16^{\circ}\text{C} - 4^{\circ}\text{C}}{\text{Espesor}}$$

$$571,42 = \frac{12 \text{ m}}{\text{Espesor}}$$

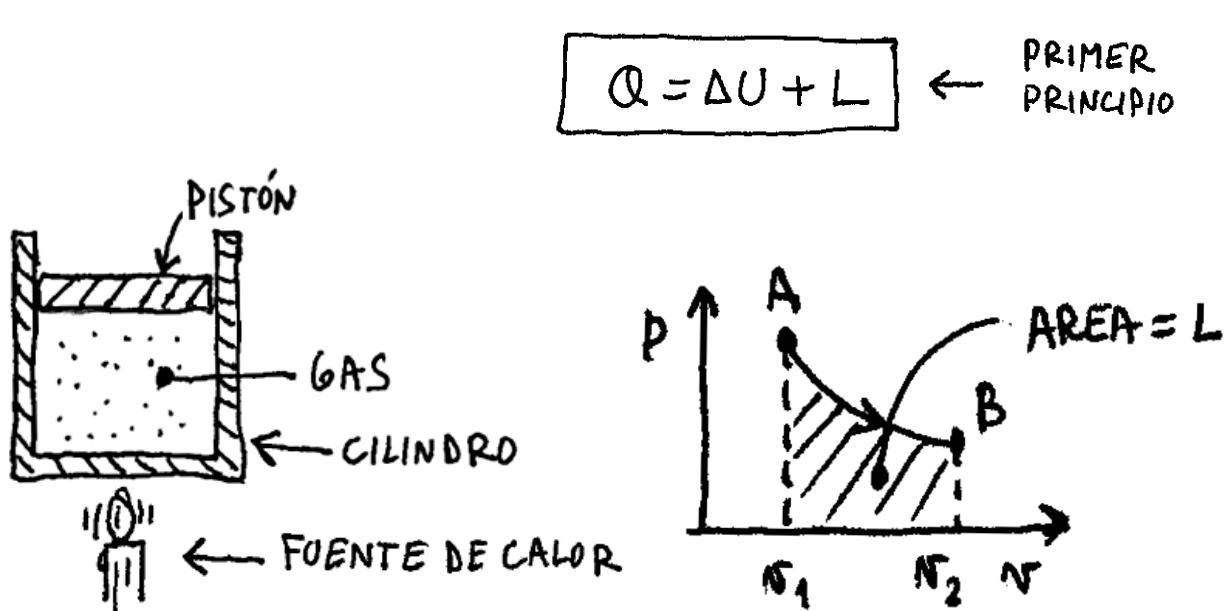
$$\rightarrow \text{Espesor} = 0,021 \text{ m} = 2,1 \text{ cm}$$

$\Rightarrow$  El espesor de la capa aislante es de 2,1 cm

Bastante difícil el punto b) de este problema. Bienvenido a Biofísica.

# PRIMER PRINCIPIO DE LA TERMODINAMICA

- \* TRABAJO REALIZADO POR UN GAS
- \* ENERGIA INTERNA U
- \* PRIMER PRINCIPIO DE LA TERMODINAMICA
- \* CALORES ESPECIFICOS  $C_p$  y  $C_v$
- \* EVOLUCION SEGUIDA POR UN GAS
- \* EL DIAGRAMA P-V
- \* EVOLUCIONES a P cte, a V cte y a T cte
- \* EVOLUCION ADIABATICA
- \* CICLOS



# PRIMER PRINCIPIO

## DE LA

# TERMODINAMICA

### ADVERTENCIA:

El tema de primer principio no tendría que estar en Biofísica. Habría que sacarlo. Es demasiado difícil. Es demasiado incomprensible. ( o en todo caso habría que darlo de otra manera ).

Te sugiero que trates de NO entender el tema de 1er Principio, valga la contradicción. Manejate con las fórmulas, especialmente las que están en el Cuadro Salvador.

Y apréndete los trucos. Primer principio tiene muchos trucos.

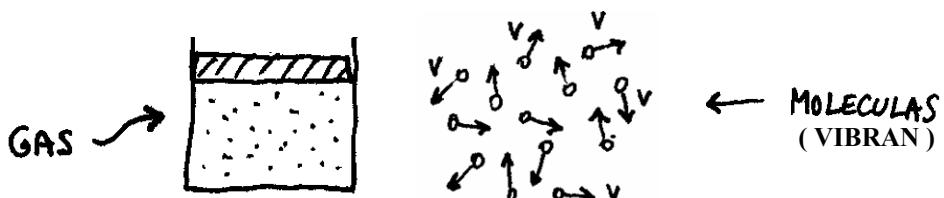
O sea, ¿ Te piden el trabajo ? Buscás la fórmula y lo calculás. ¿ Te piden el calor ? Buscás la fórmula y lo calculás. ¿ Te piden la variación de energía interna ? ¿ No hay fórmula ? bueno, debe haber algún truco. Buscá el truco y lo calculás.

A vos nadie te va a preguntar lo que estás calculando. Nadie te va a preguntar qué es el calor. Nadie te va a preguntar qué es el trabajo. Simplemente lo calculás y chau. He dicho.

Ahora vamos a las cosas principales que tenés que saber para poder usar las fórmulas: Termos: calor. Dinámica: movimiento. La palabra termodinámica significa algo así como "movimiento del calor". En termodinámica lo que hacemos es ver como el trabajo puede transformarse en calor y como el calor puede transformarse en trabajo. La idea es relacionar el calor que uno entrega a un sistema con el trabajo que hace ese sistema. Veamos entonces qué es calor y qué es trabajo.

### CALOR

El calor vendría a ser algo así como la energía cinética que tienen las moléculas de un cuerpo. Cada molécula se mueve a cierta velocidad  $V$ . La energía cinética que tiene esa molécula vale  $\frac{1}{2} m v^2$ . Si vos sumás la cantidad de energía cinética que tienen todas las moléculas de una cosa, tenés la cantidad de calor que tiene esa cosa.



En la práctica si vos querés saber si un cuerpo tiene mucha cantidad de calor, lo que se hace es lo siguiente: Se pone al cuerpo caliente adentro de un calorímetro con agua. Si el agua se calienta mucho, el cuerpo tiene gran cantidad de calor.

Si el agua se calienta poco, el cuerpo tiene poca cantidad de calor. Resumiendo, el calor vendría a ser la capacidad que tiene una cosa de elevar la temperatura del cuerpo que tiene al lado.

**IMPORTANTE:** El calor es energía. Esa energía se mide en Jules o en Calorías. La equivalencia es esta:

$$1 \text{ Kcal} = 4186 \text{ Joule}$$



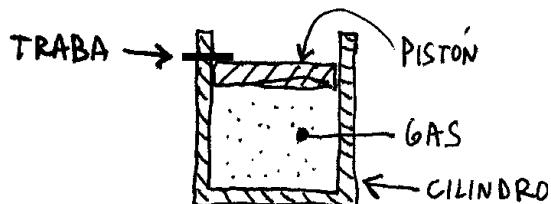
EQUIVALENCIA  
ENTRE JOULES  
Y CALORIAS

O lo que es lo mismo:

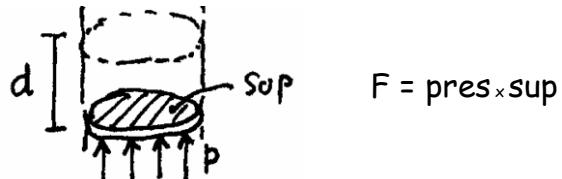
$$1 \text{ cal} = 4,186 \text{ Joule}$$

### TRABAJO REALIZADO POR UN GAS

Imaginate un cilindro que tiene un gas adentro. El gas tiene cierta presión. Supongamos que la tapa tiene un clavo para que no se pueda mover. O sea, esto :



Si saco la traba el gas se empieza a expandir. La presión interior del cilindro empuja la tapa para arriba una distancia d. La tapa sube. La presión sobre la tapa multiplicada x la superficie del émbolo me da la fuerza que empuja.



La fuerza multiplicada por la distancia d que sube el pistón me da el trabajo realizado. Es decir:

$$L = F \times d$$

$$L = p \times sup \times d$$

Pero  $Sup \times d$  es el volumen que se expandió el gas. Entonces el trabajo queda:

$$L = \text{Presión} \times \text{Volumen expandido}$$

El volumen expandido se puede poner como Volumen final - Volumen inicial. Entonces el trabajo realizado por el gas queda:

$$L = P(V_f - V_0)$$

Trabajo realizado por un gas

Ahora fíjate esto: El gas puede expandirse o puede contraerse. Si vengo yo de afuera y empujo la tapa para abajo, el gas se comprime. Ahí el sistema está RECIBIENDO trabajo. Ahora el exterior (el medio) es el que está haciendo trabajo sobre el gas. También puedo usar la fórmula  $L = P \times (V_f - V_0)$  para calcular el trabajo realizado por el gas cuando se lo comprime. Pero como ahora  $V_f$  es menor que  $V_0$ , el trabajo me da NEGATIVO. (atento)

Conclusión: Fíjate los signos por favor.

SIGNOS DEL TRABAJO  
REALIZADO POR UN GAS

Si un gas se expande,  $V_f$  es mayor que  $V_0$ . El trabajo hecho por el gas es (+). Si el gas se comprime,  $V_f$  es menor que  $V_0$ . El trabajo realizado por el gas es (-).

VER

Vamos ahora a las unidades. Si pongo a la presión en Pascales ( $= N/m^2$ ) y al volumen en metros cúbicos, el trabajo va a dar en Joules. Fíjate:

$$[L] = [Pres] \times [Vol] = N/m^2 \times m^3 = N \times m$$

$$\Rightarrow [L] = \text{Joule}$$

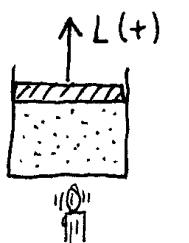
### EJEMPLO

UN GAS SE ENCUENTRA EN UN CILINDRO A UNA PRESIÓN DE 10 Pa.

a) - CALCULAR QUE TRABAJO REALIZA EL GAS SI SE LO CALIENTA MANTENIENDO LA PRESIÓN CONSTANTE HACIENDO QUE SE EXPANDA DESDE UN VOLUMEN INICIAL DE  $1 m^3$  A UN VOLUMEN FINAL DE  $3 m^3$ .

b) - IDEM SI EL GAS SE ENFRIA A PRESIÓN CONSTANTE DESDE UN VOLUMEN DE  $3 m^3$  A UN VOLUMEN FINAL DE  $1 m^3$ .

Rta: Hagamos un dibujito del gas que se expande:



EL GAS SE EXPANDE A PRESIÓN CONSTANTE Y ENTREGA UN TRABAJO L

a) El trabajo realizado es  $L = P \times (V_f - V_0)$ . Me dicen que  $P = 10 \text{ Pa}$ ,  $V_f = 3 m^3$  y  $V_0 = 1 m^3$ . Entonces:

$$L = 10 \text{ N/m}^2 \times (3 \text{ m}^3 - 1 \text{ m}^3)$$

→  $L = 20 \text{ Joule}$

En este caso el gas se expandió. Realizó trabajo positivo.

b) El trabajo realizado es otra vez  $L = p \times (V_f - V_0)$ . Ahora  $V_f = 1 \text{ m}^3$  y  $V_0 = 3 \text{ m}^3$ .

$$L = 10 \text{ N/m}^2 \times (1 \text{ m}^3 - 3 \text{ m}^3)$$

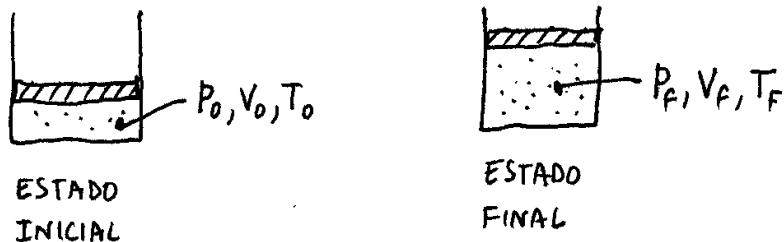
→  $L = -20 \text{ Joule}$

Ahora el gas se comprimió. El trabajo dio (-). Se realizó trabajo sobre el gas.

**ACLARACIÓN:** Fíjate que en la fórmula  $L = p \times (V_f - V_0)$  la presión p tiene que ser constante. Si la presión dentro del cilindro varía, la fórmula no se puede usar. Ahora, hay un truco para poder usar la fórmula cuando la presión interior no es constante. El truco es usar la presión exterior. La presión que está afuera del cilindro es la atmosférica y se mantiene constante.

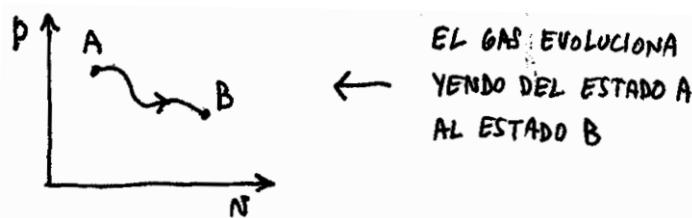
### EL DIAGRAMA P-V. EVOLUCION SEGUIDA POR UN GAS

Supongamos que tengo un gas en un cilindro. El gas está a presión  $P_0$ , ocupa un volumen  $V_0$  y tiene una temperatura  $T_0$ . Le entrego calor o trabajo al gas y hago que termine teniendo una presión  $P_f$ , ocupando un volumen  $V_f$  y teniendo una temperatura  $T_f$ .



Entonces, como cambian la presión, el volumen y la temperatura, ellos dicen que el gas **evolucionó** de un estado inicial a un estado final. Sus parámetros de presión volumen y temperatura cambiaron. Se dice que el gas "fue de A a B" o que tuvo una evolución de A a B. Atención. Esto no quiere decir que el gas "se haya movido desde el punto A al punto B". Lo que quiere decir es que sus parámetros de Presión volumen y temperatura cambiaron desde los que tenía en A hasta los que tiene en B.

Las evoluciones se suelen representar en un diagrama P-V. Las letras P y V significan "presión en función del volumen". La representación de una evolución cualquiera vendría a ser algo así :



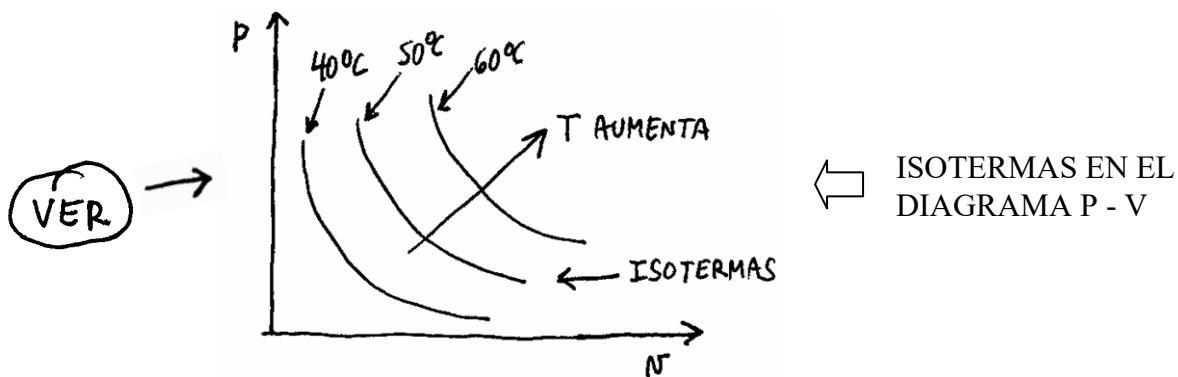
CUIDADO: A veces también se usa representar la evolución de un gas en un diagrama "P - T". ( Presión - temperatura ). Si en algún problema llega a aparecer una evolución en un diagrama P - T, lo que conviene hacer es pasar esa evolución al diagrama P - V.

### ISOTERMICAS EN EL DIAGRAMA P-V ← IMPORTANTE

Hay unas curvas que se llaman isotermas o isotérmicas. ¿Qué son las isotermas?

Rta: ISO → Igual. TERMOS → Temperatura. Las isotermas son las curvas que marcan los puntos de igual temperatura. Es importante que sepas que las isotermas en el diagrama P-V son hipérbolas. Estas hipérbolas son paralelas unas a las otras. A mayor temperatura, las isotermas se corren hacia la derecha y hacia arriba a 45°. ( O sea, así: ↗ ). A medida que avanzás más hacia el Noreste, más crece la temperatura.

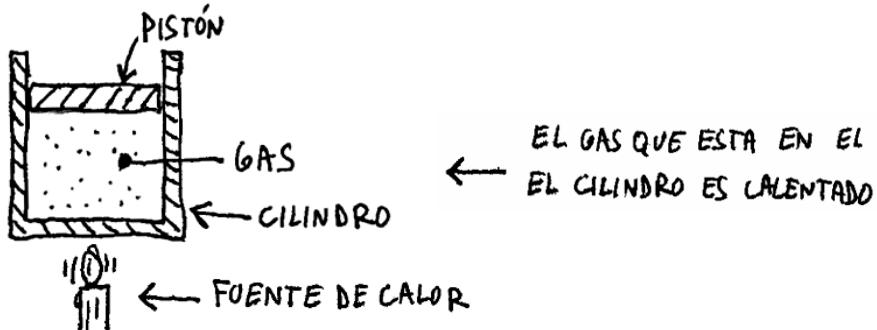
Fijate :



Para entender por qué las isotérmicas son hipérbolas, hay que pensar que para una cierta temperatura, el producto  $P \cdot V$  es constante. De manera que si despejo  $P$  me queda  $P = 1/V$ . ( Hipérbola ). Estas isotermas crecen siguiendo una línea a 45° como está marcado en el dibujo. ( Importante )

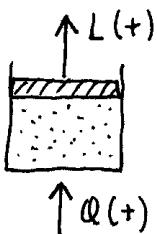
### ENERGIA INTERNA U ← ESTO

Supongamos que tengo un gas encerrado en un cilindro. El cilindro tiene una tapa que se puede mover. Caliento el gas y le entrego 100 calorías. ¿Qué pasa?



Rta: Bueno, lo que pasa es esto: El gas se calienta y se expande. Si la tapa es móvil, el émbolo se va a ir para arriba. Entonces uno puede aprovechar la expansión del gas para obligarlo a realizar trabajo. ( Ese es el truco ).

Por ejemplo, con la tapa que sube uno puede levantar un peso hasta cierta altura. ( Un ascensor, por ejemplo ). O podría mover un auto, o podría mover un tren, o un barco o lo que fuera. ( Las primeras locomotoras a vapor funcionaban así ). Entonces, yo entrego 100 calorías al gas y obtengo a cambio un trabajo.



Al entregar un calor  $Q$  al gas obtengo un trabajo  $L$

Daría la impresión de que todo el calor que entregué se convirtió en trabajo. En ese caso uno podría decir que  $Q = L$ . Pero no es así. Fijate porque no: El calor es una forma de energía. Las moléculas del gas se mueven para todos lados. ( El calor vendría a ser la energía cinética que tienen estas moléculas al moverse ). Supongamos que no dejo que el pistón se mueva. Clavo la tapa. ( O la sueldo ). Ahora tengo un cilindro rígido. Vuelvo a entregar 100 calorías al gas. Ahora **el pistón no puede subir porque está clavado**. Y si el émbolo no puede subir, no puede realizar trabajo.

Me pregunto: ¿ Dónde fueron las 100 calorías que entregué al gas ?

Rta: Esa energía no se puede haber perdido. Sé que al entregar calor al cilindro, el gas se tiene que haber calentado. Sus moléculas ahora deben estar moviéndose más rápido que antes. ¿ Entonces ?

Bueno, pienso un poco y concluyo diciendo esto: ( Leer )

El calor que entregué al gas de alguna manera quedó almacenado dentro del cilindro. Me doy cuenta de que esto es así porque la temperatura del gas aumenta. Sus moléculas se mueven más rápido. Tienen más energía. Las 100 calorías que le di tienen que estar dentro del gas. No sé donde, pero se deben haber transformado en algún tipo de energía. Esa energía no se ve pero debe estar. Sé que está porque el gas está más caliente. Entonces a esa energía encerrada en el gas la llamo ENERGIA INTERNA.

### ¿ QUE ES LA ENERGIA INTERNA ?

La energía interna es la energía que está encerrada en el gas. Muy lindo, pero...

¿ Dónde está metida exactamente esta energía ?

Rta: Bueno, dentro del gas. El gas está calentito. Sus moléculas se mueven para todos lados. Tienen energía cinética. Sin hilar finito te lo voy a decir así:

LA ENERGÍA INTERNA ES EL CALOR QUE ESTÁ GUARDADO DENTRO DEL GAS

Analicemos un poco este asunto de "calor guardado". La idea es que al darle calor al gas, sus moléculas se empiezan a mover más rápido. Tienen más energía cinética. Entonces, a grandes rasgos y sin hacer un análisis profundo, el concepto sería este :

VER →

**ENERGIA INTERNA** : Es el calor que está almacenado dentro de un gas en forma de energía cinética de sus moléculas.



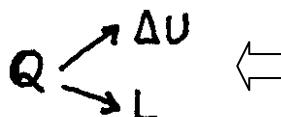
ENERGIA  
INTERNA.

La idea de "calor encerrado en un gas" es un poco discutible. Pero bueno, por ahora tomalo así. Esto es Biofísica... Vos no tenés que saber todo a la perfección. O sea, para vos de ahora en adelante la energía interna de un gas va a ser la energía que tiene almacenada internamente el gas en forma de calor. ( Y listo )

### PRIMER PRINCIPIO DE LA TERMODINAMICA

← ATENTO

Cuando uno entrega calor a un gas, este calor se divide en 2 partes. Una parte se usa para expandir el gas y levantar el pistón. (= realizar trabajo). La otra parte se usa para calentar el gas ( Es decir, aumentar su energía interna ). O sea, podés verlo así :



El calor entregado  
se divide en dos.

Lo que muestra el dibujito es que el calor entregado se transforma parte en  $\Delta U$  y parte en  $L$ . Entonces la ecuación que vamos a usar queda así:

$$Q = \Delta U + L \quad \leftarrow \text{PRIMER PRINCIPIO}$$

Esta es la ecuación del primer principio de la termodinámica. En esta fórmula  $Q$ ,  $\Delta U$  y  $L$  tienen unidades de energía. Así que van en Joules, en calorías o en Kilocalorías.

Ahora, una cosa importante: El primer principio de la termodinámica es la ley de conservación de la energía. Lo que dice el 1er principio es que toda la energía que ingresa a un sistema se transforma parte en trabajo realizado y parte en variación de energía interna.

El 1er Principio se puede aplicar a cualquier cosa. Puede ser una máquina, un motor, una piedra, un pájaro, un avión, un ser humano... Lo que sea. Pero lo que tenés que saber es que al plantear el 1er principio lo que uno está haciendo es escribir la ley de conservación de la energía. ( Ojo con esto )

Para entender bien como se usa la fórmula  $Q = \Delta U + L$  hay que hacer muchos problemas. Eso viene después. Vamos ahora a que veas algunas cosas que tenés que saber antes de usar la fórmula  $Q = \Delta U + L$

## SISTEMA, MEDIO Y UNIVERSO

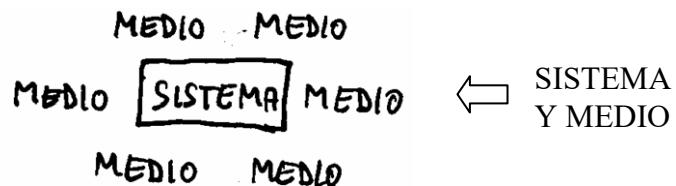
El 1<sup>er</sup> principio se puede aplicar a cualquier cosa. Pero en los problemas de los parciales suele haber un gas que está encerrado en un cilindro. Entonces lo que va a haber que hacer casi siempre es aplicar el 1<sup>er</sup> principio aplicado a un gas. Por ejemplo, una situación típica podría ser algo así:



¿Qué te pueden preguntar en un problema así?

Rta: Bueno, te pueden preguntar cuál es la temperatura final del gas, qué trabajo realizó, qué calor se le entregó, cuánto varió su energía interna, cuál es su presión final y cosas por el estilo..

Entonces, una cosa que tenés que saber es que para resolver los problemas de 1<sup>er</sup> principio siempre hay que aclarar cuál es el sistema y cuál es el medio. Sistema es el objeto al que vos le estás aplicando el 1<sup>er</sup> principio. Medio es lo que rodea a ese objeto. Es decir:



En la mayoría de los casos el sistema va a ser el gas que está encerrado en el cilindro.

El medio va a ser todo lo que rodea al cilindro. ( Medio = Entorno o medio ambiente ).

Por último, el universo va a ser el sistema + el medio.

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

## CONVENCION DE SIGNOS PARA EL 1<sup>er</sup> PRINCIPIO ← IMPORTANTE

Para saber los signos del calor y el trabajo se usa la siguiente convención:

CONVENCIÓN  
DE SIGNOS



EL CALOR QUE ENTRA  
AL SISTEMA ES  $\oplus$ . EL  
QUE SALE ES  $\ominus$ .



EL TRABAJO QUE ENTRA  
AL SISTEMA ES  $\ominus$ . EL  
QUE SALE ES  $\oplus$ .

Resumamos todas las posibilidades:

Calor que entra al gas: Signo positivo. ( Calor recibido )

Calor que sale del gas: Signo negativo. ( Calor cedido )

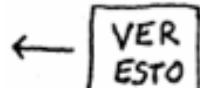
Trabajo que realiza el gas : Signo positivo. ( = expansión )

Trabajo que se realiza sobre el gas : Signo negativo. ( = compresión )

Atención: Las siguientes frases quieren decir lo mismo:

CALOR RECIBIDO POR EL GAS = CALOR QUE ENTRA  
AL SISTEMA = CALOR ABSORBIDO POR EL GAS

CALOR ENTREGADO POR EL GAS = CALOR QUE SALE  
DEL SISTEMA = CALOR CEDIDO POR EL GAS



TRABAJO RECIBIDO POR EL GAS = TRABAJO QUE ENTRA  
AL SISTEMA = TRABAJO REALIZADO SOBRE EL GAS

TRABAJO ENTREGADO POR EL GAS = TRABAJO QUE SALE  
DEL SISTEMA = TRABAJO REALIZADO POR EL GAS

Las siguientes palabras también se usan como sinónimos: MEDIO, ENTORNO, ALREDEDORES o MEDIO AMBIENTE.

### TRABAJO REALIZADO POR EL SISTEMA Y TRABAJO REALIZADO POR EL MEDIO

Cuando entra calor al cilindro, ese calor sale del medio. Cuando el gas realiza trabajo, ese trabajo va a parar al medio ambiente. En valor absoluto, el trabajo realizado por el sistema es el mismo que el que recibe el medio. Y a su vez, el calor recibido por el sistema es el mismo que el que sale del medio ambiente. O sea, lo que quiero decir es que si entran 30 Joules al sistema, salen 30 Joules del medio. Entonces, si uno toma en cuenta los signos se puede poner que:

$$L_{sist} = \Theta L_{MEDIO}$$

$$Q_{sist} = \Theta Q_{MEDIO}$$

← ATENTO



### ALGUNAS ACLARACIONES SOBRE EL PRIMER PRINCIPIO

\* El primer principio es la ley de conservación de la energía. Esta ley se podría enunciar así: El calor es una forma de energía. Si uno entrega calor a un sistema, este calor no se pierde. Se transforma todo en trabajo o queda todo almacenado en el sistema en forma de energía interna, o las 2 cosas a la vez.

\* A veces el 1er principio se lo pone como  $\Delta U = Q - L$ . Es lo mismo.

\* Al trabajo realizado lo puse con la letra L. Alguna gente lo pone con W. ( de work ). Esta gente escribe el primer principio como  $Q = \Delta U + W$ . ( Es lo mismo ).

\* El trabajo, el calor y la energía interna van siempre en Kilocalorías o en Joules. ( 1 Kcal = 4.186 Joules ). A veces en los problemas ellos ponen Q,  $\Delta U$  y L en una unidad media rara que se llama litro-atmósfera ( = litro  $\times$  atm ). La equivalencia es esta:

$$1 \text{ litro-atm} = 101,3 \text{ Joules}$$



Equivalencia entre  
litro-atm y Joule

\* En la mayoría de los problemas uno plantea la fórmula  $Q = \Delta U + L$  para gases que están adentro de cilindros. Entonces el alumno termina pensando que el 1er principio es una fórmula que se aplica solo a gases ideales metidos adentro de cilindros. Pero no es así. El 1er principio no vale sólo para gases ideales metidos adentro de cilindros. El 1er principio vale para cualquier cosa. La fórmula  $Q = \Delta U + L$  se puede aplicar tanto a un gas, como a un auto, a un animal, a una piedra, a una máquina, o a una persona. Cualquier cosa viva o no viva cumple el 1er principio. Esto es así porque el 1er principio de la termodinámica es la ley de conservación de la energía. La ley de la conservación de la energía vale siempre y vale para todo.

## CALOR ESPECIFICO A PRESION CONSTANTE ( $C_p$ ) Y CALOR ESPECIFICO A VOLUMEN CONSTANTE ( $C_v$ )

Cuando uno calienta un sólido o un líquido, la fórmula que me da el calor entregado es  $Q = m c ( T_f - T_0 )$ . En esta fórmula el "c" es el calor específico del cuerpo. Los sólidos y los líquidos tienen un solo calor específico. El asunto es que los gases tienen 2 calores específicos distintos. Se llaman  $C_p$  y  $C_v$ . ¿ Por qué pasa esto en los gases ?

Rta: Bueno, es un poco complicado explicar. El asunto es que los gases pueden ser calentados manteniendo su presión constante o manteniendo su volumen constante. Si a un gas se lo calienta manteniendo su volumen constante, se usa el calor específico a volumen constante ( $C_v$ ). Si al gas se lo calienta manteniendo su presión constante, se usa el calor específico a presión constante ( $C_p$ ). El  $C_p$  y el  $C_v$  suelen ser datos.

## CALOR RECIBIDO O ENTREGADO POR UN GAS

Plantear el 1er principio es escribir la ecuación  $Q = \Delta U + L$ . Cada vez que tengas que resolver un problema, vas a tener que calcular Q,  $\Delta U$  y L. Empecemos viendo como se calcula Q. Las fórmulas para el calor entregado o recibido por un gas son:

$$Q_{(a V = \text{cte})} = m C_v ( T_f - T_0 )$$



CALOR RECIBIDO POR  
UN GAS A VOLUMEN

$$Q_{(a P = \text{cte})} = m C_p ( T_f - T_0 )$$



CALOR RECIBIDO POR  
UN GAS A PRESION  
CONSTANTE

O sea, son las mismas fórmulas que para calentar un sólido o un líquido pero usando los calores específicos  $C_V$  y  $C_P$ . Estas fórmulas dan el calor recibido o entregado por un gas que pasó de cierta temperatura  $T_{INICIAL}$  a otra temperatura  $T_{FINAL}$ .

Si el gas recibe calor,  $Q$  te va a dar positivo. (Entra al sistema). Si el gas cede calor,  $Q$  te va a dar negativo. (Sale del sistema).

En las fórmulas EME es la masa o el Nro de moles del gas. Para saber si a la masa tenés que ponerla en moles o en kg, tenés que ver en qué unidades tenés el calor específico. Si te dieron el calor específico en Kcal / Kg °C, ponés la masa en Kg. Si te dieron el calor específico en Kcal / moles °C, ponés la masa en moles.

¿Cómo calculo el calor recibido por el gas si la evolución seguida no es a presión constante ni a volumen constante?

Rta: No se puede. O sea, las 2 formulas que hay sirven para calcular  $Q$  a  $V = \text{cte}$  o a  $P = \text{cte}$ . Si la evolución no es a  $P$  constante ni a  $V$  constante hay que calcular  $Q$  despejándolo de la fórmula del 1er principio  $Q = \Delta U + L$ . Vas a entender mejor esto cuando veas algunos ejemplo más adelante.

### COMO SE CALCULA LA ENERGÍA INTERNA? ← VER ESTO

Para calcular la variación de energía interna hay una sola fórmula. Esta fórmula es:

$$\Delta U = C_V m (T_F - T_0)$$

← ASÍ SE CALCULA LA VARIACIÓN DE ENERGÍA INTERNA

Ojo, fijate que esta fórmula no te da la Energía interna que tiene el gas. Esta fórmula te da la VARIACIÓN de energía interna. Es decir, lo que uno está calculando es lo que varió  $U$  cuando el gas pasó de un estado 1 a otro estado 2. En esta fórmula  $C_V$  es el calor específico del gas a volumen constante. Igual que antes, ese puede ser el Nro de moles o la masa de gas. Para saber si tenés que usar moles o kg tenés que ver en qué unidades tenés el  $C_V$ .

### LA ENERGÍA INTERNA DEPENDE SOLO DE LA TEMPERATURA ← OJO

La energía interna de un gas ideal depende SOLO de la temperatura del gas. Esto es muy-muy importante. Repito:  $U$  depende de  $T$ , sólo de  $T$  y nada más que de  $T$ .

A ver si nos entendemos. Si tengo un gas a 100 °C, el gas tendrá cierta energía interna. Si aumento la temperatura del gas, la energía interna aumenta. Si disminuyo la temperatura del gas, la energía interna disminuye.

Si aumento la temperatura del gas, la variación de energía interna es positiva.

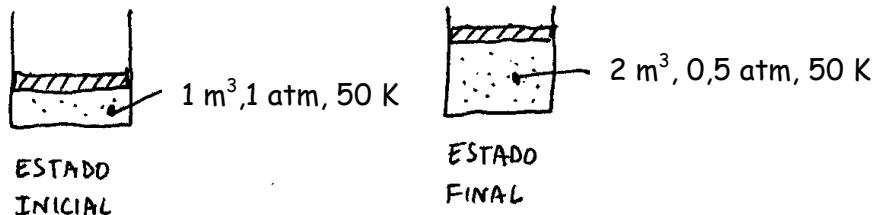
Si disminuyo la temperatura del gas, la variación de energía interna es negativa.

Resumiendo:

$$\begin{aligned} \text{SI } T \text{ AUMENTA} \rightarrow \Delta U &= + \\ \text{SI } T \text{ DISMINUYE} \rightarrow \Delta U &= - \end{aligned}$$

← ATENTO

Y lo más importante de todo: si la temperatura del gas no cambia, no cambia su energía interna. (Ojo con esto). Supongamos que inicialmente el gas está a cierta presión, a cierta temperatura y ocupa cierto volumen. Y supongamos que al final el gas está a otra presión, ocupa otro volumen pero está a la misma temperatura.



En ese caso, la energía interna final será igual a la inicial. No importa que hayan variado la presión o el volumen. Lo único que importa es que la temperatura no cambió.

Conclusión:

**SI LA TEMPERATURA NO CAMBIA, U NO CAMBIA**

← CUIDADO

O dicho de otra manera:

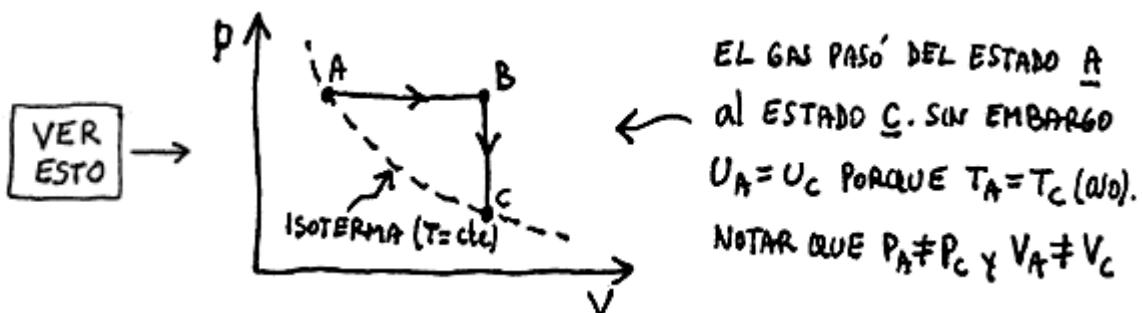
**SI LA TEMPERATURA NO CAMBIA →  $\Delta U = 0$**

← VER

El primer principio de la termodinámica es un tema que se maneja con frases del millón. Estas frases han salvado numerosas vidas en parciales y finales. De a poco tenés que ir aprendiéndolas. En primer principio las frases del millón son como 15. Una de las más importantes es la que dice que "U no cambia si no cambia T". El asunto de que U es sólo función de la temperatura es uno de los conceptos fundamentales acá en 1er principio.

¿ Vamos a un ejemplo ?

Fijate está evolución que pongo acá. Es un gas que va del punto A al punto B a presión constante y del punto B al punto C a volumen constante. Los puntos A y C están a la misma temperatura. Lo sé porque por ahí pasa una isotermia.



Al ir de A a C, U no cambia porque no cambia T. Desde el punto de vista de la energía interna, hubiera sido lo mismo si el gas iba de A a C directamente siguiendo la isotermia.

ma. Hay mil maneras de ver esto y mil maneras de entenderlo. Persona que logre darse cuenta que para que cambie la energía interna tiene que cambiar la temperatura, se habrá anotado un poroto en el tema de termodinámica.

No es raro ver a la gente salir de los exámenes, golpearse la cabeza y decir: ¡ Claro, como no me di cuenta ! ¡  $\Delta U$  era cero porque no cambiaba T !  
( Conste que te lo advertí ).

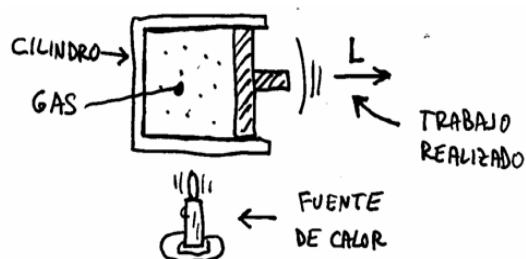
### EJEMPLO DE APLICACIÓN DEL 1er PRINCIPIO

Se tiene un gas encerrado en un cilindro con una tapa móvil. El recipiente está rodeado por la atmósfera y su presión interior es la atmosférica. El volumen inicial ocupado por el gas es de  $2 \text{ m}^3$ . Se le entregan 10 Kilocal y el gas se expande hasta tener un volumen final de  $2,3 \text{ m}^3$ .

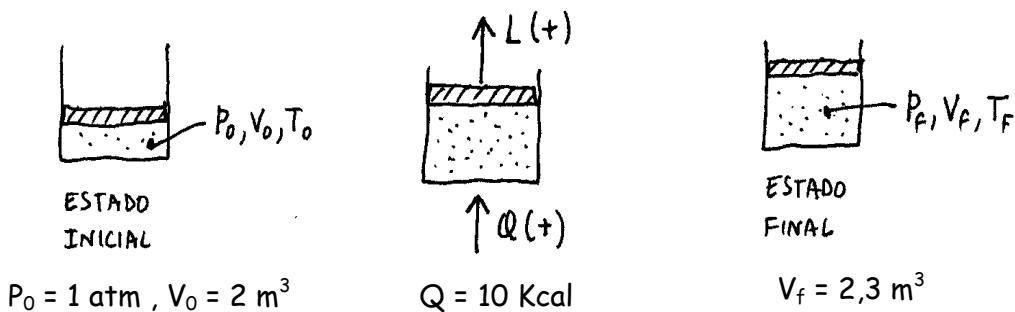
Calcular:

- El trabajo realizado por el gas.
- La variación de energía interna.

Hagamos un dibujito del asunto. Tengo al gas en el cilindro y lo caliento:



Las condiciones iniciales son  $P_0 = 1 \text{ atm}$  y  $V_0 = 2 \text{ m}^3$ . Al entregarle las 10 Kcal el gas se expande de  $2 \text{ m}^3$  a  $2,3 \text{ m}^3$ .



a) - Calculo el trabajo realizado por el gas: ¿ Puedo plantear que  $L = p \times (V_f - V_0)$  ? ( Ojo ). Daría la impresión de que sí porque dicen que la presión interior del gas es la atmosférica... Pero en realidad no. El problema no aclara que la expansión se haya realizado a presión constante. La presión interior del gas cambia mientras el gas se va expandiendo. De manera que no puedo hacer la cuenta  $L = 1 \text{ atm} \times (2,3 \text{ m}^3 - 2 \text{ m}^3)$ . Pero hay un truco. No sé la presión interior del gas. Pero sí sé que la presión exterior se mantuvo siempre en su valor de 1 atm. Entonces puedo calcular el trabajo del medio. ( que es la atmósfera ).

El medio contrajo su volumen en  $0,3 \text{ m}^3$ . Entonces el trabajo realizado por el medio vale:

$$L_{\text{MEDIO}} = 1 \text{ atm} \times (V_f - V_0)$$

$$\rightarrow L_{\text{MEDIO}} = 101.300 \text{ N/m}^2 \times (-0,3 \text{ m}^3)$$

$$\rightarrow L_M = -30.390 \text{ J} \quad \leftarrow \text{Trabajo del medio (-)}$$

$$\text{Pero } L_{\text{sist}} = -L_{\text{medio}}$$

$$\rightarrow L_{\text{gas}} = 30.390 \text{ J} \quad \leftarrow \text{Trabajo del gas (+)}$$

El gas se expandió. Es lógico que el trabajo haya dado positivo.

b) Para calcular la variación de energía interna planteo del 1er principio:

$$Q = \Delta U + L \rightarrow \Delta U = Q - L$$

El calor  $Q$  vale 10 Kcal. Lo paso a Joules:  $10 \text{ Kcal} = 10 \times 4186 = 41.860 \text{ Joule}$ . Entonces:

$$\Delta U = 41.860 \text{ J} - 30.390 \text{ J}$$

$$\rightarrow \Delta U = 11.470 \text{ J} = 2,74 \text{ Kcal} \quad \leftarrow \text{Variación de Energ Interna}$$

Este  $\Delta U$  es positivo. Eso me indica que la temperatura del gas debe haber aumentado ( La energía interna es función de la temperatura ).

Pregunta: ¿ Se puede calcular la temperatura final a la que queda el gas ?

Rta : No. En este caso no sé puede porque no conozco la temperatura inicial del gas. Pero si supiera la temperatura inicial podría calcular  $T_f$ . Fijate. Supongamos que me dijeran que  $T_0 = 27^\circ\text{C}$  ( = 300 K ). Para calcular la temperatura final del gas planteo la ecuación de estado de los gases ideales:

$$\rightarrow \frac{P_0 \times V_0}{T_0} = \frac{P_f \times V_f}{T_f}$$

$$\frac{1 \text{ atm} \times 2 \text{ m}^3}{300 \text{ K}} = \frac{1 \text{ atm} \times 2,3 \text{ m}^3}{T_f}$$

$$\rightarrow T_f = 345 \text{ K} = 72^\circ\text{C}$$

Aclaración importante: La ecuación de los gases ideales SE PUEDE USAR EN LOS PROBLEMAS DE 1er PRINCIPIO. Esta es otra de las frases del millón. Hay gente que no sabe esto.

## PRINCIPALES EVOLUCIONES QUE PUEDE SEGUIR UN GAS

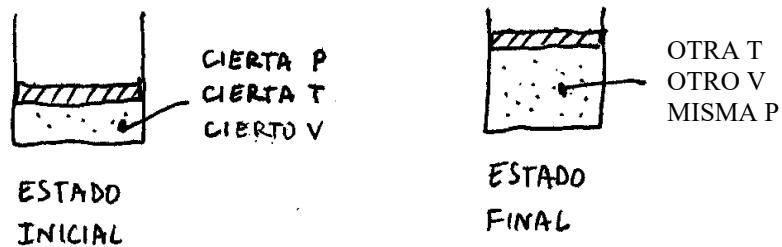
Un gas encerrado en un cilindro puede pasar de un estado **A** a otro estado **B**. Para pasar de **A** a **B** puede ir de mil maneras diferentes. Sin embargo, hay 4 evoluciones principales que puede seguir el gas. Estas 4 evoluciones son las siguientes:

- 1 - Evolución a presión constante ( Isobara ).
- 2 - Evolución a volumen constante ( Isocora ).
- 3 - Evolución a temperatura constante ( Isotérmica ).
- 4 - Evolución sin calor transferido ( Adiabática ).

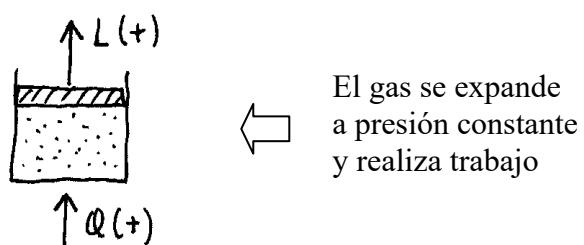
Estas 4 evoluciones especiales se usan mucho y hay que saberlas bien. Vamos a la 1<sup>ra</sup> :

### **1-EVOLUCION A PRESION CONSTANTE ( ISOBARICA )**

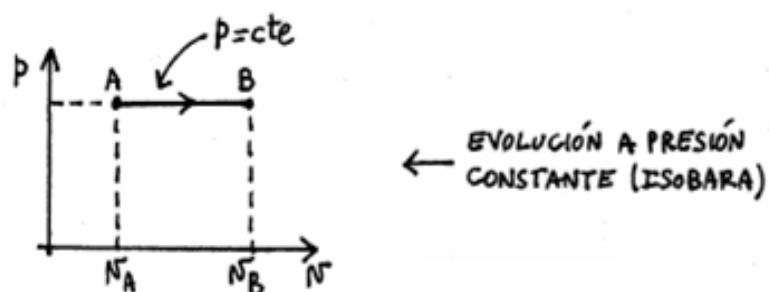
Voy calentando el gas desde un estado inicial a cierta presión, a cierta temperatura y a cierto volumen. El gas se va expandiendo cambiando su temperatura y su volumen, pero manteniendo constante su presión.



Fijate que acá el gas se va calentando, se va expandiendo y realiza trabajo.



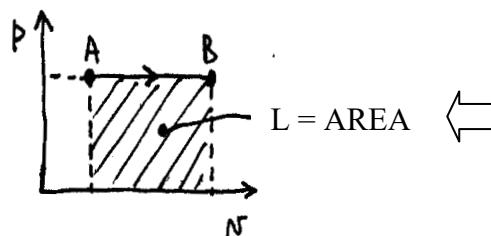
Dibujo la evolución en un diagrama P-V. Es una línea recta horizontal porque la presión se mantiene constante. Fijate:



Ahora analicemos lo siguiente. Mientras el gas se fue calentando, se fue expandiendo y realizó trabajo. Si la evolución es a P constante, quiere decir que puedo calcular el trabajo realizado por el gas como  $L = P \times (V_f - V_0)$ . Pero fijate que hacer la cuenta

$P \times (V_f - V_0)$  es calcular el área que hay bajo la evolución en el diagrama P-V.

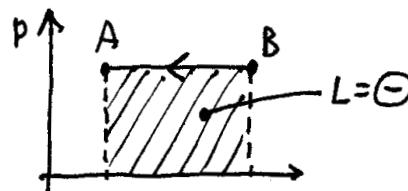
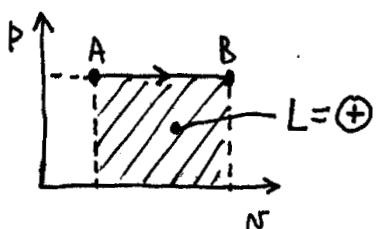
VER →



El trabajo realizado es el área en el diagrama P-V

Fíjate una cosa importante: el signo del trabajo. El área te dice si el trabajo realizado es positivo o si es negativo. Si la evolución va así → el trabajo realizado es positivo porque el gas se expande.

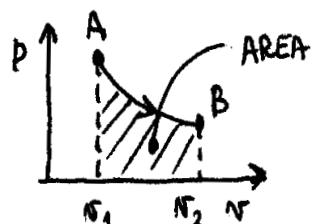
Si la evolución va así: ← el trabajo realizado es negativo porque el gas se comprime.



El signo del trabajo realizado depende del sentido de la evolución.

### EL AREA SIEMPRE ES EL TRABAJO

Esta conclusión de que el área me da el trabajo realizado es muy importante. Es otra de las frases del millón. Este concepto del área no sólo vale en el ejemplo que puse yo, si no que vale para cualquier evolución.



← EL AREA BAJO LA EVOLUCIÓN EN EL DIAGRAMA P-N ME DA EL TRABAJO REALIZADO POR EL GAS

Resumiendo:

EN CUALQUIER EVOLUCIÓN EL AREA BAJO EL DIAGRAMA P-V ME DA EL TRABAJO REALIZADO POR EL GAS

← VER ESTO

### APLICACIÓN DEL 1<sup>er</sup> PRINCIPIO PARA LA EVOLUCIÓN A $P = Cte$

Lo que voy a hacer ahora es plantear la fórmula  $Q = \Delta U + L$  y ver cuánto da  $Q$ , cuánto da  $\Delta U$  y cuánto da  $L$ . Veamos:

TRABAJO REALIZADO: Ya lo calculé antes. Me dio  $P \times (V_f - V_0)$ . (Que es el área)

CALOR ENTREGADO:  $Q$  fue entregado a presión constante. Por lo tanto lo puedo cal-

cular como  $Q = c_p m ( T_f - T_0 )$ . En esta fórmula  $T_f$  sería la temperatura en el punto B y  $T_0$  sería la temperatura en el punto A. El  $c_p$  que figura en la ecuación sería el calor específico del gas a presión constante.

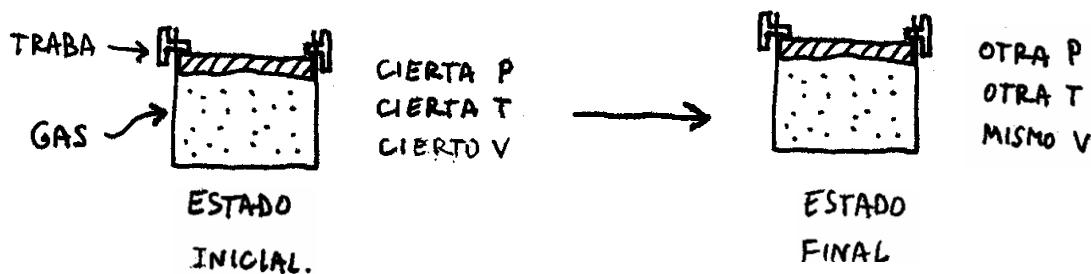
ENERGIA INTERNA: Para calcular la energía interna se usa siempre esta fórmula :

$$\Delta U = c_v m ( T_f - T_0 )$$

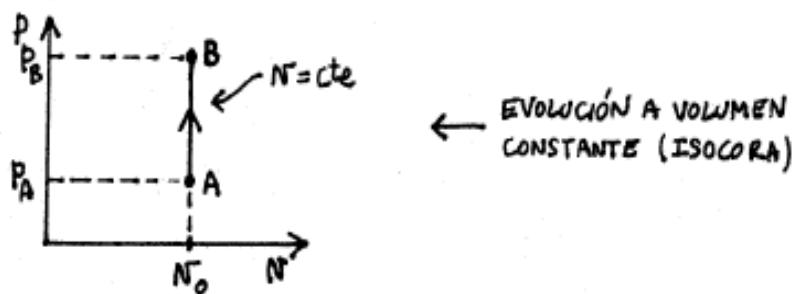
No puedo explicarte ahora de dónde sale esta ecuación. Igual que antes  $T_f$  y  $T_0$  serían las temperaturas de los puntos A y B. El  $c_v$  que figura en la ecuación sería el calor específico del gas a volumen constante. Es raro que en esta fórmula haya que usar  $c_v$  siendo que la evolución es a presión constante. Pero es así. ( Bienvenido a Biofísica ).

## 2-EVOLUCION A VOLUMEN CONSTANTE ( ISÓCORICA )

Caliento el gas en el cilindro pero trabo la tapa para que no se mueva. Al calentar la presión aumenta y la temperatura también. Pero el volumen no cambia porque la tapa está fija. La evolución es a volumen constante. ( Isocora ).



Si dibujo la evolución en un diagrama P-V voy a ver algo así :



Voy a aplicar el primer principio a la evolución isocora y veo que da:

### TRABAJO REALIZADO:

En la evolución a volumen constante no hay trabajo realizado. El gas no se expande porque el cilindro está trabado. Por otro lado, veo que bajo la evolución no hay área porque la recta es vertical. Por lo tanto en la evolución Isocora  $L = 0$ .

### CALOR ENTREGADO:

Hubo calor entregado y fue entregado a volumen constante. Por lo tanto lo puedo calcular como  $Q = c_v m ( T_f - T_0 )$ .

VARIACION DE ENERGIA INTERNA:

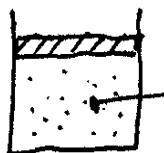
Hubo variación de energía interna porque el gas se calentó. Planteo el primer principio:  $Q = \Delta U + L$ . Como  $L = 0$  me queda:  $Q = \Delta U$ , es decir que para la evolución a volumen constante la variación de energía interna vale:  $\Delta U = c_v m (T_f - T_0)$ .

PARED DIATÉRMANA ( O diatérmica )

Es una pared que deja pasar todo el calor. ( Dia: a través, térmica: calor = A través de ella pasa el calor ). Es una pared tan finita que es como si no existiera. La pared diatérmica no puede impedir el paso del calor. Lo deja pasar totalmente.

Las paredes diatérmicas son un concepto teórico. No existen en la realidad, pero una pared muy finita puede llegar a considerarse como una pared diatérmica.

Si vos tuvieras un calorímetro con paredes diatérmicas y pusieras algo frío adentro, inmediatamente entraría calor de afuera y lo calentaría. Y si vos pusieras algo caliente adentro, inmediatamente el calor pasaría por la pared al exterior y el cuerpo que está adentro se enfriaría.



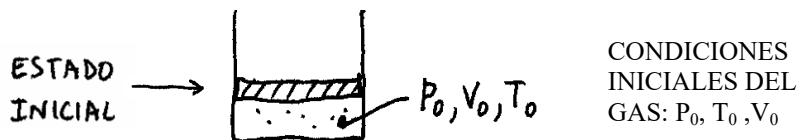
RECIPIENTE CON PAREDES DIATÉRMICAS. ( DEJAN PASAR TODO EL CALOR )

Una pared diatérmica vendría a ser lo contrario de una pared adiabática. Es decir, un recipiente diatérmico sería exactamente lo contrario a un termo.

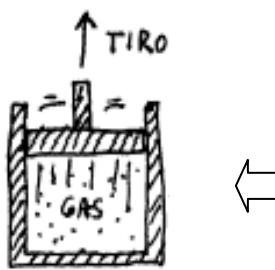
Nota: Las paredes diatérmicas no existen en la realidad. Son un invento para poder resolver problemas de termodinámica. Todos los materiales siempre impiden un poco el paso del calor. Sin embargo, en algunos casos raros una pared puede llegar a comportarse en forma parecida a una pared diatérmica. Por ejemplo, si la evolución se produce muy-muy lentamente o si la pared es muy-muy finita.

3-EVOLUCION A TEMPERATURA CONSTANTE (ISOTÉRMICA). ← VER

Una evolución isotérmica es una evolución que se produce sin que cambie la temperatura del gas. Para entender como se hace una evolución isotérmica hay que pensar un poquito. Imaginate que tengo el cilindro con gas a cierta presión, a cierto volumen y a cierta temperatura.

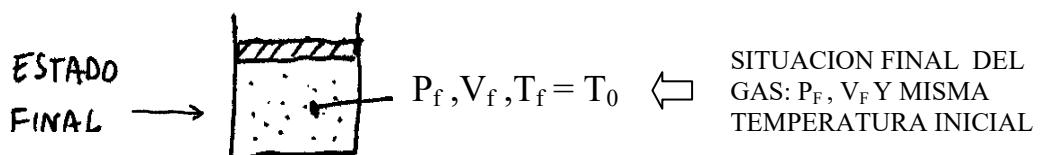


Ahora empiezo a tirar de la tapa para arriba. El gas se empieza a expandir. Su presión disminuye. Acá te lo pongo en un dibujito :

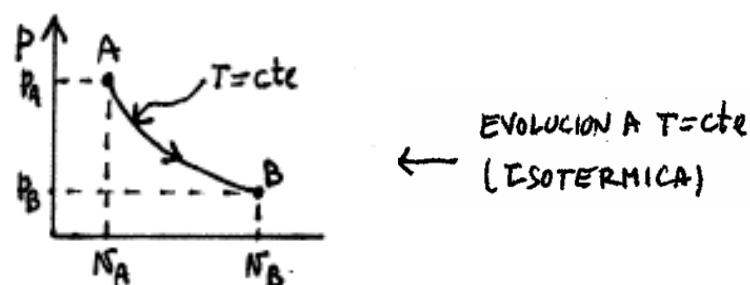


TIRO DE LA TAPA. EL GAS SE EXPANDE, SU PRESIÓN DISMINUYE Y TIENDE A ENFRIARSE

Ahora fíjate. Si yo tiro de la tapa para arriba, el gas tendería a enfriarse. No me sirve que se enfríe porque yo quiero que la evolución sea a temperatura constante. Para poder tener una evolución a temperatura constante podés imaginarte que las paredes del cilindro son diatérmanas (= dejan pasar todo el calor). Entonces voy tirando la tapa para arriba despacito. Apenas yo empiezo a tirar de la tapa, el gas desearía empezar a enfriarse. Pero no se enfriá porque inmediatamente entra calor del exterior.



Dibujo la evolución isotérmica en el diagrama P-V. Las curvas de temperatura constante son hipérbolas en el diagrama P-V. O sea que la evolución se vería así :



### VARIACION DE ENERGIA INTERNA EN LA ISOTERMICA:

No hay variación de energía interna porque el gas no cambia su temperatura. Acordate que la energía interna depende solo de la temperatura. Si T no cambia, U no cambia. Entonces en la isotérmica:  $\Delta U = 0$ . ( Ojo, recordar, importante )

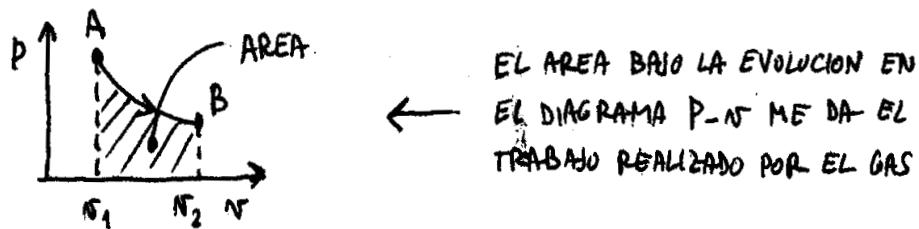
### TRABAJO REALIZADO:

En la evolución isotérmica hay trabajo realizado. Daría ganas de calcular ese trabajo como  $L = p \times (V_f - V_0)$ . Pero no se puede calcular el trabajo así. ¿ Por qué ?

Rta: Porque durante la evolución la presión dentro del cilindro no se mantiene constante. Va variando todo el tiempo.

Ahora, ¿ Puedo decir que el trabajo realizado es el área bajo la curva ?

Rta: Puedo, pero la curva ahora es una hipérbola. No tengo manera fácil de calcular el área.



De manera que para calcular el trabajo hay que plantear una integral. La curva que tengo es una hipérbola. Si te acordás un poco de matemática, la integral de una hipérbola daba un logaritmo. Haciendo todas las cuentas el trabajo da el siguiente choclazo:

$$L = n R T \ln \left( \frac{V_f}{V_0} \right) \quad \leftarrow \text{TRABAJO EN UNA EVOLUCIÓN ISOTÉRMICA}$$

Esta fórmula se puede escribir también de otra manera. Acordate que puedo usar la ecuación de los gases ideales. Planteando gases ideales en la isotérmica me queda:

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

Las temperaturas inicial  $T_1$  es igual a la temperatura final  $T_2$ . Se simplifican.

Me queda:

$$P_0 V_0 = P_f V_f \Rightarrow \frac{P_0}{P_f} = \frac{V_f}{V_0}$$

Entonces el trabajo realizado en una evolución isotérmica también se puede poner en función de las presiones. La fórmula recuadrada que puse antes en función de las presiones quedaría así

$$L = n R T \ln \left( \frac{P_0}{P_f} \right) \quad \leftarrow \text{OTRA MANERA DE CALCULAR EL TRABAJO REALIZADO EN UNA ISOTÉRMICA}$$

En esta fórmula:

- \*  $L$  es el trabajo realizado.
- \*  $n$  es el número de moles.
- \*  $R$  es la constante de los gases:  $R = 0,082 \text{ Litro atm / Kelvin mol}$ .
- \*  $T$  es la temperatura en Kelvin.
- \*  $V_f$  y  $V_0$  son los volúmenes final e inicial que ocupa el gas. (Litros o  $\text{m}^3$ )
- \*  $P_f$  y  $P_0$  son las presiones final e inicial que tiene el gas. (Pascales o atmósferas)

El trabajo tiene que dar en Joule o en calorías. Eso va a depender de las unidades que uses para la constante  $R$ . Si ponés a  $R$  como  $0,082 \text{ Litro atm / Kelvin mol}$ , el trabajo te va a dar en  $\text{Litro atmósfera}$ .  $1 \text{ litro-atmósfera} = 101,3 \text{ Joule}$ .

### CALOR ENTREGADO:

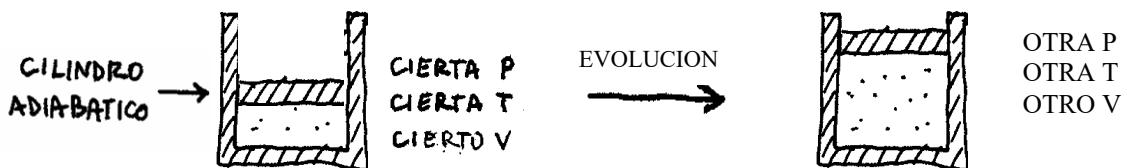
Para saber la cantidad de calor que se entrega en una isotérmica planteo el primer

principio:  $Q = \Delta U + L$ . Como  $\Delta U = 0$ , me queda:  $Q = L$ . Es decir que para la evolución a temperatura constante el calor entregado vale lo mismo que el trabajo realizado.

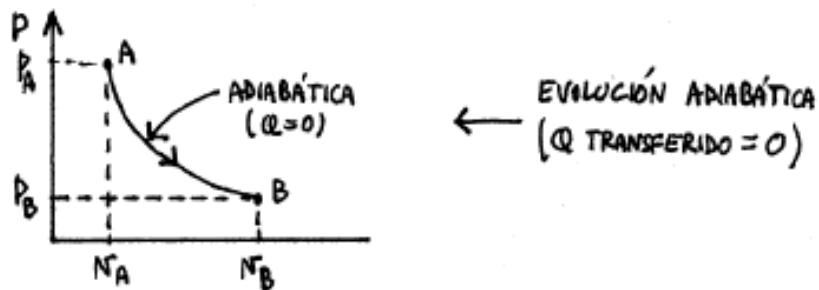
#### 4 - EVOLUCION SIN ENTREGA DE CALOR ( ADIABATICA )

Una pared adiabática NO DEJA PASAR EL CALOR. El calor no la puede atravesar. Los recipientes adiabáticos no existen en la realidad. Lo más parecido a un recipiente adiabático es un termo o los cosos de telgopor que se usan para poner helado.

Ahora imaginate que tengo un cilindro adiabático. No puede entrar ni salir calor de él. Pongo en el cilindro un gas a cierta presión a cierta temperatura y ocupando cierto volumen. Ahora hago evolucionar al gas. Por ejemplo dejo que se expanda. Al expandirse el gas del cilindro se enfriá. Su presión disminuye y su temperatura también. Atención, repito, esta evolución se hace SIN que entre o salga calor del cilindro. (= Evolución totalmente adiabática). Lo que tengo es algo así:



Voy a dibujar la adiabática en el diagrama P-V. La curva es parecida a la isotérmica pero está un poco más inclinada para abajo. Esta evolución adiabática dibujada en el diagrama P-V tiene esta forma:



Vamos ahora al planteo del 1er principio para la evolución adiabática.

#### CALOR ENTREGADO:

No hay calor entregado o cedido. La evolución es adiabática. Por lo tanto  $Q = 0$ .

VARIACION DE ENERGIA INTERNA: La variación de energía interna es siempre

$$\Delta U = c_v m (T_f - T_0)$$

#### TRABAJO REALIZADO :

Como  $Q = \Delta U + L$ , en este caso al ser  $Q = CERO$  me queda  $L = -\Delta U$ . Es decir, en la evolución adiabática, todo el trabajo realizado por el gas se obtiene a expensas de la

energía interna. Significa: El gas se expande, realiza trabajo y la temperatura del gas disminuye.

### RESUMEN POLENTEA (= CUADRO SALVADOR) ← ATENTO

Para saber lo que pasa en una evolución determinada, hay que plantear siempre el 1<sup>er</sup> principio. En esta tabla que te paso va el resumen de los valores de  $Q$ ,  $\Delta U$  y  $L$  para las principales evoluciones. Atento con este resumen. Ha salvado la vida a miles de personas en parciales y finales.



EVOLUCION	$Q =$	$\Delta U =$	$L =$
ISOBARA ( $p = Cte$ )	$C_p n (T_2 - T_1)$	$C_v n (T_2 - T_1)$	$P (V_2 - V_1)$
ISOCORA ( $V = Cte$ )	$\Delta U$	$C_v n (T_2 - T_1)$	0
ISOTERMICA ( $T = Cte$ )	$L$	0	$n R T \cdot \ln \frac{V_F}{V_0} \left( o \frac{P_0}{P_F} \right)$
ADIABATICA ( $Q = 0$ )	0	$C_v n (T_2 - T_1)$	$- \Delta U$
CICLO	$L$	0	AREA DEL CICLO

Mirá un poco esta tabla. Fijate que no es tan complicada. Por ejemplo, en todas las evoluciones  $\Delta U$  vale siempre lo mismo:  $C_v n (T_2 - T_1)$ . En la isotérmica también, pero  $\Delta U$  da 0 porque la temperatura final es igual a la inicial. En esta tabla salvadora  $C_v$  y  $C_p$  son los calores específicos a volumen constante y a presión cte. Ene ( $n$ ) es la masa de gas en moles.

En el último renglón de la tabla puse los valores para un ciclo. Todavía no te expliqué ciclos, pero puse los valores ahora para que ya los tengas. Despues te explico de dónde salen de  $Q$ , delta  $U$  y  $L$  para un ciclo.

Una cosa importante: Recordá que siempre se puede usar la ecuación de los gases ideales. Quiere decir que siempre se pueden usar la fórmulas :

$$P \cdot V = m R T \quad y \quad \frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

¿ Por qué te digo esto ? Bueno, porque por ejemplo para calcular el trabajo en la isotérmica uno usa la fórmula

$$L = m R T \ln \left( \frac{V_F}{V_0} \right)$$

Pero a veces puede ser que no tengas el volumen final ni el volumen inicial. En ese caso podés usar la fórmula de los gases ideales para la isotérmica:  $P_0 \cdot V_0 = P_F \cdot V_F$  y te va a quedar la misma fórmula pero en función de las presiones, o sea:

$$L = m R T \ln \left( \frac{P_0}{P_f} \right)$$

¿ Tendés como es el asunto ?

Otras fórmulas que conviene tener por ahí son:

$$C_p = \frac{5}{2} R, C_v = \frac{3}{2} R$$

VALE SOLO  
PARA GASES  
MONOATOMICOS

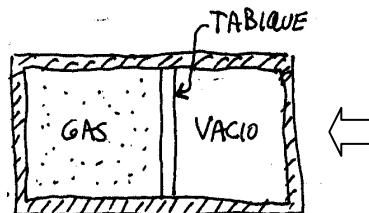
$$C_p - C_v = R$$

$$R = 0,082 \frac{\text{J. atm}}{\text{K. mol}}$$

CONSTANTE  
DE LOS GASES  
IDEALES

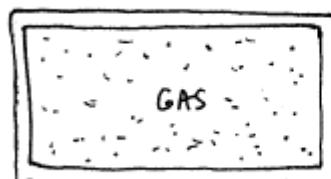
### EXPERIENCIA DE JOULE - EXPANSIÓN ADIABÁTICA

Joule hizo un experimento que es el siguiente: Agarró un recipiente y lo dividió en dos partes con una pared. ( Tabique ). De un lado puso un gas. Del otro lado sacó todo el aire para que hubiera vacío. O sea, esto:



EXPERIENCIA  
DE JOULE

Después el tipo rompe el tabique. El gas pasa a ocupar todo el recipiente. El asunto queda así:



SITUACIÓN FINAL:  
EL GAS OCUPA TODO  
EL RECIPIENTE

La cosa es que Joule midió la temperatura del gas y vió que no cambiaba. Es decir, si al principio el gas estaba a 20 °C, al sacar el tabique el gas sigue estando a 20 °C. Si lo pensás un poco, este resultado es un poco extraño. Uno tiene un gas que se expande. Lo lógico sería que el gas al expandirse cambiara su temperatura. Pero bueno, el resultado del experimento fue ese: La temperatura del gas no cambió durante la expansión. (= bienvenido a Biofísica ).

Ahora, fijate esto: durante la evolución el gas no recibe calor del exterior ( $\rightarrow Q = 0$ ). Tampoco realiza trabajo porque no hay ningún pistón que empuje nada ( $\rightarrow L = 0$ ). Tampoco hay variación de energía interna porque T no cambia ( $\rightarrow \Delta U = 0$ ).

Entonces, la conclusión de Joule es que:

CUANDO UN GAS IDEAL SE EXPANDE EN CONTRA DEL VACÍO, SU TEMPERATURA NO CAMBIA, NO HAY TRABAJO REALIZADO, NO HAY CALOR TRANSFERIDO Y NO HAY VARIACIÓN DE ENERGÍA INTERNA. ENTONCES PARA EL GAS DENTRO DEL CILINDRO

$$Q = 0, \Delta U = 0 \text{ y } L = 0.$$

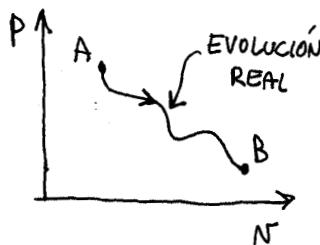
RESULTADO DE LA EXPERIENCIA DE JOULE

A la experiencia de Joule se la suele "expansión adiabática libre". El resultado de este experimento es muy importante para la termodinámica. Pero es un poco difícil explicar por qué es muy importante. Acá en biofísica lo único que vos tener que saber es que cuando un gas ideal se expande en contra del vacío,  $Q = 0, \Delta U = 0 \text{ y } L = 0$ . Eso es todo.

Alguna vez han tomado la experiencia de Joule en algún examen. Generalmente la gente no la sabe. Y para el que no la sabe... bueno, seguí participando.

### PREGUNTA PARA EXPERTOS:

Es difícil saber la forma exacta que tiene la evolución del gas dentro del cilindro durante la experiencia de Joule. Al sacar el tabique el gas se descomprime de golpe. De manera que la evolución no es ni adiabática, ni isotérmica, ni isobárica, ni nada. Resumiendo, no la puedo dibujar. Pero supongamos que yo pudiera conocer esa evolución. Supongamos que tuviera esta forma :

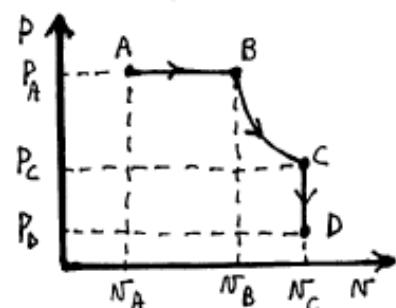


Mirando la evolución veo que debajo de la curva AB hay cierta área. Quiere decir que hubo trabajo realizado. Al haber trabajo realizado, también va a haber variación de energía interna. ( $Q = \Delta U + L$ ).

Entonces ¿por qué el resultado del experimento de Joule es  $Q = 0, \Delta U = 0 \text{ y } L = 0$ ?

### EJEMPLO DE UN PROBLEMA DE 1<sup>ER</sup> PRINCIPIO

UN GAS ENCERRADO EN UN CILINDRO EVOLUCIONA DESDE AL PUNTO A HASTA EL PUNTO C COMO INDICA LA FIGURA. LA EVOLUCIÓN AB ES ISOBARICA, LA BC ES ISOTERMICA Y LA CD ES ISOCORA. CALCULAR Q,  $\Delta U$  Y L EN CADA EVOLUCIÓN Y TAMBIEN DESDE A a D.



Este es un problema teórico. O sea, no me dan valores. Tengo que calcular todo con letras. Para hallar Q, delta U y L en cada evolución me voy guiando por la tabla salvadora que puse antes. (Por favor tené siempre a mano esta tabla y no te olvides de ponerla en la hojas de fórmulas que ellos te dejan llevar al examen).

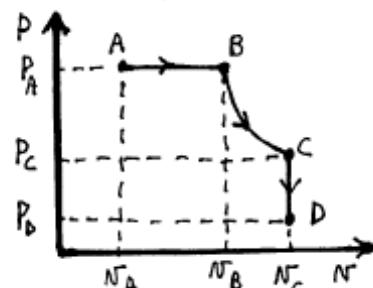
Entonces, empiezo con la evolución AB :

EVOLUCIÓN AB (ISOBÁRICA,  $P = \text{cte}$ )

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

$$\Delta U_{AB} = C_v m (T_B - T_A)$$

$$L_{AB} = P_A (V_B - V_A)$$



EVOLUCIÓN BC (ISOTÉRMICA,  $T = \text{cte}$ )

$$\Delta U_{BC} = 0 \quad (T_B = T_C)$$

$$L_{BC} = m RT \ln \frac{N_C}{N_B}$$

$$Q_{BC} = L_{BC}$$

EVOLUCIÓN CD (ISOCÓRICA,  $N = \text{cte}$ )

$$Q_{CD} = C_v m (T_D - T_C)$$

$$\Delta U_{CD} = C_v m (T_D - T_C)$$

$$L_{CD} = 0$$

Fijate que no hago las cuentas porque no tengo valores. Pero si los tuviera, bueno, sería un poco más largo porque habría que hacer todos los cálculos.

Para sacar Q, delta U y L en toda la evolución ABCD, lo que tengo que hacer es sumar los valores de cada una de las evoluciones. O sea, esto:

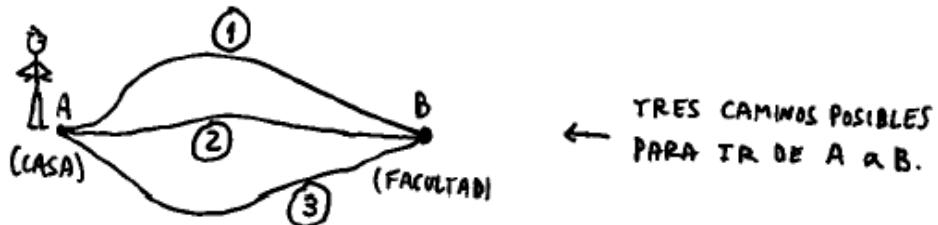
$$Q_{ABCD} = Q_{AB} + Q_{BC} + Q_{CD}$$

$$\Delta U_{ABCD} = \Delta U_{AB} + \Delta U_{BC} + \Delta U_{CD}$$

$$L_{ABCD} = L_{AB} + L_{BC} + L_{CD}$$

## FUNCION DE ESTADO ← LEER

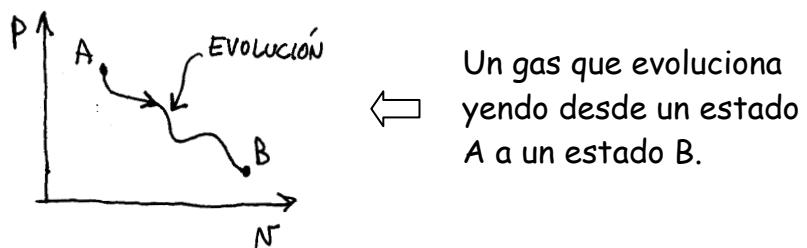
En matemática una cosa es función de estado cuando el valor de esa cosa no depende del camino seguido. Depende SOLAMENTE del valor inicial y del valor final. La frase "función de estado" parece complicada pero el concepto es fácil. Fijate. Supongamos que querés ir caminando desde tu casa (punto A) hasta la facultad (punto B).



Vos sabés que los zapatos se gastan al caminar. Supongamos que yo quiero saber en qué camino se van a gastar más los zapatos. La respuesta va a ser: En el más largo. O.K. Quiere decir lo que se gasta la suela del zapato **depende del camino que uno elija**. No va a dar lo mismo ir por el camino 1, que por el 2 o por el 3. La función "gasto del zapato" depende del camino seguido. **No es función de estado**.

## LA ENERGIA INTERNA ES FUNCION DE ESTADO

Te expliqué esto de función de estado porque lo vas a necesitar para entender algunas cosas sobre la Energía Interna. Fíjate esto: Supón un gas que evoluciona yendo desde un estado A a un estado B.



En la evolución AB puede haber calor entregado, variación de energía interna, trabajo realizado. De todas esas cosas, la variación de energía interna ES función de estado. Q y L NO SON funciones de estado.

¿Qué quiere decir que la energía interna sea función de estado? ( Importante )

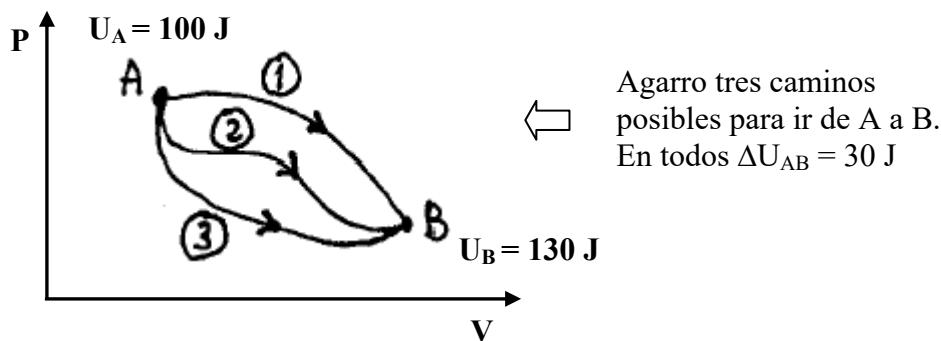
Rta: Quiere decir esto: Supongamos que yo mido la energía interna en el punto A y me da 100 Joules. Ahora mido la energía Interna en el punto B y me da 130 Joules. Si el gas fue de A a B, ¿Cuánto vale la variación de Energía Interna entre A y B ?

Rta: 30 Joules

¿ De dónde salen estos 30 Joules ?

Rta: De hacer la cuenta  $U_B - U_A$ .

Este resultado parece obvio, pero en realidad no es tan obvio. O sea, el gas fue de A a B, correcto. ¿Pero cómo sé por qué camino fue? Hagamos un dibujito:



Y acá está el truco. Como la energía Interna es función de estado, NO HACE FALTA SABER POR QUE CAMINO FUE EL GAS. Directamente  $\Delta U$  se calcula como  $U_B - U_A$  independientemente del camino seguido. Solamente hago la resta y chau.

O sea,  $\Delta U_{AB} = 130 \text{ Joules} - 100 \text{ Joules} = 30 \text{ Joules}$

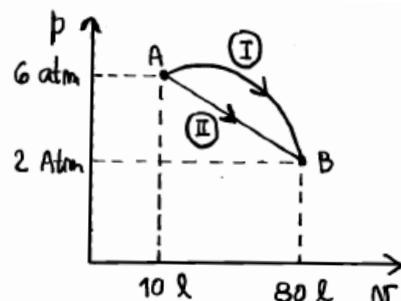
¿ves como es el asunto ?

Ojo, este truco de hacer la resta sólo se puede usar para calcular  $\Delta U$ . No podés calcular  $Q_{AB}$  como  $Q_B - Q_A$  porque EL CALOR NO ES FUNCIÓN DE ESTADO.

Tampoco podés calcular  $L_{AB}$  como  $L_B - L_A$  porque EL TRABAJO TAMPOCO ES FUNCIÓN DE ESTADO. Cuando uno calcula  $Q$  o  $L$  necesita saber cuál fue la evolución que llevó el gas del punto A al punto B. ( Atento ). Vamos a un ejemplo :

### EJEMPLO:

SE TIENE UN GAS QUE EVOLUCIONA YENDO DE **A** a **B** POR EL CAMINO 1. EN ESA EVOLUCIÓN  $Q = 500 \text{ L-Atm}$  Y  $L = 320 \text{ L-Atm}$ . CALCULAR **Q** Y **L** SI EL GAS VA DE **A** a **B** POR EL CAMINO 2



Planteo el primer principio yendo por el camino 1 :

$$Q = \Delta U + L \Rightarrow \Delta U = Q - L$$

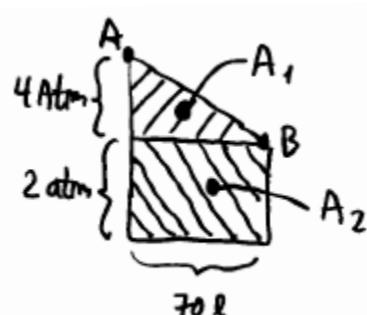
$$\Delta U_1 = 500 \text{ L-Atm} - 320 \text{ L-Atm}$$

$$\Rightarrow \Delta U_1 = 180 \text{ Litro-Atm}$$

Con esto tengo calculado delta U entre A y B yendo por el camino 1. Ahora Planteo el primer principio yendo por el camino 2. El trabajo lo puedo calcular porque es el área. Hago un dibujito :

$$A_1 = \frac{b \cdot h}{2} = \frac{70 \text{ l} \cdot 4 \text{ atm}}{2}$$

$$\Rightarrow A_1 = 140 \text{ l-atm}$$



$$A_2 = b \cdot h = 70 \text{ L} \cdot 2 \text{ Atm}$$

$$\Rightarrow A_2 = 140 \text{ L-Atm}$$

$$L_{TOT} = A_1 + A_2 = 280 \text{ L-Atm}$$

Ahora, fíjate. ¿Qué pasa con Q? Rta: No puedo calcular Q. No tengo fórmula para calcular Q en una línea recta inclinada que va de A a B. Pero hay un truco. Yo sé que  $\Delta U$  yendo por el camino 1 vale 180 L-Atm. Pero la Energía Interna U es función de estado. Quiere decir que  $\Delta U$  yendo por el camino 2 también tiene que valer 180 L-Atm. Entonces, en el camino 2 tengo L y tengo  $\Delta U$ . Calculo Q planteando el 1<sup>er</sup> Principio:

$$Q_2 = \Delta U_2 + L_2 \rightarrow Q_2 = 180 \text{ L-Atm} + 280 \text{ L-Atm}$$

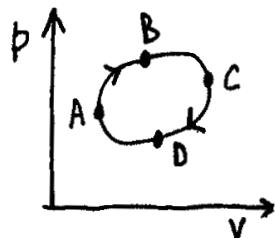
$$\rightarrow Q_2 = 460 \text{ L-Atm}$$

Respuesta:  $Q_{AB(2)} = 460 \text{ L-Atm}$  y  $L_2 = 280 \text{ L-Atm}$

---

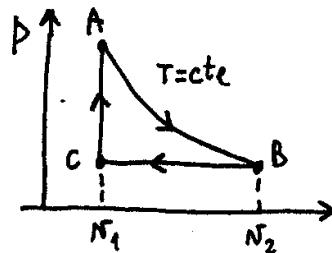
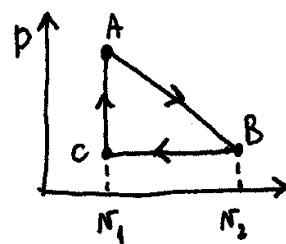
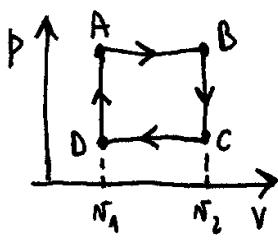
## CICLOS ( Atento ) ← VER

Tengo un ciclo cuando el gas hace una evolución cerrada. Es decir, sale de un punto A, pasa por otros estados y finalmente llega de nuevo al punto A. Ejemplo:



ESQUEMA DE UN CICLO.  
EL GAS SALE DE A, PASA  
POR LOS ESTADOS B, C, D  
Y VUELVE AL ESTADO A

Acá tenés algunos ciclos que aparecen mucho en parciales y finales:



Hay 3 cosas importante que tenés que saber de un ciclo. Esas 3 cosas son : ( atento )

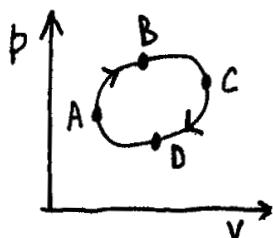
- 1 - La variación de energía interna en un ciclo es CERO.
- 2 - El trabajo realizado por el gas en el ciclo es el área del ciclo.
- 3 - Si el ciclo se recorre en sentido horario, el trabajo es positivo  
Si el ciclo se recorre al revés, el trabajo es negativo.

← **VER ESTO**

Vamos a ver un poco de dónde salen estas 3 cosas importantes de los ciclos:

1 - La variación de energía interna en un ciclo es cero.

Imaginate que un gas que sale desde el estado A pasa por un montón de puntos y llega de nuevo al estado A



←  
EL GAS SALE DE A, PASA  
POR LOS ESTADOS B, C, D  
Y VUELVE AL ESTADO A

La energía interna es función de estado. Depende del valor final y del valor inicial.

Como acá el punto de partida es el mismo que el punto de llegada, puedo calcular delta U como  $\Delta U_{AA} = U_A - U_A \rightarrow U_{AA} = 0$

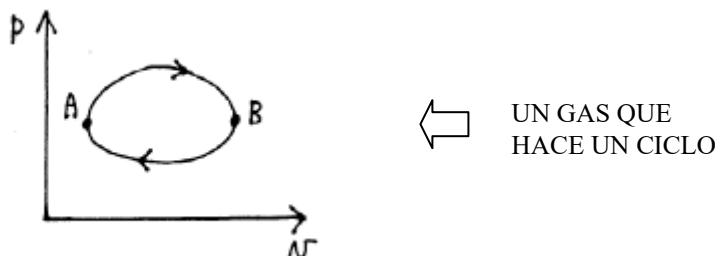
Otra manera de llegar a la misma conclusión es esta: El gas sale del punto A, da toda la vuelta y vuelve al estado **A**. Quiere decir que la temperatura final ( $T_A$ ) va a ser la misma que la inicial ( $T_A$ ). La energía interna es función de la temperatura. Se calcula con la fórmula  $\Delta U = C_V m (T_F - T_0)$ . Conclusión: en un ciclo  $\Delta U = 0$

$$\boxed{\Delta U_{\text{ciclo}} = 0} \quad \leftarrow \begin{matrix} \text{VER} \\ \text{ESTO} \end{matrix}$$

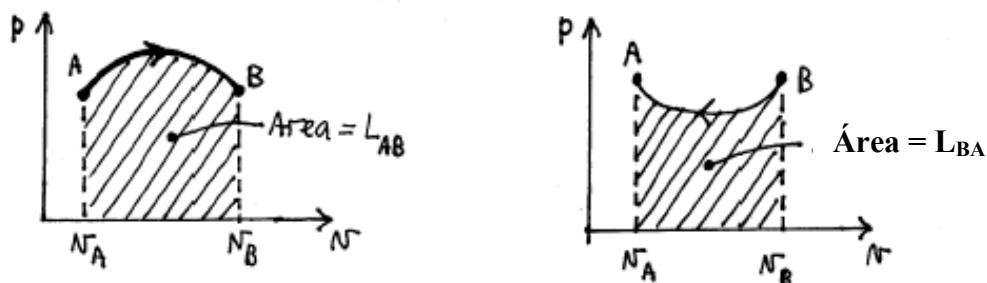
Analicemos ahora esto otro:

2 - El trabajo realizado por el gas en el ciclo es el área del ciclo.

Imaginate que tengo un gas que hace un ciclo **A-B-A** como este que pongo acá. El gas sale de A, va a B por el camino de arriba y de B vuelve a A por el camino de abajo:



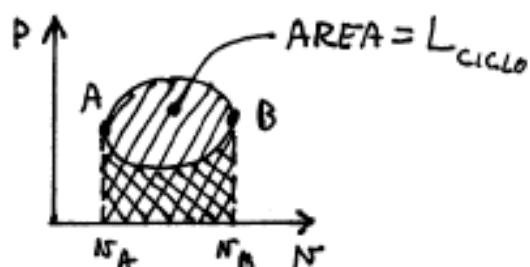
Quiero calcular el trabajo realizado en ese ciclo. Para calcular  $L$  voy a dividir el ciclo en 2 evoluciones. Estas evoluciones van a ser de **A a B** y de **B a A**. O sea, tendría algo así:



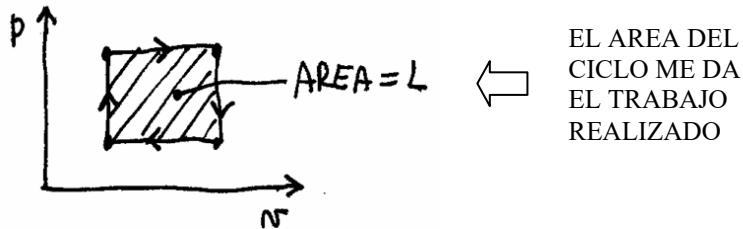
En la evolución AB el área que marqué es el trabajo. No sé cuánto vale pero sé que es positivo porque estoy yendo así  $\rightarrow$ . En la evolución BA el área que marqué también es el trabajo. No sé cuánto vale pero sé que es negativo porque estoy yendo así  $\leftarrow$ .

Conclusión, para calcular el trabajo total tengo que hacer:  $L_{\text{TOT}} = L_{AB} + L_{BA}$

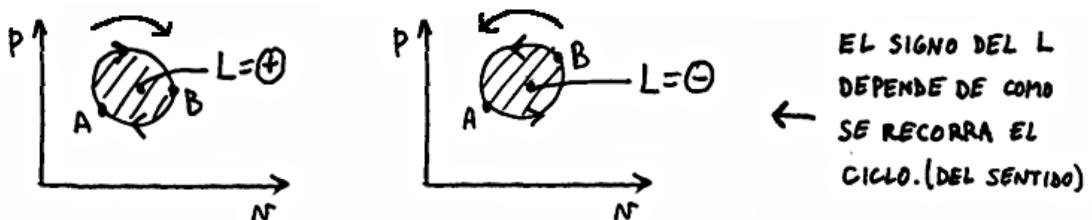
Si te fijás un poco, vas a ver que lo que estoy haciendo es: Al área grande (techo) le estoy restando el área chica (piso). O sea, sería esto:



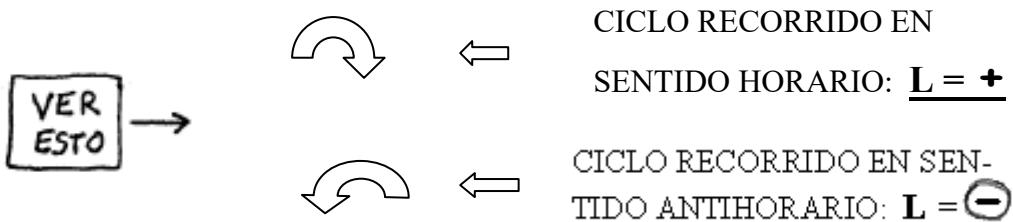
Si mirás el dibujito vas a ver que la resta de las 2 áreas da el área ovalada del ciclo. Quiere decir que el área del ciclo me da el trabajo realizado. Esto vale para cualquier ciclo. Por ejemplo, si tengo un ciclo así:



3 - Si el ciclo se recorre en sentido horario, el trabajo será positivo. Si el ciclo se recorre al revés, el trabajo será negativo.



Esto hay que pensarlo un poquito. Hay que hacer lo mismo que en el punto anterior, pero recorriendo el ciclo al revés. Si lo hacés, te va a dar esto:



Hay 2 formas de resolver los problemas de ciclos :

1ra forma :

Se resuelve todo el ciclo como un conjunto. Se calcula  $L$  como el área del ciclo. Como delta  $U$  es cero, el calor entregado será igual a  $L$ .

2da Forma :

Se resuelve el ciclo calculando  $Q$ , delta  $U$  y  $L$  evolución por evolución. Despues se calcula  $Q$  total sumando los  $Q$  de cada evolución. Lo mismo con los  $L$ . Sumando todos los  $L$  tengo el  $L$  total. Con delta  $U$  pasa lo mismo solo que si sumo todos los delta  $U$  el  $\Delta U$  total va a tener que darte cero.

Fijate una cosa: en un ciclo  $\Delta U$  siempre te va a dar CERO. Y como  $Q = \Delta U + L$ , quiere decir que para un ciclo  $Q$  siempre va a ser igual a  $L$ . (Tanto en módulo como en signo). O sea, si en un ciclo vos calculaste  $L$  y te dio +100 Joules, en ese ciclo  $Q$  va a valer +100 Joules.

## FRASES DEL MILLÓN EN EL 1<sup>er</sup> PRINCIPIO DE LA TERMODINÁMICA

Para resolver los problemas de 1er principio hay que ser astuto, pero no demasiado. Esto es un poco difícil de explicar. Es decir, hay que saber, pero no hay que pasarse de listo. Si te piden calcular Q, delta U o L hay que usar las fórmulas del cuadro salvador. Si te hacen una pregunta teórica tenés que saber razonar usando las frases del millón. Acá te hago un resumen de las principales frases:

- \* SI UN GAS SE EXPANDE, HACE TRABAJO POSITIVO. SI UN GAS SE CONTRAE, HACE TRABAJO NEGATIVO.
- \* LA ENERGIA INTERNA DE UN GAS ES EL CALOR QUE ESTÁ ALMACENADO DENTRO DEL GAS EN FORMA DE ENERGÍA CINÉTICA DE SUS MOLÉCULAS
- \* SI LA TEMPERATURA AUMENTA, U AUMENTA. SI LA TEMPERATURA DISMINUYE, U DISMINUYE. LA ENERGÍA INTERNA DE UN GAS IDEAL DEPENDE SOLO DE SU TEMPERATURA.
- \* SI LA TEMPERATURA DE UN GAS NO CAMBIA, U NO CAMBIA
- \* SI LA TEMPERATURA DE UN GAS NO CAMBIA,  $\Delta U = 0$
- \*  $\Delta U$  SE CALCULA SIEMPRE CON LA MISMA FORMULA :  $\Delta U = C_v m ( T_f - T_0 )$

$$\text{SI } T \text{ AUMENTA} \rightarrow \Delta U = +$$

$$\text{SI } T \text{ DISMINUYE} \rightarrow \Delta U = -$$

- \* LA ENERGIA INTERNA DE UN GAS IDEAL ES FUNCION DE ESTADO.  $\Delta U$  NO DEPENDE DEL CAMINO SEGUIDO POR LA EVOLUCIÓN. DEPENDE SÓLO DEL ESTADO INICIAL Y DEL ESTADO FINAL.
- \* EN EL DIAGRAMA P-V LAS ISOTERMAS CRECEN SIGUIENDO UNA LÍNEA A  $45^\circ$  ( O SEA, PARA ALLÁ :  $\nearrow$  )
- \* LA ECUACIÓN DE LOS GASES IDEALES SE PUEDE USAR PARA RESOLVER LOS PROBLEMAS. O SEA :

$$P \cdot V = m R T \quad \text{O} \quad \frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

- \* EL 1<sup>ER</sup> PRINCIPIO DE LA TERMODINÁMICA ES LA LEY DE LA CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA. SI UNO ENTREGA CALOR A UN SISTEMA, ESTE CALOR SE TRANSFORMA PARTE EN TRABAJO Y PARTE EN ENERGÍA INTERNA

- \* EL TRABAJO REALIZADO POR UN GAS ES EL ÁREA QUE HAY BAJO LA EVOLUCIÓN EN EL DIAGRAMA P-V.
  - \* SI LA EVOLUCIÓN VA ASI → EL TRABAJO REALIZADO ES POSITIVO.  
SI LA EVOLUCIÓN VA ASI ← EL TRABAJO REALIZADO ES NEGATIVO.
  - \* LA VARIACIÓN DE ENERGÍA INTERNA EN UN CICLO ES CERO
  - \* EL TRABAJO REALIZADO EN UN CICLO ES EL ÁREA DEL CICLO.
  - \* SI UN CICLO SE RECORRE EN SENTIDO HORARIO, EL TRABAJO SERÁ POSITIVO. SI UN CICLO SE RECORRE AL REVÉS, EL TRABAJO SERÁ NEGATIVO.
  - \* EN UN CICLO  $\Delta U$  ES CERO, POR LO TANTO, Q DEL CICLO VALDRÁ LO MISMO QUE L DEL CICLO.
  - \* EN UN CICLO  $\Delta U$  ES CERO, POR LO TANTO, EL SIGNO DE Q SERÁ EL MISMO QUE EL SIGNO DE L.
-

## 1<sup>er</sup> principio de la termodinámica (Epílogo)

Viene el alumno a rendir el oral del libre de biofísica. El profesor se sienta a lado y le dice: Bueno, vamos a ver... ¿Qué dice el 1<sup>er</sup> Principio de la termodinámica?

El alumno contesta: El 1<sup>er</sup> principio de la termodinámica dice que  $Q = \Delta U + L$

El Profesor le dice: No, usted me está dando la fórmula del 1<sup>er</sup> principio. Yo no le estoy preguntando la fórmula. Yo le estoy preguntando **QUE DICE** el 1<sup>er</sup> principio de la termodinámica.

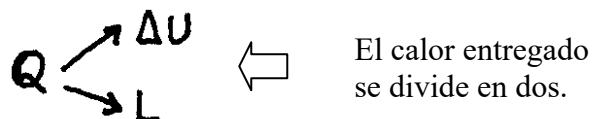
Y el alumno vuelve a decir: No, pero está bien. El 1<sup>er</sup> principio de la termodinámica lo que dice es que  $Q = \Delta U + L$ .

Acá el alumno no tiene salida. Está mostrando que lo único que sabe es la fórmula.

No entiende verdaderamente el 1<sup>er</sup> principio de la termodinámica. Le falta el concepto fundamental. Entonces vamos a contestar la pregunta del millón, que es: ¿Qué dice el 1<sup>er</sup> principio de la termodinámica?

**Rta:** El 1<sup>er</sup> principio de la termodinámica es la ley de la conservación de la energía.

Este principio dice que cuando uno entrega calor a un sistema, este calor se divide en dos: Una parte se usa para realizar trabajo. La otra parte queda encerrada en el sistema en forma de energía interna. Es decir:



Concretamente, pongamos que el sistema es un gas encerrado en un cilindro. En ese caso, el 1<sup>er</sup> principio dice que la energía entregada al gas en forma de calor se va a usar en parte para realizar trabajo y en parte va a quedar almacenada en forma de energía interna. La fórmula que expresa esta ley de conservación de la energía es:

$$Q = \Delta U + L \quad \leftarrow \text{PRIMER PRINCIPIO}$$

Entonces acá sí tenés la respuesta completa a la pregunta.

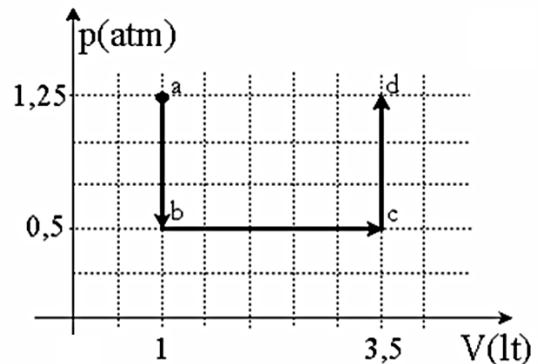
---

Vamos a ver ahora algunos problemas peludos. Saqué estos problemas de parciales y finales que se tomaron. (Atento).

### PROBLEMAS SACADOS DE PARCIALES

1 - Un sistema sigue la evolución **abcd** de la figura y recibe en este proceso un calor de 500 joules.

- a) ¿En cuánto varía la energía interna en esa evolución?  
 b) Si el sistema vuelve del estado **d** al estado **a** en forma isobárica, ¿qué cantidad de calor intercambia con el entorno al volver? ¿Absorbe o cede?



a) Me piden calcular la energía interna en la evolución **ABCD**. Tengo que usar la fórmula  $\Delta U = c_V m (T_d - T_a)$ . Pero no tengo las temperaturas, ni  $c_V$  ni nada. Pero me dicen que  $Q_{ABCD} = 500$  Joules. Entonces puedo calcular  $\Delta U$  planteando el 1er principio. Fíjate. Calculo primero  $L_{ABCD}$ . Voy evolución por evolución. El  $L_{ab} = 0$  y  $L_{cd}$  también porque son isocóricas. Entonces el trabajo  $L_{ABCD}$  va a ser igual al  $L_{bc}$ .

$$\Rightarrow L_{ABCD} = L_{bc}$$

Calculo el trabajo de **B** a **C**. Es el área. Entonces :

$$\Rightarrow L_{ABCD} (= L_{bc}) = \text{Área}_{bc}$$

$$\Rightarrow L_{ABCD} = 0,5 \text{ Atm} \times (3,5 \text{ lt} - 1 \text{ lt})$$

$$L_{ABCD} = 1,25 \text{ Lt-atm} = + 126,6 \text{ Joules (positivo)}$$

Para pasar de atmósferas por litro a Joules usé la equivalencia:  $1 \text{ Lt-Atm} = 101,3$  Joules. Planteo 1er principio en la evolución **ABCD**:

$$Q_{ABCD} = \Delta U_{ABCD} + L_{ABCD} \Rightarrow$$

Fíjate que me dicen que en la evolución **ABCD** el sistema RECIBE 500 Joules. Según la convención de signos **Q** que entra al sistema es POSITIVO. Quiere decir que  $Q_{ABCD} = +500$  Joules. (Ojo). Me queda:

$$500 \text{ Joules} = \Delta U + 126,6 \text{ Joules}$$

$$\Delta U_{ABCD} = + 373,4 \text{ Joules}$$

↗ VARIACIÓN DE ENERGÍA INTERNA

b) - Ahora me dicen que el sistema vuelve del punto **D** de nuevo al punto **A** por una isobárica. Calculo el trabajo entre **D** y **A**. Lo calculo como el área debajo de "d→a" :

$$L_{DA} = 1,25 \text{ Atm} \times (1 \text{ lt} - 3,5 \text{ lt}) = - 3,125 \text{ Lt-atm}$$

$$L_{DA} = - 316,5 \text{ Joules} \text{ (Negativo)}$$

Fíjate que el trabajo de **D** a **A** me dió negativo porque estoy yendo así ↙.

Tengo que calcular  $Q_{DA}$ . Entonces lo que puedo hacer el siguiente truco: Uso la frase salvadora que dice que  $\Delta U_A \text{ LA IDA} = -\Delta U_A \text{ LA VUELTA}$ . En este caso sería :

$$\Delta U_{ABCD} = -\Delta U_{DA}$$

$$\rightarrow + 373,4 \text{ Joules} = -\Delta U_{DA}$$

$$\rightarrow \Delta U_{DA} = - 373,4 \text{ Joules} \text{ ( Negativa )}$$

Tengo la variación de energía interna entre D y A. Puedo plantear el 1er principio entre D y A :

$$Q_{DA} = \Delta U_{DA} + L_{DA} = - 373,4 \text{ J} - 316,5 \text{ J}$$

$$\rightarrow Q_{DA} = - 689,9 \text{ Joules}$$

$Q_{DA}$  dió NEGATIVO. Según la convención de signos  $Q_{DA}$  es calor que el sistema ENTREGA al medio.

2 - Un mol de gas ideal monoatómico que está a 1 atm y 20 °C evoluciona en forma reversible. Para ello duplica su volumen a presión constante y luego, disminuye la presión a volumen constante hasta bajar su temperatura absoluta a la mitad.

¿Cuánto vale la variación de energía interna en todo el proceso?

Datos:  $R = 8,31 \text{ J/mol K}$ ;  $c_v = 3/2 R$ ;  $c_p = 5/2 R$

Calculo el volumen inicial ( en A ). Dicen que al principio el gas está a  $P = 1 \text{ atmósfera}$  y  $T = 20 \text{ °C}$ . La masa es 1 mol. Planteo la ecuación de los gases ideales:

$$P \cdot N = M \cdot R \cdot T$$

$$1 \text{ atm} \cdot N = 1 \text{ mol} \cdot 0,082 \frac{\text{J} \cdot \text{atm}}{\text{K} \cdot \text{mol}} \cdot 293 \text{ K}$$

$$\Rightarrow N_A = 24 \text{ l}$$

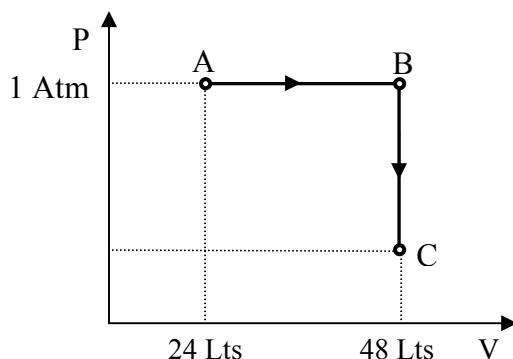
Dibujo la evolución. Tengo la isobárica AB y después una isocora de B a C. Queda así:

$$T_A = 20 \text{ °C} (= 293 \text{ K})$$

$$P_A = 1 \text{ Atm}$$

$$V_A = 24 \text{ Lts}$$

$$T_C = 293 \text{ K} / 2 = 146,5 \text{ K}$$



Primero voy a resolver el problema por la manera tradicional. Ese es el camino largo. Empecemos. Calculo delta U entre A y B :

$$\Delta_{AB} = C_V m (T_B - T_A)$$

La temperatura  $T_A$  es 293 K. Pero la  $T_B$  no la conozco. La calculo. Planteo gases ideales:

$$\frac{P_A V_A}{T_A} = \frac{P_B V_B}{T_B} \Rightarrow \leftarrow \begin{array}{l} \text{ECUACIÓN DE LOS} \\ \text{GASES IDEALES} \end{array}$$

$$\frac{1 \text{ atm} \times 24 \text{ l}}{293 \text{ K}} = \frac{1 \text{ atm} \times 48 \text{ l}}{T_B} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow T_B = 586 \text{ K}$$

Me dicen que el gas es monoatómico. Para gases monoatómicos  $C_V = 3/2 R$ . Entonces delta  $U_{AB}$  queda:

$$\Delta U_{AB} = \frac{3}{2} 0,082 \frac{\text{L} \cdot \text{atm}}{\text{K} \cdot \text{mol}} \times 1 \text{ mol} (586 \text{ K} - 293 \text{ K}) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \Delta U_{AB} = 36 \text{ Lt-Atm}$$

Ahora tengo que calcular  $\Delta U_{BC}$ . Planteo:  $\Delta U_{BC} = C_V m (T_C - T_B)$

$$\Delta U_{BC} = \frac{3}{2} 0,082 \frac{\text{L} \cdot \text{Atm}}{\text{K} \cdot \text{mol}} \times 1 \text{ mol} (146 \text{ K} - 586 \text{ K})$$

$$\Delta U_{BC} = - 54 \text{ Lt-Atm}$$

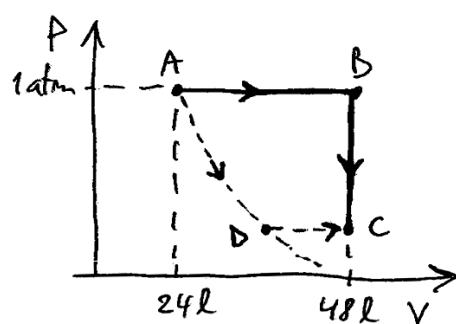
El delta U total va a ser la suma de los 2 delta U. Entonces:

$$\Delta U_{AC} = \Delta U_{AB} + \Delta U_{BC} = 36 \text{ Lt-Atm} - 54 \text{ Lt-Atm}$$

$$\boxed{\Delta U_{AC} = - 18 \text{ Lt-atm}}$$

Respuesta: La variación de Energía Interna entre A y C es de - 18 Litro-Atmósfera.

Ahora voy a resolver este problema usando un truco. Es un camino más corto. Fijate: La Variación de Energía interna es sólo función de la temperatura. No depende del camino seguido. Entonces puedo ir de A a C pero por el camino A-D-C. (Atención a este truco!)



La curva AD sería una isotérmica. Entonces en AD no habría variación de energía

interna porque no cambia la temperatura. En DC la variación de U sería:

$$\Delta U_{DC} = C_V m ( T_C - T_D )$$

Ahora fijate que la  $T_D$  es la misma que la  $T_A$  porque estoy en una isotérmica. Entonces sé que  $T_D = 293$  K. A la  $T_C$  la tenía de antes ( 146 K ). Calculo delta U:

$$\Rightarrow \Delta U_{DC} = \frac{3}{2} 0,082 \frac{L \times \text{Atm}}{\text{K} \times \text{mol}} \times 1 \text{ mol} (146 \text{ K} - 293 \text{ K})$$

$$\Rightarrow \underline{\Delta U_{DC} = -18 \text{ Litro-Atmósfera}} \quad (\text{Dio lo mismo})$$

3 - Un gas ideal se expande contra el vacío, siendo inicialmente su volumen de  $4 \text{ m}^3$ , su presión, 8 atm y su temperatura 400 K, hasta una presión final de 1 atm. Entonces el calor absorbido y la variación de energía interna valen, respectivamente:

- a) 0 J;  $-2,7 \cdot 10^6$  J    b) 0 J; 0 J    c) 0 J;  $2,7 \cdot 10^6$  J    d)  $2,7 \cdot 10^6$  J; 0 J  
 e)  $-2,7 \cdot 10^6$  J; 0 J    f)  $2,7 \cdot 10^6$  J;  $2,7 \cdot 10^6$  J

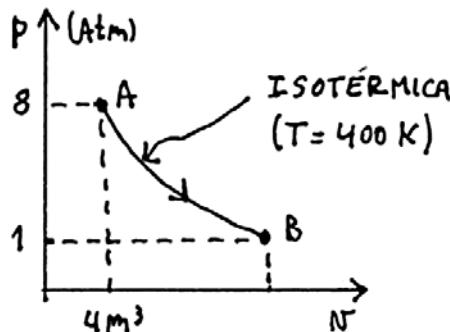
La expansión de un gas en contra del vacío es lo que se llama "experiencia de Joule". Básicamente lo que tenés que saber es que cuando un gas ideal se expande en contra del vacío, no realiza trabajo, no absorbe ni entrega calor y no cambia su temperatura. Es decir, tampoco cambia su energía interna. Entonces lo que tengo en este problema es:  $\Delta U = 0$ ,  $Q = 0$  y  $L = 0$ .

La respuesta es la (b)  $\Rightarrow \underline{Q = 0 \text{ J}, \Delta U = 0 \text{ J.}}$

4 - Se tiene un gas ideal para el cual  $C_V = 3 R/2$  que ocupa un volumen de  $4 \text{ m}^3$  a la presión de 8 atm y a 400 K. El gas se expande hasta una presión final de 1 atm. Si la expansión es isotérmica reversible, el calor absorbido y la variación de energía interna (en  $\text{m}^3 \cdot \text{atm}$ ) valen, respectivamente:

- a) 66,5 y 66,5    b) -66,5 y 0    c) 33,3 y 0    d) -33,3 y 0    e) 0 y 66,5    f) 66,5 y 0

SOLUCIÓN: Hagamos un dibujito del asunto :



Por ser una evolución isotérmica,  $\Delta U = 0$ . En la Isotérmica,  $Q = L$ . Entonces calculo la cantidad de calor con la fórmula del logaritmo. ( Ver cuadro salvador ) :

$$L = m R T \ln \left( \frac{V_f}{V_i} \right)$$

No sé cuánto da esta cuenta, pero  $L$  es positivo porque lo veo en el dibujo, así que  $Q$  también tiene que dar positivo. Entonces las únicas respuestas correctas posibles tienen que ser la c) o la f)

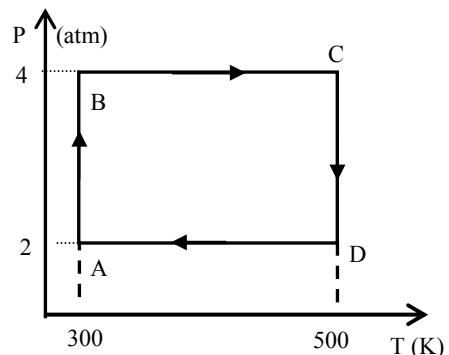
Como es un gas ideal puedo calcular los datos que faltan usando  $P V = n R T$ . De ahí saco el volumen final y el Nro de moles ( $n$  y  $V_f$ ).

La solución es la f)

$$\Delta U = 0 \text{ y } Q = 66,5 \text{ atm.m}^3$$

5 - Un gas recorre el ciclo representado en la figura en sentido ABCDA. Diga cuál de las afirmaciones es correcta respecto del trabajo ( $W$ ) en los tramos señalados:

- a)  $W_{AB} = -W_{CD}$
- b)  $W_{AB} = W_{CD}$
- c)  $W_{BC} = W_{DA}$
- d)  $W_{BC} = -W_{DA}$
- e)  $|W_{AB}| < |W_{CD}|$
- f)  $W_{BC} < W_{DA}$

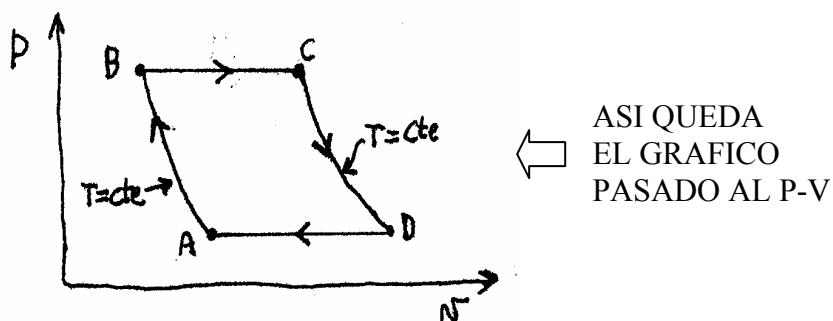


### SOLUCION

Este problema tiene trampa. Fijate que el gráfico que me dan no es el P-V. Es un gráfico de presión en función de la temperatura. (OJO!). En general nos dan siempre el de Presión en función del volumen. Bueno, acá no. (Bienvenido a Biofísica) ¿Entonces qué hacemos? ¿Cómo se trabaja con un gráfico P-T?

Rta: Se puede trabajar directamente sobre el gráfico P-T, pero es más difícil. Lo que conviene hacer es deducir el gráfico P-V mirando el gráfico P-T. ¿cómo se hace?

Rta: Y bueno, hay que analizar con cuidado el gráfico que te dan. Una isobara en el gráfico P-T sigue siendo una isobara en el P-V. Las líneas verticales en el P-T son isotermas en el P-V porque en el P-T las líneas verticales marcan temperatura constante. Así que si lo pensás un poco, vas a ver que el gráfico que ellos dan queda así:



Al trabajo ellos lo llaman  $W$ . En las evoluciones que son a Presión constante (BC y DA)

el trabajo es el área. Entonces  $W = P(V_F - V_0)$ . Mirando en el gráfico veo que  $W_{BC} > W_{DA}$ . (Porque el área debajo de BC es **MAYOR** que el área de abajo de DA). Aparte  $W_{DA}$  es negativo. Quiere decir que la c) y la d) son falsas.

Miremos lo que pasa en las isotérmicas. En el tramo CD tengo una isotérmica.

Entonces:  $W_{CD} = n \cdot R \cdot T \ln(P_C / P_B)$ .

En el tramo AB:  $W_{AB} = n \cdot R \cdot T \ln(P_A / P_B)$

Fíjate que  $P_B = P_C$  y  $P_A = P_D$ . Entonces daría la impresión de que  $W_{AB} = W_{CD}$ , pero esto no es así porque las T nos son iguales en las 2 evoluciones.  $T_{CD} > T_{AB}$ . (Recordar la fase del millón que dice que las isotermas son curvas que crecen así:  $\nearrow$ ). Quiere decir que en módulo,  $|W_{AB}|$  es **MENOR** que  $|W_{CD}|$ .

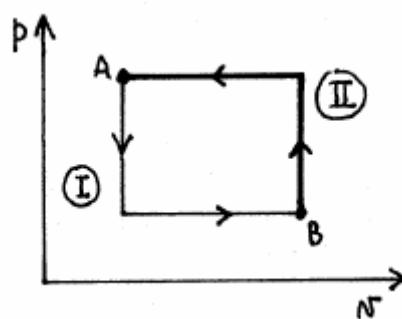
Aclaro lo de los módulos porque uno de los trabajos es positivo y el otro negativo.

Entonces  $\rightarrow$  La correcta es la e):  $|W_{AB}| < |W_{CD}|$

6 - Un sistema formado por un gas ideal pasa desde un estado A hasta el estado B por la evolución reversible I, que consiste en disminuir su presión a volumen constante y luego aumentar su volumen a presión constante. En esa evolución entrega al ambiente 1000 kcal en forma de calor. Luego pasa desde el estado B hasta el A por la evolución reversible II intercambiando con el ambiente 1000 kcal en forma de trabajo, aumentando su presión a volumen constante y luego disminuyendo su volumen a presión constante. Entonces se puede afirmar que en la evolución II, el sistema:

- a- recibe más de 1000 kcal en forma de calor
- b- recibe 1000 kcal en forma de calor
- c - entrega menos de 1000 kcal en forma de calor
- d- recibe menos de 1000 kcal en forma de calor
- e- entrega más de 1000 kcal en forma de calor
- f- entrega 1000 kcal en forma de calor

**SOLUCIÓN:** De acuerdo a lo que dice el enunciado, hago el dibujito del ciclo. Las evoluciones I y II parecen ser una cosa así:



Planteo el 1er principio para todo el ciclo :

$$Q_{\text{ciclo}} = \Delta U_{\text{ciclo}} + L_{\text{ciclo}}$$

$$\Rightarrow Q_{\text{ciclo}} = 0 + L_{\text{ciclo}}$$

El calor total en todo el ciclo es  $Q_{AB} + Q_{BA}$ . El trabajo total en todo el ciclo es  $L_{AB} + L_{BA}$ . Me queda:

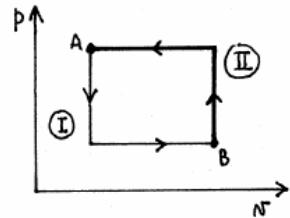
$$Q_{AB} + Q_{BA} = L_{AB} + L_{BA}$$

Me dan  $Q_{AB}$  y  $L_{BA}$ . Ojo  $Q_{AB}$  es negativo porque es calor ENTREGADO.  $L_{BA}$  también es negativo porque lo veo en el ciclo. ( La evolución BA va así  $\leftarrow$  ). Entonces :

$$Q_{AB} = -1.000 \text{ Kcal} \quad \text{y} \quad L_{BA} = -1000 \text{ Kcal}$$

Me queda :

$$\begin{aligned} -1000 \text{ Kcal} + Q_{BA} &= L_{AB} - 1000 \text{ Kcal} \\ Q_{AB} & \quad \quad \quad L_{BA} \\ \Rightarrow Q_{BA} &= L_{AB} \end{aligned}$$



No sé cuánto vale  $Q_{BA}$  ni  $L_{AB}$ . Pero pensemos. Sé que  $L_{AB}$  es positivo porque en el dibujo el área va de izquierda a derecha. ( Así  $\rightarrow$  ). También sé que  $|L_{AB}| < |L_{BA}|$  porque lo veo en el dibujo. Lo pongo en módulo porque  $L_{AB}$  es positivo y  $L_{BA}$  es negativo. Entonces:

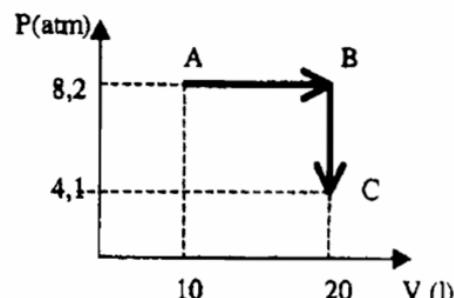
$L_{AB}$  es positivo y menor a 1000 Kcal. Como  $Q_{BA} = L_{AB}$  y  $L_{AB}$  es positivo, quiere decir que  $Q_{BA}$  es positivo y menor a 1000 kcal.

Entonces  $Q_{BA}$  es positivo, quiere decir que es calor RECIBIDO. Aparte  $Q_{BA}$  es menor a 1.000 kcal.

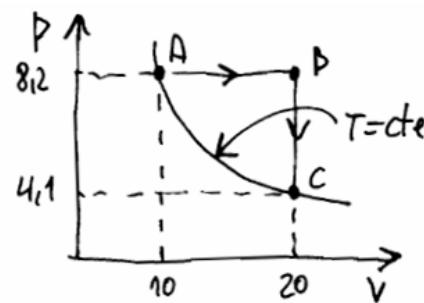
Correcta la d), Recibe menos de 1.000 kcal en forma de calor

7 – Considere la transformación ABC de un mol de gas ideal indicada en el diagrama P-V. ¿ Cuál es la afirmación correcta referida a este gas y a esta transformación ?

- Disminuye su energía interna de A a B y la aumenta de B a C
- Disminuye su energía interna
- Aumenta su energía interna
- Recibe trabajo y entrega calor
- Entrega una cantidad de trabajo mayor al calor que absorbe
- Entrega una cantidad de trabajo igual al calor que absorbe



Fixate que los puntos A y C están justo sobre una isoterma. Me doy cuenta de esto porque:



$$P_A \cdot V_A = 8,2 \text{ atm} \times 10 \text{ l} = 82 \text{ l.atm}$$

$$P_B \cdot V_B = 4,1 \text{ atm} \times 20 \text{ l} = 82 \text{ l.atm}$$

Quiero decir que los puntos A y C están a la misma temperatura. Entonces:

$$\boxed{\Delta U_{AC} = 0} \quad (\text{Porque } T_A = T_C)$$

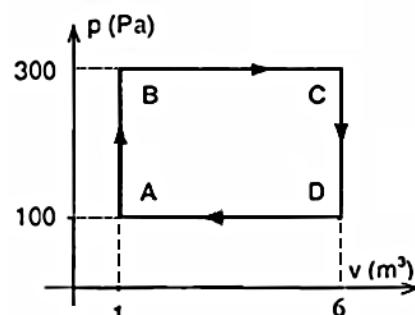
Planteando el primer principio entre los puntos A y C:

$$\mathcal{Q}_{AC} = \cancel{\Delta U_{AC}} + L_{AC}$$

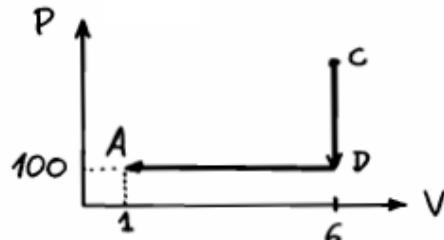
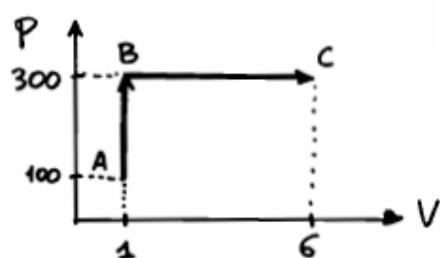
$$\Rightarrow \mathcal{Q}_{AC} = L_{AC}$$

Conclusión: Correcta la última opción. La evolución ABC entrega una cantidad de trabajo = a la que absorbe.

- 8 - Un gas realiza un proceso cíclico como el que se indica en la figura, y durante la evolución ABC absorbe una cantidad de calor de 5000 Joules. ¿Qué cantidad de calor cede el gas en la evolución CDA ?



Voy a trabajar por separado con las evoluciones ABC y CDA



$$\omega_{ABC} = \underbrace{\omega_{AB}}_0 + \underbrace{\omega_{BC}}_{\text{área}}$$

$$\omega_{BC} = \frac{1}{5} \times 300 = 5 \cdot 300$$

$$\Rightarrow W_{ABC} = 1.500 \text{ Joules}$$

El enunciado dice que  $Q_{ABC} = 5.000 \text{ J}$

$$Q_{ABC} = \Delta U_{ABC} + W_{ABC}$$

$$\Rightarrow 5.000 \text{ J} = \Delta U_{ABC} + 1.500 \text{ J}$$

$$\Rightarrow \Delta U_{ABC} = + 3.500 \text{ Joules}$$

$$\Delta U_{CDA} = - \Delta U_{ABC}$$

$$\Delta U_{CDA} = - 3.500 \text{ J}$$

$$\omega_{CDA} = \underbrace{\omega_{CD}}_0 + \underbrace{\omega_{DA}}_{\text{área}(-)}$$

A la  $\Delta U$  no le importa el camino seguido

$$\omega_{DA} = \frac{1}{5} \times 100 = -5 \cdot 100$$

$$\omega_{DA} = - 500 \text{ J}$$

$$\omega_{CDA} = 0 + - 500 \text{ J}$$

$$\omega_{CDA} = - 500 \text{ J}$$

Ahora, en la evolución CDA :

$$Q_{CDA} = \Delta U_{CDA} + W_{CDA}$$

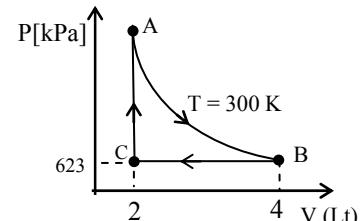
$$\Rightarrow Q_{CDA} = - 3.500 \text{ J} + (- 500 \text{ J})$$

$$\Rightarrow Q_{CDA} = - 4.000 \text{ Joules}$$

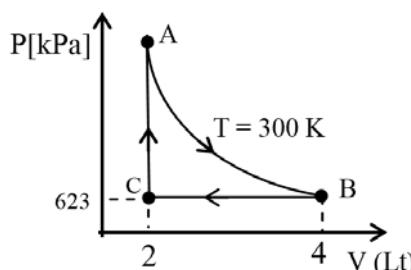
CANTIDAD DE CALOR  
QUE CEDE EL GAS EN  
LA EVOLUCIÓN CDA

9) La figura muestra la relación P-V de un ciclo ABCA de una máquina cíclica que trabaja transformando 1 mol de un gas ideal monoatómico

- Calcular la variación de energía interna entre A y C.
- Calcular el trabajo realizado en todo el ciclo A-B-C-A, indicando si es trabajo recibido o entregado.



Piden calcular la variación de energía interna entre A y C. (Ojo, entre A y C, no en todo el ciclo). Veamos:  $\Delta U_{AC} = \Delta U_{AB} + \Delta U_{BC}$ . Entre A y B tengo una isotérmica. No hay variación de energía interna porque no cambia la temperatura. (Ver cuadro salvador). Quiere decir que  $\Delta U_{AC} = \Delta U_{BC}$ . Entre B y C tengo una isobárica. Tengo que calcular la variación de energía interna en esa isobárica.



Para calcular  $\Delta U_{BC}$  tengo que hacer la cuenta:  $\Delta U_{BC} = C_V n (T_C - T_B)$ .  $T_B$  la tengo, es la misma que  $T_A$ . Vale 300 Kelvin. Tengo que hallar  $T_C$ .

La podemos calcular con la ecuación de los gases ideales:

$$P_C V_C = n R T_C \Rightarrow T_C = \frac{P_C V_C}{n \cdot R}$$

$$\Rightarrow T_C = \frac{623 \text{ KPa} \cdot 2 \text{ litros}}{1 \text{ mol} \cdot 0,082 \text{ litro.atm / K mol}}$$

623 Kilopascales son  $623.000 / 101.300 = 6,15$  atmósferas. La cuenta me da :

$$T_C = 150 \text{ Kelvin}$$

Para calcular la variación de energía interna necesito el  $C_V$  del gas. No lo dan. Pero como aclaran que es un gas monoatómico puedo usar la fórmula que dice  $C_V = 3/2 R$ .

Entonces,  $\Delta U_{AC}$  vale :

$$\Delta U_{AC} = C_V n (T_C - T_B)$$

$$\Delta U_{AC} = 3/2 \cdot 0,082 \text{ Lt.atm / K.mol} \cdot 1 \text{ mol} (150 \text{ K} - 300 \text{ K})$$

$$\underline{\Delta U_{AC} = -18,45 \text{ litro-atmósfera}}$$

b) Piden calcular el trabajo en todo el ciclo. Tengo que ir calculando evolución por evolución. Despues hago:

$$L_{ABC} = L_{AB} + L_{BC} + L_{CA}$$

Calculo el trabajo entre A y B. Entre A y B tengo una isotérmica. Mirando el cuadro salvador veo que la fórmula para calcular el trabajo es:

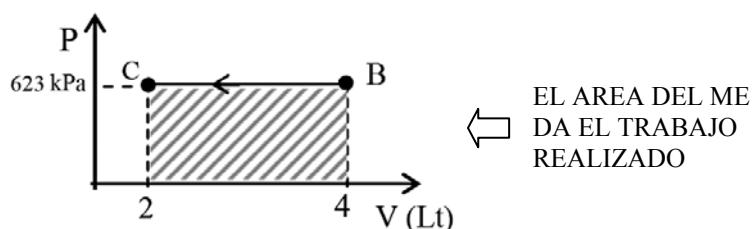
$$L_{AB} = n R T \ln \frac{V_f}{V_i} \quad \leftarrow \text{TRABAJO EN UNA EVOLUCIÓN ISOTÉRMICA}$$

Hago las cuentas:

$$\Rightarrow L_{AB} = 1 \text{ mol} \times 0,082 \frac{\text{Lt} \cdot \text{At}}{\text{K mol}} \cdot 300 \text{ K} \cdot \ln \left( \frac{4 \text{ Lt}}{2 \text{ Lt}} \right)$$

$$\Rightarrow L_{AB} = 17,05 \text{ Lt-At}$$

Calculo  $L_{BC}$ . De B a C tengo una evolución isobárica. El trabajo es directamente el área debajo de la recta. (Ojo, tiene que dar negativo porque estoy yendo así :  $\leftarrow$  ).



$$L_{BC} = \text{Area} = b \times h = (2 \text{ Lt} - 4 \text{ Lt}) \times 623 \text{ Kpa}$$

$$\Rightarrow L_{BC} = (-2 Lt) \times 623 \text{ Kpa} = (-2 Lt) \times 6,15 \text{ Atm}$$

$$\Rightarrow L_{BC} = -12,3 \text{ Lt-Atm}$$

El trabajo de C a A es CERO porque es una evolución a volumen constante. No hay trabajo realizado. Entonces me queda:

$$L_{ABC A} = L_{AB} + L_{BC} + 0$$

Entonces sumo  $17,05 \text{ L-at} + (-12,30 \text{ Lt-at})$

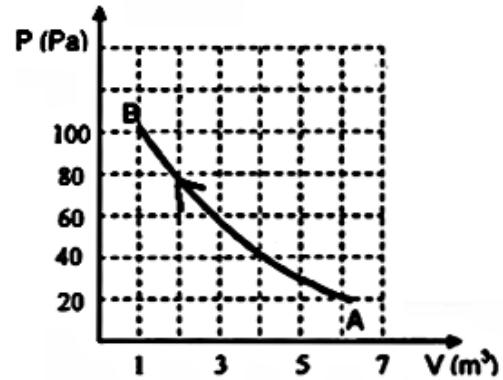
$$\Rightarrow L_{ABC A} = 4,75 \text{ Lt-Atm} \leftarrow \text{Trabajo realizado}$$

El trabajo dio POSITIVO. Según la convención signos es trabajo realizado por el sistema.

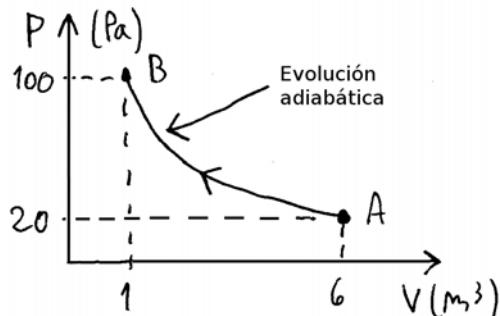
10 - Un sistema realiza una evolución adiabática reversible entre los estados A y B, como lo muestra el digrama presión-volumen de la figura.

Para esa evolución, la energía interna del sistema:

- disminuye en más que 500 J
- disminuye en menos que 300 J
- aumenta en menos que 300 J
- aumenta en más que 500 J
- disminuye entre 300 J y 500 J
- aumenta entre 300 J y 500 J



Dicen que hay un gas que hace una evolución adiabática yendo del punto A al punto B. Dan el gráfico. Acá está :



Preguntan cuánto vale la variación de energía interna en esa evolución. La variación de energía interna se calcula como  $\Delta U = C_V m. (T_F - T_O)$ . En este caso no tengo  $C_V$ , no tengo la masa, no tengo las temperaturas, no tengo nada... Bueno, planteo la ecuación del 1er principio a ver si puedo sacar algo de ahí :

$$Q_{AB} = \Delta U_{AB} + L_{AB}$$

Sé que  $Q$  vale cero porque la evolución es adiabática, pero no conozco el trabajo  $L$ . No hay fórmula para calcular el trabajo en una adiabática. O sea, sí, se puede plantear que  $L = -\Delta U$ , pero  $\Delta U$  es lo que estoy buscando. Que problema... Probemos calcular las temperaturas de los puntos A y B. Planteo la ecuación de los gases ideales :

$$\frac{P_A N_A}{T_A} = \frac{P_B N_B}{T_B} \Rightarrow \frac{20 \text{ Pa. } 6 \text{ m}^3}{T_A} = \frac{100 \text{ Pa. } 1 \text{ m}^3}{T_B}$$

Me queda :

$$\Rightarrow 120 T_B = 100 T_A \Rightarrow T_A = 1,2 T_B$$

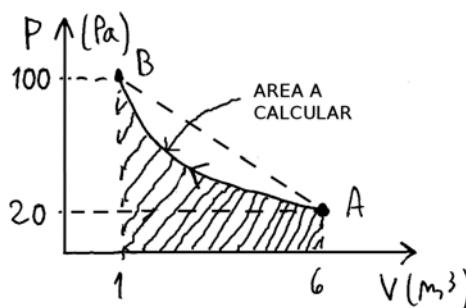
Si  $T_B$  fuera 100 Kelvin  $T_A$  sería 120 Kelvin. No puedo sacar las temperaturas de A y de B pero sé que al ir de A a B la temperatura disminuye. Podría decir que :

$$T_A > T_B \Rightarrow U_A > U_B$$

$\Rightarrow$  La Energía interna  $U$  DISMINUYE

Sé que la energía interna disminuye pero no puedo calcular su valor. Hay 3 respuestas posibles. Que problema...

A ver, tengo una idea : No hay fórmula para calcular el trabajo realizado en una evolución adiabática, pero el trabajo  $L$  siempre es el área bajo la curva. Quiere decir que si puedo calcular el área bajo la curva, puedo calcular el trabajo. ( y también podría calcular  $\Delta U$  porque  $\Delta U = -L$  ). Veamos. Acá te marco el área que tengo que calcular. Ahora trazo una línea punteada entre A y B. Fijate :



No puedo calcular el área verdadera, pero puedo calcular el área 1-6-A-B. Si calculo el área 1-6-A-B estoy hallando un valor un poco más grande que el verdadero. No es el valor real pero por lo menos tengo una idea de lo que tiene que dar.

Lo hago. Es el área de un triángulo + el área de un rectángulo. Me queda esto :

$$L \approx \text{Area } \Delta + \text{Area } \square$$

$$\text{Area } \Delta = \frac{b \cdot h}{2} = \frac{5 \text{ m}^3 \times 80 \text{ Pa}}{2} = 200 \text{ Joules (Negativo)}$$

$$\text{Area } \square = b \cdot h = 5 \text{ m}^3 \times 20 \text{ Pa} = 100 \text{ Joules (Negativo)}$$

Ojo, las 2 áreas son negativas porque voy de derecha a izquierda. ( Así :  $\leftarrow$  ). El área total va a ser la suma de las áreas. Entonces :

$$\text{Área}_{\text{total}} = -200 \text{ J} - 100 \text{ J} = -\underline{\underline{300 \text{ Joules}}}$$

$$L_{\text{TOTAL}} = -\underline{\underline{300 \text{ Joules}}}$$

El verdadero trabajo total tiene que ser MENOR que ( - 300 Joules ). Por ejemplo, -280 Joules, -260 Joules, etc. Ahora, en una adiabática  $Q = 0$ ,  $\rightarrow \Delta U = -L$

$$\rightarrow \Delta U = -(-300 \text{ Joules})$$

$$\rightarrow \Delta U = 300 \text{ Joules}$$

Este  $\Delta U$  es aproximado. El verdadero  $\Delta U$  tiene que dar MENOR que 300 Joules. Por ejemplo, el verdadero  $\Delta U$  podría ser 280 Joules, 260 Joules, etc. Quiere decir que la respuesta correcta sería la 3ra :

ΔU aumenta menos que 300 Joules

$\leftarrow$  Correcta la 3<sup>ra</sup>

Hasta acá todo muy lindo... pero... No tan lindo. Yo hice dos razonamientos: en el primero usé la ecuación de los gases ideales para calcular las temperaturas. Llegué a la conclusión de que la temperatura del punto B era menor que la del punto A, por lo tanto, la energía interna disminuía. En el 2<sup>do</sup> razonamiento calculé el área en forma aproximada. Esa área me dió negativa porque la evolución va así:  $\leftarrow$ . Al ser el área negativa, el trabajo es negativo. Esto significa que Delta U es POSITIVA. Esto quiere decir que la energía interna AUMENTA. No sé cuánto, pero aumenta. Entonces con los dos razonamientos llego a resultados diferentes. Algo anda mal...

Explicación: Los datos del enunciado están mal. Ellos dicen que la evolución que dan es adiabática, pero con los valores que están en el gráfico la evolución no puede ser una adiabática. ¿ Por qué ?

Rta: En la evolución que dan el gas pasa de un volumen de  $6 \text{ m}^3$  a un volumen de  $1 \text{ m}^3$ . Se está comprimiendo. Eso significa que la temperatura tendría que aumentar. Pero si uno hace las cuentas, da que la temperatura disminuye. Quiere decir que los valores del gráfico están mal. Los pusieron al tun-tun.

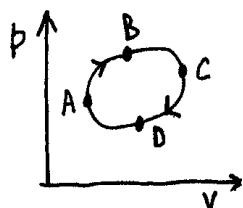
Conclusión: Bienvenido a Biofísica

# SEGUNDO PRINCIPIO DE LA TERMODINÁMICA

INCLUYE  
PROBLEMAS  
TOMADOS EN  
PARCIALES

- POR ANÍBAL -

- \* ENUNCIADO DEL 2<sup>do</sup> PRINCIPIO
- \* ENTROPÍA
- \* FORMULAS PARA CALCULAR ENTROPÍAS
- \* VARIACIÓN DE ENTROPÍA EN UN CICLO
- \* VARIACIÓN DE ENTROPÍA DEL UNIVERSO
- \* EVOLUCIÓN REVERSIBLE



$$\Delta S_{CICLO} = 0$$

ENTROPÍA : GRADO DE  
DESORDEN DE UN SISTEMA

$$\Delta S_{UNIV} = SIEMPRE \oplus (r \neq 0)$$

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

MAYOR  
O IGUAL

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

← SOLO VALE PARA  
EVOLUCIÓN REVERSIBLE

## SEGUNDO PRINCIPIO DE LA TERMODINAMICA



El tema de 2<sup>do</sup> principio es complicado. Hay formulas difíciles, hay conceptos poco intuitivos, hay cosas sacadas de la galera... No hay libro como la gente de donde uno pueda estudiar. Los libros que hay son todos para las carreras de física y de ingeniería. Están llenos de integrales y no se entienden nada... No le podés preguntar a tu papá ni a tu tío ingeniero porque no se lo van a acordar.

Se lo pregunto a mi primo que cursó el año pasado.

Rta: Negativo. No se va a acordar. O te va a decir que era un tema medio inentendible. Es que es así. 2<sup>do</sup> principio de la termodinámica es difícil.

Los profesores particulares patinan en este tema. Incluso a veces los propios docentes de la facultad patinan con 2do Principio.

A parte de todo esto, como si fuera poco, las fórmulas son feas y hay millones de trucos para resolver los problemas. ( Bienvenido a biofísica ).

Conclusión: Yo voy a tratar de explicarte un poco como es el asunto. No es la idea que entiendas perfectamente este tema. Nadie entiende del todo bien el 2<sup>do</sup> principio de la termodinámica. Ni siquiera ellos. Yo voy a mostrarte los principales conceptos que hay. Quiero que veas las principales fórmulas que hay. La idea es que puedas aprender a usar estas fórmulas para poder resolver los problemas que te tomen en el parcial. Hechas estas aclaraciones, empiezo.

### ENTROPIA (S) (Atento)

Ellos definen una función que llaman entropía. La ponen con la letra S. No sé de dónde viene el nombre entropía. Me parece que es inventado. ( Podrían haberle puesto Piruchi ). Generalmente no hay que calcular S, si no, DELTA ESE (ΔS). Entonces:

$$\Delta S \leftarrow \text{VARIACIÓN DE ENTROPIA}$$

(se lee delta ese)

### UNIDADES DE LA ENTROPIA

La entropía tiene unidades de calor dividido por unidades de temperatura ( [ Q ] / [ T ] ). El calor va en Kilocalorías o Joules. La temperatura va siempre en Kelvin. Así que las unidades de s van a ser Joule / Kelvin o Kcal / Kelvin

$$[S] = \frac{\text{Joule}}{\text{Kelvin}} \text{ o } \frac{\text{Kilocal}}{\text{Kelvin}} \quad \leftarrow \text{Unidades de la entropía.}$$

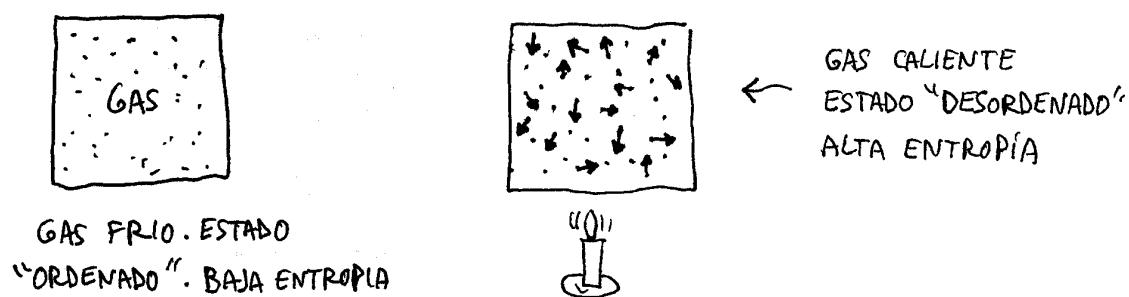
### ¿QUÉ ES LA ENTROPIA?

La entropía vendría a ser el grado de desorden de un sistema. Ellos dicen que cuando un sistema se desordena, aumenta su entropía.

¿Qué significa decir que un sistema "se desordene"?

Rta: Bueno, a grandes rasgos, el concepto de desorden que ellos usan acá en física es parecido al que vos usás en la vida diaria. Si en tu habitación 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.

En el 90 % de los problemas el sistema va a ser un gas. Para un gas:



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 van a empezar a mover más rápido. Van a golpear unas contra otras en forma caótica. Se dice que al calentar el gas se aumenta el caos. El gas "se desordena". Su entropía aumenta. Resumiendo:

ENTROPIA: ES EL GRADO DE DESORDEN DE UN SISTEMA

Una de las maneras de cambiar la entropía de un sistema es calentarlo. (Calentarlo o enfriarlo). Al calentar algo, estoy aumentando su entropía. Al enfriar algo, estoy disminuyendo su entropía. Ahora ojo, calentar o enfriar no son las únicas maneras de cambiar la entropía de un sistema. Ejemplo: Agarro una pila de monedas y la pongo toda ordenadita.



Ahora empujo la pila. Todas las monedas se caen. El sistema se desordena. Su entropía aumenta. Lo que quiero que veas en este ejemplo es que la entropía del sistema aumentó porque aumentó el desorden.

¿Hubo calor entregado?

Rta: No, no hubo calor entregado.

Esto es importante. La entropía del sistema aumentó y no hubo calor entregado. O sea, para aumentar la entropía de un sistema no necesariamente hay que entregarle calor. Para aumentar la entropía de un sistema hay que desordenarlo.

## SISTEMA Y MEDIO

Ellos te van a pedir que calcules la entropía del sistema, la del medio o la del Universo. Veamos qué es cada cosa: Sistema va a ser el cuerpo que uno está considerando. En la mayoría de los casos va a ser un gas dentro de un cilindro. El medio va a ser todo lo que rodea al sistema.



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

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

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.

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

VER

## FORMULAS PARA CALCULAR VARIACIONES DE ENTROPÍA

Estas fórmulas que pongo ahora sirven para calcular variaciones de entropía. Uno puede calcular la variación de entropía de cualquier cosa. Puede ser una piedra, una máquina, un avión, una flor, un pájaro, una célula o un ser humano. En la mayoría de los casos, vos siempre vas a tener que calcular variaciones de entropía para los siguientes casos :

1 - Un cuerpo al que se le entrega calor pero mantiene su temperatura constante. Esto sucede principalmente cuando un cuerpo cambia de estado. (O sea, se congela o se derrite). Por ejemplo, podría ser hielo a  $0^{\circ}\text{C}$  que se derrite o agua a  $0^{\circ}\text{C}$  que se congela. También podría ser vapor a  $100^{\circ}\text{C}$  que se condensa o agua a  $100^{\circ}\text{C}$  que se está transformando en vapor.

2 - Un cuerpo sólido o líquido que se calienta o que se enfriá. Por ejemplo, podría ser agua que se calienta de  $20^{\circ}\text{C}$  a  $80^{\circ}\text{C}$ . También podría ser agua que se enfriá de  $60^{\circ}\text{C}$  a  $40^{\circ}\text{C}$ . También podría ser un hierro que se calienta de  $200^{\circ}\text{C}$  a  $800^{\circ}\text{C}$ .

3 - Gases ideales encerrados en cilindros que cambian su presión, su volumen o su temperatura. Son gases que tienen una evolución. Esta evolución puede ser a  $p = \text{cte}$ , a  $v = \text{cte}$ , a  $T = \text{cte}$  o a  $Q = \text{Cte}$ . Cada evolución tiene su fórmula. La isobárica tiene su fórmula, la isocórica tiene su fórmula, la isotérmica tiene su fórmula y la adiabática tiene su fórmula.

Estas fórmulas salen de resolver unas integrales choclazas. Me limito a ponerte

las fórmulas sin explicarte de dónde salen. Son las fórmulas que están después en el cuadro salvador. Vamos a la primera de las fórmulas:

### VARIACION DE ENTROPIA PARA UN CUERPO QUE ESTÁ A T CONSTANTE

Tengo un cuerpo que está a temperatura T. Supongamos que ese cuerpo recibe una cierta cantidad de calor. Si al recibir el calor el cuerpo mantiene su temperatura constante, entonces la variación de entropía se calcula con esta fórmula:

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

VARIACIÓN DE ENTROPIA PARA UN CUERPO AL QUE SE LE ENTREGA CALOR PERO MANTIENE SU TEMPERATURA CONSTANTE.

Esto es una definición. En esta fórmula Q es el calor entregado al cuerpo o cedido por el cuerpo al ambiente. T es la temperatura en Kelvin. Entonces :

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

CALOR ENTREGADO o RECIBIDO  
PUEDE SER  $\oplus$  o  $\ominus$ .  
TEMPERATURA A LA QUE PUEDE ENTREGADO  
EL CALOR. VA EN KELVIN. DEBE SER cte.

Atención, esta fórmula sólo se puede usar si el cuerpo mantiene constante su temperatura mientras recibe el calor o mientras entrega calor. El calor Q puede ser recibido por el cuerpo o entregado por el cuerpo.

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

- \* La gente suele decir: Voy a calcular la entropía. En realidad lo que uno está calculando no es S, es delta S. La fórmula  $\Delta S = Q / T$  no da S, da  $\Delta S$ .
- \* En esta fórmula al calor Q hay que ponerlo con su signo. El signo es positivo si el cuerpo recibe calor. El signo es negativo si el cuerpo cede calor al ambiente.
- \* La fórmula  $\Delta S = Q / T$  se puede usar solamente SI LA TEMPERATURA DEL CUERPO QUE RECIBE EL CALOR ES CONSTANTE. La fórmula no se puede usar si la temperatura del cuerpo va cambiando mientras el cuerpo recibe el calor. (ojo)

Hay 2 casos típicos en dónde se usa la ecuación  $\Delta S = Q / T$ :

1er caso - Cuando uno tiene hielo que se derrite o agua que se congela. Ahí la temperatura se mantiene constante en  $0^\circ\text{C}$  (273 K). También se puede usar si uno tiene agua que se está evaporando o vapor que se está condensando. Ahí la temperatura también se mantiene constante pero en  $100^\circ\text{C}$  (373 K).

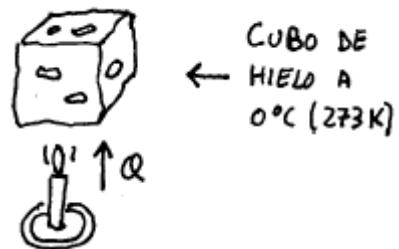
2do caso - La fórmula  $\Delta S = Q / T$  también se usa cuando el objeto que recibe calor o cede calor es la fuente de calor de una máquina térmica. Se supone que la fuente de una máquina térmica es algo muy grande. ( Por ejemplo, la atmósfera, el planeta Tierra, un lago o el océano ). Así que se supone que la temperatura de la fuente no va a cambiar si entrega calor o recibe calor.

Después cuando veamos máquinas térmicas te voy a explicar un poco mejor lo que es la fuente de calor de una máquina térmica.

NOTA: En 2<sup>do</sup> Principio todo es "después". Lo vemos después, lo aclaro después, lo explico después ... La cosa es que al final "después" no llega nunca...  
( Bienvenido a Biofísica ).

### EJEMPLO

SE TIENE UN CUBO DE HIELO A 0 °C  
SE LE ENTREGAN 1.000 KILOCALORIAS DE  
MANERA QUE SE DERRITE UNA PARTE.  
CALCULAR LA VARIACION DE ENTROPIA  
DEL HIELO AL RECIBIR ESE CALOR.



Rta: La temperatura del hielo se mantiene constante durante la fusión. Puedo usar la fórmula  $\Delta S = Q / T$ . La cantidad de calor de 1.000 Kilocalorías es positiva porque el cuerpo recibe calor. ( Q que entra es positivo, Q que sale es negativo ).  
Entonces :

$$\Delta S_{\text{HIELO}} = \frac{Q}{T} = \frac{+1.000 \text{ Kcal}}{273 \text{ K}}$$

$$\Delta S_{\text{HIELO}} = +3,66 \frac{\text{Kcal}}{\text{K}}$$

Por otra parte, el medio es el que cedió esas 1.000 Kcal. La variación de entropía del medio es negativa. El medio entregó calor.

### VARIACION DE ENTROPIA PARA AGUA QUE SE CALIENTA O AGUA QUE SE ENFRIA, O UN METAL QUE SE CALIENTA O UN METAL QUE SE ENFRIA

La ecuación que pongo ahora se usa cuando uno quiere calcular la variación de entropía para agua líquida que cambia su temperatura a presión cte desde una temperatura  $T_0$  hasta una temperatura  $T_{\text{FINAL}}$ . También se puede usar cuando un metal se calienta o se enfria. La deducción de esta ecuación es media complicada.

Sale de resolver una integral. La fórmula es :

$$\Delta S = C_{\text{CUERPO}} m \ln \frac{T_f}{T_0}$$

En esta fórmula  $\Delta S$  es la variación de entropía.  $C_{CUERPO}$  es el calor específico de la substancia que tengo. Si es agua, será el calor específico del agua. Si es aluminio, será el calor específico del aluminio.  $T_0$  y  $T_{FINAL}$  son las temperaturas inicial y final del cuerpo. Ojo, estas temperaturas van en Kelvin. Donde dice  $m$  puede ser  $m$  (masa) o  $n$  (Nro de moles). Eso depende de en qué unidades te den el calor específico del cuerpo.

Vamos a un 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. El  $C$  del agua es 1.000 Cal / gr °C. Planteo:

$$\Delta S = C_{H_2O} m \ln \frac{T_F}{T_0}$$

$$\rightarrow \Delta S = 1 \frac{\text{Cal}}{\text{gr K}} 2.000 \text{ gr} \times \ln \frac{373 \text{ K}}{293 \text{ K}}$$

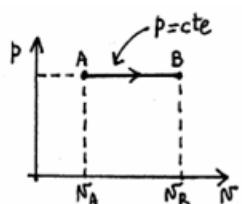
Para calcular el logaritmo natural primero tenés que hacer 373 dividido 293. Y al número que te da le sacás el logaritmo. Me queda:

$$\Delta S = 2.000 \frac{\text{Cal}}{\text{K}} \times \ln 1,273$$

$$\Delta S = + 482,8 \frac{\text{Cal}}{\text{Kelvin}}$$

### VARIACION DE ENTROPIA PARA UNA EVOLUCIÓN ISOBÁRICA (p = cte)

La fórmula que pongo ahora se usa cuando uno quiere calcular la variación de entropía para un cuerpo que cambia su temperatura a presión cte desde una temperatura  $T_0$  hasta una temperatura  $T_{FINAL}$ . La deducción de esta ecuación es media complicada. Sale de resolver una integral. La fórmula es:



$$\Delta S = C_p m \ln \frac{T_F}{T_0}$$

VARIACIÓN DE ENTROPIA  
PARA UNA EVOLUCIÓN  
ISOBÁRICA (p = cte)

En esta fórmula  $\Delta S$  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, estas  $T$  van en Kelvin. Donde dice  $m$  puede ser  $m$  (masa) o  $n$  (Nro de moles). Eso depende de en qué unidades te den el calor específico del gas. Vamos a un ejemplo:

SE CALIENTAN 2 MOLES DE UN GAS MONOATÓMICO DE 20 °C A 100 °C MANTENIENDO CONSTANTE LA PRESIÓN. CALCULAR LA VARIACIÓN DE ENTROPIA DEL GAS.  $C_p = 5/2 R$

Rta: es una evolución a presión constante. El  $C_p$  del gas me lo dan. Planteo:

$$\Delta S = C_p m \ln \frac{T_f}{T_0}$$

La constante de los gases vale  $R = 0,082 \frac{\text{J.atm}}{\text{K.mol}}$

Me queda:

$$C_p = 5/2 R = 2,5 \times 0,082 \text{ litro.atm/K.mol}$$

$$C_p = 0,205 \text{ litro.atm/K.mol}$$

$$\rightarrow \Delta S = 0,205 \frac{\text{Lt.atm}}{\text{K.mol}} 2 \text{ moles} \times \ln \frac{373 \text{ K}}{293 \text{ K}}$$

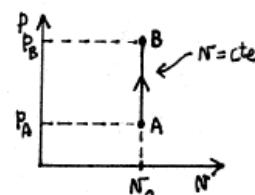
$$\Delta S = +0,1 \frac{\text{Lt.atm}}{\text{Kelvin}}$$

$$\Delta S = +10 \text{ Joule/Kelvin}$$

### VARIACION DE ENTROPIA PARA UNA EVOLUCIÓN A ISOCÓRICA (V = Cte)

La fórmula es:

VARIACIÓN DE ENTROPIA  
PARA UNA EVOLUCIÓN  $\Rightarrow \Delta S = C_V m \ln \frac{T_f}{T_0}$   
ISOCÓRICA ( $N = \text{cte}$ )



Ejemplo: SE PONEN 2 MOLES DE UN GAS MONOATÓMICO DENTRO DE UN CILINDRO RÍGIDO. SE CALIENTA EL GAS DESDE  $P_0 = 1 \text{ Atm}$  HASTA  $P_f = 5 \text{ Atm}$ . CALCULAR LA VARIACIÓN DE ENTROPIA.

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

$$\Delta S = C_V m \ln \frac{T_f}{T_0}$$

No tengo las temperaturas. Tengo las presiones. Pero no importa, puedo usar la ecuación de estado de los gases ideales.

$$\frac{P_0 N_0}{T_0} = \frac{P_f N_f}{T_f} \quad \leftarrow \text{ECUACIÓN DE LOS GASES IDEALES}$$

El volumen es constante. Entonces:

$$\text{Si } N = \text{cte} \Rightarrow \frac{P_0}{T_0} = \frac{P_f}{T_f} \Rightarrow \frac{P_f}{P_0} = \frac{T_f}{T_0}$$

Tenés en cuenta este truco de la ecuación de los gases ideales porque se usa mucho en 2do principio. El truco se puede usar también para las evoluciones a  $P = \text{cte}$  y a  $T = \text{cte}$ . Y también se puede usar en los problemas de 1er Principio.

La variación de entropía en una evolución isocórica en función de las presiones me queda:

$$\Delta S = C_V m \ln \frac{P_F}{P_0}$$

Como me dan un gas monoatómico, puedo poner que  $C_V = 3/2 R$ . Entonces:

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

$$\Delta S = 0,39 \frac{\text{Litro} \cdot \text{Atm}}{\text{K}} = 39,5 \frac{\text{Joule}}{\text{K}}$$

### EL TRUCO IMPORTANTE (Replay)

Aclaremos bien el truco que usé recién: Siempre en todo este tema de 2do Principio vale la ecuación de los gases ideales:

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

Quiere decir que:

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

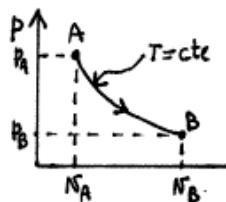
$$\text{Si } N = \text{cte} \Rightarrow \frac{P_0}{T_0} = \frac{P_F}{T_F} \Rightarrow \frac{P_F}{P_0} = \frac{T_F}{T_0} \quad \leftarrow \boxed{\text{VER ESTO}}$$

$$\text{Si } T \text{ es cte: } \rightarrow P_0 N_0 = P_F N_F \rightarrow \frac{N_F}{N_0} = \frac{P_0}{P_F}$$

Entonces, en la parte del logaritmo de las fórmulas se puede reemplazar  $V_F / V_0$  o  $P_F / P_0$  o  $T_F / T_0$ . Recordá esto cuando estás resolviendo problemas.

### VARIACION DE ENTROPIA PARA UNA EVOLUCIÓN ISOTERMICA (T = Cte)

La fórmula que pongo ahora te da la variación de entropía para un gas que pasa de un volumen  $V_0$  a un volumen  $V_F$  sin cambiar su temperatura. (Evolución isotérmica)



$$\Delta S_{\text{IsoT}} = M R \ln \frac{V_F}{V_0} \quad \leftarrow \text{VARIACION DE ENTROPIA PARA UNA ISOTERMICA}$$

Según el truco que te expliqué recién, al ser  $T = \text{cte}$  puedo considerar que:

$$P_0 N_0 = P_f N_f \rightarrow \frac{N_f}{N_0} = \frac{P_0}{P_f}$$

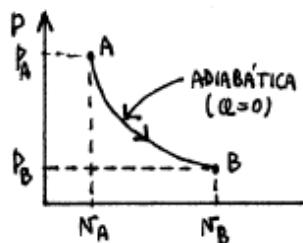
Entonces la variación de entropía para una isotérmica queda:

$$\Delta S_{\text{ISOT}} = M R \ln \frac{P_0}{P_f}$$

Atención, fíjate que al poner  $\Delta S_{\text{ISOT}}$  en función de las presiones, el último término no queda "final/inicial", queda al revés del pepino, "inicial/final".

### VARIACION DE ENTROPIA PARA UNA EVOLUCIÓN ADIABATICA

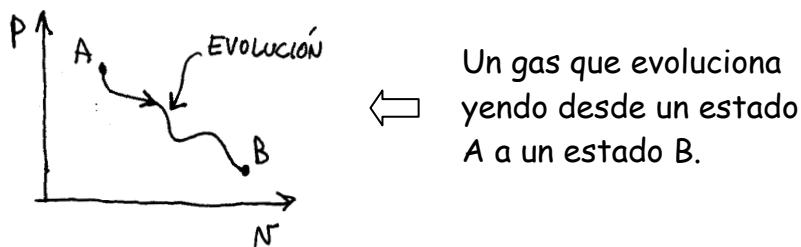
No hay fórmula para calcular la variación de entropía en una evolución adiabática. Lo único que se puede decir es que si la evolución adiabática es reversible, entonces  $\Delta S$  va a ser CERO. (Como siempre, después te explico esto de evolución reversible).



### LA ENTROPIA ES FUNCION DE ESTADO ← VER

La Entropía es una función de estado. Esto significa varias cosas. Por un lado significa que la variación de entropía no depende del camino que haya seguido la evolución. Delta  $S$  va a depender solamente de los estados inicial y final. Por otro lado, decir que la entropía es función de estado significa que la variación de entropía depende de dónde uno salió y a dónde uno llegó. Concretamente, la cuenta  $S_B - S_A$  da lo mismo siempre. No importa qué camino haya seguido la evolución.

Vamos a un ejemplo : Suponé un gas que evoluciona yendo desde un estado A a otro estado B.



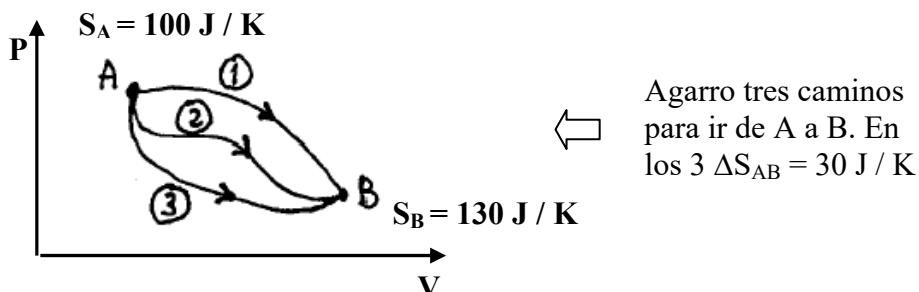
En la evolución AB la entropía depende solamente de dónde salió el gas y de a dónde llegó (Importante). Quiero decir esto: Supongamos que yo mido la entropía en el punto A y me da 100 Joules/Kelvin. Ahora mido la entropía en el punto B y me da 130 Joules/Kelvin.

Si el gas fue de A a B, ¿ Cuánto vale la variación de Entropía entre A y B ?

Rta: 30 Joules/Kelvin. ¿ Y de dónde salen estos 30 Joules/Kelvin ?

Rta: De hacer la cuenta  $S_B - S_A$ . (= 130 - 100 ).

Este resultado parece fácil de entender, pero en realidad no es tan fácil de entender. O sea, el gas fue de A a B, correcto. ¿ Pero cómo sé por qué camino fue ? Hagamos un dibujito :



Y acá está el truco. Como la entropía es función de estado, NO HACE FALTA SABER POR QUÉ CAMINO FUE EL GAS. Directamente  $\Delta S$  se calcula como  $S_B - S_A$  independientemente del camino seguido. Directamente hago la resta y chau.

Otra cosa importante es esta : La entropía es función de estado. Si en A vale 100 y en B vale 130,  $\Delta S_{AB}$  va a dar +30. Esto es cuando voy de A a B. Pero si voy de B a A, la cuenta que tengo que hacer es 100 - 130. Esta cuenta da -30. ( lo mismo pero negativo ). De acá podemos sacar una conclusión muy importante que es esta:

$$\Delta S_{A \text{ ir de } A \text{ a } B} = - \Delta S_{A \text{ ir de } B \text{ a } A}$$

O dicho de otra manera, la variación de entropía por el camino de ida es igual a MENOS la variación de entropía por el camino de vuelta.

Esto se puede poner así:

$\Delta S_{A \text{ ir Volver}} = - \Delta S_{A \text{ ir}}$

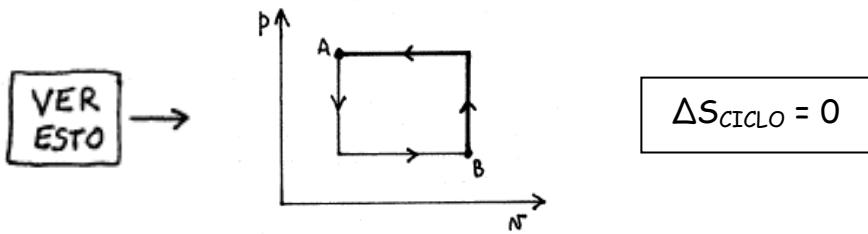
← VER

LA  $\Delta S$  EN UN CICLO ES CERO ← ESTO

La entropía es una cosa que sólo depende del estado inicial y del estado final. En un ciclo el estado inicial es el mismo que el estado final. Por lo tanto los 2 estados tienen la misma entropía. O sea, el tipo sale de A teniendo  $S_A$  y llega al estado A teniendo otra vez  $S_A$ .

Esto significa que la variación de entropía para un ciclo es cero. Entonces :

$$\Delta S_{CICLO} = S_A - S_A = 0$$

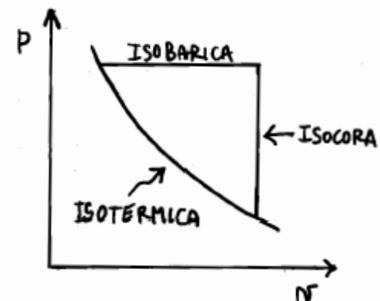


### RESUMEN POLENTA (= CUADRO PARA CALCULAR VARIACIONES DE ENTROPIA)

Va acá un cuadro salvador con todas las fórmulas para calcular variaciones de entropía para gases. Este cuadro ha salvado a muchos chicos en parciales y finales. Te recomiendo que lo tengas en tu hoja de fórmulas.

EVOLUCIÓN	$\Delta S =$
ISOBARICA ( $p = Cte$ )	$C_p n \ln \frac{V_F}{V_0} \quad (o \frac{T_F}{T_0})$
ISOCORICA ( $v = Cte$ )	$C_v n \ln \frac{P_F}{P_0} \quad (o \frac{T_F}{T_0})$
ISOTÉRMICA ( $T = Cte$ )	$n R \ln \frac{V_F}{V_0} \quad (o \frac{P_0}{P_F})$
ADIABÁTICA $Q = 0$	NO HAY FÓRMULA. CERO SI ES ADIABÁTICA REVERSIBLE
CICLO	CERO. (LA ENTROPIA ES FUNCIÓN DE ESTADO)

CUADRO SALVADOR  
PARA CALCULAR  
VARIACIONES DE  
ENTROPIA



### EVOLUCIÓN REVERSIBLE

Una evolución reversible es una evolución que ocurre en forma muy lenta y sin que se pierda energía por rozamiento. Lo importante es esto: cuando un sistema evoluciona en forma reversible, la entropía del Universo no cambia.

**EVOLUCIÓN REVERSIBLE :** Es una evolución hecha de manera hiperlenta, sin rozamiento y pasando por sucesivos estados de equilibrio. En una evolución reversible el calor pasa del sistema al medio sin que haya diferencia de temperatura. Como resultado de una evolución reversible, la entropía del Universo no cambia.

EVOLUCIÓN  
REVERSIBLE

Las evoluciones reversibles no existen en la realidad. Son un concepto teórico. En la naturaleza no hay evoluciones reversibles. Toda evolución que aparezca en la

realidad-real es irreversible. Cualquier evolución de la naturaleza que vos agarres, no se produce en forma hiper-lenta, ni sin rozamiento, ni con delta de temperatura = cero ni nada por el estilo.

Lo único que tenés que saber respecto de las evoluciones reversibles es esto: Cuando un sistema hace una evolución reversible, el universo no se desordena. En una evolución reversible no aumenta la entropía del Universo. El universo no cambia su entropía al ocurrir una evolución reversible.

En una evolución cualquiera, la entropía de un sistema puede disminuir o puede aumentar. ( Ojo, estoy hablando de la entropía del sistema, no de 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 ocurrió una evolución y la entropía del universo se mantiene constante, entonces la evolución que haya ocurrido tiene que haber sido una evolución reversible.

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

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

$$\Delta S_{\text{UNIV}} = \text{SIEMPRE} \oplus (r \text{ CERO}) \quad \leftarrow \Delta S_{\text{UNIV}} \geq 0 \quad \text{MAYOR} \quad \text{IGUAL}$$

Las evoluciones reversibles son algo teórico. No existen en la realidad. Toda evolución real de un sistema es irreversible.

Se la llama "reversible" porque una vez que la transformación se hizo, se la puede hacer para el otro lado y todo queda exactamente igual que como estaba al principio. Cuando digo "todo queda exactamente igual que como estaba al principio" me refiero al universo. El universo es el que vuelve a la misma situación de la que partió. Y este es justamente el truco. Las transformaciones reversibles tienen la propiedad de que al ocurrir, no modifican la entropía del universo. Para una transformación reversible la variación de entropía del universo es cero.

Ahora, ojo, la que es cero es LA DEL UNIVERSO. La del sistema y la del medio, no. ( O "no necesariamente", digamos ). El sistema y el medio pueden variar su entropía durante una evolución reversible.

Ahora fijate esto: Como  $\Delta S_{\text{UNIV}} = \Delta S_{\text{SIST}} + \Delta S_{\text{MEDIO}}$ , al ser cero el  $\Delta S_{\text{UNIV}}$  me

queda que  $\Delta S_{SIST} = -\Delta S_{MEDIO}$ . Entonces se podría decir también que una evolución es reversible cuando al ocurrir  $\Delta S_{SIST} = -\Delta S_{MEDIO}$ . O sea, en una evolución reversible el sistema se ordena y el medio se desordena. ( O viceversa ). Pero esto pasa de manera tal que el desorden de uno compensa al orden del otro.

Una vez más, aclaro, esto es totalmente teórico. Las transformaciones reversibles NO existen en la realidad.

### LA ENTROPIA DEL UNIVERSO SIEMPRE AUMENTA

Vamos a una idea importante: Las evoluciones reversibles no existen. Toda evolución real que se produzca es irreversible. Al ocurrir la evolución la entropía del Universo aumenta. Entonces, la conclusión que sacamos de esto es :

EN UN SISTEMA AISLADO LA ENTROPIA SOLO PUEDE AUMENTAR. NUNCA PUEDE DISMINUIR. A LO SUMO, LA ENTROPIA DE UN SISTEMA AISLADO PUEDE MANTENERSE CONSTANTE SI LAS EVOLUCIONES QUE OCURREN DENTRO DE ÉL SON REVERSIBLES.

← ESTO

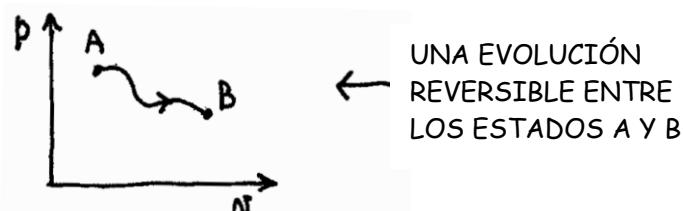
Esta frase está dicha para un sistema aislado, pero también vale para el universo. Vale para el Universo porque el Universo es justamente un sistema aislado.

Cuando digo "entropía" estoy diciendo "grado de desorden". De manera que la oración se puede poner así: El grado de desorden del universo siempre aumenta. El grado de desorden del universo puede llegar a mantenerse constante solamente en caso de que ocurra una evolución reversible.

Esta frase es una de las frases del millón de 2do principio de la termodinámica. Tenela por ahí anotada.

### ¿ CUÁL ES LA QUE VALE CERO ?

Supongamos que tengo una evolución reversible. Tengo un gas que pasa reversiblemente del estado A al estado B. Uno puede preguntarse lo siguiente : La evolución es reversible. Quiere decir que no hay variación de entropía. ¿ Pero cómo puede ser posible eso ? El estado A no es igual al estado B. La entropía es función de estado. Si los estados A y B no son iguales, no pueden tener la misma entropía. Por lo tanto, al pasar de A a B tiene que haber variación de entropía, sea la evolución reversible o no. Por ejemplo, la evolución podría ser esta :



EXPLICACIÓN: Cuando se dice que en una evolución reversible no hay variación de entropía, uno se está refiriendo A LA ENTROPIA DEL UNIVERSO, NO A LA DEL SISTEMA. En una evolución reversible el sistema varía su entropía. Lo que ocurre es que EL MEDIO VARÍA SU ENTROPIA EN SENTIDO CONTRARIO. Es decir, si el sistema tuvo una variación de entropía positiva, el medio tendrá una variación de entropía negativa. ( o viceversa ). Las 2 variaciones de entropía se van a compensar de manera que la variación de entropía del Universo va a ser CERO. O sea, no cambia. O sea, permanece constante.

Entonces, planteo que  $\Delta S_{\text{UNIV}} = \Delta S_{\text{SIST}} + \Delta S_{\text{MEDIO}}$

Pero como la evolución es reversible,  $\Delta S_{\text{UNIV}} = 0$ . Así que puedo poner :

$$0 = \Delta S_{\text{SIST}} + \Delta S_{\text{MEDIO}}$$

Es decir :

$$\Delta S_{\text{SIST}} = -\Delta S_{\text{MEDIO}}$$

Acá tenemos otra conclusión interesante. ¿Qué es una evolución reversible ?

Rta: Una evolución reversible es una evolución donde

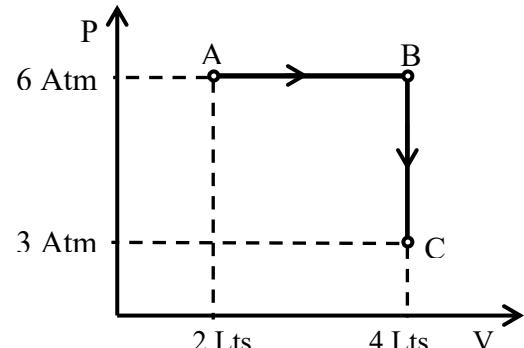
$$\Delta S_{\text{SIST}} = -\Delta S_{\text{MEDIO}}$$

←
Sólo para evoluciones reversibles

### UN PROBLEMA DE ENTROPIA

UN MOL DE UN GAS IDEAL EVOLUCIONA EN FORMA ISOBARICA DESDE **A** a **B** Y EN FORMA ISOCORICA DE **B** a **C** COMO SE INDICA EN EL GRAFICO ADJUNTO. CALCULAR LA VARIACIÓN DE ENTROPIA ENTRE **A** y **C**.

NOTA:  $C_p$  y  $C_v$  DEL GAS SON DATOS



Acá tengo un gas que evoluciona de **A** a **B** y después de **B** a **C**. Me piden calcular la variación de entropía en toda la evolución **A-C**. Lo que tengo que hacer es plantear las fórmulas. Veamos : De **A** a **B** tengo una evolución Isobárica. Miro el cuadro salvador. La fórmula para calcular  $\Delta S$  es:

$$\Delta S = C_p M \ln \frac{T_F}{T_0}$$

←
VARIACIÓN DE ENTROPIA PARA UNA EVOLUCIÓN ISOBÁRICA ( $p = \text{cte}$ )

No me dan la temperatura. Podría calcularla usando la ecuación de gases ideales:

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

Me queda:  $\Delta S = C_p n \ln \frac{N_F}{N_0}$

→  $\Delta S_{AB} = C_p n \ln (4 \text{ Lts}/2 \text{ Lts})$

→  $\Delta S_{AB} = C_p 1 \text{ mol} \ln 2$

El logaritmo natural de 2 es positivo. La variación de entropía entre A y B es positiva. De B a C tengo una evolución isocórica. Miro el cuadro salvador. La fórmula para calcular  $\Delta S$  es:

$$\Delta S = C_V n \ln \frac{P_F}{P_0} \quad \leftarrow \begin{array}{l} \text{VARIACIÓN DE ENTROPIA} \\ \text{PARA UNA EVOLUCIÓN} \\ \text{ISOCÓRICA (N=cte)} \end{array}$$

Me queda:  $\Delta S_{BC} = C_V n \ln (3/6)$

→  $\Delta S_{BC} = C_V 1 \text{ mol} \ln (1/2)$

Podría calcular el  $\ln$  de 2, pero si te acordás un poco las propiedades del logaritmo:

$$\ln (1/2) = \ln 1 - \ln 2 = 0 - \ln 2$$

→  $\ln (1/2) = -\ln 2$

( Si no te acordás de este truco, no pasa nada. Le preguntás a la calculadora cuánto vale logaritmo natural de 0,5 y listo. Te va a dar los mismo que  $\ln$  de 2, pero con signo negativo ). Sigo. Me queda:

→  $\Delta S_{BC} = -C_V 1 \text{ mol} \ln 2$

$\ln$  de 2 es positivo. → La variación de entropía entre B y C es negativa.

Sumando  $\Delta S_{AB} + \Delta S_{BC}$  tengo la variación de entropía entre A y C:

$$\Delta S_{AC} = C_p 1 \text{ mol} \ln 2 + (-C_V 1 \text{ mol} \ln 2)$$

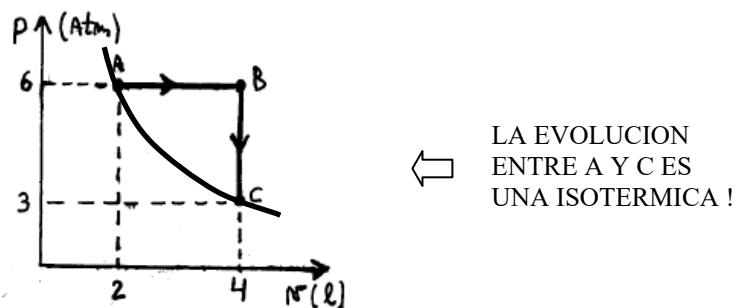
$$\Delta S_{AC} = 1 \text{ mol} \ln 2 (C_p - C_V)$$

Ahora,  $C_p - C_V = R$  ( constante de los gases ideales ). Entonces finalmente el cho-clazo da:

$$\underline{\Delta S_{AC} = 1 \text{ mol} \times R \times \ln 2} \quad \leftarrow \begin{array}{l} \text{VARIACION DE EN-} \\ \text{TROPIA ENTRE A Y C} \end{array}$$

En principio acá termina el problema. Pero momentito, porque hay un truco. ( ¿Un truco? Que raro. Oh-Oh! Bienvenido a Biofísica ).

Miremos un poco el gráfico original que ellos dan. Acá está:



Si miro el gráfico veo que justo ocurre que  $P_A \times V_A = P_C \times V_C$  ( $6 \times 2 = 3 \times 4$ ). Quiere decir que la evolución A-C es justo una isotérmica.

La entropía es función de estado. No depende del camino seguido. Entonces para calcular  $\Delta S_{AC}$  en vez de ir por el camino que fui antes ( de A a B y después de B a C ) directamente puedo ir por la isotérmica. Entonces, voy al cuadro salvador y planteo la fórmula para una isotérmica. La fórmula es :

$$\Delta S_{\text{Isot}} = M R \ln \frac{V_F}{V_0} \quad \leftarrow \quad \begin{array}{l} \text{VARIACIÓN DE ENTROPIA PARA} \\ \text{UNA EVOLUCIÓN ISOTÉRMICA} \end{array}$$

Reemplazando me queda:

$$\Delta S_{AC} = 1 \text{ mol} \times R \times \ln (4/2)$$

$$\Delta S_{AC} = 1 \text{ mol} \times R \times \ln 2 \quad \leftarrow \quad \begin{array}{l} \text{MISMO RESULTADO} \\ \text{QUE TUVE ANTES!} \end{array}$$

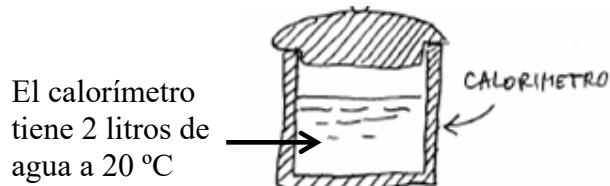
Este resultado es el mismo al que había llegado antes por el camino largo. Este es un truco que hay que conocer. Cuando la evolución que te dan es primero una isobárica ( $P = \text{cte}$ ) y después una isocórica ( $V = \text{cte}$ ), fíjate si por casualidad no se cumple que  $P_A \times V_A = P_C \times V_C$ . Si se cumple esto, entonces la evolución A-B-C es isotérmica.

Lo mismo puede pasar si la evolución que te dan primero es isocórica ( $V = \text{cte}$ ) y después es isobárica ( $P = \text{cte}$ ).

### OTRO PROBLEMA DE ENTROPIA

SE TIENE UN CALORIMETRO ADIABATICO CON 2 LITROS DE AGUA A  $20^\circ\text{C}$ . SE COLOCAN EN EL CALORÍMETRO 2 LITROS DE AGUA A  $40^\circ\text{C}$ . CALCULAR LA VARIACION DE ENTROPIA DEL AGUA DENTRO DEL CALORIMETRO, LA VARIACION DE ENTROPIA DEL MEDIO Y LA VARIACION DE ENTROPIA DEL UNIVERSO.

Veamos. Tengo un calorímetro. El calorímetro tiene 2 litros de agua a  $20^\circ\text{C}$ . Después pongo otros 2 litros de agua a  $40^\circ\text{C}$ . Como al principio había 2 litros y después también pongo 2 litros la temperatura final va a ser justo el promedio de las temperaturas. O sea,  $30^\circ\text{C}$ . ( Si las masas de agua no fueran iguales habría que calcular la temperatura de equilibrio planteando un problema de calorimetría ).



Voy a calcular la variación de entropía del agua. El agua evoluciona a presión constante. Tengo que usar la fórmula que da la variación de entropía para agua que se calienta o agua que se enfriá. Esta fórmula es :

$$\Delta S = C_{H_2O} m \ln \frac{T_f}{T_0}$$

Lo que tengo que hacer el plantear esta fórmula 2 veces. Primero la planteo para el agua que se calentó de 20 °C a 30 °C. Después la planteo para el agua que se enfrió de 40 °C a 30 °C. Después voy a tener que sumar las 2 variaciones de entropía que acabo de calcular. Empiezo:

El agua que estaba a 20 °C se calienta hasta llegar a 30 °C. O sea, el agua pasa de 293 Kelvin a 303 K. Entonces :

$$\Rightarrow \Delta S_{AGUA \ a \ 20^{\circ}C} = 1 \frac{\text{kcal}}{\text{kg K}} 2 \text{ kg} \cdot \ln \frac{303 \text{ K}}{293 \text{ K}}$$

$$\Delta S_{AGUA \ a \ 20^{\circ}C} = 67,12 \frac{\text{cal}}{\text{K}}$$

El agua que estaba a 20 °C se calentó. Su entropía aumentó. Ahora calculo el delta  $S$  para el agua que estaba a 40 °C (= 313 K ) y pasa a 30 °C ( 303 K ).

Vuelvo a plantear la fórmula para agua que se calienta o que se enfriá:

$$\Delta S_{AGUA \ a \ 40^{\circ}C} = 1 \frac{\text{kcal}}{\text{kg K}} 2 \text{ kg} \cdot \ln \frac{303 \text{ K}}{313 \text{ K}}$$

$$\Delta S_{AGUA \ a \ 40^{\circ}C} = -64,94 \frac{\text{cal}}{\text{K}}$$

El agua que estaba a 40 °C se enfrió. Su entropía disminuyó. Ahora, la variación de entropía total para el agua dentro del calorímetro es  $\Delta S_{TOT} = \Delta S_{(20^{\circ}C)} + \Delta S_{(40^{\circ}C)}$  Tonces :

$$\Delta S_{TOT} = \Delta S_{(20^{\circ}C)} + \Delta S_{(40^{\circ}C)}$$

$$\Rightarrow \Delta S_{SIST} = 67,12 \frac{\text{cal}}{\text{K}} - 64,94 \frac{\text{cal}}{\text{K}}$$

$$\Rightarrow \boxed{\Delta S_{SIST} = +2,18 \frac{\text{cal}}{\text{K}}}$$

VARIACION DE  
ENTROPIA TOTAL  
DEL SISTEMA

Ahora voy a calcular la variación de entropía del medio. El calorímetro es adiabático. Quiere decir que no pasa calor al exterior, ni entra calor desde el exterior.  $Q$  es cero. Eso significa que el medio no varía su entropía. Entonces :

$$\Delta S_{\text{MEDIO}} = 0$$

Para calcular la variación de entropía del universo planteo:

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

$$\Delta S_{\text{UNIV}} = \Delta S_{\text{SIST}} + 0$$

$$\Delta S_{\text{UNIV}} = + 2,18 \frac{\text{Cal}}{\text{Kelvin}}$$

VARIACION DE  
ENTROPIA DEL  
UNIVERSO

La variación de entropía del universo dio positiva. Esto es lógico. El sistema tuvo una evolución natural. En cualquier evolución natural la entropía del universo tiene que aumentar.  $\Delta S_{\text{UNIV}}$  siempre da positiva para cualquier evolución. ( Salvo que sea una evolución reversible ).

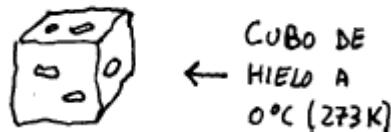
**NOTA:** La gente a veces pregunta si en las fórmulas de entropía que están en el cuadro salvador la masa va en moles o en kilogramos.

**Rta:** Es lo mismo. Depende en qué unidades ellos te den el  $C_p$ , el  $C_v$  o  $R$ . Si el  $C_p$ , el  $C_v$  o  $R$  tienen unidades de moles, usás moles. Si te dan el  $C_p$ , el  $C_v$  o  $R$  en unidades de kilogramos, usas kilogramos.

### ULTIMO EJEMPLO DE CALCULO DE ENTROPIA

SE TIENEN 10 Kg DE HIELO A  $0^{\circ}\text{C}$ . SE PONE EL HIELO EN CONTACTO CON EL AMBIENTE QUE ESTÁ A  $40^{\circ}\text{C}$  DE MANERA QUE SE DERRITE LA MITAD. CALCULAR LA VARIACION DE ENTROPIA DEL HIELO, LA VARIACION DE ENTROPIA DEL MEDIO Y LA VARIACION DE ENTROPIA DEL UNIVERSO.

Veamos. Tengo un bloque de hielo de 10 Kg. La mitad se derrite



. La cantidad de calor que necesita el hielo para que se derritan 5 kilos vale :

$$Q = L \times m = 80 \text{ Kcal/kg} \times 5 \text{ Kg} = \underline{\underline{400 \text{ Kcal}}}$$

Entonces la variación de entropía del sistema hielo vale :

$$\Delta S_{SIST} = \frac{Q}{T} = \frac{400 \text{ Kcal}}{273 \text{ K}} = +1,46 \frac{\text{Kcal}}{\text{K}}$$

VARIACIÓN DE  
ENTROPÍA DEL  
SISTEMA

Calculo la variación de entropía del medio. La atmósfera cede 400 Kilocalorías. Esta cantidad de calor es **NEGATIVA** ( Sale del ambiente hacia el sistema ). Es entregada a una temperatura de 40 °C ( 313 Kelvin ). Entonces, para la atmósfera :

$$\Delta S_{MEDIO} = \frac{Q}{T} = \frac{-400 \text{ Kcal}}{313 \text{ K}} = -1,27 \frac{\text{Kcal}}{\text{K}}$$

VARIACIÓN DE  
ENTROPÍA DEL  
MEDIO

Fijate que la variación de entropía del medio es negativa. El medio **CEDE** calor. Y de acuerdo a la convención de signos, calor recibido es positivo y calor entregado es negativo.

También fijate que se considera que la atmósfera no se enfriá al ceder las 400 Kcal. Esto pasa porque se toma a la atmósfera como una fuente infinita de calor.

Para calcular la variación de entropía del universo planteo:

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

$$\Delta S_{UNIV} = 1,46 \text{ Kcal/K} + (-1,27 \text{ Kcal/K})$$

$$\Delta S_{UNIV} = +0,19 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kelvin}}$$

VARIACIÓN DE  
ENTROPÍA DEL  
UNIVERSO

La variación de entropía del universo dió positiva. Esto es lógico. El sistema tuvo una evolución natural. En cualquier evolución natural la entropía del universo tiene que aumentar.  $\Delta S_{UNIV}$  siempre da positiva.

## 2<sup>do</sup> PRINCIPIO - EPILOGO

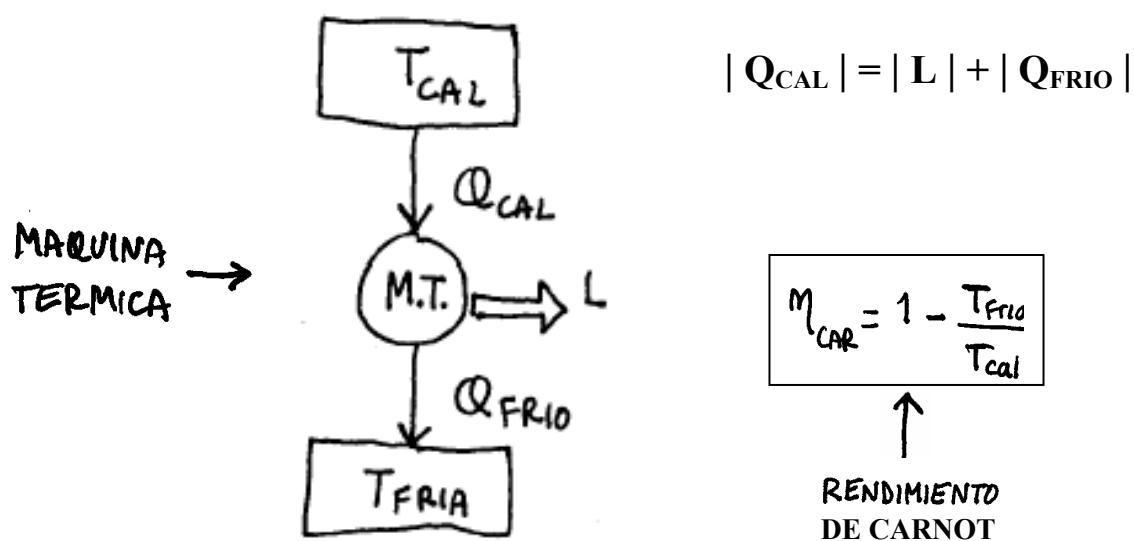
El 2do principio de la termodinámica es difícil de entender. Hay ecuaciones feas. Hay fórmulas con logaritmos. Hay conceptos complicados como entropía, evoluciones reversibles y demás. Lo que tenés que entender es que vos no tenés que entender nada. ( valga la contradicción ). Vos tenés que saber resolver problemas. Eso es lo que tenés que hacer. O sea, vos tenés que leer la teoría pero hasta ahí. No tenés que complicarte demasiado. Tenés que tener una idea. No hace falta más. Con eso, directo a resolver problemas, problemas y más problemas. ( ¡ Y ahora me lo dice !? )

Y principalmente, tenés que resolver problemas que hayan sido tomados en parciales. Conseguite parciales viejos y resolvelos todos. ( Conste que te lo dije ).

# MAQUINAS

# TERMICAS

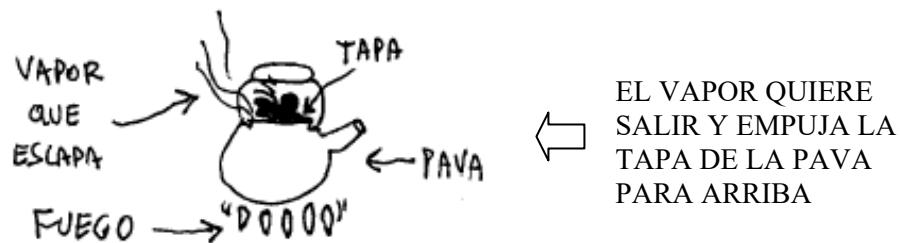
- \* MAQUINA TERMICA
  - \* RENDIMIENTO REAL
  - \* RENDIMIENTO DE CARNOT
  - \* MAQUINAS FRIGORIFICAS
  - \* CALCULO DE ENTROPIA EN UNA M.T.
- 



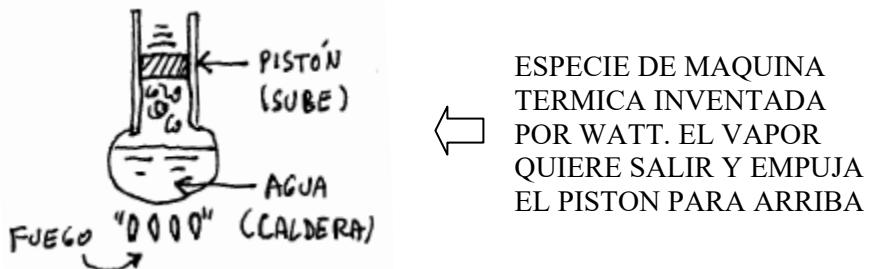
## MAQUINAS TERMICAS ← IMPORTANTE

Una máquina térmica es un aparato que transforma calor en trabajo. Vos le entregás calor, ella te entrega trabajo. Se las llama "máquinas térmicas" porque son máquinas que funcionan con calor. (En su momento se las llamó "máquinas de fuego"). Las máquinas térmicas tienen una fuente fría y una fuente caliente. La fuente caliente suele ser una caldera donde se mete leña o carbón. La fuente fría suele ser la atmósfera. Por ejemplo, los motores de los autos son máquinas térmicas. También 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.

La idea de hacer una máquina que trabaje con fuego se le ocurrió a Watt al mirar una pava. ( Inglaterra, 1760 más o menos ). Watt notó que el vapor empujaba la tapa para arriba para tratar de salir.



Entonces el tipo pensó que se podría modificar el asunto para hacer que el vapor empujara un pistón y lo obligara a subir. O sea, una cosa así:

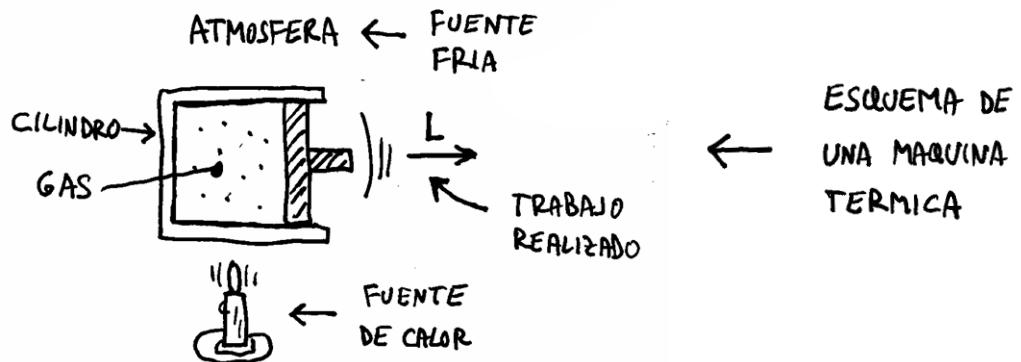


Una vez que uno logra tener algo que sube, puede hacer cualquier cosa. Por ejemplo, puede levantar un ascensor, puede transformar el movimiento para mover una rueda, puede hacer una bomba que levante agua hasta un tanque, etc. Es decir, la idea consiste en usar el vapor para realizar trabajo.

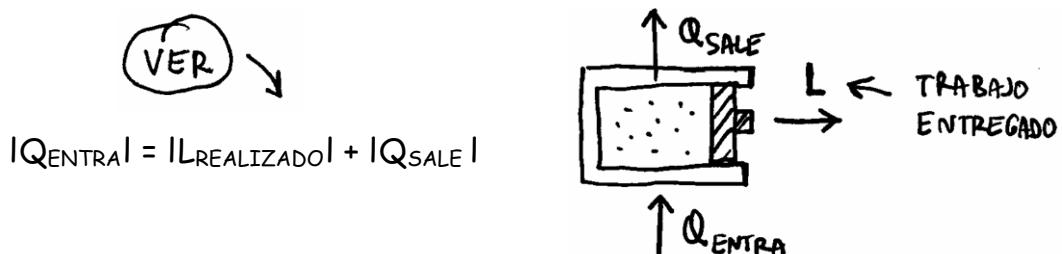
Ahora fijate que si el pistón sube y se queda ahí la máquina no serviría para nada. Para que la máquina sirva, el pistón tiene que subir y bajar permanentemente. Para lograr esto lo que se hace es enfriar el vapor. Entonces el vapor se enfriá y el pistón baja. Después se vuelve a calentar el vapor, el pistón vuelve a subir y el ciclo empieza de nuevo. O sea que el truco es calentar el vapor, después enfriarlo y así

sucesivamente. Se dice entonces que la máquina térmica funciona haciendo CI-CLOS. Esta es la primera frase del millón que tenés que conocer en este tema. La frase es: Las máquinas térmicas son dispositivos que funcionan cíclicamente. ( Importante )

Una máquina térmica sería lo siguiente :



Lo que se ve en el dibujito es que hay una fuente caliente que entrega calor al cilindro. ( La vela ). El gas que está adentro se expande, el pistón del cilindro se mueve y hace trabajo. 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. Lo llamo  $Q_{ENTRA}$ . La máquina usa ese calor  $Q_{ENTRA}$  para expandir el gas. El gas entrega un trabajo  $Q_{TRABAJO}$ . Mirá el dibujito:



La cosa es que 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  $Q_{SALE}$ . Supongamos que hago entrar 100 Kilocalorías al gas del cilindro. Ponele que de esas 100 Kcal logro aprovechar 10 Kcal para realizar trabajo. Puedo decir que :

$$Q_{ENTRA} = 100 \text{ Kcal}$$

$$L_{REALIZADO} = 10 \text{ Kcal}$$

$$Q_{SALE} = 90 \text{ Kcal}$$

Para obtener el  $Q_{SALE}$  hice la cuenta  $Q_{SALE} = 100 \text{ Kcal} - 10 \text{ Kcal}$ . Esta cuenta me da

la fórmula que voy a usar de ahora en adelante para las máquinas térmicas. Esta fórmula es la que dice que todo el calor que entra a la máquina se divide en 2: parte sale en forma de trabajo y parte sale en forma de calor que se pierde en la fuente fría. Es decir:

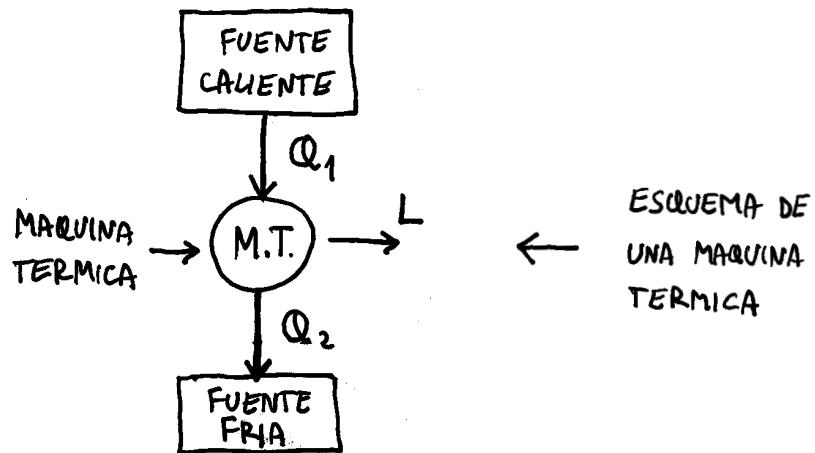
$$|Q_{\text{ENTRA}}| = |L_{\text{REALIZADO}}| + |Q_{\text{SALE}}|$$

Pongo todo en valor absoluto para no tener problemas con los signos. Ellos suelen llamar  $Q_1$  al calor que entra y  $Q_2$  al calor que sale. Entonces se puede poner:

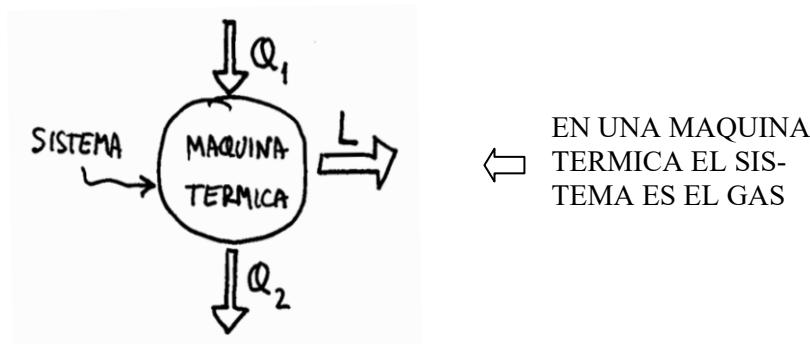
$$|Q_1| = |Q_2| + |L| \quad \leftarrow \begin{array}{l} \text{FÓRMULA PARA LAS} \\ \text{MÁQUINAS TÉRMICAS} \end{array}$$

Esto es lo que se llama balance de energía. Lo que estoy haciendo es la cuenta del almacenero: Lo que entró es lo que me quedó + lo que se fue.

Para las máquinas térmicas se usa un dibujito que tenés que conocerlo bien porque lo vas a ver todo el tiempo. El dibujito es este:



La máquina térmica evoluciona haciendo ciclos. Esto quiere decir que el gas que está adentro se calienta, se expande, realiza trabajo y se vuelve a enfriar. 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 diga de acá en adelante para la máquina térmica, en realidad lo estoy diciendo para el gas que está dentro del cilindro. El sistema es el gas en el cilindro. La máquina térmica ES el gas que está adentro del cilindro. Esta es otra de las frases que tenés que conocer.



De acá sacamos una conclusión importante que es esta: El gas de la máquina hace ciclos. Entonces  $\Delta S_{\text{gas}} = 0$ . Quiere decir que  $\Delta S_{\text{MT}}$  también vale CERO. Entonces :

PARA UNA MAQUINA TERMICA  
 $\Delta S_{\text{MT}} = 0$  PORQUE LA MAQUINA  
 EVOLUCIONA HACIENDO CICLOS

$\leftarrow \Delta S_{\text{MT}} = 0$  PARA UNA  
 MÁQUINA TÉRMICA

Esta es una frase importante que tenés que saber.

### RENDIMIENTO DE UNA MAQUINA TERMICA ( $\eta$ , Eta )

Al rendimiento se lo pone con la letra  $\eta$ . ( Se lee "Eta" ). ¿ Que es el rendimiento de una cosa ? Rta: Es la relación entre lo que yo doy y lo que la cosa me da. Por ejemplo, un auto normal recorre unos 10 km con un litro de nafta. Uno puede decir: yo le doy un litro de nafta y él me entrega 10 km de recorrido. Hay autos con alto rendimiento y autos con bajo rendimiento. Un auto con buen rendimiento recorre 14 Km por litro de nafta. Un auto de los 70 recorría 7 km con un litro de nafta. ( Mal rendimiento )

¿ Qué sería el rendimiento de una máquina térmica ?

Rta: Sería la relación entre lo que la máquina me da y lo que yo le doy. A la máquina yo le doy calor. Ella me da trabajo. Entonces la cuenta que tengo que hacer es:

$$\eta = \frac{\text{TRABAJO RECIBIDO}}{\text{CALOR ENTREGADO}}$$

Es decir:

$$\eta = \frac{L_{\text{REALIZADO}}}{Q_{\text{SUMINISTRADO}}} \quad \leftarrow \begin{array}{l} \text{RENDIMIENTO DE UNA} \\ \text{MÁQUINA TÉRMICA} \end{array}$$

Fijate que  $|Q_1| = |L| + |Q_2|$ . Entonces a  $L$  lo puedo poner como el calor entregado ( $Q_1$ ) menos el calor que se pierde en la fuente fría ( $Q_2$ ).



Entonces si reemplazo  $L$  por  $Q_1 - Q_2$  tengo este choclo:  $\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$   
 Finalmente me queda esta fórmula :

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

$\leftarrow$  RENDIMIENTO DE UNA  
 MÁQUINA TÉRMICA

A este eta se lo llama "rendimiento real de la máquina térmica" ( Para distinguirlo del rendimiento ideal que es el de Carnot ). El rendimiento es un número. No tiene unidad. Siempre es menor que 1 ( atento ). A veces se lo pone en porcentaje. En los problemas vos te vas a encontrar con frases de estilo: "se tiene una máquina térmica con rendimiento = 30 % ..." No hay que complicarse. Lo que te están diciendo es que eta vale 0,3.

### RENDIMIENTO DE CARNOT

Para las máquinas térmicas se define otro rendimiento que se llama rendimiento de Carnot. Se lo llama también rendimiento ideal. Se lo pone como  $\eta_{CAR}$ . Este rendimiento de Carnot es un número, como el otro rendimiento. No tiene unidad.

Toda máquina térmica siempre funciona entre 2 fuentes que están a temperaturas  $T_1$  y  $T_2$ . Estas temperaturas son la de la fuente caliente y la de la fuente fría.

El rendimiento de Carnot depende de esas temperaturas  $T_{FRIA}$  y  $T_{CALIENTE}$ .

Se calcula así:

$$\eta_{CAR} = 1 - \frac{T_{Fria}}{T_{caliente}}$$

← RENDIMIENTO DE CARNOT

KELVIN

Este rendimiento de Carnot da el máximo rendimiento que podría tener una máquina térmica si esa máquina trabajara en forma ideal. ( Es decir, reversiblemente, sin pérdidas por rozamiento, etc ).

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 o 0,3, etc. ( 0,25 significaría 25 % ). El rendimiento de Carnot es el rendimiento máximo que puede tener una máquina térmica. Este rendimiento es algo teórico. Nunca se puede alcanzar en la realidad. El rendimiento real que tiene una máquina térmica real es siempre menor que el rendimiento de Carnot. Es decir :

$$\eta_{REAL} < \eta_{CARNOT}$$

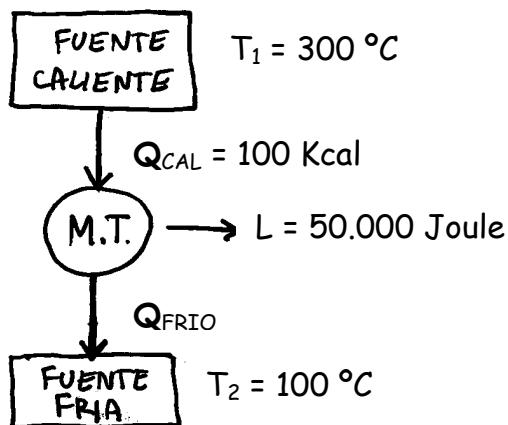
← El rendimiento real es siempre menor que el rendimiento ideal

### Ejemplo:

Una máquina térmica trabaja entre 2 temperaturas  $T_1 = 300^{\circ}\text{C}$  y  $T_2 = 100^{\circ}\text{C}$ . 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:

- El rendimiento de la máquina térmica.
- El rendimiento máximo que podría llegar a tener esa máquina térmica.
- 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:  $50.000 / 4.186 = 11,94 \text{ Kcal}$ . Hago las cuentas:

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

$$\rightarrow \eta = \frac{11,94 \text{ Kcal}}{100 \text{ Kcal}} = 0,12 = 12 \%$$

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

$$\eta_{\text{CAR}} = 1 - \frac{T_{\text{fría}}}{T_{\text{cal}}}$$

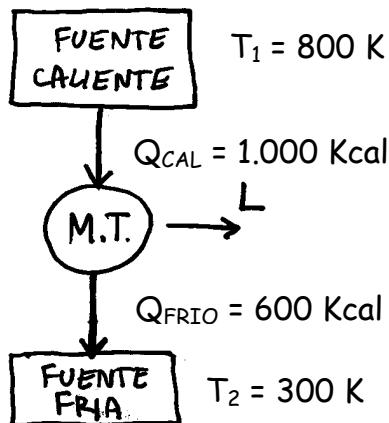
$$\eta_{\text{CAR}} = 1 - \frac{373 \text{ K}}{573 \text{ K}}$$

$$\rightarrow \underline{\eta_{\text{CAR}} = 0,35 = 35 \%}$$

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

### CALCULO DEL $\Delta S_{\text{UNIVERSO}}$ PRODUCIDO POR UNA MAQUINA TERMICA $\leftarrow$ VER

Esto es algo que suelen tomar mucho. Te lo voy a explicar con un ejemplo. Supongamos que me dan una máquina térmica y me piden calcular la variación de entropía en el universo que genera la máquina al funcionar. O sea, están pidiendo calcular la variación de entropía del Universo debido al funcionamiento de la máquina.



Voy a calcular la variación de entropía del universo. Lo que hago es lo siguiente.  
Digo :

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

Calculo  $\Delta S_{\text{SISTEMA}}$  y  $\Delta S_{\text{MEDIO}}$ . El  $\Delta S_{\text{SISTEMA}}$  es el  $\Delta S$  de la máquina térmica. La máquina térmica evoluciona haciendo ciclos. Esto quiere decir que el gas que está adentro se calienta, se expande, realiza trabajo, se enfriá y finalmente vuelve a las mismas condiciones que tenía al principio. Ahí otra vez se le entrega calor y el ciclo vuelve a empezar. Dentro de la máquina térmica, el sistema es el gas. Entonces, si me piden calcular la variación de entropía para la máquina térmica, tengo que calcular delta  $S$  para el gas que está dentro del cilindro. La entropía es una función de estado.  $S$  no depende del camino seguido.  $S$  depende solamente de los estados final e inicial. Ahora, el gas de la máquina hace ciclos. Pero en un ciclo el estado final es el mismo que el inicial. Quiere decir que  $\Delta S_{\text{gas}} = 0$ . Y como la máquina térmica es el gas que tiene adentro, puedo decir que  $\Delta S_{\text{MT}} = 0$ . Entonces :

$$\Delta S_{\text{SIST.}} = \Delta S_{\text{MT}} = 0 \text{ (ciclos)}$$

Entonces me queda:

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

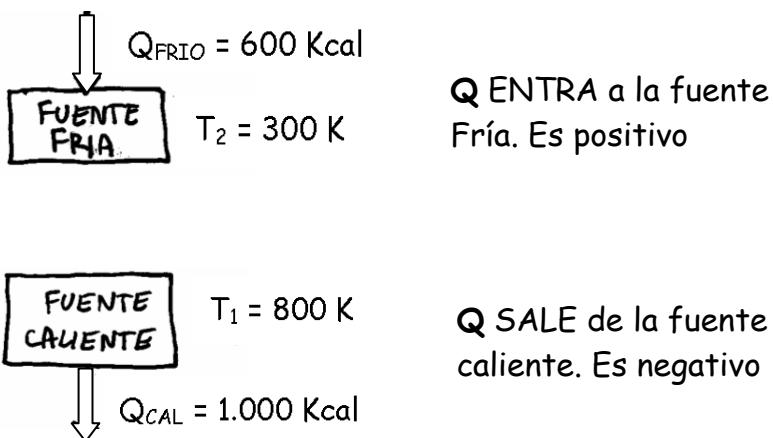
El medio está compuesto por la fuente caliente y por la fuente fría. Entonces:

$$\Delta S_{\text{MEDIO}} = \Delta S_{\text{F. FRIA}} + \Delta S_{\text{F. CALIENTE}}$$

La fuente fría y la fuente caliente tienen temperatura constante. Entonces para calcular su variación de entropía puedo usar la fórmula  $\Delta S = Q/T$ . Ahora, cuidado. El calor  $Q$  tiene signo. Te recuerdo el asunto:

- \*  $Q$  que entra es POSITIVO
- \*  $Q$  que sale es NEGATIVO

Para la fuente caliente y para fuente fría sería así :



Entonces a la fuente fría están entrando 600 Kilocalorías. ( Q positivo ). De la fuente caliente están saliendo 1.000 Kilocalorías. ( Q negativo ).

Con mucho cuidado voy a poner todo con las barras de valor absoluto para no hacer lío. Me queda :

$$\Delta S_{UNIV} = \frac{|Q_{FRÍO}|}{T_{FRÍA}} + \frac{-|Q_{CAL}|}{T_{CAL}}$$

$$\Delta S_{UNIV} = \frac{1600 \text{ Kcall}}{300 \text{ K}} + \frac{-11.000 \text{ Kcall}}{800 \text{ K}}$$

$$\Delta S_{UNIV} = 2 \frac{\text{Kcal}}{\text{K}} - 1,25 \frac{\text{Kcal}}{\text{K}}$$

$$\Delta S_{UNIV} = + 0,75 \frac{\text{Kcal}}{\text{K}} \quad \leftarrow \quad \text{VARIACION DE ENTROPIA DEL UNIVERSO}$$

Fíjate que la variación de entropía del universo dió POSITIVA. Esto es importante.  $\Delta S_{UNIV}$  SIEMPRE tiene que dar positiva. En cualquier proceso real la entropía del universo siempre aumenta. Si  $\Delta S_{UNIV}$  hubiera dado negativa, la máquina térmica no podría funcionar.

Atento, estas cosas son muy tomadas. O sea, te dan una máquina térmica y te piden comprobar si esa máquina térmica puede funcionar o no. Lo que hay que hacer es calcular  $\Delta S_{UNIV}$  para esa máquina térmica. Si  $\Delta S_{UNIV}$  te da positivo, la máquina es posible. Si  $\Delta S_{UNIV}$  te da negativo, la máquina térmica no puede existir. Viola el 2do principio de la termodinámica.

Pregunta: ¿Y si  $\Delta S_{UNIV}$  te hubiera dado CERO ? ¿Puede dar cero  $\Delta S_{UNIV}$  ?

Rta: Sí, en ese caso la máquina térmica es una máquina ideal (= Reversible).

Conclusión: La fórmula que se usa para calcular la variación de entropía de una máquina térmica es :

$$\Delta S_{UNIV} = \frac{|Q_{FRIA}|}{T_{FRIA}} - \frac{|Q_{CAL}|}{T_{CAL}}$$

← FORMA DE CALCULAR  
 $\Delta S_{UNIV}$  EN UNA  
 MAQUINA TERMICA

O sea que la condición para que una máquina térmica pueda funcionar es :

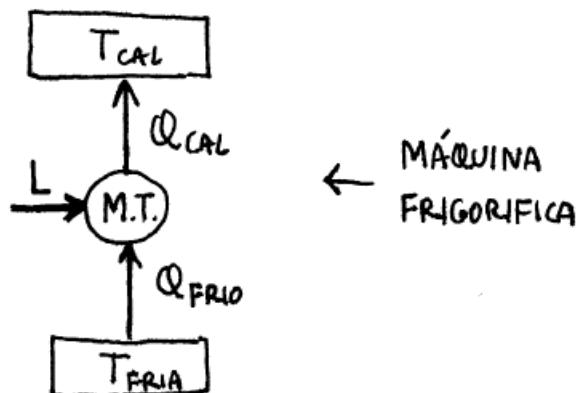
$$\frac{|Q_{FRIA}|}{T_{FRIA}} - \frac{|Q_{CAL}|}{T_{CAL}} > 0$$

← CONDICION PARA  
 QUE UNA MAQUINA  
 TERMICA PUEDA  
 FUNCIONAR

Una aclaración: Fijate que yo hice toda una deducción para llegar a la fórmula para calcular el  $\Delta S_{UNIV}$  que se produce al funcionar una máquina térmica. Cuando toman un problema de este tipo, algunos chicos se limitan a poner la fórmula, hacen la cuenta y listo. Pero ojo. Ellos pueden no aceptarte esto. Hay profesores que consideran que si el problema es a desarrollar, el alumno tiene que hacer LA DEDUCCION HASTA LLEGAR A LA FORMULA FINAL. Es decir, en ese caso tenés que hacer tooooooodaaa la manganeta que hice yo. ( Bienvenido a biofísica ).

### MAQUINAS FRIGORIFICAS

Las máquinas frigoríficas son máquinas que enfrián. Ejemplo: una heladera, un freezer o un acondicionador de aire. Sacan calor de una fuente fría y lo tiran a una fuente caliente. En una máquina frigorífica el dibujito vendría a ser al revés que el de una máquina térmica. Las flechas van para el otro lado. Fijate.



Se puede entender a una máquina frigorífica como un aparato que hace pasar calor de una fuente que fría a una fuente caliente. Para poder hacer este pasaje de calor hay que entregar un trabajo L. Vos le das un trabajo L y ella usa ese trabajo para sacar calor de la fuente fría. En el caso de una heladera, el trabajo L lo hace el motor de la heladera.

Analicemos un poco la máquina frigorífica. El sistema es el gas que tiene adentro. A ese gas llegan  $L$  y  $Q_{FRIOS}$ . Sale  $Q_{CAL}$ . Entonces hago el balance de energía. Uso la cuenta del almacenero. Esta cuenta dice: Todo lo que entra es igual a lo que sale + lo que quedó. Entonces la fórmula que me queda es  $|Q_{FRIOS}| + |L| = |Q_{CAL}|$



En una heladera la fuente fría es el congelador y la fuente caliente es la atmósfera. La fuente caliente y la fuente fría son el medio.

### EFICIENCIA DE UNA MAQUINA FRIGORIFICA

En las máquinas frigoríficas no se trabaja con rendimiento, se trabaja con la EFICIENCIA ( $e$ ). La idea de eficiencia es parecida a la de rendimiento. Hay que hacer la relación entre lo que uno le da a la máquina frigorífica y lo que la máquina frigorífica entrega. O sea, la relación sería:

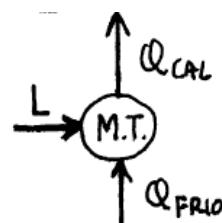
$$e = \frac{\text{CALOR SACADO DE LA FUENTE FRIA}}{\text{TRABAJO ENTREGADO}}$$

El  $Q$  sacado de la fuente fría es  $Q_{FRIOS}$ . Entonces puedo poner la eficiencia como:

$$e = \frac{Q_{FRIOS}}{L} \quad \leftarrow \text{EFICIENCIA DE UNA MAQUINA FRIGORIFICA}$$

Ahora mirá el dibujito de la máquina frigorífica. La energía que entra es igual a la energía que sale. Entonces:

$$\begin{aligned} |Q_{FRIOS}| + |L| &= |Q_{CAL}| \\ \Rightarrow |Q_{FRIOS}| &= |Q_{CAL}| - |L| \end{aligned}$$



Reemplazando el  $Q_{FRIOS}$  en la fórmula de la eficiencia:

$$e = \frac{|Q_{CAL}| - |L|}{|L|}$$

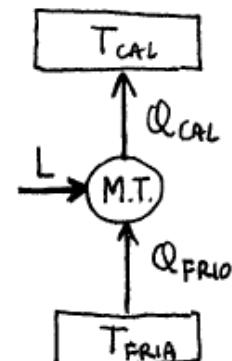
$$e = \frac{|Q_{CAL}|}{|L|} - 1 \quad \leftarrow \text{OTRA FORMA DE CALCULAR LA EFICIENCIA}$$

Atención, fíjate que  $Q_{CAL}$  siempre va a ser mayor que  $L$ . Quiere decir que la eficiencia para una máquina frigorífica va a dar siempre mayor que 1. Es más, cuánto más grande dé la eficiencia, mejor será la máquina frigorífica.

## EJEMPLO:

SE TIENE UNA MAQUINA FRIGORIFICA QUE EXTRAEE 40 KCAL DE LA FUENTE FRIA Y ENTREGA 60 Kcal A LA FUENTE CALIENTE.

- CALCULAR EL VALOR DEL TRABAJO ENTREGADO POR LA M.AQUINA TERMICA
- CALCULAR LA EFICIENCIA



## SOLUCIÓN:

Planteo el balance de energía en la máquina térmica. ( Cuenta del almacenero ) :

$$|Q_{FRIJO}| + |L| = |Q_{CAL}|$$

$$\rightarrow |L| = |Q_{CAL}| - |Q_{FRIJO}|$$

$$\rightarrow L = 60 \text{ Kcal} - 40 \text{ Kcal} = 20 \text{ Kcal}$$

b ) - La eficiencia es :

$$e = \frac{Q_{FRIJO}}{L}$$

$$\rightarrow e = 40 \text{ Kcal} / 20 \text{ Kcal}$$

$$\rightarrow \underline{e = 2} \quad \leftarrow \text{VALOR DE LA EFICIENCIA}$$

Fíjate que la eficiencia dió mayor que 1. Siempre te tiene que dar e mayor que 1. Cuanto más grande da e, mejor es la máquina frigorífica.

Nota: A veces a la eficiencia se la llama también "eficacia".

### CALCULO DE $\Delta S_{UNIV}$ EN UNA MAQUINA FRIGORIFICA $\leftarrow$ LEER

Acá voy a hacer lo mismo que hice antes para calcular la variación de entropía del universo en una máquina térmica. Fíjate. Planteo:

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

Calculo  $\Delta S_{SISTEMA}$  y  $\Delta S_{MEDIO}$ . El  $\Delta S_{SISTEMA}$  es el  $\Delta S$  de la máquina frigorífica. Pero el  $\Delta S_{MF} = 0$  porque la máquina hace ciclos. Así que la variación de entropía del sistema es CERO. ( Igual que en la máquina térmica )

$$\Delta S_{M.F} = 0 \text{ (ciclos)}$$

Entonces puedo poner:

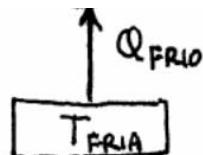
$$\Delta S_{UNIV} = \Delta S_{MEDIO}$$

El medio está compuesto por la fuente caliente y por la fuente fría. Entonces:

$$\Delta S_{MEDIO} = \Delta S_{F.FRIA} + \Delta S_{F.CALIENTE}$$

La fuente fría y la fuente caliente están a temperatura constante. Entonces para calcular su variación de entropía puedo usar la fórmula  $\Delta S = Q/T$ . Ahora, otra vez cuidado con los signos de Q:

Q que sale es NEGATIVO  $\rightarrow$



$\leftarrow$  Q que entra es POSITIVO



Entonces a la fuente caliente está entrando  $|Q_{CAL}|$ . Ese Q es +. De la fuente caliente está saliendo  $|Q_{FRIA}|$ . Ese Q es negativo. Con mucho cuidado voy a poner todo con las barras de valor absoluto para no hacer lío. Me queda:

$$\Rightarrow \Delta S_{UNIV} = \frac{|Q_{CAL}|}{T_{CAL}} - \frac{|Q_{FRIA}|}{T_{FRIA}}$$

$\leftarrow$  FORMA DE CALCULAR  
 $\Delta S$  DEL UNIVERSO EN  
 UNA MAQUINA FRIGORIFICA

O sea que la condición para que una máquina frigorífica pueda funcionar sería:

$$\frac{|Q_{CAL}| - |Q_{FRIA}|}{T_{CAL} - T_{FRIA}} > 0$$

$\leftarrow$  CONDICION PARA  
 QUE UNA MAQUINA  
 FRIGORIFICA PUEDA  
 FUNCIONAR

Fíjate que la fórmula para máquina frigorífica es al revés que la fórmula para máquina térmica. Esto pasa porque en la máquina frigorífica los calores van al revés que en la máquina térmica. Hay que tener estas fórmulas anotadas en el resumen.

Una cosa: Fíjate también que  $\Delta S_{UNIV}$  SIEMPRE tiene que dar POSITIVA. Esto es

importante. En cualquier proceso real la entropía del universo siempre aumenta. Si en un problema vos calculás la  $\Delta S_{\text{UNIV}}$  para una máquina frigorífica y te da negativa, quiere decir que la máquina térmica que te dieron no puede funcionar.

Un tipo de ejercicio muy tomado es este: te dan una máquina frigorífica y te piden comprobar si esa máquina puede funcionar. Lo que hay que hacer entonces es calcular  $\Delta S_{\text{UNIV}}$ .

- \* Si  $\Delta S_{\text{UNIV}}$  te da positiva, la máquina es posible.
- \* Si  $\Delta S_{\text{UNIV}}$  te da negativa, la máquina no puede existir. Violaría el 2do principio de la termodinámica.
- \* Si delta S del universo te da CERO, quiere decir que la máquina puede funcionar porque es una máquina ideal. (O sea, reversible, sin rozamiento, etc)

### FRASES DEL MILLON EN 2<sup>do</sup> PRINCIPIO

Para poder resolver problemas de 2do principio hay que ser astuto, pero no demasiado. Tenés que saber, pero no tenés que pasarte de listo. Básicamente tenés que manejarte con las frases del millón. Acá te pongo una lista de las principales.

- 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 - Todo sistema tiende a llegar al equilibrio.
- 6 - Una máquina térmica necesita siempre 2 fuentes para poder funcionar: una fría y otra caliente.
- 7 - Toda evolución que ocurre en la naturaleza hace que la entropía del universo aumente.
- 8 - La entropía es el grado de desorden de un sistema. Cuando un sistema se desordena, aumenta su entropía.
- 9 - El calor Q tiene signo. El signo es positivo si el cuerpo recibe calor. El signo es negativo si el cuerpo cede calor.
- 10 - La Entropía es una función de estado. La variación de entropía no depende del camino seguido por la evolución. Depende solamente de los estados inicial y final.

11 - En un ciclo, el estado inicial es igual al estado final. Por lo tanto  $\Delta S_{CICLO} = 0$ .

12 - Una evolución reversible es una evolución que tiene variación de entropía del universo = a cero. La entropía del universo no aumenta en una evolución reversible

13 - En un sistema aislado la entropía sólo puede aumentar. Nunca puede disminuir. La entropía de ese sistema aislado puede mantenerse constante si la evolución que ocurrió fue reversible.

14 - En una máquina térmica el sistema es el gas que está adentro de la máquina

15 - Para una máquina térmica  $\Delta S_{MT} = 0$  porque la máquina evoluciona haciendo ciclos

---

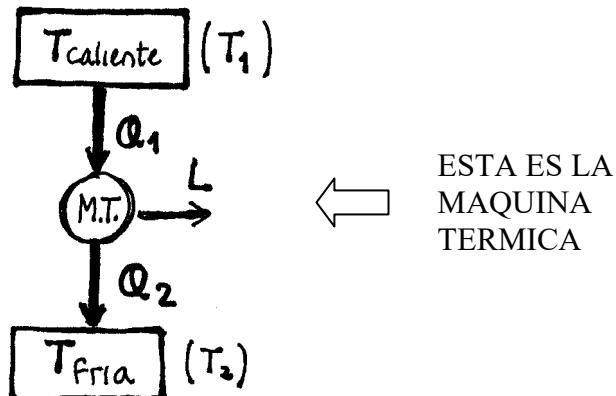
FIN TEORIA DE 2<sup>do</sup> PRINCIPIO DE LA TERMODINAMICA

## 2<sup>do</sup> PRINCIPIO - PROBLEMAS DE PARCIALES

1 - Una máquina térmica toma, en cada ciclo, una cantidad de calor  $Q_1$  de una fuente a una  $T_1 = 600$  K; entrega un calor  $Q_2$  a otra fuente de  $T_2 = 400$  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	$Q_1$ (J)	$Q_2$ (J)	$W$ (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: Hagamos un dibujito de la máquina térmica. Lo que tengo es esto :



El balance de energía según el 1er principio es  $|Q_1| = |L| + |Q_2|$ .  $\rightarrow Q_1 - Q_2 = L$ . Me fijo si alguna opción cumple esto. Veo que cumplen la c), la e) y la f). Ojo, la b) no puede ser porque  $Q_2$  no puede ser cero. Con esto no me alcanza para decidir cuál puede ser la correcta. Planteo 2do principio.

$$\Delta S_{UNIV} = \frac{|Q_{FRIA}|}{T_{FRIA}} - \frac{|Q_{CAL}|}{T_{CAL}}$$

← FORMA DE CALCULAR  
ΔS<sub>UNIV</sub> EN UNA  
MAQUINA TERMICA

Según el 2do principio la variación de entropía del universo tiene que dar positiva. Así que planteo :

$$\frac{|Q_{FRIA}|}{T_{FRIA}} - \frac{|Q_{CAL}|}{T_{CAL}} > 0$$

Hago las cuentas probando para las 3 opciones posibles que son la c), la e) y la f). Veo que sólo cumple la opción c).

Correcta la (C)	$Q_1 = 30.000$ J	$Q_2 = 22.000$ J	$L = 8.000$ J
-----------------	------------------	------------------	---------------

2 - 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

Por lo que dicen en el enunciado tengo un calorímetro con agua y vapor a 100 °C. El calorímetro cede calor al ambiente. Me doy cuenta de esto porque hay vapor que se condensa. Hago un dibujito:



El calor que recibe el ambiente ( $Q_{AMB}$ ) es el mismo que cede el calorímetro que a su vez es el mismo que cedió el vapor ( $Q_{VAPOR}$ ). Entonces:

$$Q_{VAPOR} = L_{vap} \cdot m$$

Me dicen que la masa de vapor que se condensa es de 10 gramos.

$$Q_{VAPOR} = 540 \text{ cal/ gr} \times 10 \text{ gr}$$

$$Q_{VAPOR} = 5.400 \text{ cal}$$

Calculo la variación de entropía del ambiente:  $\Delta S = \frac{Q}{T}$

El ambiente RECIBE estas 5.400 calorías. Quiere decir que  $Q_{AMB}$  vale + 5.400 calorías. La temperatura del ambiente es 20 °C que son 293 Kelvin:

$$\Rightarrow \Delta S = \frac{5.400 \text{ Cal}}{293 \text{ K}}$$

$$\Rightarrow \Delta S_{amb} = + 18,4 \text{ cal/K}$$

La correcta es la (c)

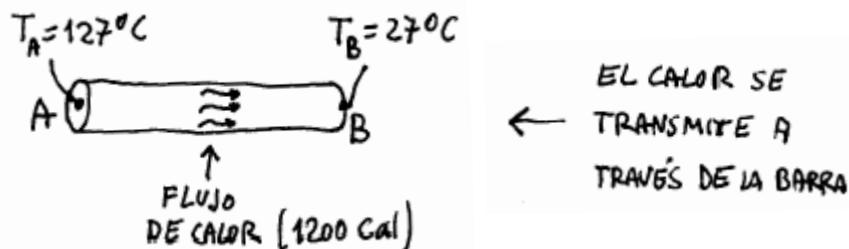
3 - Una barra de latón está en contacto térmico con una fuente térmica de 127 °C por uno de sus extremos y con una fuente térmica de 27 °C por el otro. Al cabo de cierto tiempo se han transferido 1.200 cal por conducción a través de la barra. Se verifica en el proceso:

- 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 :

Lo que tengo es una barra a través de la que está circulando el calor:



Se supone que a la izquierda de la barra hay una fuente caliente y a la derecha hay una fuente fría. Ahora pensemos un poco. El sistema es la barra. El medio son las fuentes. La barra no cambia su entropía porque todo el calor que recibe de la fuente caliente ( $= 1.200 \text{ cal}$ ) lo pasa a la fuente fría.

O sea,  $Q_{\text{BARRA}} = 0$  y  $\Delta S_{\text{BARRA}} = 0$

Veamos qué pasa con las fuentes. Las fuentes mantienen su temperatura constante. Entonces, la fuente fría RECIBE calor  $\rightarrow Q_{\text{FRIO}} = (+)$ . La fuente caliente CEDE calor  $\rightarrow Q_{\text{CAL}} = (-)$ . Hago las cuentas:

La fuente fría está a  $27^{\circ}\text{C} = 300 \text{ Kelvin}$  y  $Q$  es positivo. El delta  $S$  de la FF vale:

$$\Delta S_{\text{FF}} = \frac{1.200 \text{ Cal}}{300 \text{ K}} = 4 \frac{\text{Cal}}{\text{K}}$$

La fuente caliente está a  $127^{\circ}\text{C} = 400 \text{ Kelvin}$  y  $Q$  es negativo. El delta  $S$  de la FC vale

$$\Delta S_{\text{FC}} = \frac{-1.200 \text{ Cal}}{400 \text{ K}} = -3 \frac{\text{Cal}}{\text{K}}$$

Sumando:  $\Rightarrow \Delta S_{(\text{FUENTES} + \text{BARRA})} = \underline{\Delta S_{\text{UNIV}} = 1 \text{ cal/K}}$ . Correcta la Respuesta b)

**PROB 4** ¿Cuál de las siguientes es la única afirmación verdadera en relación con la entropía?

- La entropía de un sistema no aumenta en ningún caso.
- Cuando una masa de gas ideal se comprime isotérmicamente, su entropía disminuye.
- La entropía del universo disminuye constantemente.
- Cuando se comprime isotérmicamente una masa de gas ideal, su entropía no varía.
- En un sistema aislado, la entropía se mantiene constante.
- Cuando una masa de gas ideal se expande isobáricamente, su entropía disminuye

Hay que saber un poco de teoría para poder contestar estas preguntas. Acordate que para un sistema,  $Q$  es positivo si el sistema recibe ese calor y  $Q$  es negativo si el sistema lo entrega. Conclusión: si un sistema se calienta,  $Q$  es positivo,  $\Delta S$  es positiva y la entropía de ese sistema aumenta. Si un sistema se enfriá, el sistema pierde calor,  $Q$  es negativo,  $\Delta S$  es negativa y la entropía disminuye.

Bueno, ahora sí, teniendo en cuenta todo esto, veamos cada una de las opciones:

- La entropía de un sistema no aumenta en ningún caso.

FALSO. La entropía de un sistema puede aumentar, puede disminuir o puede permanecer cte.

- Cuando una masa de gas ideal se comprime isotérmicamente, su entropía disminuye.

VERDADERO. Si comprimo un gas en forma isotérmica, el gas tira calor al exterior. Ese calor que sale del sistema es NEGATIVO. Por lo tanto, la variación de entropía va a dar negativa. Podés ver esto también usando la fórmula del cuadro salvador para calcular entropías.

- La entropía del universo disminuye constantemente.

FALSO. La entropía del universo siempre aumenta. La entropía del Universo puede no cambiar si el proceso es reversible. Pero nunca puede disminuir.

- Cuando se comprime isotérmicamente una masa de gas ideal, su entropía no varía.

FALSA. No hace falta que justifiquemos esta opción porque justificamos la 2da.

- En un sistema aislado, la entropía se mantiene constante.

FALSO. Si el sistema está aislado, no intercambia calor con el medio, pero eso es independiente de lo que pasa con su entropía. Si dentro de un calorímetro adiabático coloco hielo con agua líquida, el hielo se fundirá hasta llegar al equilibrio térmico y la entropía del sistema va a aumentar.

- Cuando una masa de gas ideal se expande isobáricamente, su entropía disminuye

FALSO. Si el proceso es una expansión, entonces el volumen del gas aumenta, quiere decir que el gas está recibiendo calor  $\rightarrow$  la entropía aumenta.

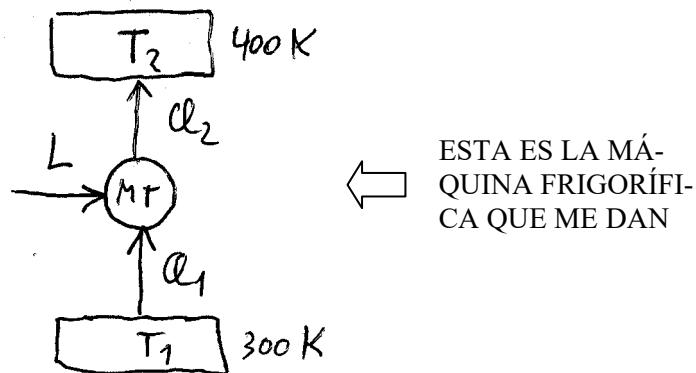
Podés ver esto también usando la fórmula del cuadro salvador para calcular entropías.

---

**5 - Un refrigerador, cuyo motor realiza un trabajo  $L$  sobre el gas del aparato, toma una cantidad de calor  $Q_1$  de una fuente a una temperatura de  $27^\circ\text{C}$  y entrega un calor  $Q_2$  a otra fuente de temperatura  $127^\circ\text{C}$ . Indique, entre los de la tabla, el único caso que es posible porque no viola principios los termodinámicos:**

CASO	$Q_2$ (KJ)	$ Q_1 $ (kJ)	$ L $ (kJ)
1	30	26	4
2	10	4,185	4185
3	10	10	50
4	30	29	1
5	30	22	8
6	10	30	20

Respuesta: Hago el dibujito de la máquina frigorífica:



Primero pruebo a ver qué opciones cumplen el 1er principio. Hago la cuenta del almacenero: Todo lo que entra tiene que ser igual a lo que sale + lo que quedó. Entran  $Q_1$  y  $L$  y sale  $Q_2$ .

Tonces :

$$L + Q_1 = Q_2 \Rightarrow \text{cumpl} \ 1), 4) \ y \ 5)$$

Pruebo ahora con el 2do principio. La variación de entropía para el sistema de la máquina frigorífica + las fuentes tiene que dar positiva. Entonces :

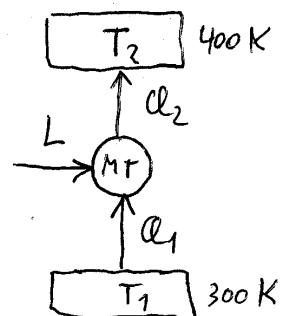
$$\Delta S_{SIST} + \Delta S_{medio} > 0 \Rightarrow \Delta S_{Mr} + \Delta S_{Fuentes} > 0$$

$$\Rightarrow \Delta S_{Fuente_1} + \Delta S_{Fuente_2} > 0$$

La máquina frigorífica en sí es el gas que tiene adentro y evoluciona haciendo ciclos. Su variación de entropía es cero.

$$\Rightarrow \boxed{\Delta S_{Fuentes} > 0}$$

Miro el dibujito de la máquina frigorífica con las fuentes. A la fuente caliente entra calor.  $\rightarrow Q_2$  es Positivo. De la Fuente fría SALE calor.  $\rightarrow Q_1$  es negativo. Me queda :



$$\textcircled{1} \frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} > 0$$

Entonces:  $\textcircled{1} \frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} > 0 \Rightarrow \frac{Q_2}{T_2} > \frac{Q_1}{T_1}$

Voy probando todas las opciones que cumplían el 1er principio. ( Que eran la 1, la 4 y la 5 ):

1)  $\frac{30}{400} > \frac{26}{300}$  No cumple

2)  $\frac{30}{400} > \frac{29}{300}$  No cumple

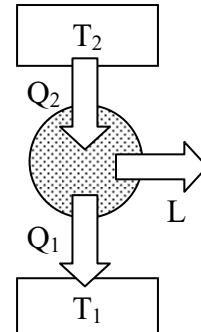
3)  $\frac{30}{400} > \frac{22}{300}$  Cumple

Opción correcta: 3

6 -El círculo representa una máquina cíclica que opera entre las temperaturas  $T_2 = 600$  K y  $T_1 = 300$  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 1.000 joules por ciclo sin contravenir ninguno de los principios termodinámicos ?

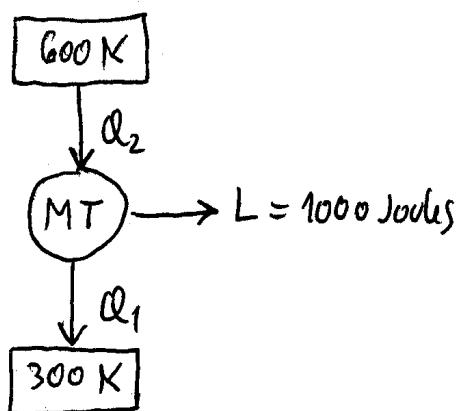
- 1080 J y 80 J       2000 J y 1800 J       1800 J y 800 J  
 2100 J y 1100 J       1200 J y 200 J       1300 J y 300 J



SOLUCION: Planteo el 1er principio para la máquina térmica :

$$Q_2 = Q_1 + L$$

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



Hago la cuenta  $Q_2 = Q_1 + L$  y veo que cumplen todas menos la 2da opción de arriba. Para decidir voy a tener que usar el 2do principio. Veamos. Planteo que la variación de entropía del universo 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 esta fórmula y ver si se cumple para algún par de valores. Voy probando y veo que:

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

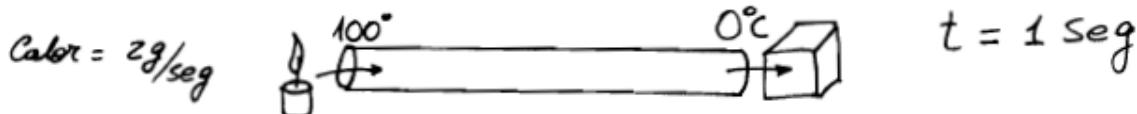
Correcta la 1ra opción de abajo: 2.100 J y 1.100 J

7 – Un bloque de hielo a 0 °C se vincula con una varilla conductora en cuyo extremo hay una fuente a 100 °C. En esas condiciones se derrite a razón de 2 gr/seg. Si el conjunto se halla térmicamente aislado del exterior, la variación de entropía del sistema constituido por la fuente, la varilla y el bloque de hielo, por segundo será:

	- 575,56 cal/K	- 1544,2 cal/K	2109,8 cal/K
--	----------------	----------------	--------------

	- 2109,8 cal/K	<del>575,56 cal/K</del>	1544,2 cal/K
--	----------------	-------------------------	--------------

Hago el dibujo de la barra :



Calculo el calor del hielo que se derrite :

$$L_f = 80 \frac{\text{cal}}{\text{g}}$$

$$\begin{array}{ccc} 1 \text{ g} & \longrightarrow & 80 \text{ cal} \\ 2 \text{ g} & \longrightarrow & 160 \text{ cal} \end{array}$$

A la izquierda de la barra está la vela que es la fuente caliente. A la derecha está el hielo que es fuente fría. Ahora pensemos un poco. El sistema es la barra. El medio son las fuentes. La barra no cambia su entropía porque todo el calor que recibe de la fuente caliente (= la vela) lo pasa a la fuente fría. O sea,  $Q_{BARRA} = 0$  y  $\Delta S_{BARRA} = 0$

Veamos qué pasa con las fuentes. Las fuentes mantienen su temperatura constante. Entonces, la fuente fría RECIBE calor  $\rightarrow Q_{FRIO} = (+)$ . La fuente caliente CEDE calor  $\rightarrow Q_{CAL} = (-)$ . Hago las cuentas:

Para la vela :

$$\Delta S_{VELA} = \frac{-160 \text{ cal}}{373 \text{ K}} = -0,4289 \frac{\text{cal}}{\text{K}}$$

Para la barra

$$\Delta S_{\text{barra}} = 0 \text{ cero}$$

Para el hielo

$$\Delta S_{\text{hielo}} = \frac{+160 \text{ cal}}{273 \text{ K}} = 0,5861 \frac{\text{cal}}{\text{K}}$$

Para el sistema

$$\Delta S_{\text{sistema}} = \Delta S_{\text{hielo}} + \Delta S_{\text{barra}} + \Delta S_{\text{aire}}$$

$$\Delta S_{\text{sistema}} = -0,4289 + 0 + 0,5861$$

$$\boxed{\Delta S_{\text{sistema}} = +0,1572 \frac{\text{cal}}{\text{K}}}$$

Sonamos. La variación de entropía que calculé no coincide con ninguna de las respuestas que ellos dan. ( Bienvenido a biofísica ). A ver. Ellos piden calcular la variación de entropía del universo en 1 segundo. Probemos a ver que pasaría si fuera en una hora. Son 3.600 segundos. Tengo que multiplicar por 3.600

$$\Delta S_{\text{UNIV}} = +0,1572 \text{ Cal/K} \times 3.600$$

$$\underline{\Delta S_{\text{UNIV}} = +565 \text{ Cal/K}}$$

Se aproxima un poco a la 5<sup>ta</sup> opción.

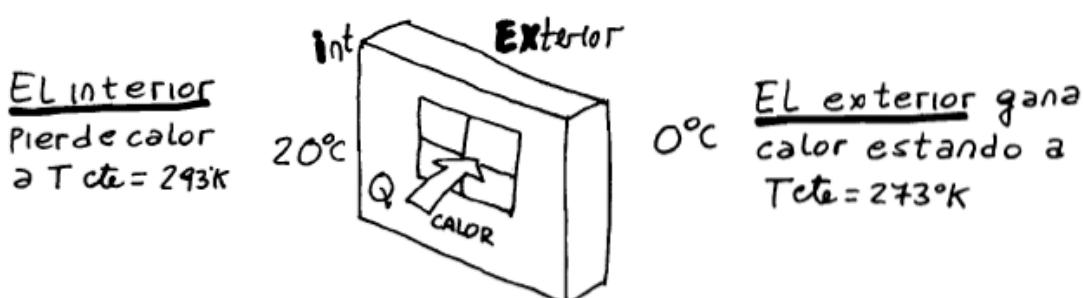
8 – Una habitación se mantiene a temperatura constante de 20 °C mediante un calefactor. Las únicas pérdidas de calor se producen a través de una ventana que da al exterior en donde la temperatura es 0 °C. Una vez que transmisión de calor a través de la ventana ha alcanzado el régimen estacionario, las variaciones de entropía de la habitación incluyendo aire, paredes y calefactor ( $\Delta S_i$ ), del exterior ( $\Delta S_e$ ) y de la ventana ( $\Delta S_v$ ), verifican las relaciones :

- $\Delta S_e < \Delta S_i < \Delta S_v$   
  $\Delta S_i > \Delta S_v > \Delta S_e$

- $\Delta S_i = -\Delta S_e; \Delta S_v = 0$   
  $\Delta S_i = \Delta S_e = \Delta S_v$

- $\Delta S_i < \Delta S_v < \Delta S_e$   
  $\Delta S_v = \Delta S_i = -\Delta S_e$

Hago el dibujo de la habitación :



Todo el calor que pasa por la ventana proveniente del calefactor va al exterior. La ventana no gana ni pierde calor. ( $Q_{VENT} = \text{cero}$ ). Entonces :

$$\text{VENTANA} \quad \Delta S_v = \frac{-(\text{calor}) + \text{calor}}{T \text{ cte}} = 0 \text{ cero}$$

$$\text{INTERIOR} \quad \Delta S_i = \frac{-(\text{calor})}{273^\circ\text{K}} = \text{negativo}$$

$$\text{EXTERIOR} \quad \Delta S_e = \frac{+(\text{calor})}{273^\circ\text{K}} = \text{positivo.}$$

Entonces la opción correcta es:

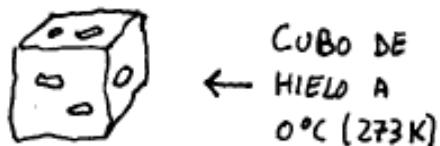
$$\underbrace{\Delta S_i}_{(-)} < \underbrace{\Delta S_v}_{0} < \underbrace{\Delta S_e}_{(+)}$$

### PROBLEMA 9 :

Un cubito de hielo de 125 gr a  $0^\circ\text{C}$  se pone en contacto con el ambiente y se funde completamente generando un aumento en la entropía del Universo de 2,50 Cal/K. Si el entorno se comporta como una fuente térmica ideal, su temperatura era de:

- |                       |                       |                       |                        |                       |                      |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|----------------------|
| a) $15^\circ\text{C}$ | b) $10^\circ\text{C}$ | c) $20^\circ\text{C}$ | d) $-10^\circ\text{C}$ | e) $25^\circ\text{C}$ | f) $0^\circ\text{C}$ |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|----------------------|

SOLUCION : Pongo el hielo al aire y se empieza a derretir :



El hielo absorbe calor del ambiente.  $Q_{HIELO}$  es positivo. El ambiente CEDE calor al hielo.  $Q_{AMB}$  es negativo.

$$\Delta S_{univ} = \Delta S_{HIELO} + \Delta S_{AMB}$$

$$\Delta S_{univ} = \frac{Q_H}{T_H} + \frac{Q_{AMB}}{T_{AMB}}$$

El hielo absorbe todo el calor del ambiente. Entonces al  $Q_{HIELO}$  es igual al  $Q_{AMB}$

$$\Delta S_{univ} = \frac{Q_H}{T_H} - \frac{Q_H}{T_{AMB}}$$

$$\Delta S_{univ} = \frac{m_H L_f}{T_H} - \frac{m_H L_f}{T_{AMB}} = 2,5 \frac{\text{cal}}{\text{K}}$$

La T del hielo la tengo, son  $0^\circ\text{C}$  que son 273 Kelvin. Reemplazo por los datos :

$$2,5 \frac{\text{cal}}{\text{K}} = \frac{125 \text{g} \cdot 80 \frac{\text{cal}}{\text{g}}}{273 \text{K}} - \frac{125 \text{g} \cdot 80 \frac{\text{cal}}{\text{g}}}{T_{AMB}}$$

Entonces lo que hago es despejar la temperatura del ambiente del chocalo que me quedó :

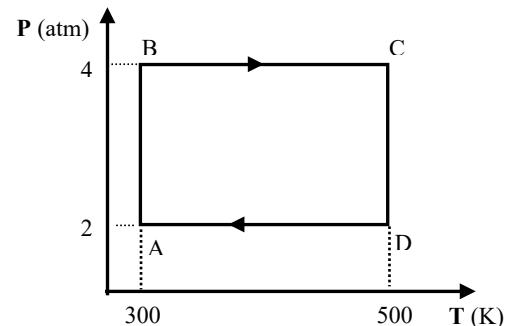
$$2,5 \frac{\text{cal}}{\text{K}} - 36,6 \frac{\text{cal}}{\text{K}} = - \frac{10000 \text{ cal}}{T_{\text{AMB}}}$$

$$T_{\text{AMB}} = \frac{-10000 \text{ cal}}{-39,1 \frac{\text{cal}}{\text{K}}} \rightarrow T_{\text{AMB}} = 293 \text{ K} = 20^\circ\text{C}$$

Correcta la c)

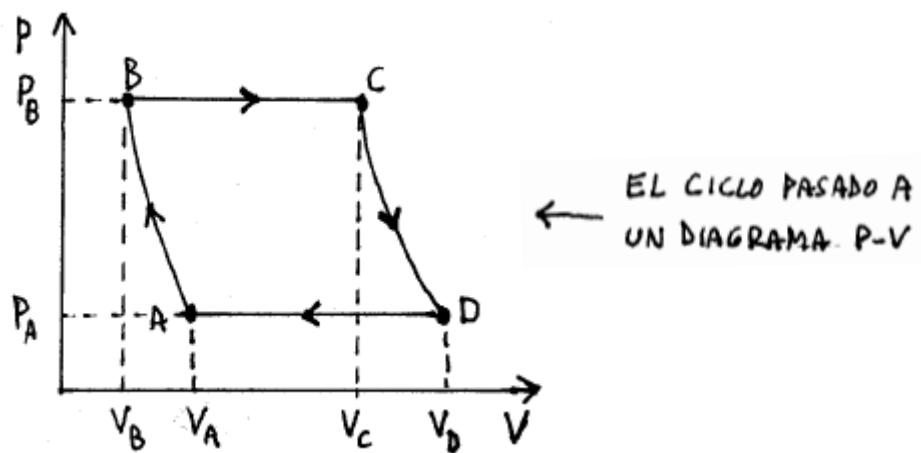
10 - Un mol de gas ideal evoluciona cumpliendo el ciclo en sentido ABCD ; Cuáles de las afirmaciones acerca de la variación de entropía del gas ( $\Delta S$ ) es la correcta ?

- a)  $\Delta S_{\text{CICLO}} > 0$
- b)  $\Delta S_{\text{AB}} = \Delta S_{\text{CD}}$
- c)  $\Delta S_{\text{CICLO}} < 0$
- d)  $\Delta S_{\text{AB}} > \Delta S_{\text{CD}}$
- e)  $\Delta S_{\text{AB}} < \Delta S_{\text{CD}}$
- e)  $\Delta S_{\text{AB}} = 0$ .



### SOLUCION

Fíjate que el diagrama que dan no es P-V, es P-T. ( Ojo ). Lo voy a pasar al P-V para trabajar más cómodo. Los tramos BC y DA son isocoras ( $P = \text{cte}$ ). Los tramos AB y CD son isotérmicas. Así que el diagrama tiene que quedar así:



Como es un ciclo, se tiene que cumplir que  $\Delta S_{\text{CICLO}} = 0$ . Por lo tanto la a) y la c) son falsas. Los tramos AB y CD son isotérmicas. En una isotérmica la variación de entropía vale :

$$\Delta S_{\text{ISOT}} = n R \ln (V_f/V_0)$$

Quiere decir que  $\Delta S_{\text{AB}}$  no puede ser cero. Entonces la e) también es falsa. Quedan 3 opciones posibles que comparan la entropía del tramo AB con la del tramo CD. Usando la ecuación de gases ideales puedo poner:

$$\frac{P_A \cdot V_A}{T_A} = \frac{P_B \cdot V_B}{T_B}$$

AB y CD son isotérmicas. Entonces  $T_A = T_B$ . Me queda:

$$P_A \cdot V_A = P_B \cdot V_B$$

O sea:

$$\frac{P_A}{P_B} = \frac{V_B}{V_A}$$

Reemplazando en la ecuación de la isotérmica AB :

$$\Delta S_{AB} = n R \ln (V_B/V_A) \rightarrow$$

$$\Delta S_{AB} = n R \ln (P_A/P_B)$$

$P_A$  vale 2 atmósferas y  $P_B$  vale 4 atmósferas. Entonces :

$$\Delta S_{AB} = n R \ln (2/4)$$

←  $\Delta S_{AB}$

Haciendo lo mismo para el tramo CD:  $\Delta S_{CD} = n R \ln (P_C/P_D)$

$$\Delta S_{CD} = n R \ln (4/2)$$

←  $\Delta S_{CD}$

Log de 2 es mayor que log de 0,5. De hecho  $\ln 0,5$  es negativo. Quiere decir que la respuesta correcta es:

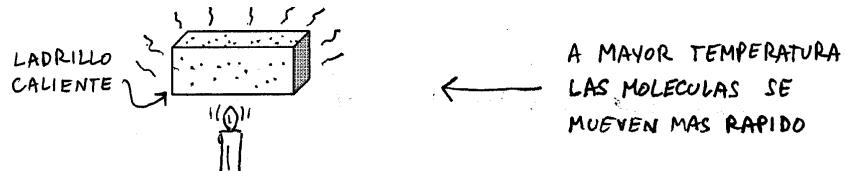
$$(e) \Rightarrow \Delta S_{AB} < \Delta S_{CD}$$

**RESUMEN**  
**DE**  
**FORMULAS**

**ASTMOV**

## RESUMEN DE FORMULAS DE CALOR Y TERMODINAMICA

CALORIMETRIA: Temperatura: Medida de la agitación de las moléculas. Cuando vos tocás algo y te quema, lo que estás sintiendo es el golpeteo de las moléculas que chocan contra tu mano.



CALOR: Es una forma de energía. Cuando golpeás una moneda con un martillo la energía cinética del martillo se transforma en calor. ( La moneda queda caliente). Equivalencia : 1 Kcal = 4186 Joules

### CALOR RECIBIDO POR UN CUERPO

$$Q = c \cdot m \cdot (T_f - T_i)$$

← CANTIDAD DE CALOR RECIBIDA POR UN CUERPO

CALOR RECIBIDO (cal o Kcal) ← CALOR ESPECIFICO (DATO) ← MASA DEL CUERPO ← TEMPERATURA FINAL → TEMP. INICIAL

### CALOR ESPECIFICO DE UN CUERPO.

Es una cantidad que me dice cuantas kilocalorías hay que entregarle a 1 Kg de una substancia para lograr que su temperatura aumente en 1 °C. Unidades son :

$$[c] = \frac{\text{calorías}}{\text{g} \cdot \text{°C}} \quad \text{o} \quad \frac{\text{Kcal.}}{\text{Kg} \cdot \text{°C}}$$

← UNIDADES DEL CALOR ESPECÍFICO

### TEMPERATURA FINAL PARA 2 CUERPOS PUESTOS EN UN CALORIMETRO

Me dan 2 cuerpos que están a distinta temperatura. Los ponen en un recipiente adiabático. Me piden calcular la temperatura final. Tengo que plantear que :

$$Q_{\text{ganado}} + Q_{\text{cedido}} = 0$$

← ECUACION PARA CALCULAR LA TEMPERATURA FINAL

$$Q = L \cdot m$$

CALOR LATENTE ← ← FORMULA CUANDO HAY CAMBIO DE ESTADO

CALOR ENTREGADO → ← MASA

### TRANSMISION DEL CALOR

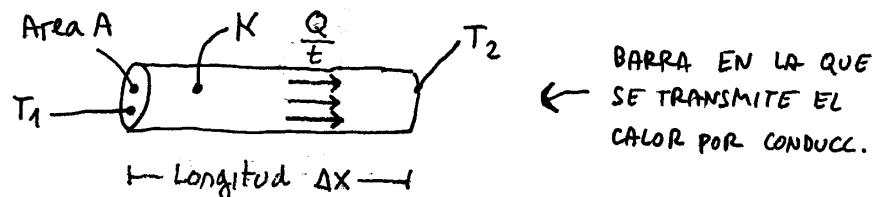
CONDUCCION : Al calentar la parte izquierda de un fierro las moléculas de ese lado se ponen a vibrar más rápido y van golpeando a las que tienen a la derecha.

De esa manera se va propagando el calor a toda la barra para allá  $\rightarrow$ .



### LEY DE FOURIER

La fórmula que se usa para calcular la cantidad de calor transmitida por conducción es la ley de Fourier. A través del fierro se va transfiriendo un flujo de calor  $Q/t$ . Ej: 20 Kcal/seg



$$\frac{Q}{t} = K \cdot A \cdot \frac{T_1 - T_2}{\Delta x} \leftarrow \text{LEY DE FOURIER (CONDUCCIÓN)}$$

En esta fórmula  $Q/t$  es la cantidad de calor transmitida por unidad de tiempo. (Flujo de calor). Va en Kcal/seg o en Joule/seg. Es como el flujo de agua en un caño. K es la CONDUCTIBILIDAD DEL MATERIAL. Es un coeficiente que da una idea de con qué rapidez se transmite el calor en ese material. Las unidades del coeficiente de conductibilidad térmica son:

$$[K] = \frac{\text{K cal}}{\text{m.s.}^{\circ}\text{C}} \leftarrow \text{UNIDADES DE } K.$$

### RADIACIÓN

Cualquier cuerpo que esté caliente emite radiación. El calor que te llega de una estufa es radiación. Más caliente está el cuerpo, más calor emite.



La fórmula que da el calor emitido por radiación es la LEY DE STEFAN - BOLTZMAN

$$\frac{Q}{A \cdot t} = \epsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \leftarrow \text{CALOR EMITIDO POR RADIACIÓN. (LEY DE STEFAN - BOLTZMANN)}$$

CALOR POR UNIDAD DE TIEMPO Y DE ÁREA  $\leftarrow$  COEFICIENTE DE EMISIVIDAD (VA DE 0 A 1)  $\leftarrow$  CONSTANTE DE STEFAN (SIGMA).  $\leftarrow$   $T^4$ : TEMPERATURA A LA CUARTA ( $\text{K}^4$ )

$Q/A.t$  vendría a ser la cantidad de calor emitida por unida de tiempo y por unidad de área. Se mide en calorías /  $m^2.s$ . este término es la potencia emitida por  $m^2$  de superficie.

$$\text{Fijate que } \frac{Q}{t} = \frac{\text{Joule}}{\text{seg}} = \text{watt} \Rightarrow \frac{Q}{A} \frac{\text{watt}}{m^2} \left( \frac{\text{potencia emitida}}{\text{área}} \right)$$

Epsilon ( $\epsilon$ ) es el coeficiente de emisividad. Es un número entre cero y 1. Da una idea de que tan buen emisor es el cuerpo. Más grande es epsilon, mejor emite.

BUEN EMISOR:  $\epsilon$  TIENDE A 1

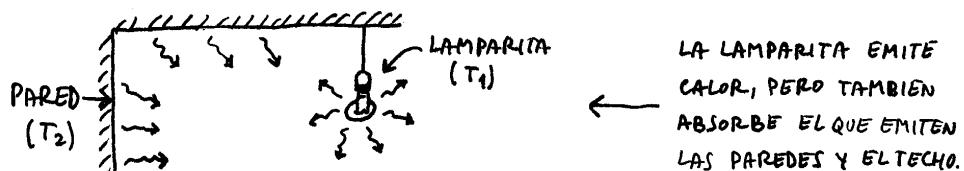
MAL EMISOR:  $\epsilon$  TIENDE A 0

Este epsilon depende del color del cuerpo. Si el cuerpo es oscuro  $\epsilon$  es grande y el objeto es un buen emisor. Las superficies de color negro son buenas emisoras. Las superficies de color claro son malas emisoras.

- La constante sigma ( $\sigma$ ) vale  $1,35 \times 10^{-11} \frac{\text{Kcal}}{\text{m}^2 \cdot \text{seg} \cdot \text{K}^4}$  ó  $5,67 \times 10^{-8} \frac{\text{watt}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}^4}$
- $T^4$  es la temperatura en Kelvin elevada a la cuarta.

### RADIACIÓN NETA EMITIDA.

El cuerpo emite porque está a cierta temperatura. Pero por otro lado también absorbe calor que radia el medio ambiente que está a otra temperatura.



Entonces, por un lado lo que el cuerpo emite es  $\epsilon A G T_1^4$  y lo que el cuerpo recibe es  $\epsilon A G T_2^4$ . Entonces restando estas 2 cantidades tengo el flujo neto de calor :

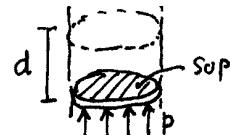
$$\frac{Q}{t} = \epsilon G A (T_1^4 - T_2^4) \quad \leftarrow \text{FLUJO NETO DE CALOR EMITIDO}$$

### 1er principio de la TERMODINAMICA

Termos: calor. Dinámica: movimiento. La palabra termodinámica significa movimiento del calor. El trabajo puede transformarse en calor y el calor puede transformarse en trabajo.

$$L = p(V_f - V_0)$$

Trabajo realizado por un gas que se expande. (Joules)



## PRIMERA LEY DE LA TERMODINAMICA

Cuando uno entrega calor a un gas, este calor se divide en 2. Parte se usa para expandir el gas y parte queda encerrado en el gas en forma de calor. (= Energía interna)

$$Q \rightarrow \Delta U \quad \leftarrow \quad \text{El calor entregado al gas se divide en dos.}$$

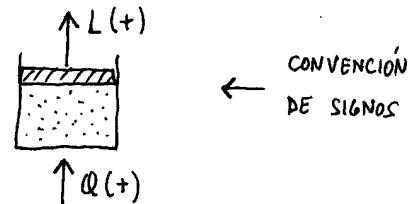
La energía entregada en forma de calor es la suma de la energía que queda almacenada en el gas en forma de energía interna más la energía que se gastó en realizar trabajo. Es decir:

$$Q = \Delta U + L \quad \leftarrow \quad \text{PRIMER PRINCIPIO}$$

## Convención de signos- Unidades

El calor se mide en calorías o en Jules. La energía interna y el trabajo también se miden en calorías o en Jules. Para saber los signos del calor y el trabajo se usa la siguiente convención:

Calor que entra al sistema:  
POSITIVO. Trabajo que sale  
del sistema: POSITIVO



Resumo la convención de signos en este cuadrito:

Calor que entra al gas: Signo positivo. (Calor recibido)
Calor que sale del gas: Signo negativo. (Calor cedido)
Trabajo que realiza el gas: Signo positivo. (= expansión)
Trabajo que se realiza sobre el gas: Signo negativo. (= compresión)

## SISTEMA, MEDIO Y UNIVERSO

Sistema gas que está encerrado en el cilindro. Medio es todo lo que rodea al cilindro. (Medio = Entorno o medio ambiente). Universo = sistema + medio. Cuando entra calor al cilindro, ese calor salió del medio. Cuando el gas realiza trabajo, ese trabajo va a parar al medio ambiente. Entonces:

$$\begin{aligned} L_{\text{sist}} &= \Theta L_{\text{MEDIO}} \\ Q_{\text{sist}} &= \Theta Q_{\text{MEDIO}} \end{aligned} \quad \leftarrow \quad \text{VER}$$

## Energía interna (U)

La energía interna es el calor almacenado en el gas. U depende SOLO de la temperatura. Si tengo un gas a 100 °C, el gas tendrá cierta energía interna. Si aumento la temperatura del gas, la energía interna aumenta. Si disminuyo

la temperatura del gas, la energía interna disminuye. Si aumento la temperatura del gas, la variación de energía interna es positiva. Si disminuye la temperatura del gas, la variación de energía interna es negativa.

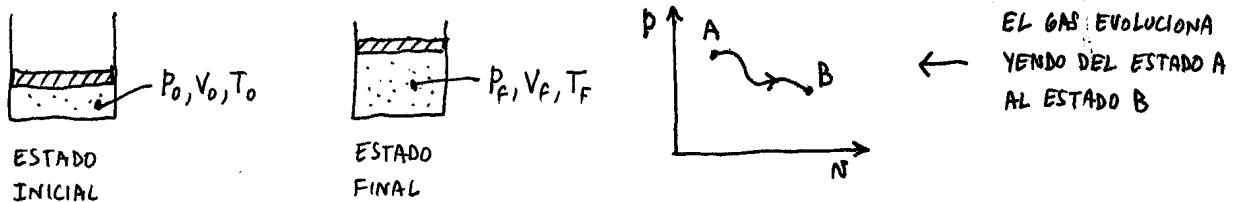
SI  $T$  AUMENTA  $\rightarrow \Delta U = +$   
SI  $T$  DISMINUYE  $\rightarrow \Delta U = -$

IMPORTANTE: Si la temp. del gas no cambia, no cambia su energía interna.

SI LA TEMPERATURA NO CAMBIA  $\rightarrow \Delta U = 0$   $\leftarrow$  VER

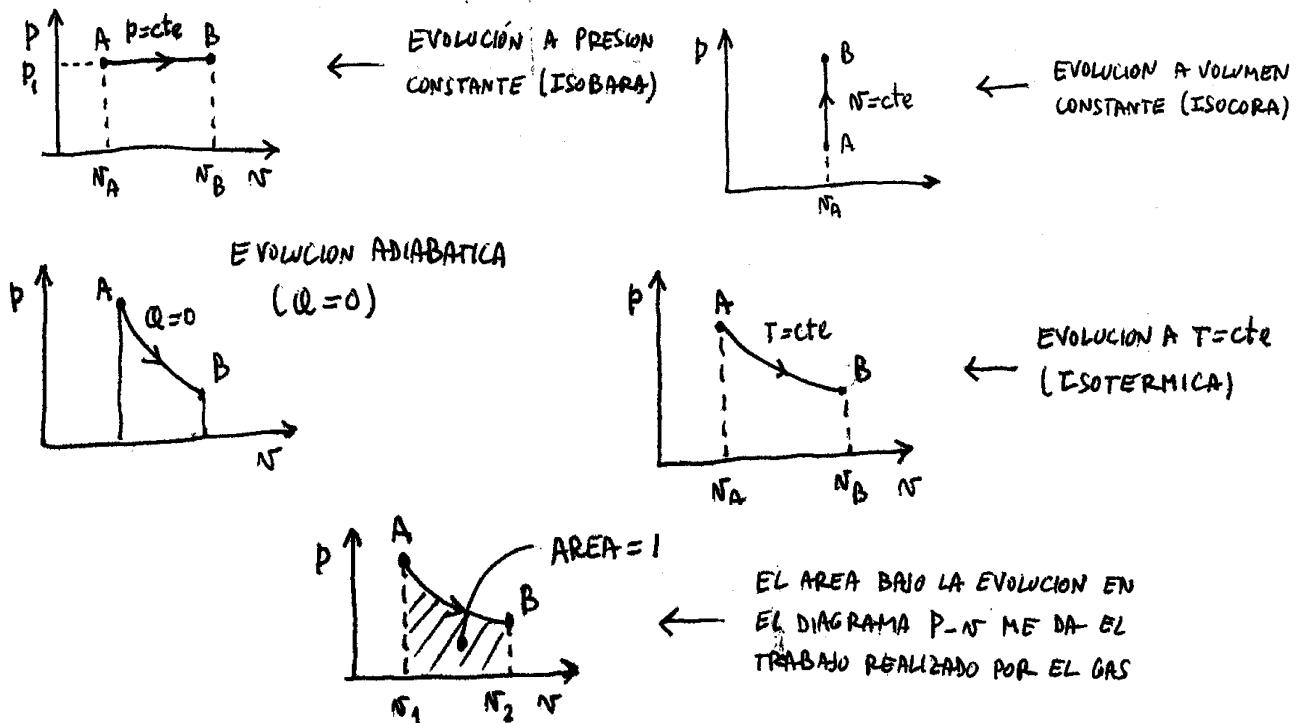
### EVOLUCIÓN SEGUIDA POR UN GAS

Un gas encerrado en un cilindro puede pasar de un estado A a otro estado B. Cuando cambian  $p$ ,  $v$  y  $T$  digo que el gas **evolucionó** de un estado inicial a un estado final. Esta evolución se suele representar en un diagrama P-V.



### PRINCIPALES EVOLUCIONES QUE PUEDE SEGUIR UN GAS

- 1 - Evolución a presión constante (isobara).
- 2 - Evolución a volumen constante (Isocora).
- 3 - Evolución a temperatura constante (isotérmica).
- 4 - Evolución sin calor transferido (adiabática).



CUADRO SALVADOR ( = RESUMEN POLENTA ) (VER)TABLA CON Q, ΔU Y L PARA CADA EVOLUCIÓN

EVOLUCIÓN	$Q =$	$\Delta U =$	$L =$
ISOBARA ( $P = ck$ )	$C_p m (T_f - T_0)$	$C_v m (T_f - T_0)$	$P (N_f - N_0)$
ISOCORA ( $n = ct$ )	$\Delta U$	$C_v m (T_f - T_0)$	0
ISOTERMICA ( $T = ct$ )	$L$	0	$MRT \ln \frac{V_f}{V_0}$
ADIABÁTICA ( $\alpha = 0$ )	0	$C_v m (T_f - T_0)$	$\ominus \Delta U$

Para saber lo que pasa en una evolución determinada hay que plantear siempre el 1er principio. Para calcular cuánto valen  $Q$ ,  $\Delta U$  y  $L$  en cada evolución tenés que mirar la tabla del resumen polenta. ( Atento con este resumen. Ha salvado a miles de personas en parciales y finales ). En esta tabla  $C_v$  y  $C_p$  son los calores específicos a volumen constante y a presión constante.  $n$  o  $m$  es la masa de gas en moles o en kg. Recordá que en todas la evoluciones  $\Delta U$  vale  $C_v m (T_2 - T_1)$ , salvo para la evolución isotérmica en donde  $\Delta U = 0$  porque la temperatura se mantiene constante. Otras fórmulas que conviene tener por ahí son:

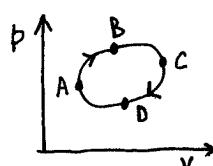
$$R = 0,082 \frac{\text{J. atm}}{\text{K. mol}}$$

$$C_p - C_v = R$$

$$C_p = \frac{5}{2} R ; C_v = \frac{3}{2} R$$

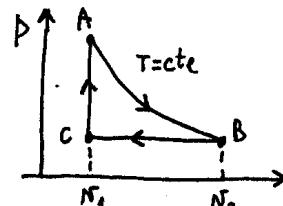
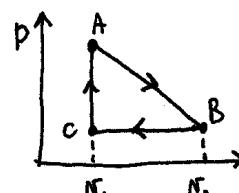
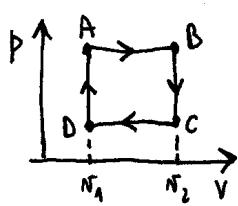
VALEN SOLO  
PARA GASES  
MONOATOMICOS

**CICLOS** Tengo un ciclo cuando el gas sale de un punto **A**, hace una evolución pasando por otros estados y finalmente llega de nuevo al punto A



ESQUEMA DE UN CICLO.  
EL GAS SALE DE **A**, PASA  
POR LOS ESTADOS **B, C, D**  
Y VUELVE AL ESTADO **A**

Acá tenés otros ejemplos de ciclos que van a aparecer todo el tiempo:



Lo mas importante que tenés que saber de un ciclo son 3 cosas:

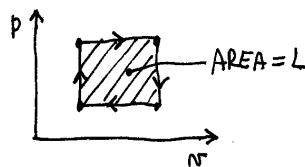
1 - La variación de energía interna en un ciclo es cero. Esto pasa porque la energía interna es función de estado.  $U$  depende de los valores iniciales y finales. Si el gas sale de un estado **A**, da toda la vuelta y vuelve al estado **A**, la temperatura final será la misma que la inicial.

Por lo tanto en un ciclo:

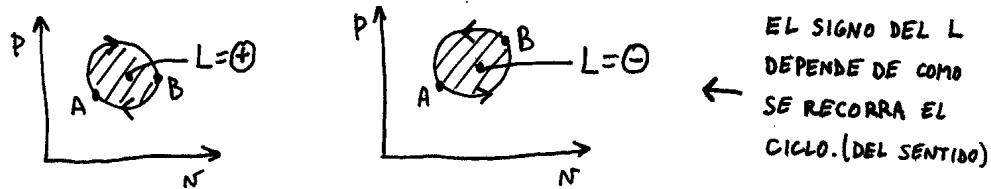
$$\Delta U_{\text{ciclo}} = 0$$

← VER ESTO

2 - El trabajo realizado en todo el ciclo es el área del ciclo.



3 - Si el ciclo se recorre en sentido horario, el trabajo será positivo. Si el ciclo se recorre al revés, el trabajo será negativo.



## SEGUNDO PRINCIPIO DE LA TERMODINAMICA

El 2do principio de la termodinámica tiene muchas formas diferentes de ser enunciado. Te digo alguno de esos enunciados.

- 1 - El trabajo se puede transformar totalmente en calor. El calor no puede ser transformado totalmente en trabajo.
- 2 - El calor pasa siempre de los cuerpos de mayor temperatura a los cuerpos de menor temperatura.
- 3 - El desorden de un sistema aislado siempre aumenta.

## ENTROPIA (s)

Cuando un sistema se desordena se dice que aumenta su entropía. Si un cuerpo que está a temperatura constante  $T$  recibe una cierta cantidad de calor, la variación de entropía que tiene se calcula con :

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

← CALOR ENTREGADO o RECIBIDO  
PUEDE SER  $+$  o  $-$ .  
T ← TEMPERATURA A LA QUE FUE ENTREGADO  
EL CALOR. VA EN KELVIN. DEBE SER cte.

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

← Unidades de la entropía.

IMPORTANTE: La entropía de un sistema puede disminuir o aumentar. Pero la entropía del universo siempre tiene que aumentar.

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

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

La entropía del universo sólo puede mantenerse constante si la evolución que ocurrió fue reversible. En esos casos se dice que :

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

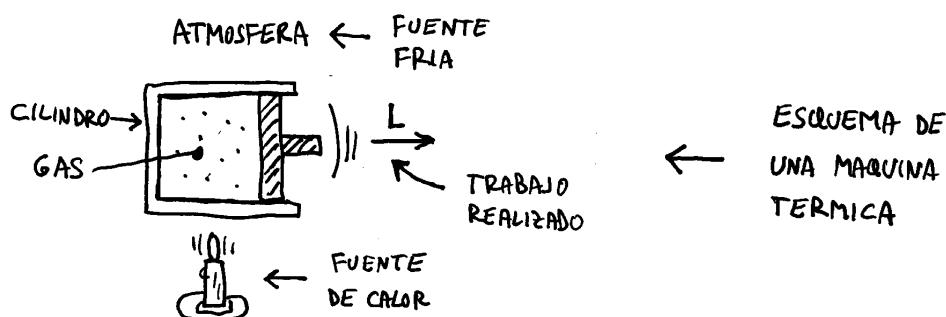
$$\text{SISTEMA} + \text{MEDIO} = \text{UNIVERSO} \quad \Delta S_{\text{SIST}} + \Delta S_{\text{MEDIO}} = \Delta S_{\text{UNIV}}$$

Principales fórmulas para calcular variaciones de entropía :

EVOLUCION	$\Delta S =$
$P = \text{Cte}$ ISOBARICA	$C_p n \ln \frac{T_f}{T_0} \left( o \frac{V_f}{V_0} \right)$
$V = \text{Cte}$ ISOCORICA	$C_v n \ln \frac{T_f}{T_0} \left( o \frac{P_f}{P_0} \right)$
$T = \text{Cte}$ ISOTERMICA	$n \cdot R \ln \frac{V_f}{V_0} \left( o \frac{P_0}{P_f} \right)$
$Q = 0$ ADIABATICA	NO HAY FORMULA. CERO SI ES ADIABATICA REVERSIBLE
CICLO	0

## MAQUINAS TERMICAS

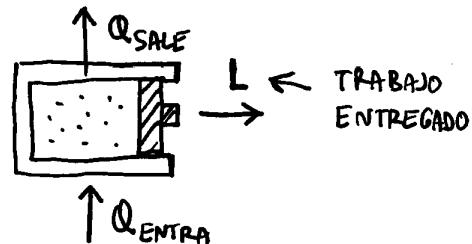
Una máquina térmica es un aparato que transforma calor en trabajo. Vos le entregás calor, ella te entrega trabajo. Funcionan con una fuente fría y una fuente caliente. La fuente caliente suele ser una caldera donde se mete leña. La fuente fría suele ser la atmósfera. Por ejemplo, las viejas máquinas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



Todo el calor  $Q_{\text{ENTRA}}$  a la máquina térmica no puede ser aprovechado. Hay una parte que se pierde y se va a la atmósfera. A ese calor desaprovechado lo llamo  $Q_{\text{SALE}}$ .

La fórmula que se usa para las máquinas térmicas es la que dice que todo el calor que entra a la máquina sale en forma de trabajo y en forma de calor que se pierde en la fuente fría. Es decir:

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

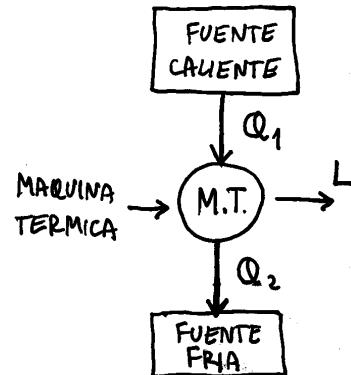


Si llamo  $Q_1$  al calor que entra y  $Q_2$  al calor que sale puedo poner:  $Q_1 = Q_2 + L$

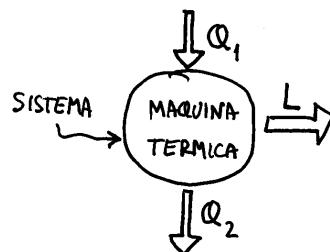
Las máquinas térmicas se simbolizan así:

ESQUEMA DE  
UNA MAQUINA  
TERMICA

$$Q_1 = Q_2 + L$$



Una máquina térmica evoluciona haciendo ciclos. El gas que está adentro se calienta, se expande, realiza trabajo, se enfriá y finalmente se contrae. Ahí se le vuelve a entregar calor y el ciclo vuelve a empezar. Dentro de la máquina térmica, el sistema es el gas. Todo lo que se plantea para la máquina térmica, en realidad lo estoy planteando para el gas dentro del cilindro.



Conclusión importante: como el gas de adentro evoluciona haciendo ciclos,  $\Delta U_{\text{gas}} = 0$ . Quiere decir que para la máquina térmica  $\Delta U = 0$ .

### RENDIMIENTO DE CARNOT

Para las máquinas térmicas se define una cosa que se llama rendimiento de Carnot. La máquina térmica siempre funciona entre 2 temperaturas  $T_1$  y  $T_2$ . Estas temperaturas son las de la fuente caliente y las de la fuente fría.

El rendimiento de Carnot depende de esas temperaturas  $T_{FRIA}$  y  $T_{CALIENTE}$ . Se calcula así:

$$\eta_{CAR} = 1 - \frac{T_{FRIA}}{T_{CAL}} \quad \text{KELVIN}$$

← RENDIMIENTO DE CARNOT

Atención, las temperaturas  $T_1$  y  $T_2$  de la fórmula van siempre en Kelvin. El rendimiento siempre es un número menor que 1. Por ejemplo 0,25 (= 25 %). Lo que hace este número es dar una idea del máximo trabajo que puede realizar una máquina térmica ideal. Una máquina térmica real NUNCA puede tener un rendimiento mayor que la máquina térmica ideal de Carnot.

### RENDIMIENTO REAL DE UNA MÁQUINA TERMICA

El rendimiento real se obtiene haciendo la relación entre el calor que entregó y el trabajo que obtengo. O sea:

$$\eta = \frac{L_{REALIZADO}}{Q_{SUMINISTRADO}} \quad \text{← RENDIMIENTO DE UNA MÁQUINA TERMICA (NO es el del CARNOT)}$$

El rendimiento real que tiene una máquina térmica es siempre menor que el rendimiento de Carnot.

$$\eta_{REAL} < \eta_{CARNOT}$$

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:

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \quad \boxed{\eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}} \quad \text{← RENDIMIENTO DE UNA MÁQUINA TERMICA}$$

PARA UNA MAQUINA TERMICA  
 $\Delta S = 0$  PORQUE LA MAQUINA EVOLUCIONA HACIENDO CICLOS

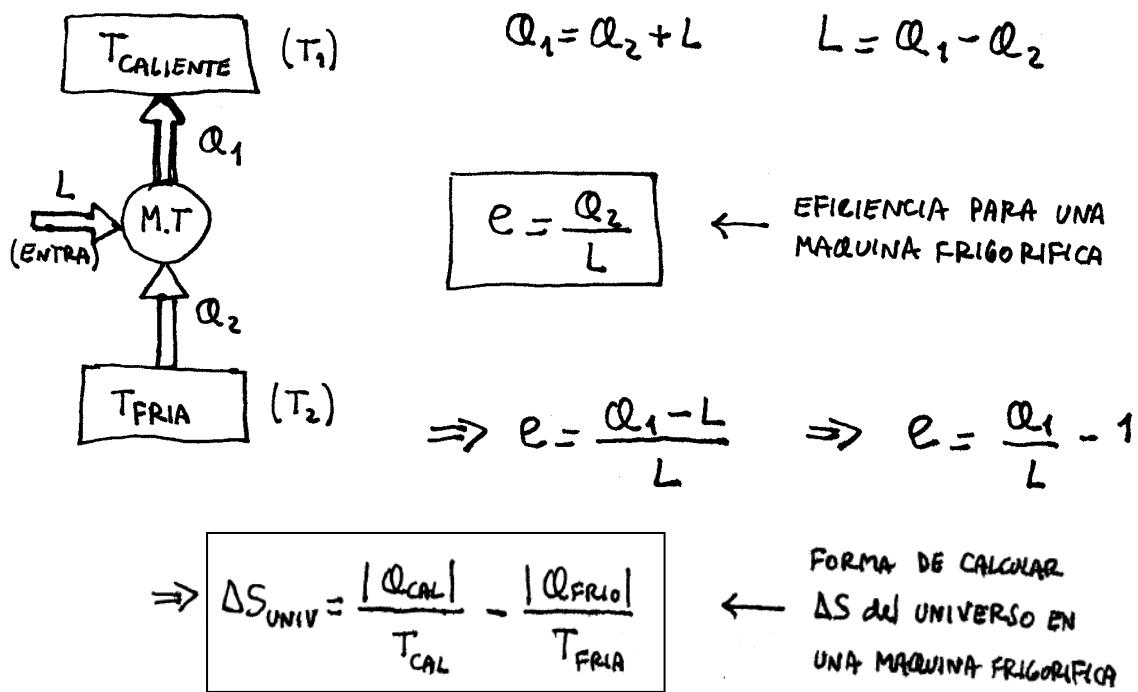
←  $\Delta S = 0$  PARA UNA MAQUINA TERMICA

$$\Delta S_{UNIV} = \frac{|Q_{FRIA}|}{T_{FRIA}} - \frac{|Q_{CAL}|}{T_{CAL}} \quad \text{← FORMA DE CALCULAR } \Delta S_{UNIV} \text{ EN UNA MÁQUINA TERMICA}$$

### MAQUINAS FRIGORIFICAS

Las máquinas frigoríficas enfrián ( como una heladera ). Sacan calor de una fuente fría y lo tiran a una fuente caliente. Para poder hacer esto hay que entregar un trabajo  $L$ .

En las máquinas frigoríficas no se trabaja con el rendimiento. Se trabaja con la EFICIENCIA ( $e$ ). La eficiencia da siempre mayor que 1.

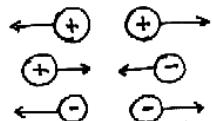


## Electricidad - Resumen de fórmulas

### Electrostática

Carga eléctrica. Es una propiedad que tienen algunas de las partículas de los átomos que forman la materia. Se dice que los materiales están cargados cuando, por algún motivo, tienen un exceso de carga o defecto de carga.

\* Hay dos tipos de carga: **positiva** (+) y **negativa** (-). Dos cargas **con el mismo signo se repelen y con distinto signo se atraen**, y su fuerza de atracción crece con la cantidad de carga y decrece con la distancia según la ley de Coulomb:



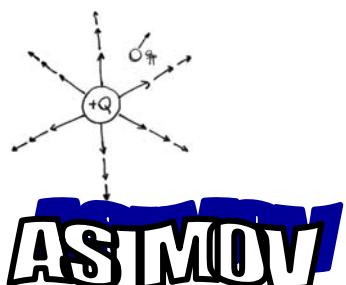
$$F = \frac{k}{\epsilon_r} \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2} \quad \leftarrow \text{Ley de Coulomb}$$

$$k = 9 \cdot 10^9 \frac{N \cdot m^2}{C^2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \quad , \quad \epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{C^2}{N \cdot m^2}$$

\* La constante **dieléctrica relativa**  $\epsilon_r$  depende del material. Para el aire y para el vacío vale 1.

Campo eléctrico. Es la fuerza eléctrica por unidad de carga.

$$E(r) = \frac{F(r)}{q_p} \quad [E] = \frac{\text{Newton}}{\text{Coulomb}} = \frac{\text{Volt}}{\text{metro}}$$



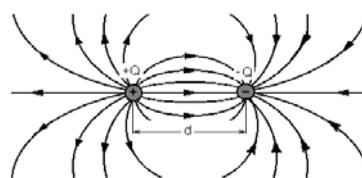
Para una carga  $Q$ , hay un campo eléctrico que se forma alrededor de ella. La fórmula para calcular el valor del campo a una distancia  $d$  es:

$$E(d) = \frac{k}{\epsilon_r} \cdot \frac{Q}{d^2}$$

campo eléctrico a cierta distancia  $d$

### Líneas de fuerza ( o de campo ) :

Marcan la trayectoria que seguiría una carga de prueba si la soltáramos cerca de la carga que produce el campo. Las líneas de fuerza siempre van de  $(+)$   $\rightarrow$   $(-)$



Líneas de campo alrededor de un dipolo

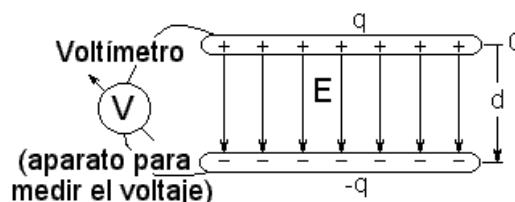
### Diferencia de potencial

Es el trabajo que debe entregarse a una carga unitaria para moverla desde el punto 1 hasta el punto 2. Por lo tanto indica qué posibilidad tiene una carga de ir desde un punto a otro, ya que es la energía potencial que tiene en un punto referida a la que tiene en el otro. Para un campo eléctrico constante se tiene:

$$\Delta V = V_2 - V_1 = \Delta V = E \cdot d ; \quad [\Delta V] = [V] = \text{volt}$$

Diferencia de potencial entre 2 placas planas paralelas:

$$\Delta V = E \cdot d = \frac{1}{\epsilon_r} \cdot \frac{d \cdot Q}{\epsilon_0 \cdot A}$$



### Materiales conductores:

Son los metales, soluciones iónicas, grafito, etc

\* Tienen baja resistencia.

\* Las cargas se ubican siempre en la superficie externa.



### Materiales aislantes o dieléctricos

( cargas fijas ). Cuero, goma, papel, vidrio, plástico, madera, etc. Presentan alta resistencia a la corriente.

Nota: Todos los materiales conducen aunque sea un poco de corriente. El cuerpo humano también conduce la corriente.

### CAPACITORES

Son 2 placas metálicas cargadas con cargas opuestas. Entre esas placas aparece un campo eléctrico. Los capacitores tienen "capacidad" para almacenar cargas.

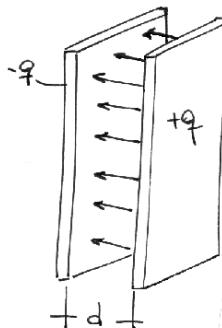
Capacidad. Es la relación entre la carga y la diferencia de potencial que existe entre las 2 placas del capacitor. La fórmula para los capacitores es:

$$C = \frac{Q}{V} ; [C] = \frac{\text{Coul}}{\text{Volt}} = F = \text{Farad o Faradio}$$

A veces dan la capacidad en mF ( milifaradios ) o  $\mu\text{F}$  ( microfaradios  $= \times 10^{-6}$  ).

\* La capacidad de un capacitor puede calcularse con la fórmula del constructor. Esta fórmula da la capacidad del capacitor en función del área A de las placas y la distancia d que están separadas. ( Fórmula poco tomada, pero tenela por ahí ):

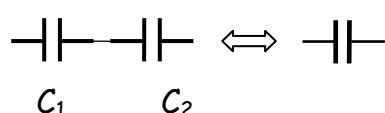
$$C = \epsilon_r \cdot \frac{\epsilon_0 \cdot A}{d}$$



\* La energía almacenada en el campo de un capacitor:

$$U = \frac{1}{2} Q \cdot V = \frac{1}{2} C \cdot V^2 = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C}$$

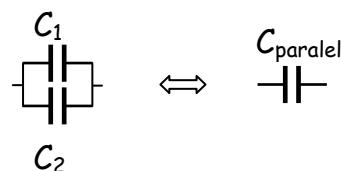
### Capacitores en serie:



$$\frac{1}{C_{\text{serie}}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

### Capacitores en paralelo :

$$C_{\text{paralelo}} = C_1 + C_2$$



Cargas en movimiento ( = Corriente eléctrica ). Es la cantidad de carga que pasa por la sección transversal de un conductor en un segundo.

$$I = \frac{\text{cantidad de carga}}{\text{tiempo}} = \frac{Q}{t} ; [I] = \frac{C}{s} = A \text{ (Ampère)}$$

Resistencia eléctrica. Es la oposición que ofrece un cable al paso de la corriente.

$$R = \frac{\text{resistividad} \cdot \text{longitud}}{\text{sección transversal}} = \frac{\rho \cdot L}{S} ; [R] = \Omega \text{ (Ohm)}$$

$\rho$  = resistividad o resistencia específica.  $[\rho] = \Omega \cdot m$

\* La resistencia depende del material y las medidas del conductor (= largo del cable y radio del cable). También puede ser afectada por la temperatura.

Ley de Ohm. "La corriente  $I$  que circula por una resistencia es proporcional a la diferencia de potencial  $\Delta V$  de la resistencia"

$$V = I \cdot R$$

← LEY DE  
OHM

Volts Amperes Ohms

Efecto Joule. Aumento de temperatura que tiene un material cuando es atravesado por una corriente eléctrica.

$$P = V \cdot I = I^2 \cdot R = \frac{V^2}{R} \quad \leftarrow \text{Potencia consumida (dissipada)} \\ \text{en un conductor por efecto Joule.}$$

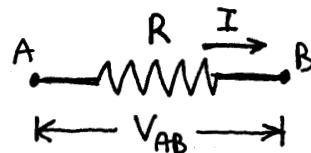
$$[P] = \text{Watt} = V \cdot A = A^2 \cdot \Omega = V^2 / \Omega.$$

## Circuitos eléctricos

### RESISTENCIA

Los cables se oponen al paso de los electrones. A esta oposición se la llama "resistencia". Se la pone con la letra R. Se mide en Ohms.

A veces para ahorrar tiempo en vez de poner la palabra Ohms se usa el símbolo " $\Omega$ ". (Es la letra griega Omega). Entre las puntas de la resistencia hay cierta diferencia de potencial  $V$ . El dibujito característico de una resistencia es este:

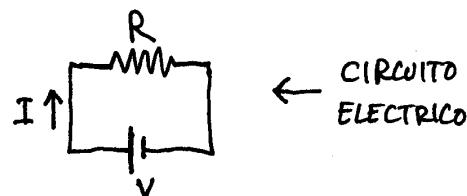


### Circuito.

Es un cable con resistencias por donde circula una corriente eléctrica.

El circuito tiene una pila con un diferencia de potencial  $V$ . ( Voltaje o Tensión ).

El voltaje de la pila es lo que obliga a los electrones a moverse por los cables.

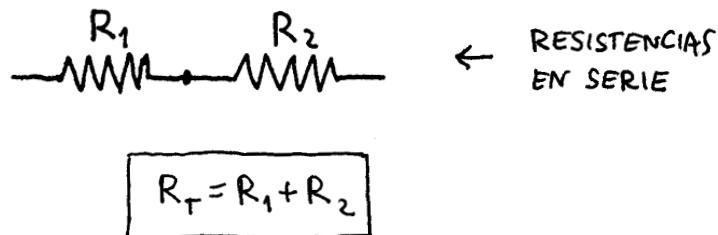


### Pila, batería, fuerza motriz o Generador eléctrico.

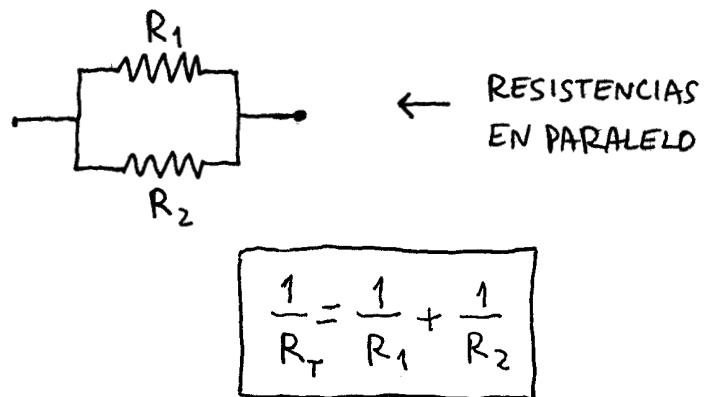
Son dispositivos que producen diferencias de potencial entre dos puntos de un circuito. ( Voltaje o tensión ).

Resistencias en serie :

Las resistencias están una después de la otra. La corriente eléctrica pasa primero por una resistencia y después por la otra.

Resistencias en paralelo :

La corriente se divide en dos. Parte de la corriente pasa por una de las resistencia y parte de la corriente pasa por la otra resistencia.



Para 2 resistencias en paralelo también se puede usar la fórmula:

$$R_T = \frac{R_1 \times R_2}{R_1 + R_2}$$

← FORMULA PARA  
2 RESISTENCIAS  
EN PARALELO.

---

# **- INDICE -**

## **PARTE 2 - TEMAS DEL 2<sup>do</sup> PARCIAL**

### **ELECTRICIDAD**

ELECTROSTATICA - Pág. 1

CAPACITORES - Pág. 17

CIRCUITOS - Pág. 33

### **CALOR Y TERMODINAMICA**

CALORIMETRIA - Pág. 55

TRANSMISION DEL CALOR - Pág. 77

1<sup>er</sup> PRINCIPIO - Pág. 93

2<sup>do</sup> PRINCIPIO - Pág. 141

RESUMEN DE FORMULAS : PAGINAS 187 A 202

ASIMOV

# BIOFISICA

## Para el CBC

- 2<sup>da</sup> PARTE -

---

- \* ELECTROSTATICA
  - \* CAPACITORES
  - \* RESISTENCIAS
  - \* LEY DE OHM - CIRCUITOS
  
  - \* CALORIMETRIA
  - \* TRANSMISION DEL CALOR
  - \* 1<sup>er</sup> PRINCIPIO
  - \* 2<sup>do</sup> PRINCIPIO Y ENTROPÍA
  - \* MÁQUINAS TERMICAS
-

# OTROS APUNTES

# ASIMOV

## \* EJERCICIOS RESUELTOS DE BIOFÍSICA

Tiene todos los ejercicios de la guía resueltos y explicados.

## \* PARCIALES RESUELTOS

Son parciales que fueron tomados el año pasado. Hay también de años anteriores. Todos los ejercicios están resueltos.

## \* FINALES RESUELTOS

Son finales que fueron tomados el año pasado, Hay también de años anteriores. Todos los ejercicios están resueltos.

Podés bajar temas viejos de  
parciales de [www.asimov.com.ar](http://www.asimov.com.ar)