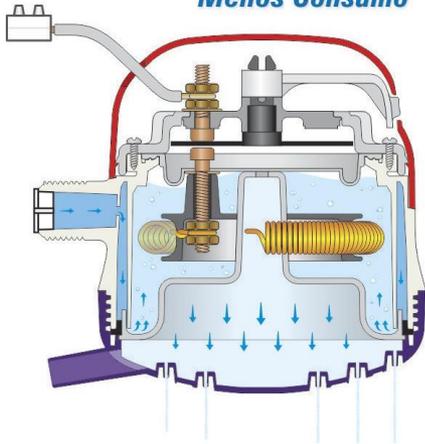


**EQUIVALENTE MECANICO
DEL CALOR**

PROBLEMA

Más Tecnología
Menos Consumo



DOBLE RECAMARA

- ▶ Al introducir una resistencia eléctrica a un recipiente con agua por un determinado tiempo, la temperatura del agua aumenta.
- ▶ Por cada caloría que absorbe el agua ¿cuántos joules cede el dispositivo eléctrico?



*La época de los milagros ya ha pasado,
Ahora debemos buscar las causas
De todo lo que sucede en el mundo.*

W. Shakespeare. «Enrique V»

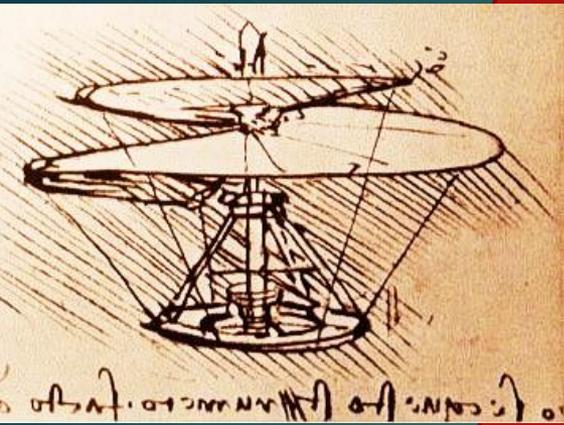
Introducción



Visitar:

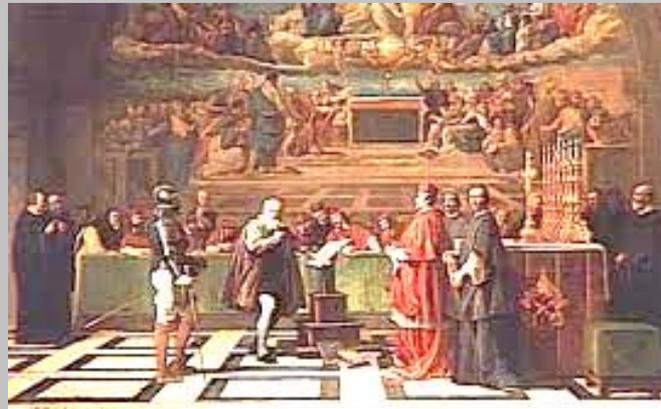
<https://pin.it/2WuAHMf>

La idea sobre cierta fuerza constante, que se transmite de un cuerpo a otro, se conservó en la Edad Media.



- ▶ Juan Buridan² (1300-1358). El llamó a esta fuerza ímpetus (ímpetu, empuje, presión) y expresó su paso de un cuerpo a otro así: «Mientras lo moviente mueve lo movable, aquello reproduce en esto cierta fuerza (ímpetus), capaz de mover este movable en la misma dirección... indiferentemente de si será hacia arriba, hacia abajo, hacia un lado o por la circunferencia». A pesar de cierta pesadez de esta frase, su sentido, en principio justo, está claro.
- ▶ Sobre la opinión de Leonardo de Vinci acerca de la conservación del movimiento ya hablamos más arriba. Comenzando desde el s. XVI, la idea sobre la conservación del movimiento (limitada, naturalmente, solamente por el movimiento mecánico) y la imposibilidad de su surgimiento de la nada (es decir, la imposibilidad del mpp-1) se desarrollaba y fortalecía en las mentes de los físicos rectores. Concedamos la palabra a ellos mismos

- ▶ G. Cardano (1501-1576): «No se puede construir un reloj, que se dé cuerda el mismo y que levante las pesas que mueven el mecanismo».
- ▶ Galileo Galilei (1564-1642): «Las máquinas no crean fuerza; ellas sólo la transforman, y todo aquél que espere otra cosa, no comprende nada en mecánica».

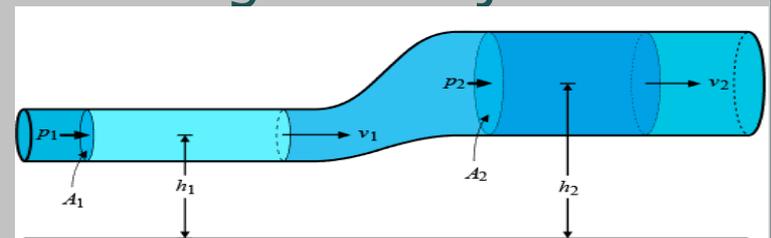


- ▶ R. Descartes (1596-1650): «Yo acepto que en toda materia creada existe cierta cantidad de movimiento, el cual nunca aumenta ni disminuye y, por lo tanto, si un cuerpo pone en movimiento a otro entonces pierde tanto movimiento suyo, cuanto le comunica».
- ▶ «Yo tuve la oportunidad de ver muchas cuadraturas del círculo, móviles perpetuos y muchas otras demostraciones imaginarias, que resultaron falsas».



▶ Ch. Huygens (1629-1695): «Y si los inventores de nuevas máquinas, que intentan en vano construir el móvil perpetuo, se valieran de esta hipótesis mía (sobre la imposibilidad de un sistema de cuerpos de cambiar la posición de su centro de gravedad sin fuerzas exteriores), entonces ellos caerían fácilmente en la cuenta de su error y comprenderían que semejante motor no puede ser construido por medios mecánicos».

▶ J. Bernoulli (1667-1748): «Una ínfima parte de la causa positiva no puede desaparecer sin generar a cambio tal acción, con ayuda de la cual esta pérdida puede ser restablecida. Así pues, nada de las fuerzas desaparece, pese a que aparentemente tuvo lugar semejante desaparición».



- ▶ M. V. Lomonosov (1711-1765): «Todos los cambios que suceden en la naturaleza son tales estados, que cuanto se le gasta a un cuerpo, se le añade a otro, así que si en un lugar disminuye la materia, en otro aumenta. Esta ley general de la naturaleza se extiende también a las reglas del movimiento, puesto que el cuerpo que le comunica movimiento a otro pierde tanta fuerza como la que le comunica al otro».
- ▶ Las últimas citas demuestran que las nociones de Leibniz y Lomonosov sobre los principios de conservación adquieren el carácter más generalizado.
- ▶ Tiene importancia señalar que el principio de conservación de Leibniz ya sale de los límites del movimiento mecánico simple de los cuerpos; él habla también sobre la «absorción de la fuerza por partículas imperceptibles del cuerpo», es decir, sobre la forma térmica de movimiento.
- ▶ Lomonosov desarrolló esta idea aún más («Razonamiento sobre la naturaleza del calor y el frío»-1744).

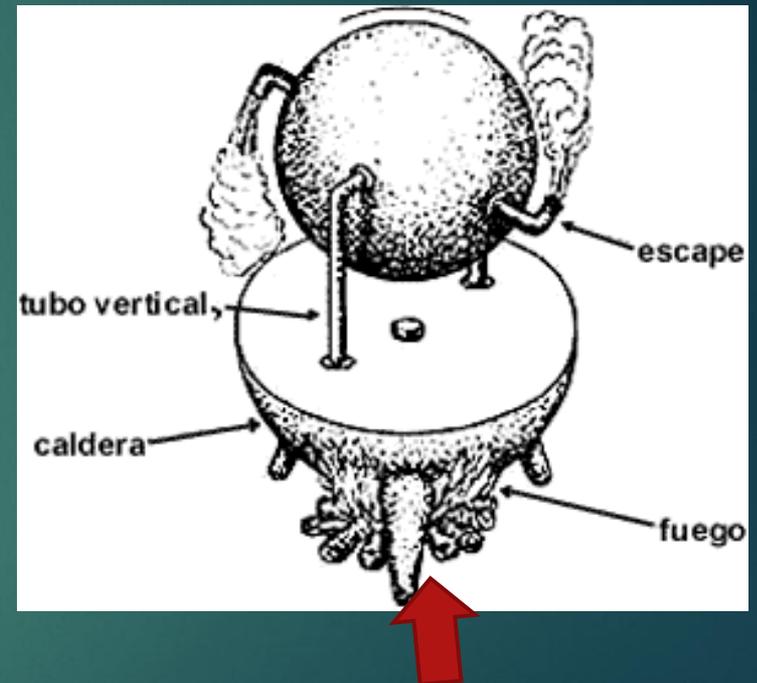
- ▶ En nuestra vida cotidiana tenemos innumerables contactos con dispositivos que transforman una forma de energía en otra.
- ▶ Ejemplos típicos son:
 - ▶ el encender una luz
 - ▶ utilizar un refrigerador
 - ▶ poner en marcha el motor de un automóvil
 - ▶ encender un calentador de agua, gas u otro combustible
 - ▶ y muchos más.

- ▶ La energía eléctrica que consumimos se transforma por el foco en energía luminosa.
- ▶ En el refrigerador la energía eléctrica pone a operar un motor que a través de un proceso mecánico enfría su interior.
- ▶ En el caso de un motor de combustión, como el de un automóvil, la energía mecánica que permite a un vehículo ponerse en movimiento.
- ▶ En un calentador, la energía química, del combustible sirve para calentar agua o el ambiente de una habitación .
- ▶ ¿Existen reglas o leyes generales, que rijan la forma en que deben ocurrir todos estos procesos y transformaciones?
- ▶ Las leyes que rigen estos fenómenos son contemplados en un área de la ciencia correctamente llamada la **termostática**, aunque por razones prácticas se le denomina comúnmente la termodinámica

La primera máquina térmica

- ▶ Fue descubierta por Hero de Alejandría (~ 130 a.C.) y llamada la *aeolipila*.
- ▶ Es una turbina de vapor primitiva que consiste de un globo hueco soportado por un pivote de manera que pueda girar alrededor de un par de muñones, uno de ellos hueco.
- ▶ Por dicho muñón se puede inyectar vapor de agua, el cual escapa del globo hacia el exterior por dos tubos doblados y orientados tangencialmente en direcciones opuestas y colocados en los extremos del diámetro perpendicular al eje del globo.
- ▶ Al ser expelido el vapor, el globo reacciona a esta fuerza y gira alrededor de su eje.

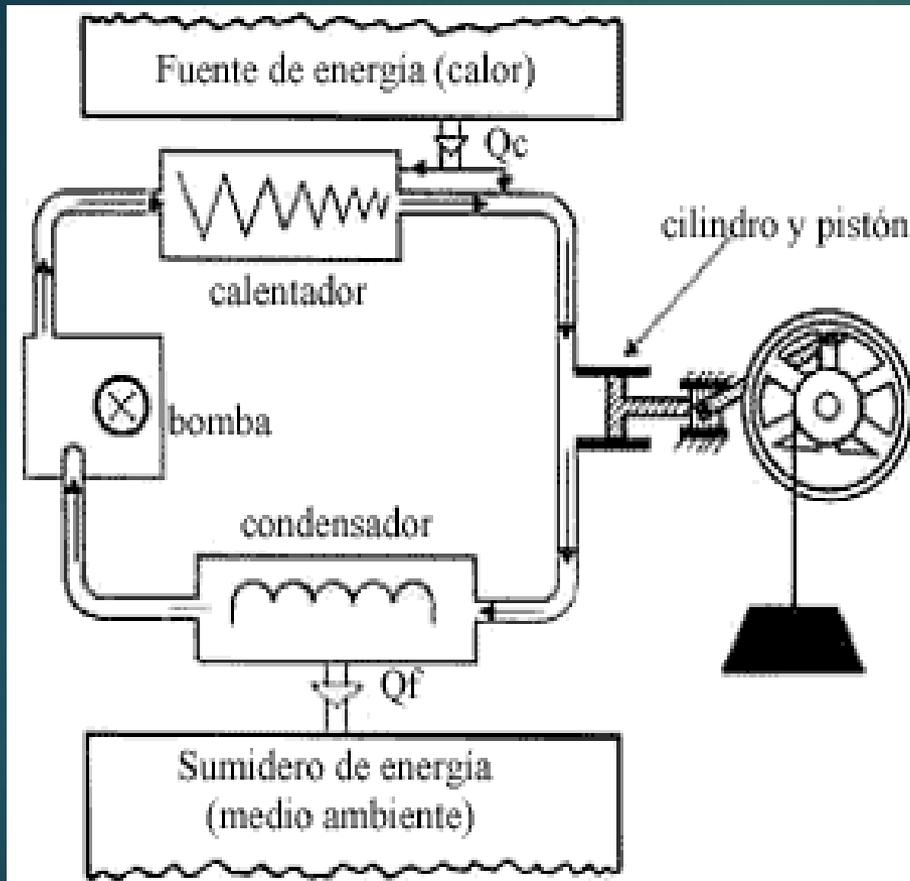
aeolipila



visitar

<https://www.youtube.com/watch?v=4cJsSFD4zPs>

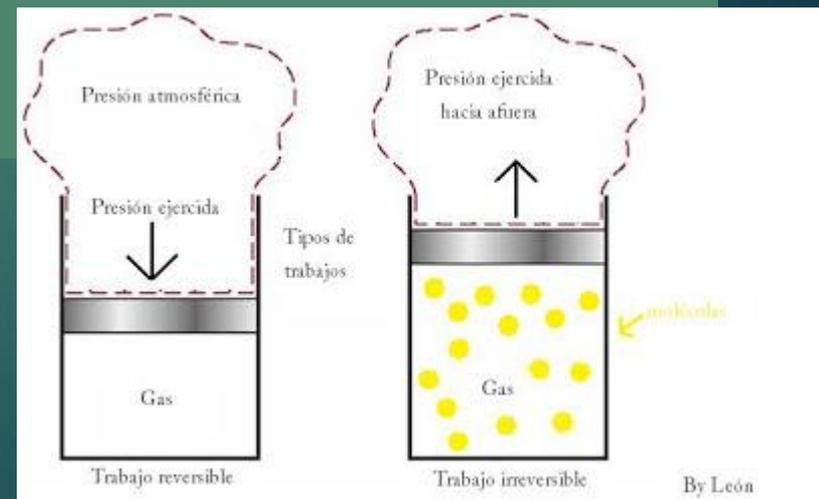
Máquina o planta de vapor



- ▶ El agua es bombeada a un calentador donde hierve y se evapora al aumentar la presión del cilindro para empujar al pistón hasta enfriarse a la temperatura y presión del condensador en el cual condensa y vuelve a ser bombeada para completar el ciclo.

TRABAJO

- ▶ Es la cantidad de energía transferida de un sistema a otro mediante una fuerza cuando se produce un desplazamiento.
- ▶ Particularizando la expresión general del **trabajo** para un sistema **termodinámico** concreto: un gas encerrado en un recipiente por un pistón, que puede moverse sin rozamiento.

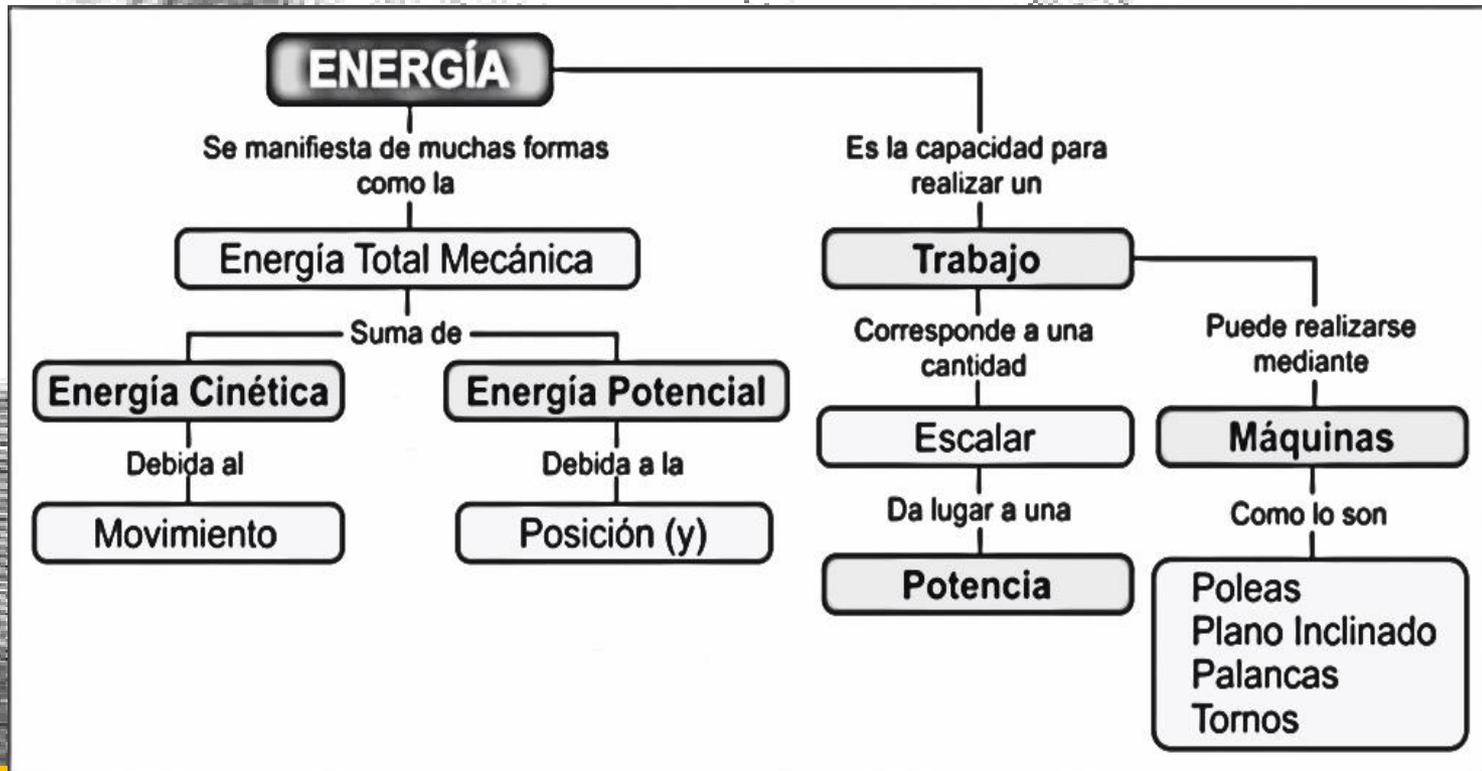


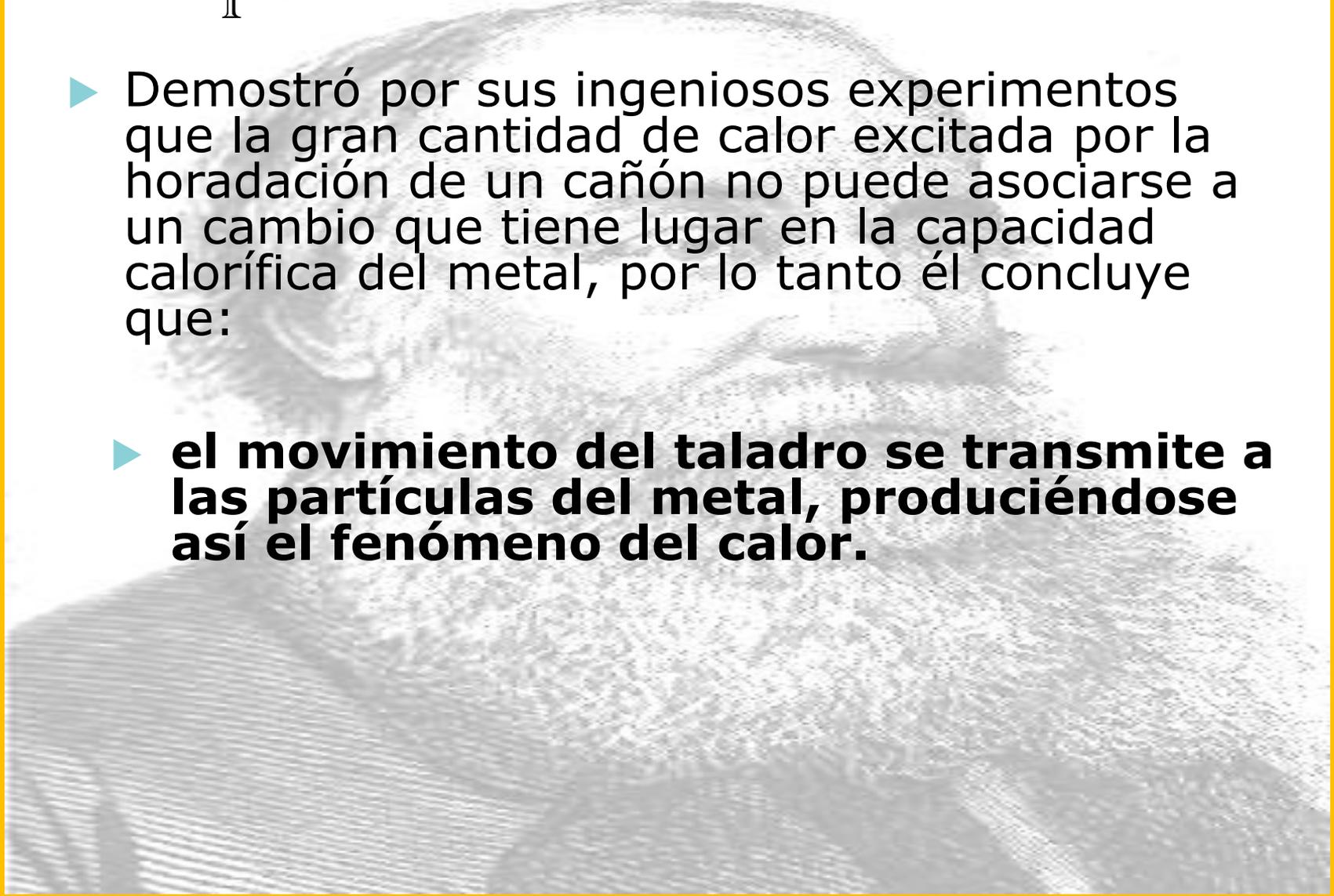
Trabajos de James Joule

- ▶ Los estudios decisivos que condujeron a establecer la equivalencia entre el trabajo mecánico y el calor fueron realizados en 1840 por James Joule en la Gran Bretaña.
- ▶ Estos estudios estuvieron inspirados en los trabajos que Rumford había llevado a cabo casi cincuenta años antes.
- ▶ En un trabajo intitulado *El equivalente mecánico de calor*, que data de 1843 y que fue publicado en 1850, Joule presentó evidencia inequívoca justificando las conclusiones de Rumford.

Al respecto escribió:

► “Durante mucho tiempo ha sido una hipótesis favorita que el calor consiste de una fuerza o potencia perteneciente a los cuerpos el conde Rumford llevo a cabo los primeros experimentos decididamente en favor de esta idea”.



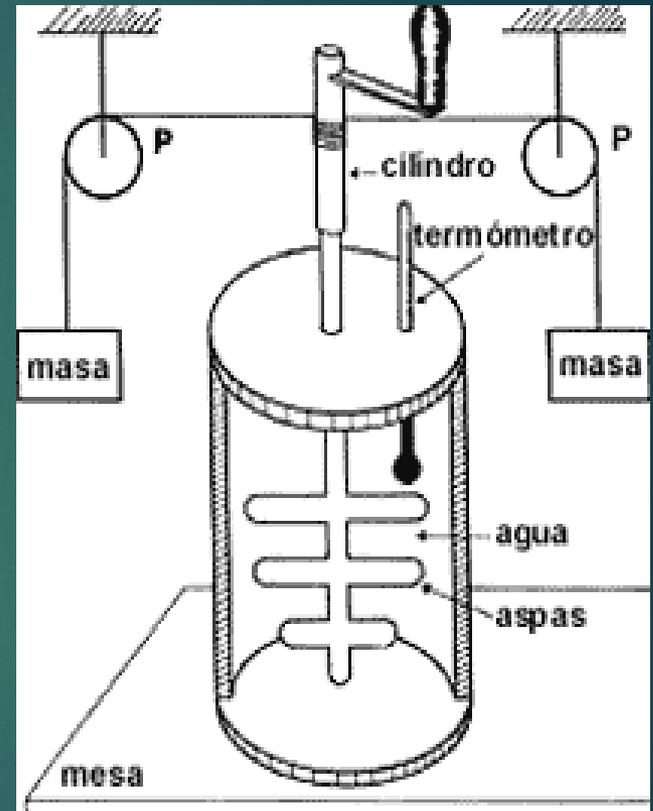
A faded, grayscale portrait of James Joule, a man with a full white beard and mustache, wearing a dark suit and a white shirt with a high collar. The portrait is centered in the background of the slide.

Al respecto escribió:

- ▶ Demostró por sus ingeniosos experimentos que la gran cantidad de calor excitada por la horadación de un cañón no puede asociarse a un cambio que tiene lugar en la capacidad calorífica del metal, por lo tanto él concluye que:
- ▶ **el movimiento del taladro se transmite a las partículas del metal, produciéndose así el fenómeno del calor.**

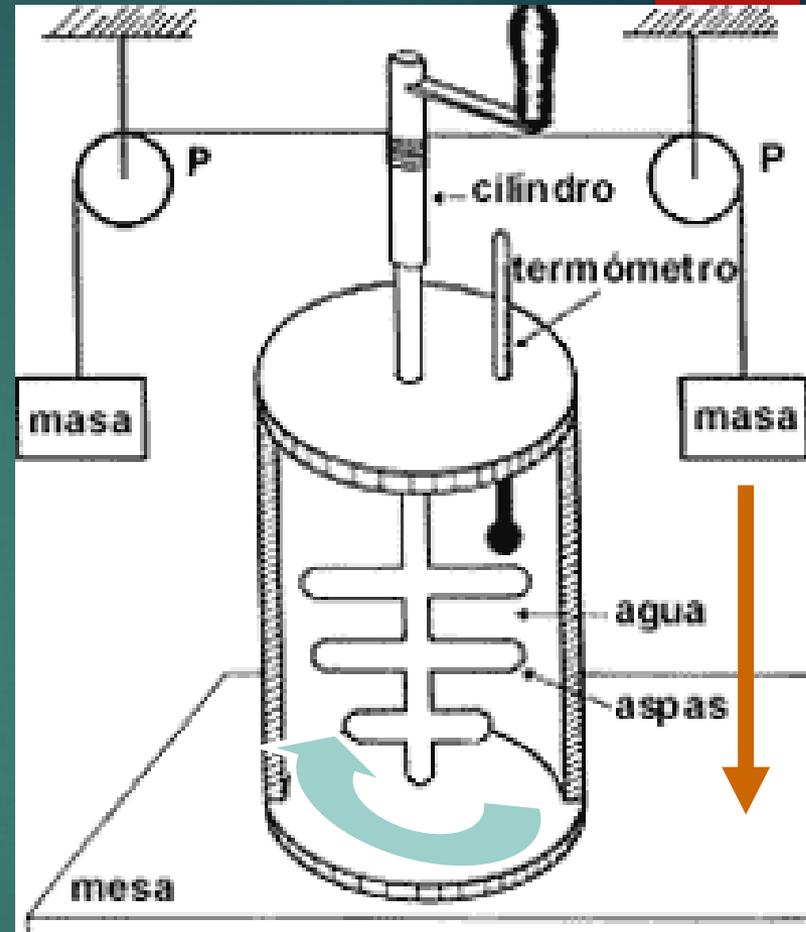
El experimento de Joule

- ▶ Fue una verdadera proeza de precisión y de ingenio considerando los medios de que se disponían en esa época.
- ▶ El aparato consistía esencialmente en un eje rotatorio dotado de una serie de paletas, de hecho ocho brazos revolventes, girando entre cuatro conjuntos de paletas estacionarias.
- ▶ El propósito de estas paletas era agitar el líquido que se colocaba en el espacio libre entre ellas.
- ▶ El eje se conectaba mediante un sistema de poleas y cuerdas muy finas a un par de masas de peso conocido.



El experimento:

- ▶ Consistía en enrollar la cuerda sujetando las masas sobre las poleas hasta colocarlas a una altura determinada del suelo.
- ▶ Al dejar caer las masas, el eje giraba lo cual a su vez generaba una rotación de los brazos revolventes agitando el líquido contenido en el recipiente.



Las masas conocidas m se enrollan por medio de la manivela sobre el cilindro. La cuerda pasa por dos poleas P perfectamente bien engrasadas. La altura de las masas sobre el suelo es conocida, y la temperatura del agua se controla mediante el termómetro.

Este proceso se repetía **veinte veces** y se medía la temperatura final del líquido agitado. Las paredes del recipiente que contenía el líquido eran herméticas y estaban fabricadas de una madera muy gruesa adecuadamente tratada para minimizar cualquier pérdida de calor por convección y por radiación.

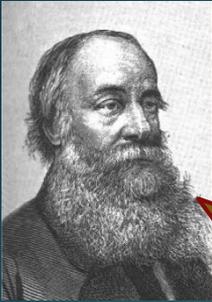
Después de una repetición muy cuidadosa de estos experimentos Joule concluyó lo siguiente:

- ▶ 1) La cantidad de calor producida por la fricción entre cuerpos, sean líquidos o sólidos siempre es proporcional a la cantidad de trabajo mecánico suministrado.
- ▶ 2) La cantidad de calor capaz de aumentar la temperatura de 1 libra de agua (pesada en el vacío y tomada a una temperatura entre 55° y 60° F) por 1.8° C (1° F) requiere para su evolución la acción de una fuerza mecánica representada por la caída de 772 lb (350.18 kg) por la distancia de 1 pie (30.48 cm).

- 
- ▶ Entre 1845 y 1847 repitió estos experimentos usando agua, aceite de ballena y mercurio, obteniendo que por cada libra de estos compuestos, los equivalentes mecánicos eran respectivamente iguales a 781.5, 782.1 y 787.6 lb, respectivamente. De ahí concluyó lo siguiente:

“Los resultados, coincidieron entre sí tan estrechamente y con otros previamente obtenidos con fluidos elásticos y una máquina electromagnética, no dejaron duda en mi mente respecto a la existencia de una relación equivalente entre fuerza y trabajo.”

- ▶ Obsérvese que en estos experimentos el sistema no se mueve, su energía cinética es cero, ni se desplaza respecto al nivel del suelo, su energía potencial permanece constante



! Sin embargo el sistema ha absorbido una cierta cantidad de energía !

- ▶ La clave de la respuesta es que *si* creemos en el principio de la conservación de la energía, la energía suministrada debe convertirse en otro tipo de energía.
- ▶ A esta energía la llamamos la **energía interna** del sistema.

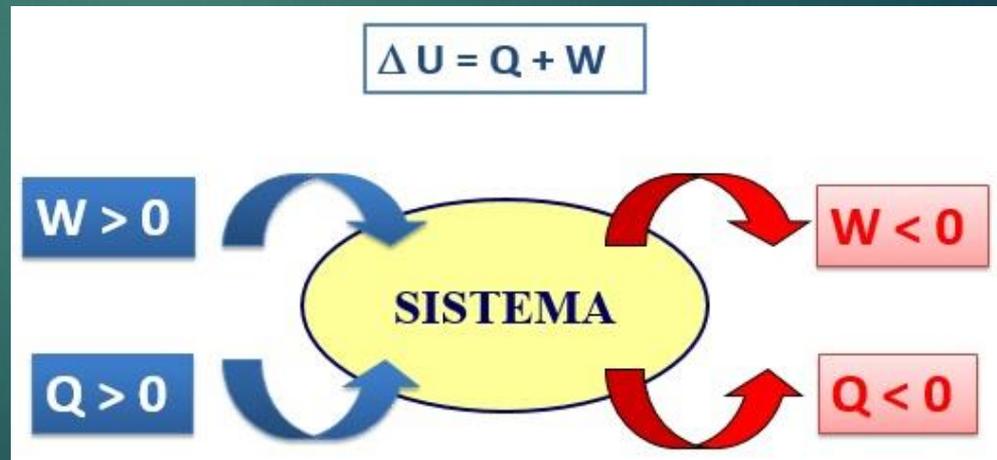
- ▶ Las experiencias de Joule sirvieron para extender esta observación a todo sistema termodinámico y *postular*:
- ▶ “Si a cualquier sistema *aislado*, (que no intercambie ni calor ni masa con sus alrededores) le suministramos una cierta cantidad de energía mecánica W , ésta *sólo* provoca un incremento en la energía interna del sistema U , por una cantidad ΔU de manera tal que:

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

- ▶ La existencia de esta cantidad para cualquier sistema, es el postulado conocido como la primera ley de la termostática.

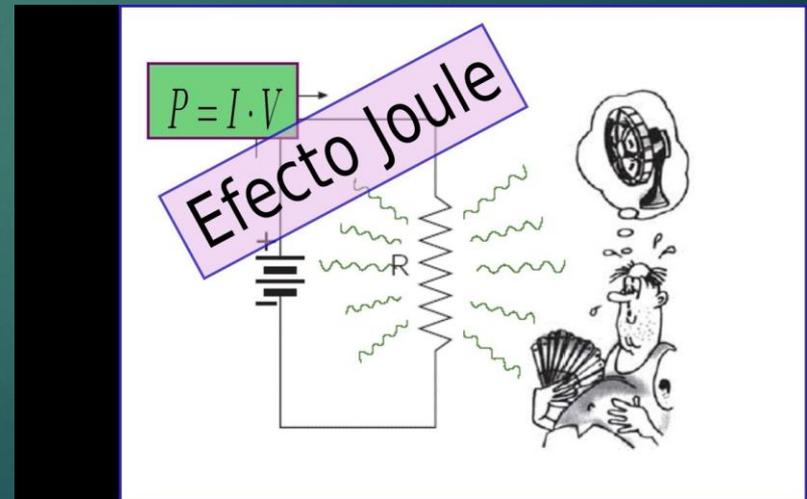
Energía interna

- ▶ Es la que tiene todo sistema debido al movimiento de sus moléculas; debido a su naturaleza química.



Efecto Joule

- ▶ Cuando una corriente eléctrica atraviesa un conductor, éste experimenta un aumento de temperatura. Este efecto se denomina "efecto Joule".
- ▶ Es posible calcular la cantidad de calor que puede producir una corriente eléctrica en cierto tiempo, por medio de la ley de Joule.



LA LEY DE JOULE ENUNCIA QUE :

“ El calor que desarrolla una corriente eléctrica al pasar por un conductor es directamente proporcional a la resistencia, al cuadrado de la intensidad de la corriente y el tiempo que dura la corriente”.

- ▶ Supongamos, como en un calentador eléctrico, que todo el trabajo realizado por la energía eléctrica es transformado en calor.
- ▶ Si el calentador funciona con un voltaje V y un intensidad I durante un tiempo t , el trabajo realizado es :

$$W=VIt$$


$$W = P t$$

y como cada J equivale a 0,24 cal, la cantidad de calor obtenido será :

$$Q=0.24 VIt$$

- ▶ V debe medirse en volts, I en amperes y t en segundos, para que el resultado esté expresado en calorías.

Potencia eléctrica

- ▶ Potencia eléctrica = corriente x voltaje
- ▶ Si el voltaje se expresa en volts y la corriente eléctrica en amperes, entonces la potencia queda expresada en **watts**. Así pues, en términos de unidades:

$$1 \text{ watt} = (1 \text{ ampere}) \times (1 \text{ volt})$$

$$P = V^2 / R$$

LEY DE OHM

$$I = U/R$$

La intensidad de corriente circulante por un circuito eléctrico es proporcional a la diferencia de potencial aplicado e inversamente proporcional a la resistencia que se opone al paso de la corriente.

Intensidad de corriente:

Es el desplazamiento de cargas eléctricas negativas (electrón), en un conductor en la unidad de tiempo (unidad Ampere).

Diferencia de potencial:

Es la diferencia de nivel eléctrico entre dos puntos de un circuito (unidad Volt).

Resistencia eléctrica:

Es la dificultad al paso de la corriente eléctrica en un circuito/ conductor (unidad Ohm).

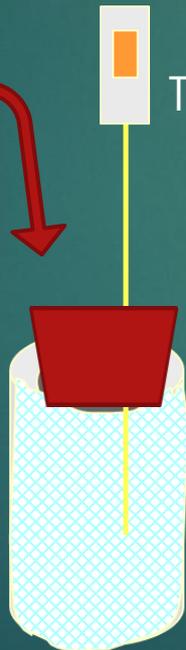
PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Determinación de la constante del calorímetro

- ▶ 1.- Calibra con el método de las mezclas el calorímetro Dewar con 100 mL de agua fría y 100 mL de agua caliente. Determina mediante una gráfica de temperatura vs tiempo la temperatura de la mezcla.

100 mL agua
Temp. ambiente

Empezar a contar el tiempo al agregar El agua fría al Dewar
Cada 30 seg. Por 5 min.



Temp. Inicial

Al min 5 agregar el Agua caliente al Dewar

Temp. Inicial

100 mL agua ebullición



Agua a Ebullición

$$Q_g = Q_p$$

▶ $Q_g = Q_{H_2O_f} + Q_{cal}$

▶ $Q_p = Q_{p_{H_2O_c}}$

▶ $Q_{H_2O_f} + Q_{cal} = - Q_{p_{H_2O_c}}$

▶ $Q_{H_2O_f} = m_{H_2O_f} * c_{p_{H_2O}} * \Delta T_f$

▶ $\Delta T = T_{final} - T_{inicial}$

▶ $Q_{cal} = K_{cal} * \Delta T_f$

▶ $Q_{p_{H_2O_c}} = m_{H_2O_c} * c_{p_{H_2O}} * \Delta T_c$

$$m_{H_2O_f} * c_{H_2O} * \Delta T_f + K_{cal} * \Delta T_f = m_{H_2O_c} * c_{H_2O} * \Delta T_c$$

$$K_{cal} = \frac{m_{H_2O_c} * c_{p_{H_2O}} * \Delta T_c}{\Delta T_f} - m_{H_2O_f} * c_{p_{H_2O}}$$

Abreviaturas:

Q_{cal} = Calor calorímetro

$Q_{H_2O_f}$ = Calor agua fría

$Q_{p_{H_2O_c}}$ = Calor agua caliente

$c_{p_{H_2O}}$ = Capacidad térmica específica del agua

ΔT_f = Diferencia de temperatura agua fría

ΔT_c = Diferencia temperatura agua caliente

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

- ▶ Agita ligeramente y espera hasta equilibrio térmico, anota la temperatura final.
- ▶ II.- Calcula en cal/°C mediante la siguiente expresión:

$$K_{dw} = \frac{-(m_{ac} c_{ac} \Delta T_{ac})}{\Delta T_{af}} - m_{af} c_{af}$$

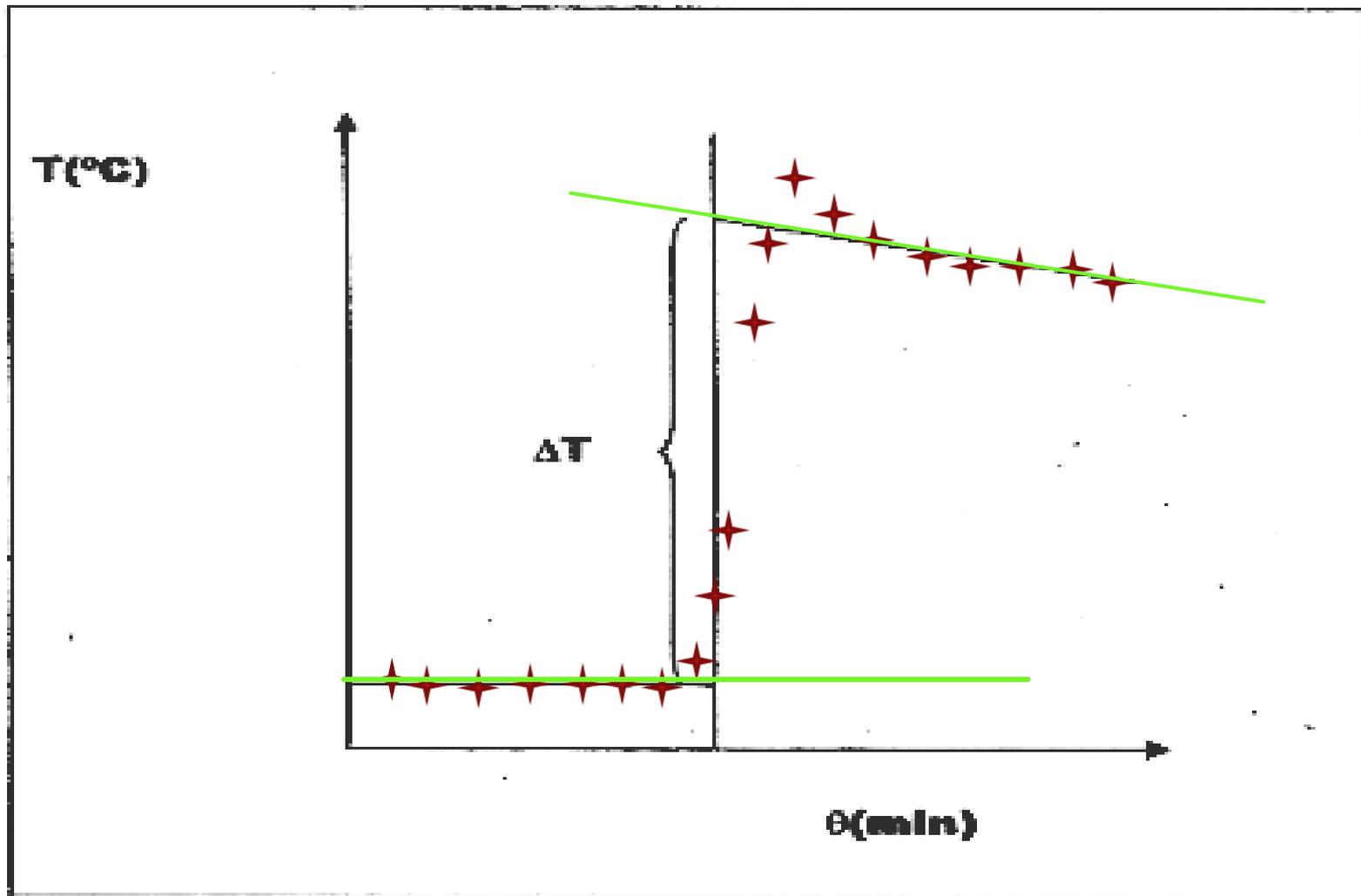
- ▶ donde:
- ▶ **m** es masa
- ▶ **C** es el calor específico
- ▶ $\Delta T_{ac} = T_{f\ ac} - T_{i\ ac}$
- ▶ $\Delta T_{af} = T_{f\ af} - T_{i\ af}$ (K)

Datos Experimentales

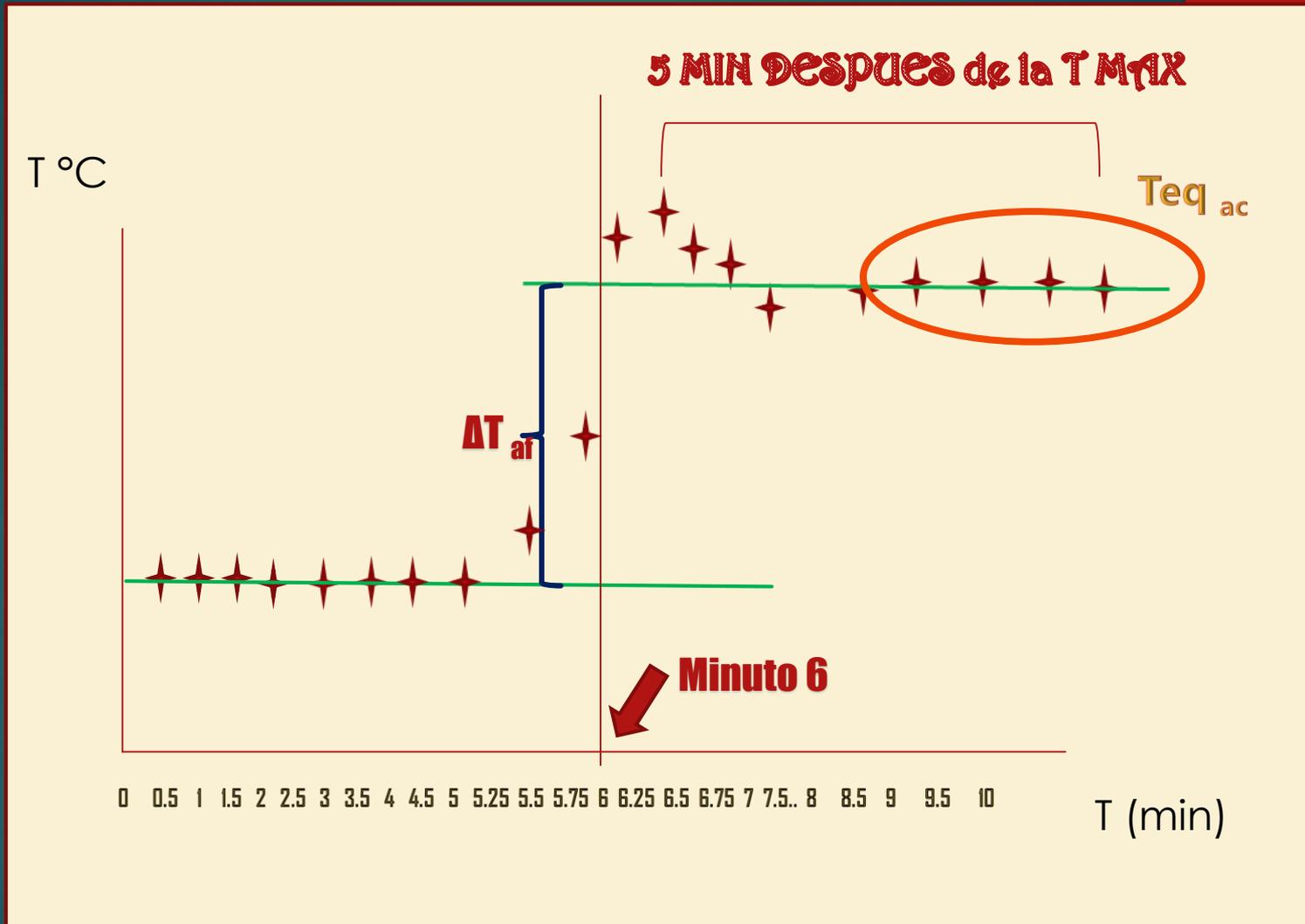
Tiempo (min)	$\theta_{inicial}$ (°C)	Tiempo (seg)	$\theta_{inicial}$ (°C)
0.5		5.15	
1		5.30	
1.5		5.45	
2		6	
2.5		6.15	
3		6.30	
3.5		6.45	
4		7	
4.5		7.15	
5		7.30 ...	

θ_{eq}	K dewar

DETERMINACIÓN GRÁFICA DE ΔT .

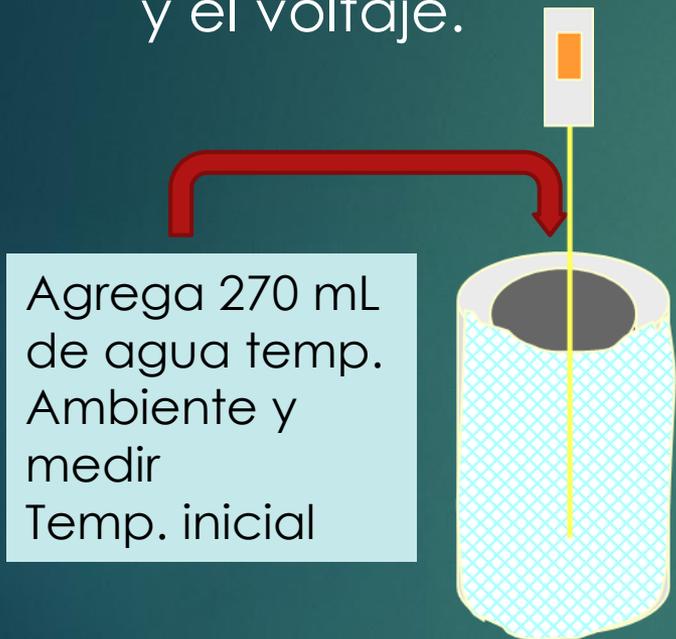


Grafica para determinar. ΔT



PARTE 2 . Determinación de equivalencia

- ▶ III.- Mide 270 mL de agua en un vaso de Dewar
- ▶ IV.- Mide y registra la resistencia del dispositivo eléctrico y el voltaje.

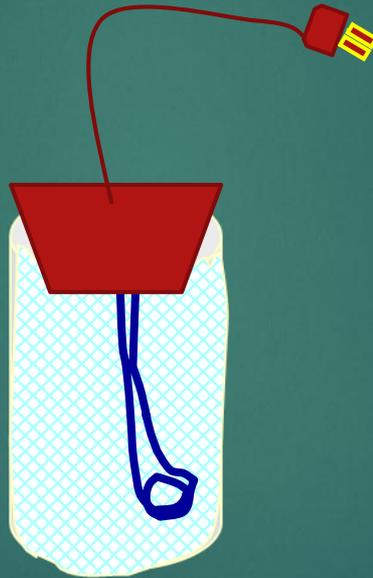


Medir Resistencia y voltaje del tomacorriente

PARTE 2

- ▶ III.- Mide **270 mL de agua** en un vaso de Dewar
- ▶ IV.- Mide y registra la resistencia del dispositivo eléctrico y el voltaje.

Al llegar el agua a 55°C
Refrescar el dewar,
Desechando el agua y
medir nuevamente 270mL
De agua a temp.
ambiente



Conectar
Resistencia al toma
corriente
por 10 seg. y desconectar

Agitar suavemente hasta
llegar al equilibrio térmico.

Anotar temperatura final.

Repetir experimento
aumentando el tiempo que
se mantiene conectada la
resistencia 8 tiempos
diferentes

t	Ti	Tf	ΔT	Qg	W	W/Q
Base calc				$Q_{gH_2O} + Q_{gDw} = mcp\Delta T + Cdw\Delta T$	$V^2 / r * t = P * t$	
10						
15						
20						
25						
30						
35						
40						
45						

V = _____ R = _____

Base de calculo

▶ Calculo de We:

$$\text{▶ } We = P \cdot t$$

$$\text{▶ } P = V^2 / R$$

▶ Calculo de Qg

$$\text{▶ } Qg_{H_2O} = m \cdot c_p \cdot \Delta T$$

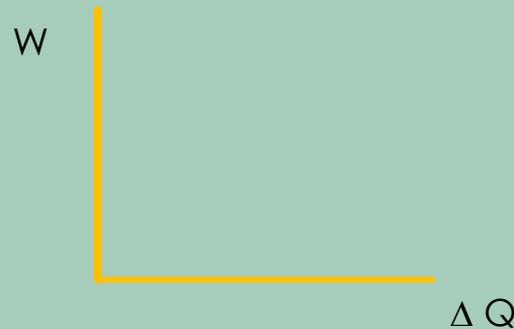
$$\text{▶ } Qg_{DW} = C_{DW} \cdot \Delta T$$

$$\text{▶ } Qg = Qg_{H_2O} + Qg_{DW}$$

$$W = \epsilon \cdot \Delta Q$$

$$W = Keq \cdot \Delta Q$$

$$Keq = W / \Delta Q$$





VIII.- Transcurrido el tiempo elegido, desconecta el dispositivo y vacía el agua al Dewar, tapa perfectamente. agita suavemente el sistema.

IX.- Registra el tiempo que estuvo encendido y la temperatura final.

X.- Repite el experimento 15 veces con otros tiempos dentro del intervalo sugerido anteriormente.

XI.- Registra tus resultados en la tabla 1.

Tabla 1

Evento	Tiempo (seg)	T inicial (°C)	T final (°C)	ΔT	W	Q	W/Q
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							

▶ V: _____

▶ R: _____

Resolución al problema propuesto (anexar hoja de cálculos)

- ▶ 1. ¿CUÁL ES EL VALOR PROMEDIO DE LA EQUIVALENCIA CALOR-TRABAJO, W/Q ?
- ▶ 2. ELABORAR UNA GRÁFICA DEL TRABAJO REALIZADO (W) VS. EL CALOR ABSORBIDO (Q).
- ▶ 3. ¿QUÉ TIPO DE COMPORTAMIENTO SE OBSERVA?
- ▶ 4. ¿QUÉ INFORMACIÓN PROPORCIONA EL GRÁFICO?
- ▶ 5. DAR LA INTERPRETACIÓN A LA INFORMACIÓN QUE DA LA GRÁFICA
- ▶ 6. ¿QUÉ INFORMACIÓN DE LA GRÁFICA NOS DA LA RELACIÓN DE EQUIVALENCIA CALOR-TRABAJO? ¿CUÁLES SON SUS UNIDADES?
- ▶ 7. ESTA PENDIENTE SE CONOCE COMO EQUIVALENCIA CALOR-TRABAJO. CALCULAR EL PORCENTAJE DE ERROR DEL VALOR EXPERIMENTAL DEL EQUIVALENTE CALOR-TRABAJO Y COMPARARLO CON RESPECTO AL VALOR TEÓRICO DE 4.184 JOULES/CALORÍA.
- ▶ 8. ¿CÓMO AFECTARÍA AL RESULTADO NO TOMAR EN CUENTA EL CALOR QUE ABSORBE EL CALORÍMETRO?

Questionario Final

- ▶ 1.- ANOTA EL VALOR DE LA CONSTANTE DEL CALORÍMETRO DEWAR EN CAL/ °C .
- ▶ 2.- ¿SI NO HUBIERAS CALIBRADO EL CALORÍMETRO, HABRÍA ERROR EN TUS DETERMINACIONES? JUSTIFICA TU RESPUESTA.
- ▶ 3.- ¿CÓMO CALCULASTE EL INCREMENTO DE TEMPERATURA EN EL AGUA?
- ▶ 4.- CALCULA LA POTENCIA DEL DISPOSITIVO ELÉCTRICO Y ANOTA SUS UNIDADES.
- ▶ 5.- CALCULA EL TRABAJO REALIZADO Y ANOTA SUS UNIDADES.
- ▶ 6.- CALCULA EL CALOR ABSORBIDO Y ANOTA SUS UNIDADES.

7.- Completa la siguiente tabla con tus cálculos.

Tabla 2

	Tiempo (seg)	TRABAJO ELECTRICO (Joules)	ΔT ($^{\circ}C$)	CALOR ABSORBIDO (calorias)	Equivalencia Calor-Trabajo J = Joules / cal
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					

- ▶ 8.- ¿CUÁL ES EL VALOR PROMEDIO DE LA EQUIVALENCIA CALOR - TRABAJO " J " ?
- ▶ 9.- REALIZA UNA GRÁFICA DEL TRABAJO REALIZADO (W) CONTRA CALOR ABSORBIDO (Q).
- ▶ 10.- ¿CUÁL ES EL VALOR DE LA PENDIENTE DE LA RECTA QUE SE OBTIENE?
- ▶ 11.- A ESTA PENDIENTE SE LE CONOCE COMO EQUIVALENCIA CALOR- TRABAJO, SI EL VALOR TEÓRICO ES DE 4.184 JOULES/CALORÍA ¿QUE % DE ERROR SE OBTIENE EN SU DETERMINACIÓN?
- ▶ 12.- DEFINE CON TUS PROPIAS PALABRAS LA PRIMERA LEY DE LA TERMODINÁMICA BASÁNDOSE EN LA EQUIVALENCIA CALOR - TRABAJO.

BIBLIOGRAFIA

- ▶ MANUAL DE PRÁCTICAS DE LABORATORIO DE FISICA II. ESCUELA NACIONAL DE CIENCIAS BIOLÓGICAS I.P.N.
- ▶ INSCHO, PAUL. THE PHYSICS TEACHER, VOL. 30 SEPT.(1992) 372.
- ▶ WEBER, NEFF. THE PHYSICS TEACHER, VOL. 30 NOV.(1992) 507.