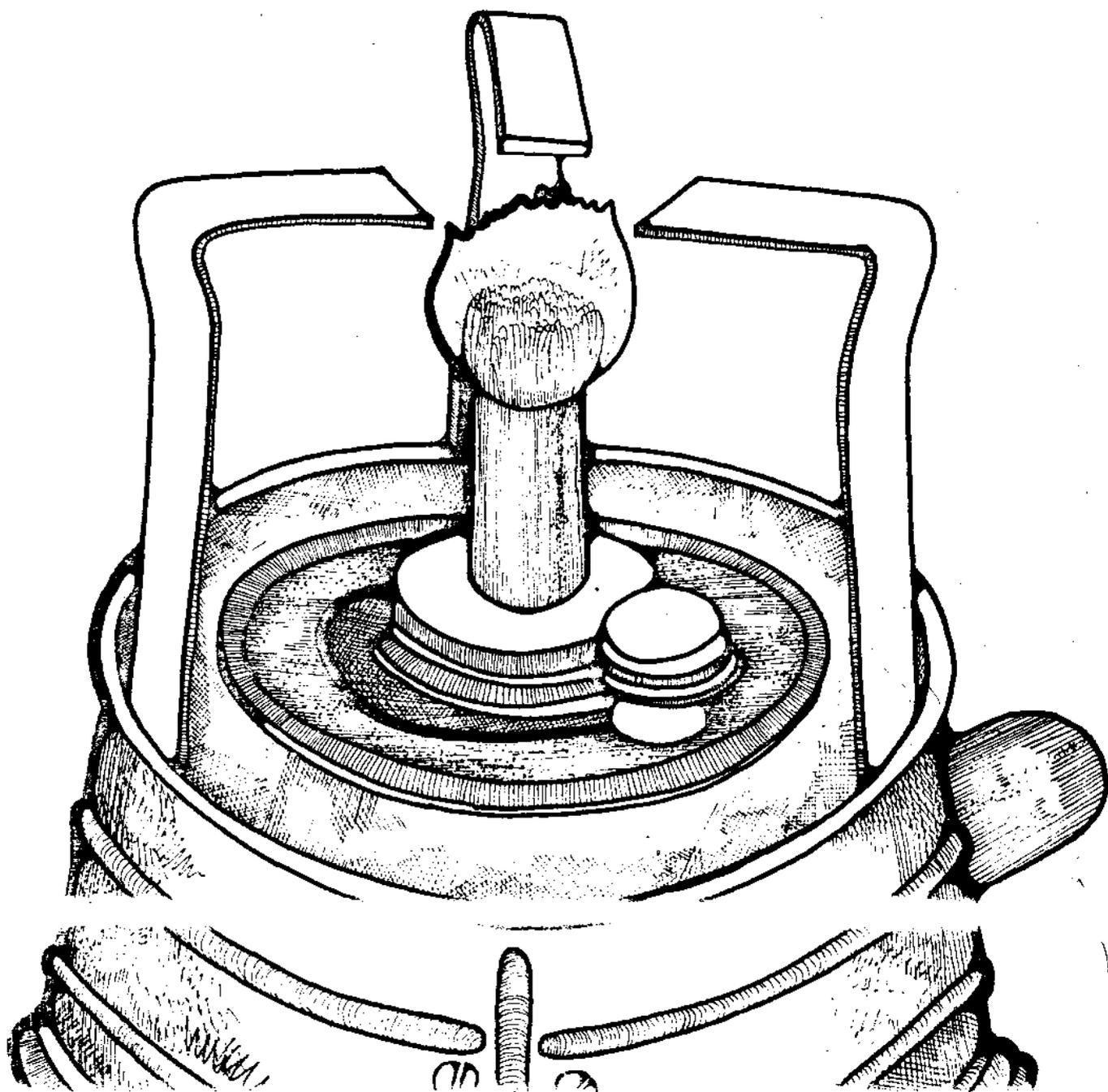


# JUGUEMOS CON EL FUEGO

AMEDEO GIGLI



# Índice

---

7 **Presentación**

9 **Qué es el calor**

Calentando un objeto — botellas en baño de María  
el reventón — cómo se enfría la sopa  
los efectos de la dilatación — otras experiencias  
sobre la dilatación

21 **¿Movimiento = calor?**

Observemos el torno — cuando hay frío — el misterio de los frenos

25 **La naturaleza del calor**

Una memorable experiencia — hacia el cero absoluto  
ritmo lento y **rock'n roll** — los superconductores

35 **Calor y temperatura**

¿Calor o frío? — la temperatura — el termómetro — qué son  
los grados — desde las estrellas hasta el aire líquido — la  
caloría — el calorímetro — el calor específico — calor  
específico comparado

49 **Cómo se transmite el calor**

Conducción del calor en una barra — conductibilidad térmica  
cómo hierve el agua — el radiador — ¿por qué gira? — para  
reanimar la llama — la energía solar

56 **Pequeño diccionario ilustrado de la termología**

59 **Breve historia ilustrada de la termología**

## Presentación

---

"La sopa está caliente", "¡brrr, qué frío!", "hoy hay mucho calor" son frases muy corrientes en nuestra vida diaria, porque, como todos sabemos, nuestros sentidos perciben puntualmente las variaciones de temperatura de las cosas que nos rodean.

En general, llamamos "caliente" a los objetos que tienen una temperatura superior a la de nuestro cuerpo; mientras que nos parecen "fríos" los que tienen una temperatura inferior.

Pero, una vez hecha esta somera distinción, ¿podemos confiar siempre en nuestros sentidos?

Debemos reconocer que éstos no están en condiciones de percibir pequeñas diferencias de temperatura; y no sólo eso, sino que con mucha frecuencia hasta nos engañan.

¿Nunca has tenido oportunidad de sentir que el hielo quema? Prueba a tener en la mano un cubito de hielo durante un rato largo, y de pronto te parecerá que tu mano arde.

También al sumergirnos repentinamente en un baño de agua muy caliente podemos sentir un escalofrío. Nuestros sentidos no son, pues, gran cosa, como instrumento para estudiar el calor, aunque se comportan muy bien al señalar-nos los daños que podría causarnos una imprudente exposición al frío o a los candentes rayos del sol.

Así pues, es necesario buscar algún otro medio menos "aproximado" que éstos, si queremos medir con cierta precisión la temperatura de los cuerpos.

Para lograrlo, nos ayudan dos hechos que podemos observar fácilmente al considerar los "efectos" del calor. El primero es que el calor se transmite de un cuerpo a otro con gran facilidad. Por esta razón, no es prudente tocar un objeto que "queme". El segundo es que la acción del calor dilata los cuerpos. Por ejemplo, si los muebles crujen, se debe precisamente a la dilatación de la madera causada por el calor.

Ahora bien, si tomamos una sustancia que con el calor se dilate con gran facilidad, y la ponemos en contacto con cuerpos de distinta temperatura, podemos medir estas variaciones de temperatura observando las distintas dilataciones de nuestra sustancia.

Sobre este principio funcionan los termómetros, como sin duda habrás comprendido.

Pero, ¿es suficiente saber medir la temperatura de un cuerpo para conocerlo todo sobre el calor?

Por ejemplo, ¿sabemos cómo hace el calor para transmitirse de un cuerpo a otro?

En definitiva, ¿qué es el calor?

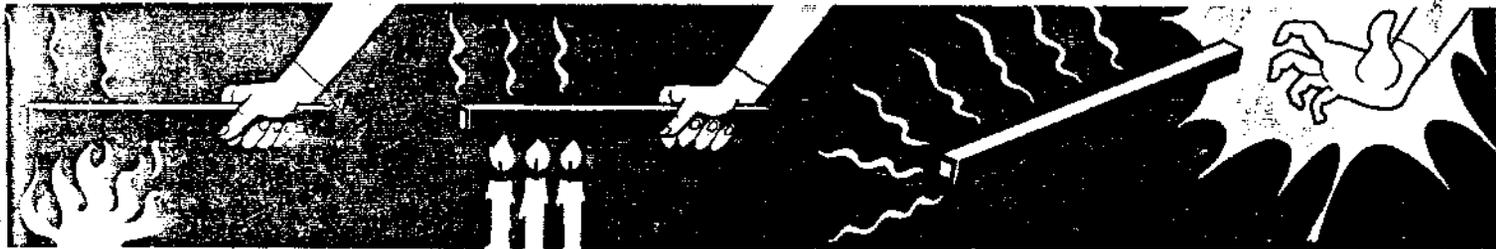
Además, ¿por qué se usan las palabras "temperatura" y calor?

Son estas algunas de las preguntas a las que debemos contestar si de verdad queremos útilmente "jugar con el fuego".

Descubrir la "naturaleza del calor", es, en efecto, el objetivo más importante de nuestra investigación; esta especie de adivinanza, que tanto les interesó a los estudiosos del pasado, podrá ser revelada por nosotros por simples e inocuos experimentos.

Por esta razón, **Juguemos con el fuego** es una especie de libro policíaco, en el cual se debe descubrir la identidad de un personaje misterioso: de ese personaje que los antiguos llamaban "calórico" y que hoy se conoce mejor con el nombre de "energía".

# Qué es el calor



## CALENTANDO UN OBJETO

Existen muchas maneras de calentar un objeto, pero también existe una infinidad de maneras para "quemarse". Por consiguiente, si verdaderamente queremos jugar con el fuego, debemos tener mucho cuidado al manipular los objetos que quemen.

La característica común a todos los objetos calentados, en efecto, es precisamente ésta: un deseo loco de pasar su propio temperamento "fugoso" a todo lo que esté a su alcance. Aparte de esto, si observamos un objeto calentado, ¿notamos algo "distinto"?

En suma, ¿existe, en un objeto que quema, alguna "variación" visible?

¿Es posible que el calor que ha "penetrado" en el objeto se parezca, de alguna manera, a una sustancia material cualquiera? Veamos cómo se puede proceder a estas preguntas.





Queremos saber en qué consiste el calentamiento de un objeto.

Si al adquirir calor, el objeto adquiere también alguna sustancia más, debemos percatarnos de ello porque sus dimensiones deberían "crecer", aunque sea un poquito.

Para comprobarlo, nos procuraremos una barra de metal de aproximadamente 50 cm de largo (aluminio, bronce, hierro, etcétera); la limpiamos con cuidado y la hundimos hasta la mitad de su espesor en una pasta de yeso de manera de

obtener un molde.

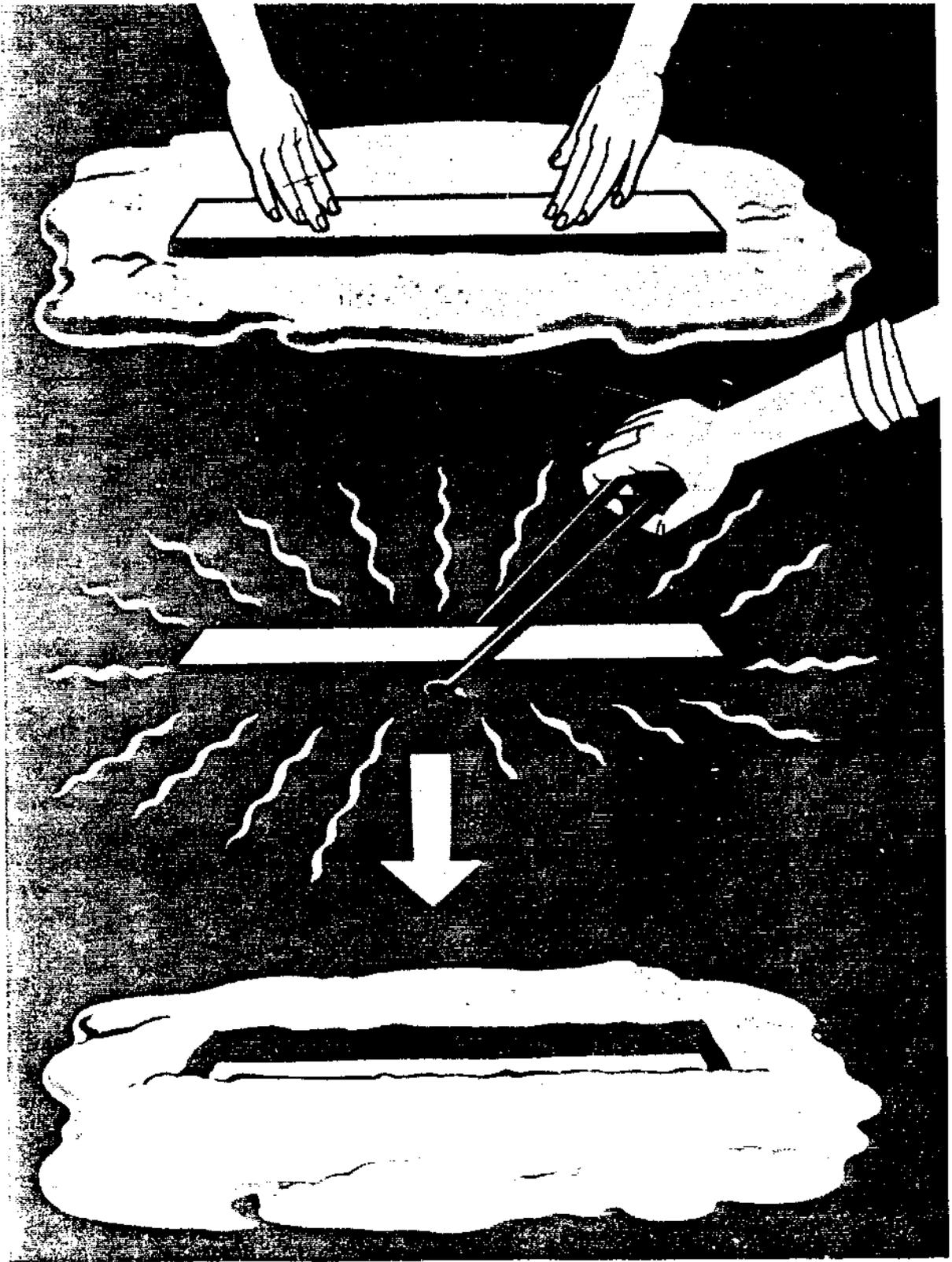
Esperamos a que el yeso se endurezca y luego quitamos con mucho cuidado la barra de su molde; ahora la limpiamos y la calentamos debidamente. Mientras todavía está caliente, tratamos de introducirla en el molde.

¿Es posible?

¿Por qué la barra se ha puesto más grande?

¿Es cierto acaso que, con el calor, ha adquirido una nueva sustancia?

En este punto se impone una comprobación...



¿CABE?

Aquí estamos otra vez con nuestra barra que quemamos, y queremos comprobar si su aumento de dimensiones (ver la experiencia anterior) corresponde a un aumento de materia.

Como todos saben, como quiera que se le dé vueltas, la materia siempre es materia y, por consiguiente, debe tener un peso propio. Por esta razón, sólo nos queda pesar la barra dos veces: una vez cuando está caliente, y la otra cuando está fría. Pero, como tenemos que vértanosla con un aumento de dimensiones muy pequeño (¿de materia?), debemos medir diferencias de peso muy pequeñas. En otras palabras, necesitamos una balanza de precisión.

Pesemos nuestra barra.

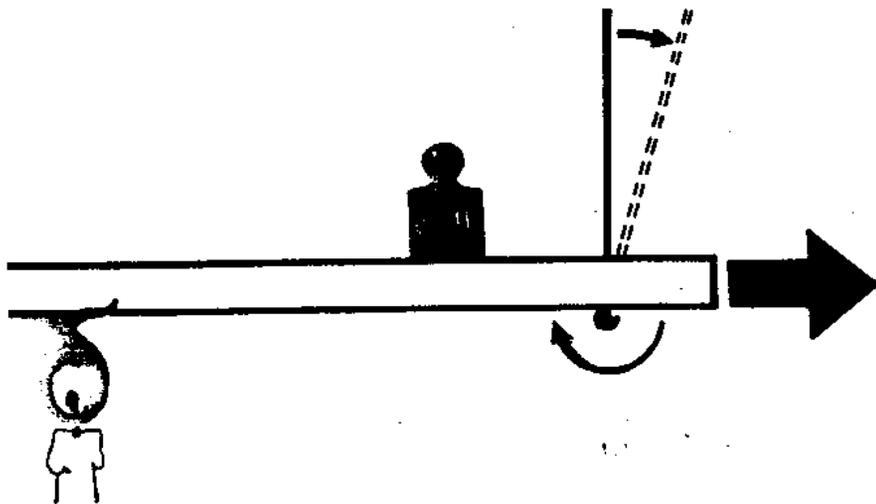
¿Notamos alguna diferencia de peso entre la barra fría y la caliente?

Probando y volviendo a probar, parece que verdaderamente esta diferencia no existe.

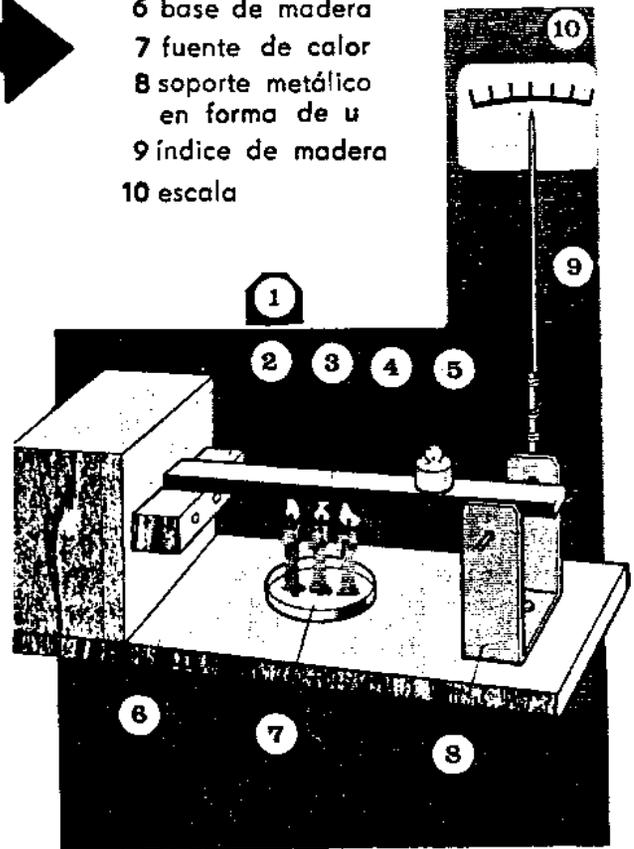
Podemos así llegar a la conclusión de que no hay aumento de materia.

Por supuesto, una cosa que "crece" sin aumentar de peso es un dolor de cabeza.

Pero no nos dejaremos desalentar...



- 1 bloque de madera
- 2 soporte de madera
- 3 barra para examinar
- 4 pesa
- 5 aguja de tejer doblada a 90°
- 6 base de madera
- 7 fuente de calor
- 8 soporte metálico en forma de u
- 9 índice de madera
- 10 escala



Este asunto de que las cosas calentadas se "dilatan" sin que al mismo tiempo se le añada otra materia, comienza a convertirse en un problema.

Como primer paso, vamos a ver si es cierto que todas las cosas calentadas se dilatan.

Para conseguirlo, construiremos un aparato sencillo y divertido. Todo el mundo lo podrá realizar observando el dibujo de la derecha. Entre otras cosas, no cuesta nada.

Ahora tomaremos barras de todo tipo: redondas, cuadradas, de aluminio, de zinc, de cobre, de hierro, de aproximadamente un metro de largo; una tras otra, las vamos poniendo sobre nuestro aparato

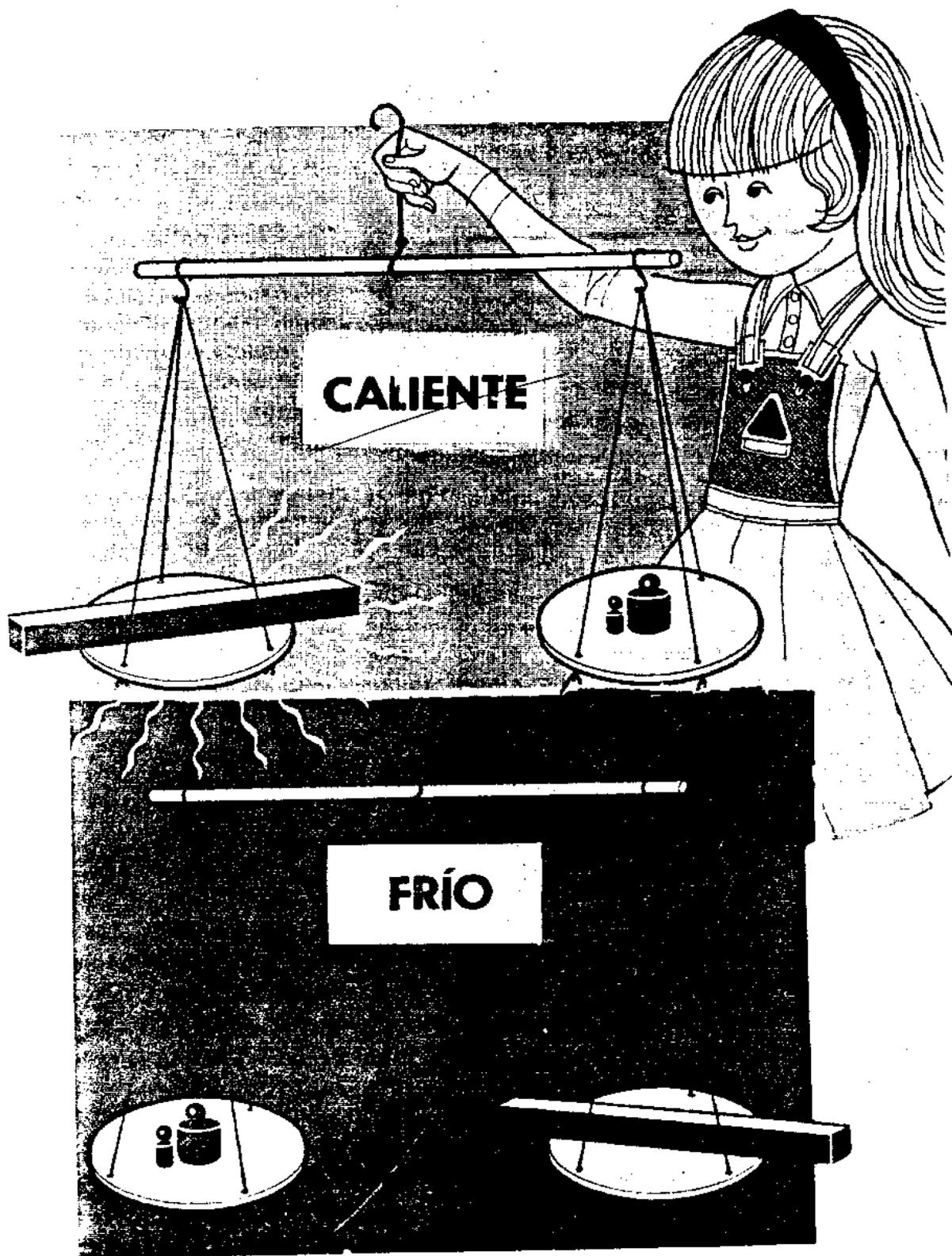
Es evidente que, una más y otra menos, todas se dilatan. ¿No te parece?

No solamente eso, sino que, si las dejamos enfriar sobre el aparato, el índice demuestra que "se vuelven a contraer". Si queríamos una confirmación de que el calor dilata, aquí la tenemos.

sano que las barras estén dispuestas a todo lo largo de la barra.

laran/

Es verdad, en esto no habíamos pensado.



## BOTELLAS EN BAÑO DE MARÍA

No es aconsejable calentar la madera, porque, entre otras cosas, podría estar húmeda y alteraría el resultado. El vidrio, al menos en barra, podría ser peligroso. Probaremos, pues, mientras tanto, con los líquidos.

Se llenan tres botellitas idénticas, de las que se usan para las medicinas, con otros tantos líquidos diversos, como alcohol, aceite y agua; aunque también podrían ser otros.

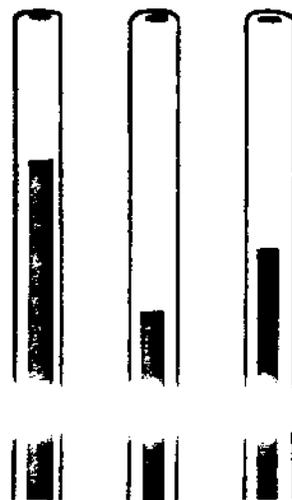
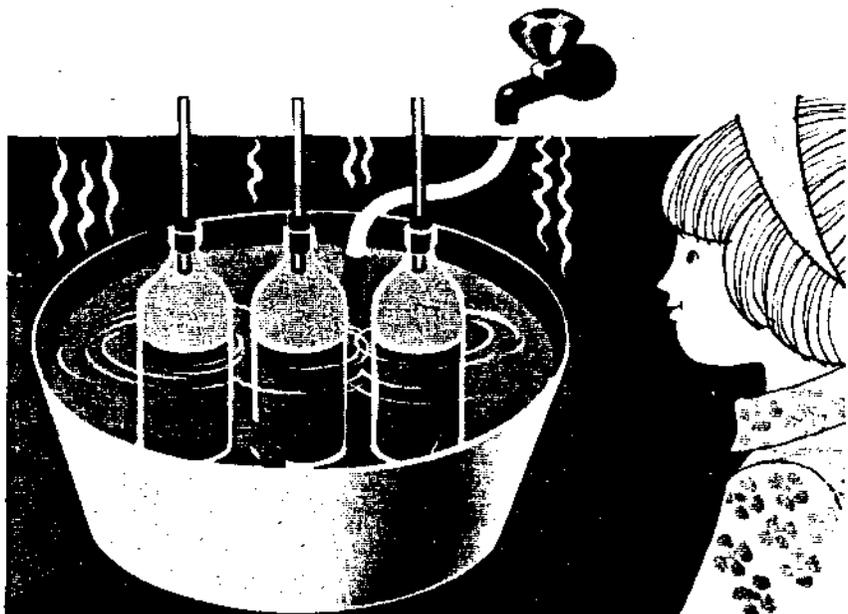
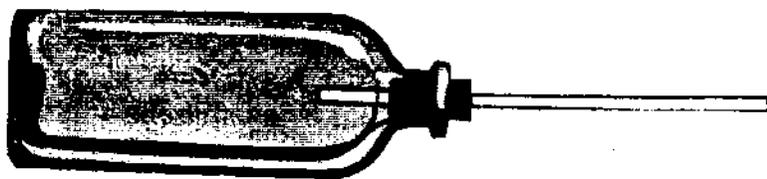
Si disponemos de tapones de goma con huecos por donde fuera posible introducir tubitos de cristal, mejor; si no, con plastilina en lugar de tapones se obtiene el mismo resultado. Para hacer el hueco en el tapón de goma se debe sumergir primero la punta del taladro en agua con sosa.

Se tapan las botellas (¡bien llenas!) y se ponen en una olla de agua bien caliente.

Los líquidos, ¿suben por los tubitos al dilatarse?

Parece que también en este caso, en mayor o menor medida, asistimos precisamente a un fenómeno de dilatación producida por el calor.

A propósito, toma nota de cuáles son los metales que más se dilatan, cuáles se dilatan menos, en qué medida, etcétera; lo mismo debes hacer con los líquidos. Es un trabajo interesante y útil, como veremos.



## EL REVENTÓN

Ahora que hemos visto que el efecto de calor está estrechamente vinculado al efecto de dilatación, hasta tal punto que no se pueden desligar, trataremos de verificar si esto sigue siendo cierto también para los gases.

El gas más económico y abundante que existe es el aire: no cuesta nada y se encuentra en todas partes.

Tomemos una lata de boca estrecha, limpiémosla bien y pon-

gámosle de capirucho un globo sin inflar.

Ahora lo ponemos todo a la candela y lo dejamos calentar a fuego lento.

¿Se infla el globo?

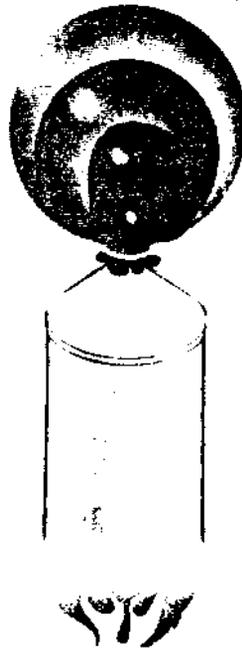
Apaguemos la candela y dejemos enfriar la lata.

¿Se desinfla el globo? ¿Por qué?

Vamos a salir de duda: volvamos a poner la latica con su capirucho a la candela y dejémosla ahí un buen rato.

¿Qué sucede?

PUM





sopa caliente

agua fría

## CÓMO SE ENFRÍA LA SOPA

Puesto que el efecto de dilatación está presente en todos los fenómenos caloríficos, continuaremos nuestra investigación sobre la naturaleza del calor realizando otro experimento muy sencillo: se sumerge un objeto muy caliente en agua fría. La olla de la sopa acabada de cocinar nos viene bien; es como matar dos pájaros de un tiro. En

útil observación. La primera y más evidente de ellas es que,

cuando dos cuerpos de distinta temperatura se ponen en contacto, el que está más caliente se enfría (la sopa), mientras que el que está más frío se calienta (el agua).

La segunda observación es que este "intercambio de calor" dura hasta que se llegue a una temperatura intermedia, o "equilibrio térmico".

Pero, entonces, ¿es que este calor que se transmite de un

de "trasegarse", más o menos como lo hacen los líquidos?

## RESUMEN

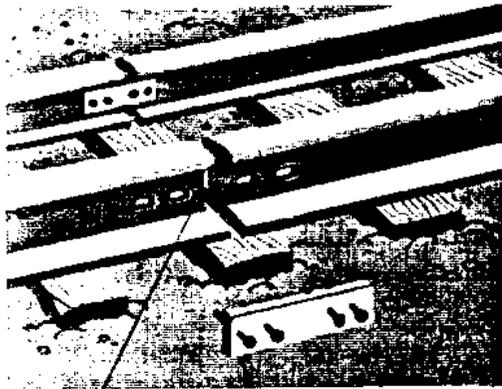
- La acción del calor dilata los sólidos. Esta dilatación es "lineal" en el caso de una barra, y "superficial" en el caso de una placa.
- La acción del calor dilata los líquidos. Es una dilatación de "volumen".
- La acción del calor dilata los gases. También esta dilatación es de volumen. Pero si se le impide al volumen dilatarse (ejemplo, el globo completamente inflado), en el gas se desarrolla una fuerza de expansión, llamada "presión". Cuando esta fuerza supera la de resistencia de la envoltura, esta última revienta.
- Para dar una medida cuantitativa de la dilatación, se usa el "coeficiente de dilatación", que se define como el estiramiento de una barra de un metro por cada grado de aumento de su temperatura.
- El calor se transmite siempre del cuerpo más caliente al más frío.

Estos experimentos nos han hecho excluir que a un aumento de temperatura corresponda un aumento de materia; pero no estamos en condiciones de excluir que el calor sea una especie de "fluido" que se trasiega de un cuerpo al otro.

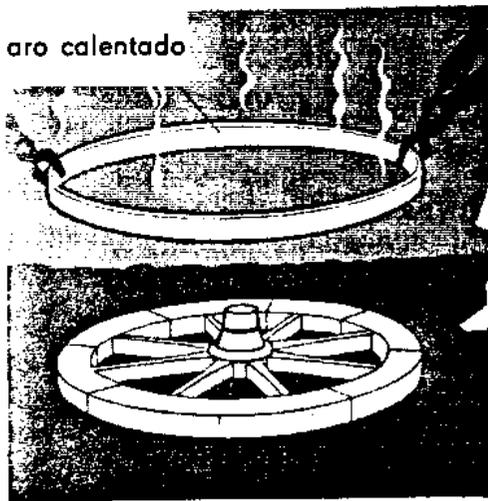
Continuaremos, pues, en nuestro... "infierno", ¡en el sentido del calor, desde luego!

---

**Anota aquí tus observaciones**



juntura de dilatación



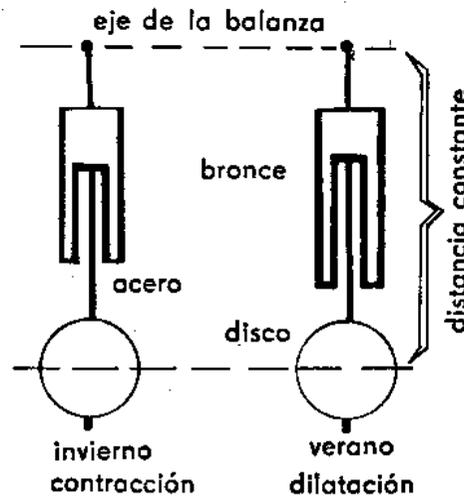
## LOS EFECTOS DE LA DILATACIÓN

Antes de volver a tomar el "camino del calor", tratemos por un instante de considerar las consecuencias de la dilatación.

### Raíles del tren

¿Nunca has pensado en la diferencia de longitud que puede existir en los raíles entre el verano y el invierno?

¿Por qué el fabricante de ruer-



das calienta el aro de hierro antes de aplicarlo a la rueda de madera?

### Puente de hierro

¿Nunca has pensado en las consecuencias de la dilatación de un puente de hierro?

### Reloj de péndulo

Si es verdad que la regularidad de las oscilaciones de un péndulo depende de su longitud,

¿cómo se comporta el péndulo cuando el péndulo se alarga, y en el invierno, cuando se acorta?

## OTRAS EXPERIENCIAS SOBRE LA DILATACIÓN

"¿Pasa, no pasa?" Éste es un experimento ya clásico sobre la dilatación de los cuerpos calentados. Si logramos encontrar una bola de metal que entre con precisión en un aro de metal, se puede poner de manifiesto esta dilatación. Basta con calentar sólo la bola y tratar de hacerla pasar por el aro frío; o bien, calentar sólo el aro; o, también, calentar los dos cuerpos y tratar cada vez de hacer pasar la bola a través del aro.

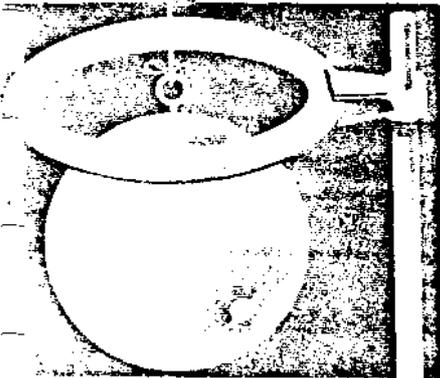
"La tapa demasiado estrecha". Pídele a un adulto bien forzado que cierre una tapa de metal en la rosca de un cuello de bo-

tella, y luego trata de abrirla con tu propia fuerza. Si no lo consigues, pon la tapa en agua caliente y prueba otra vez.

¿Por qué la tapa calentada se desenrosca con más facilidad?  
"¿Deforma la dilatación?" Remacha dos chapitas de distintos metales una contra la otra (hierro y cobre, hierro y estaño, cobre y aluminio, estaño y zinc, etcétera) y luego pon la chapita bimetálica encima del fuego.

¿Por qué la chapita se dobla? Este experimento nos hace comprender, entre otras cosas, que no es aconsejable soldar metales que tengan distintos coeficientes de dilatación, porque a la larga los puntos de soldadura saltarían.

**¿PASA,  
NO PASA?**

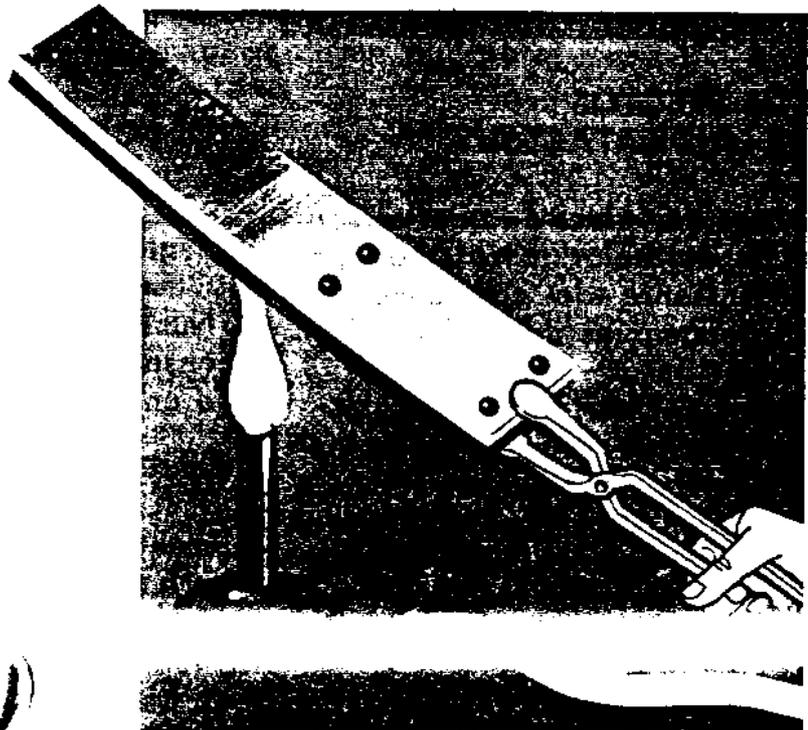


La tapa

demasiado estrecha

hierro

cobre



**¿LA DILATACIÓN DEFORMA?**

¿Movimiento calor?

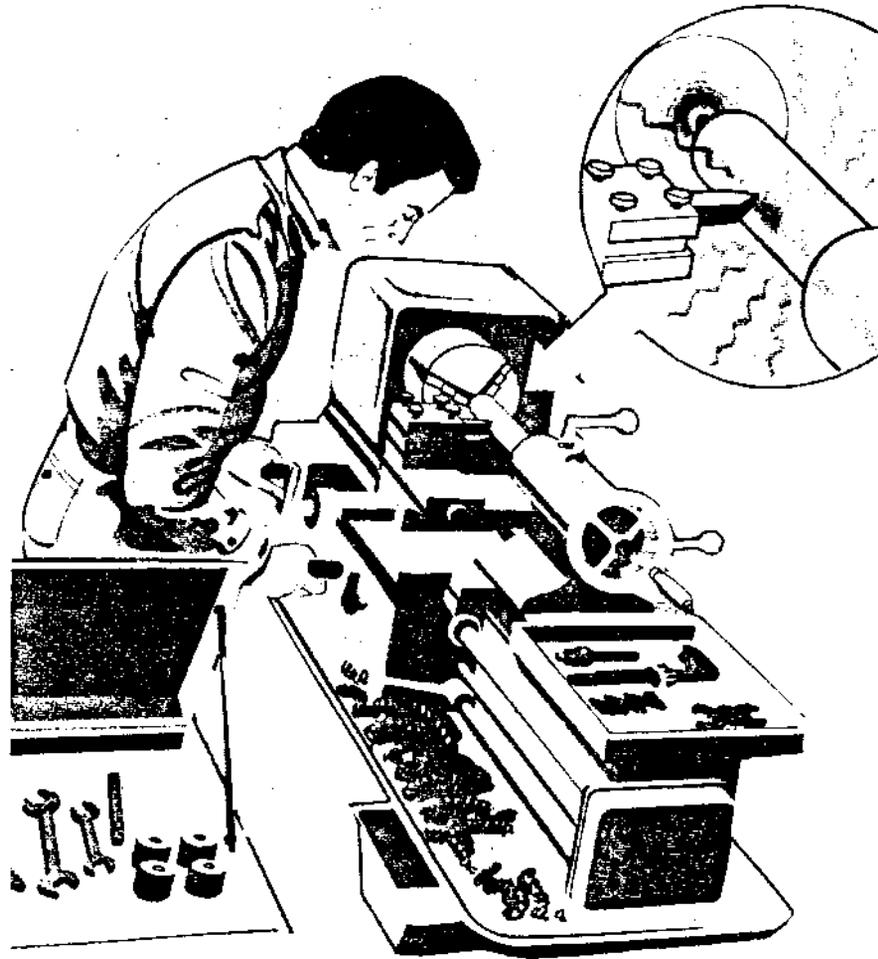
## OBSERVEMOS EL TORNO

Si nunca has estado en un taller de mecánica trata de hacerlo. Pídeselo a tus padres o a tu maestro, si verdaderamente no conoces ninguno. Además de trabar conocimiento directo con el mundo del trabajo, podrás satisfacer muchas pequeñas curiosidades, y esto te vendrá muy bien. Pídele al tornero que ponga a funcionar el torno y observa.

Desde el punto de vista de nuestra investigación sobre la naturaleza del calor, trata de ver ante todo si el pedacito de metal que se está trabajando conserva invariable su temperatura. ¡Sin tocar nada, por favor!

Pídele al tornero que detenga el torno al cabo de unos diez minutos y acerca con precaución tu mano a la pieza trabajada.

¿Por qué la pieza está tan caliente que no se la puede tocar?  
¿Cuál ha sido la "fuente de calor" que la ha calentado así?



## CUANDO HAY FRÍO

La experiencia del torno nos pone ante un hecho nuevo: los objetos pueden calentarse aún sin una fuente de calor propiamente dicha.

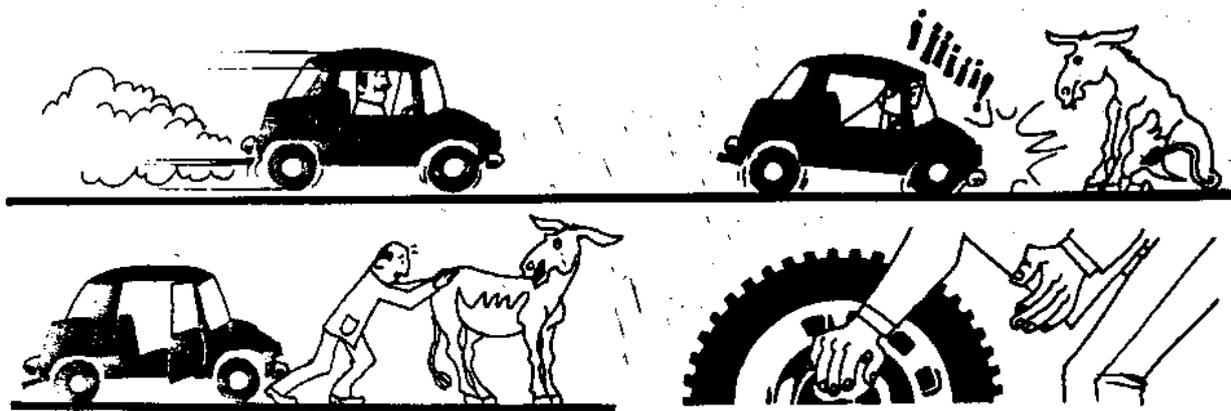
Por lo demás, se trata de una experiencia que ya hemos hecho otras veces, ¿no te parece? ¿Por qué, por ejemplo, cuando

hay frío nos frotamos las manos? ¿Por qué, al inflar la rueda de la bicicleta, la bomba se calienta?

Es necesario tomar en consideración también estos hechos si queremos una tarjeta de identidad del calor que sea lo más fiel y completa posible.

Sigamos, pues, por este camino...





## EL MISTERIO DE LOS FRENOS

De la carretera nos viene otro ejemplo muy interesante de producción de calor. Observemos el automóvil:

El automóvil rueda a gran velocidad. El trabajo realizado por el motor se transmite a las ruedas y éstas, girando como locas, se prenden a la carretera e impulsan el automóvil hacia adelante. Éste devora por lo menos 100 km de asfalto por hora.

En este momento, la energía mecánica del automóvil, que pesa por lo menos una tonelada, es muy grande.

Pero la carretera, ya se sabe, puede reservarnos algunas sorpresas y, en efecto, aquí nos vemos obligados a frenar de golpe.

Esta vez, son las zapatas de los frenos las que muerden desesperadamente el tambor de las ruedas.

Con el consabido chirrido, característico de todo frenazo "en seco", el auto se detiene en una decena de metros. En este último tramo, la energía mecánica se ha reducido a cero.

La acción oportuna y eficaz de los frenos ha evitado el accidente. Ahora el automóvil está detenido. Su energía mecánica ha desaparecido en la nada.

¿En la nada?

Prueba a tocar los tambores de los frenos inmediatamente después del frenazo. ¿Qué es lo que ha generado tanto calor? ¿A qué se debe esta "misteriosa" producción de calor por parte de los frenos?

¿Podemos afirmar que la energía mecánica del auto en movimiento se ha transformado en energía calorífica?

Más directamente, ¿podemos decir que el movimiento genera calor?

## RESUMEN

Observando el trabajo del torno o el frenazo de un automóvil, hemos descubierto algo muy interesante:

—El trabajo mecánico realizado sobre un cuerpo (frotamiento, golpe, etcétera) aumenta la temperatura del cuerpo mismo; sin temor a equivocarnos, podemos llegar a la conclusión de que trabajo mecánico y calor son dos aspectos diferentes de una misma cosa: la energía.

Esta conclusión, sacada de nuestros experimentos y de nuestras observaciones, nos da una idea más precisa de la naturaleza del calor. Estamos ahora en condiciones de excluir que se trate de una "especie de fluido" que pasa de un cuerpo al otro; y de afirmar que estamos frente a una "forma de energía" capaz de transformarse y transmitirse.

Dicho esto, ¿habrá algo más que añadir?

Veamos qué cosas nos reservan las páginas sucesivas...

**Anota aquí tus observaciones**

-LC

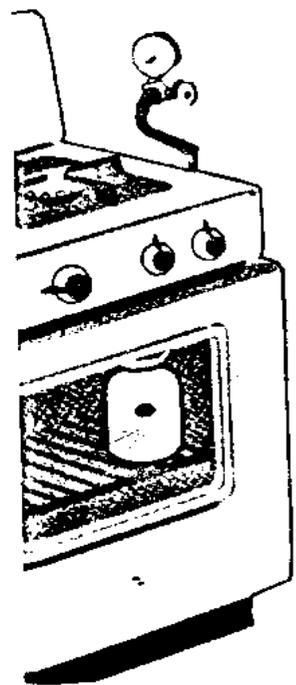
UNA  
EXP

Tom  
los  
los  
agu  
Ape  
con  
men  
ción  
sita  
fondo  
nos  
la o  
nota  
tas:  
pura

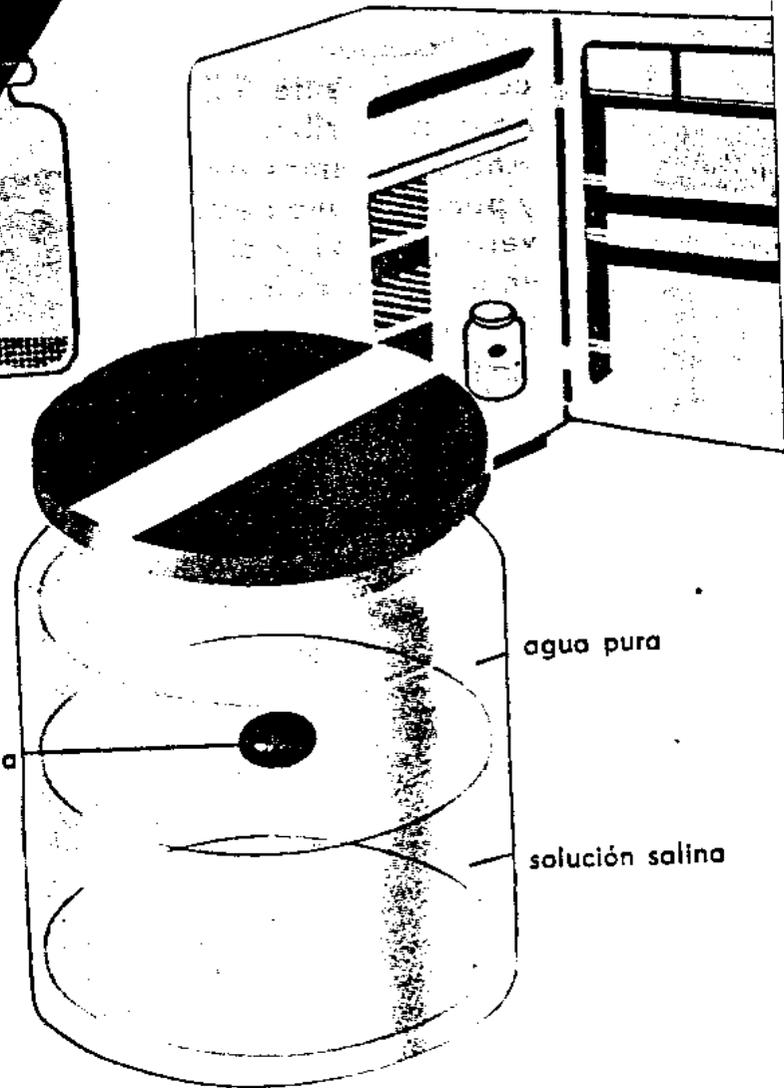


## UNA MEMORABLE EXPERIENCIA

Tomamos dos pomos de cristal, los lavamos perfectamente y los llenamos hasta la mitad con agua destilada (o hervida). Aparte preparamos, siempre con agua pura, aproximadamente medio litro de una solución bien cargada de sal. Depositamos esta solución sobre el fondo de cada pomo sirviéndonos de un embudo. Al final de la operación, en los pomos se notarán dos capas muy distintas: solución salina abajo y agua pura arriba.



gota de esencia



agua pura

solución salina



Ahora dejamos caer en cada uno de los pomos una gota de esencia de clavel. Ésta se hundirá en el agua, pero se quedará flotando encima de la solución salina. También se puede probar con otras sustancias (aceite cocinado, trementina coloreada con esmalte, etcétera, siempre que su "densidad" sea tal que la gota se hunda en el agua pura, pero flote sobre la solución salina, aun cuando esta última esté completamente diluida por el agua de arriba.

Ahora tapamos los dos pomos y ponemos uno de ellos en la nevera (abajo) y el otro al sol o en un horno tibio.

Si observamos el comportamiento de la gota de esencia en

los pomos, nos damos cuenta de un hecho muy importante: al cabo de unos días o de unas horas, según la temperatura, las dos goticas de esencia habrán llegado poco a poco a la superficie, demostrando que en cada uno de los pomos se ha verificado un "revolvimiento" completo entre el agua y la solución salina.

¿Qué ha causado este revolvimiento?

Excluyendo movimientos causados por microorganismos (hemos usado agua destilada o hervida), ¿qué otro tipo de acción mecánica ha intervenido?

Trataremos de explicarlo en las páginas siguientes.

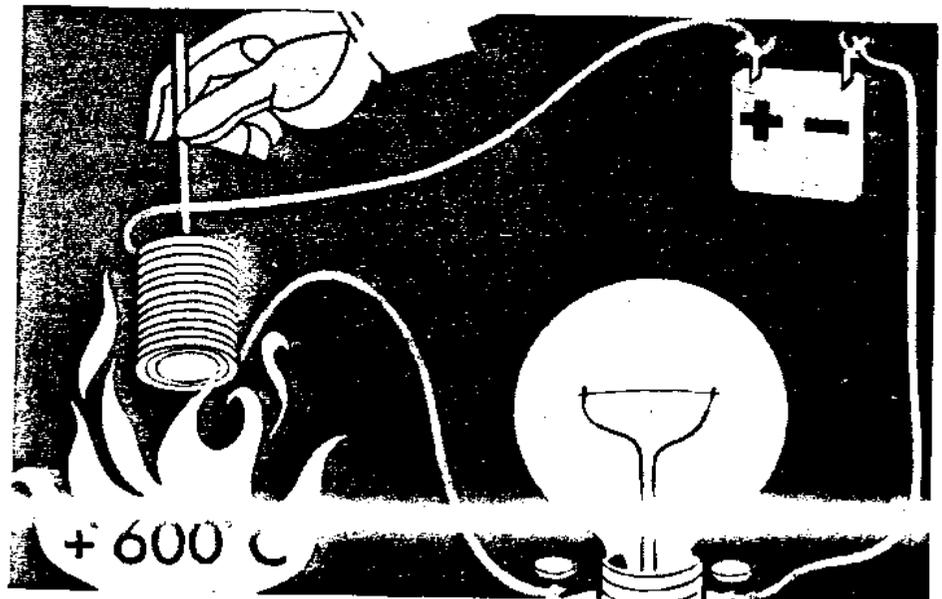
mientos, llamados precisamente brownianos, de las moléculas.

Si se calienta la suspensión, se puede observar como la agitación molecular se intensifica: este mismo movimiento agitado es lo que nosotros asociamos a la idea del calor.

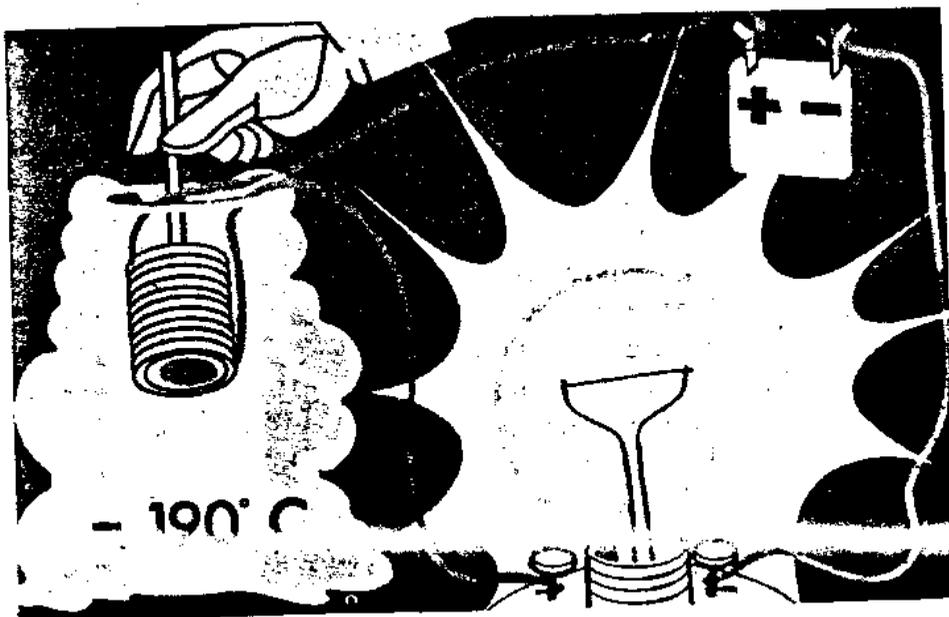
Esto explica que la dilatación de los cuerpos sólidos calentados se debe al enorme aumento de agitación molecular; es como si esta agitación tuviera que vencer, de alguna forma, la fuerza que mantiene agarradas las moléculas entre sí para lanzarlas hacia el exterior; cosa que, por lo demás, sucede cuando un líquido entra en ebullición y cuando un metal "se funde".

También podemos explicarnos el intercambio de calor entre un cuerpo y otro: una superficie muy "agitada" (cuerpo caliente), al entrar en contacto con una superficie más "tranquila" (cuerpo frío), no hace otra cosa que transmitir su propio estado de agitación y recibir, a cambio, una "disminución" de su propia actividad.

Por esta razón los dos cuerpos, después de cierto tiempo, alcanzan una temperatura intermedia de equilibrio (ver p. 17).



En relación con este asunto, aconsejaría echar un vistazo a la "conservación de la cantidad de movimiento", en la página 24 del volumen **El movimiento de las fuerzas**, donde el choque de las pelotitas puede dar una idea del comportamiento de las moléculas. Así pues, hemos observado y experimentado que, al aumentar la temperatura, aumenta también el movimiento molecular. Esto puede demostrarse de muchas maneras. Por ejemplo, si tomamos un alambre de cobre puro y lo conectamos con una batería eléctrica de un voltio, podemos medir con un amperímetro cuántos amperios atraviesan el alambre. Supongamos, por ejemplo, que el instrumento mida un amperio; pues bien, si calentamos el alambre a unos  $600^{\circ}\text{C}$ , encontramos que su resistencia al paso de la corriente aumenta: para hacer pasar un amperio más, será necesaria una batería de tres voltios. Así mismo es. Este experimento, que puede realizarse únicamente disponiendo de los equipos correspondientes, demuestra que, cuando el alambre está muy caliente, sus moléculas se agitan tan intensamente que es necesaria una tensión tres veces mayor para hacer pasar la misma corriente.



Efectos del calor sobre la conducción eléctrica.



## RITMO LENTO Y ROCK'N ROLL

¡Si puedes, trata de atravesar corriendo una pista de baile mientras la orquesta toca un ritmo lento y cuando, en cambio, se desencadena un **rock'n roll**! Te encontrarás en las mismas condiciones que la corriente eléctrica en el alambre. El baile lento impedirá poco tu carrera, pero la frenética agitación del **rock'n roll** frenará notablemente tu impulso inicial, ¿no lo crees así?

Pero, ¿qué ocurre si, en lugar de calentarlo, enfriamos el alambre?

Sigamos con nuestro experimento: si se lleva el alambre a unos  $190^{\circ}\text{C}$  bajo cero, su resistencia al paso de la corriente "cae" por lo menos a cinco veces; efectivamente, si lo conectamos de nuevo a la batería de un voltio, obtenemos un flujo de corriente de por los menos cinco amperios.

Esto significa que, evidentemente, el enfriamiento corresponde a una disminución del movimiento de las moléculas.

Surge entonces espontáneamente una pregunta: ¿existe un punto tan frío como para



causar la inmovilidad completa de las moléculas de un cuerpo?

Desde luego, este punto existe, aunque es prácticamente inalcanzable: es el "cero absoluto", que se corresponde con  $273\text{ }^{\circ}\text{C}$  bajo cero ( $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). A esta temperatura, el movimiento de las moléculas de la materia es nulo.

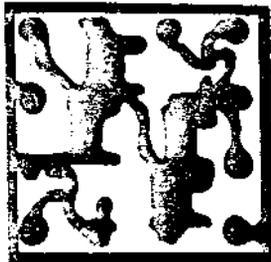
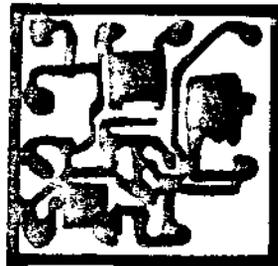
Colada de metal fundido.

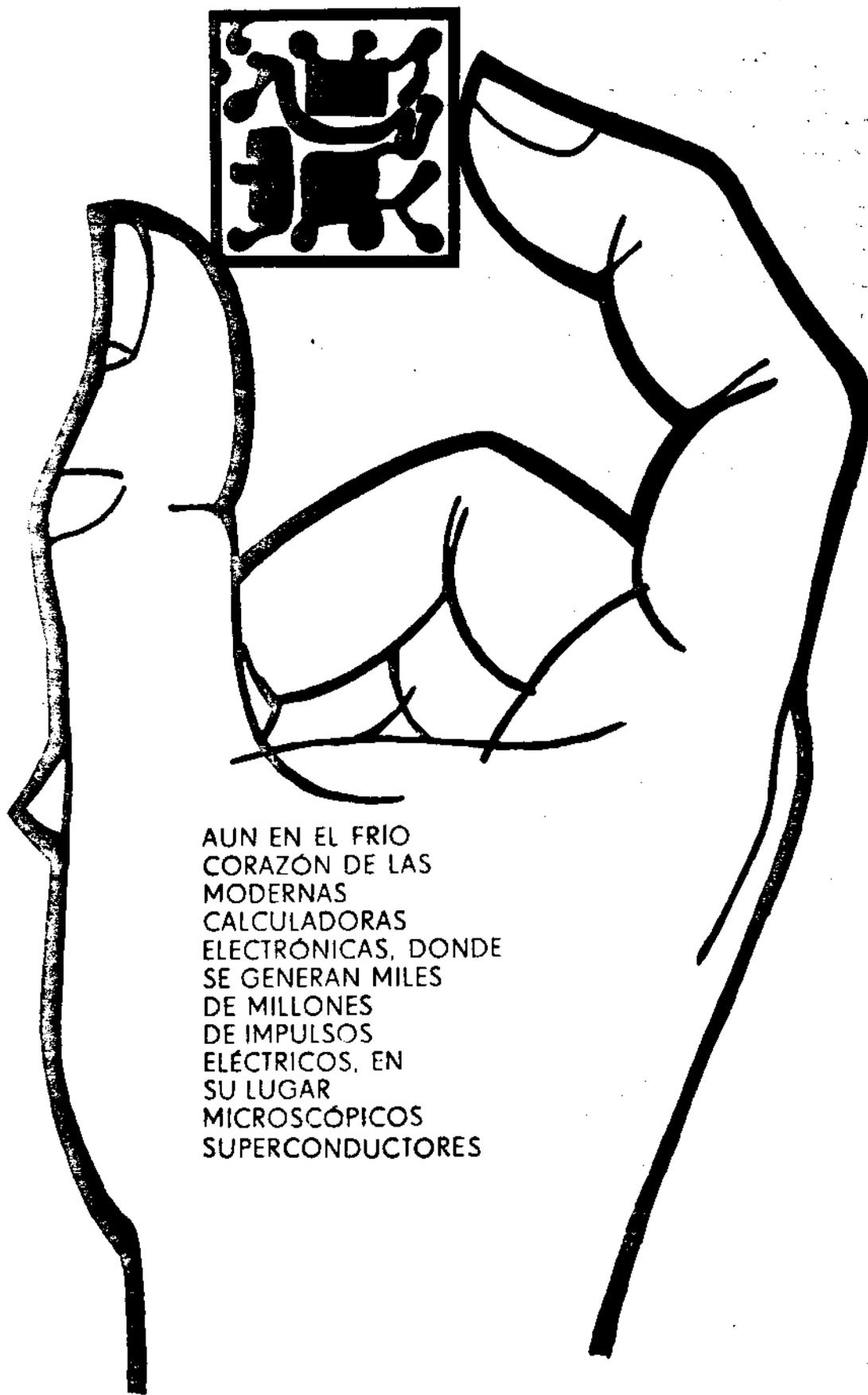


## LOS SUPERCONDUCTORES

Y he aquí que nuestra charla, surgida para explicar la naturaleza del calor, nos lleva de pronto a la línea fronteriza de la investigación científica, y nos hace trabar conocimiento con lo que se ha dado en llamar física de las "bajas temperaturas".

Con respecto a esto, es bueno saber que existe una tecnología verdadera y propia de las bajas temperaturas que produce, entre otras cosas, los llamados "superconductores" utilizados en los más complicados aparatos eléctricos de nuestra era. Pero, por ahora, sólo se trata para nosotros de una curiosidad.





AUN EN EL FRIO  
CORAZÓN DE LAS  
MODERNAS  
CALCULADORAS  
ELECTRÓNICAS, DONDE  
SE GENERAN MILES  
DE MILLONES  
DE IMPULSOS  
ELÉCTRICOS, EN  
SU LUGAR  
MICROSCÓPICOS  
SUPERCONDUCTORES

## RESUMEN

—El experimento del pomo con la solución salina, y la observación directa de los movimientos brownianos, nos han permitido comprobar que la agitación de las moléculas de un cuerpo aumenta con la temperatura.

—Con palabras más técnicas, eso puede expresarse de la siguiente forma: "la energía térmica se identifica con la energía cinética total de los movimientos de agitación molecular".

Ahora que conoces a plenitud el significado de la frase, prueba a repetirla varias veces para grabarla en la memoria. ¡Harás un magnífico papel!

---

**Anota aquí tus observaciones**

# Calor y temperatura

## ¿CALOR O FRÍO?

Ya conocemos la naturaleza del calor, pero conocemos aun mejor sus efectos. "La sopa está caliente", "¡brrrr, qué frío!", "qué rico, tan tibio", sólo son algunas frases que se pueden extraer fácilmente de la experiencia de cada uno de nosotros.

Sabemos también distinguir cuando una cosa está más caliente que otra; pero, ¿podemos confiar siempre en nuestros sentidos?

Probemos a sumergir la mano derecha en agua helada y, al mismo tiempo, la izquierda en agua caliente. Después de un minuto, sumergiremos ambas manos en agua tibia y "sentiremos" qué sucede.

Como por arte de magia, la mano que había estado en agua helada nos parece estar caliente, mientras que la otra nos parece estar indudablemente fría. ¡Las sensaciones se han invertido!

¿Podemos confiar en nuestras sensaciones táctiles, o debemos buscar la manera de dar un valor más "objetivo" a la temperatura?

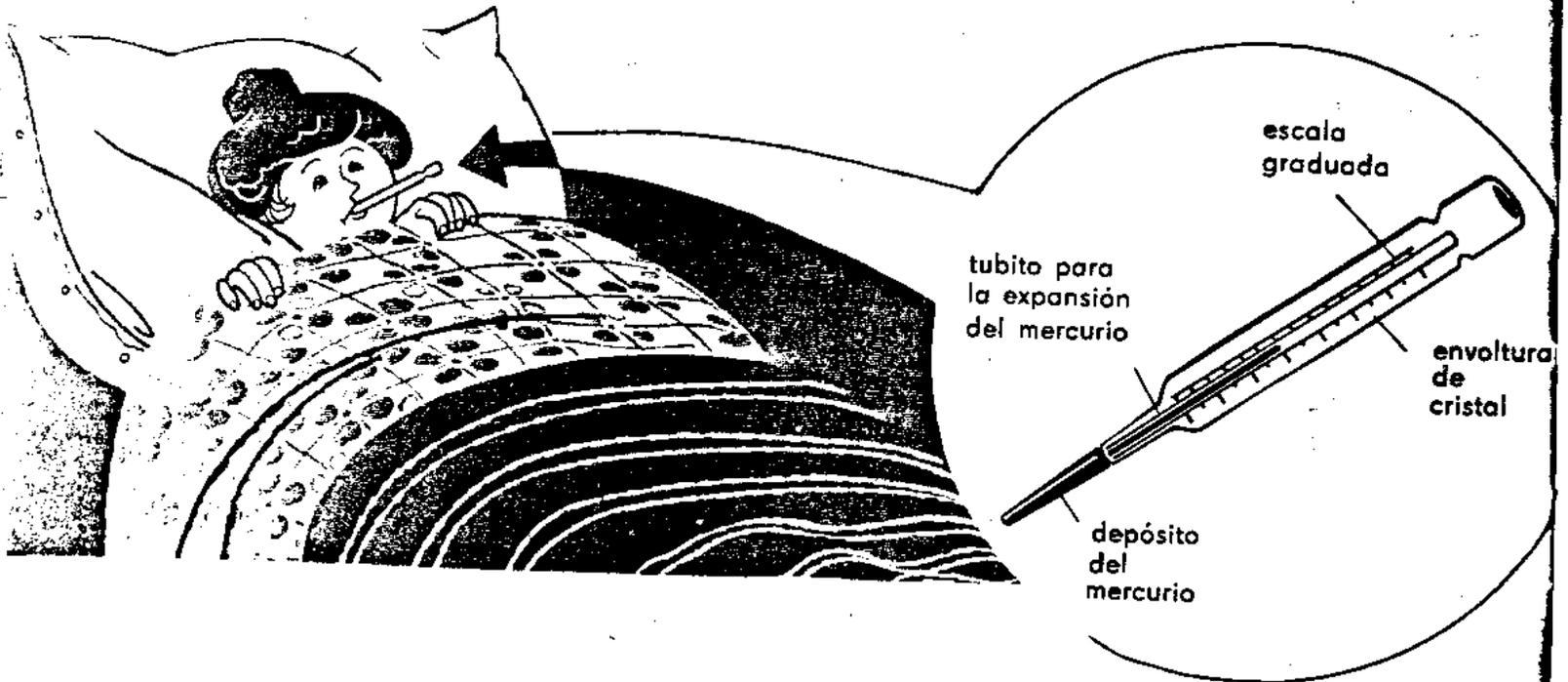


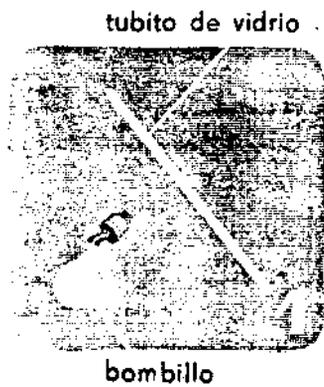
## LA TEMPERATURA

Ya está claro que la idea del calor se asocia al estado de agitación de las moléculas. La medida directa de esta agitación se llama temperatura. ¿Cómo se mide la temperatura?

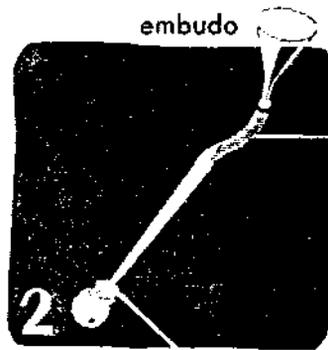
Nos ayudarán dos cosas, extraídas de las experiencias anteriores: la primera es la dilatación de los cuerpos (ver p. 15 y siguientes); la segunda es el paso del calor de un cuerpo caliente a uno frío (ver p. 17).

Ahora bien, si tomamos un material con alto coeficiente de dilatación, como el alcohol o el mercurio, y lo ponemos en contacto con un cuerpo cualquiera, podemos medir directamente la temperatura de ese cuerpo. Desde luego, necesitamos una escala graduada para "leer" la cantidad de temperatura; pero de esto hablaremos en las dos páginas siguientes.



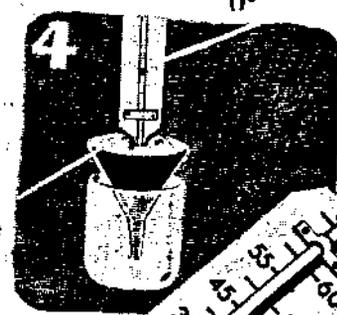


bombillo

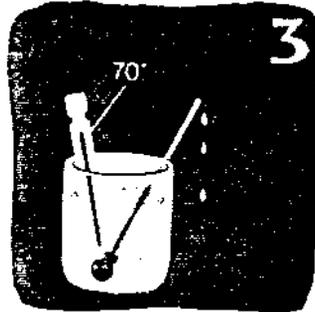


lacre

tubito de goma



trocitos de hielo



## EL TERMÓMETRO

Construir un termómetro experimental no es difícil. Tampoco resulta particularmente complejo encontrar una escala graduada para medir las temperaturas.

Para construir un buen termómetro, se toma un tubito de vidrio de unos 30 cm de largo, con un diámetro externo de 5 mm aproximadamente y uno interno de un milímetro; y se sacrifica un pequeño bombillo redondo, de los de 1,5 voltio (1).

Se fija con plastilina o material de lacrar el bulbo del bombillo en un extremo del tubito de vidrio; se llena todo con alcohol industrial, teniendo cuidado de que no quede ninguna burbuja de aire en el interior (2).

Ahora se introduce el termómetro en un recipiente con agua

a 70 °C y se deja desbordar el agua que sobra (3).

**¡DURANTE ESTA FASE NO DEBE HABER NINGUNA LLAMA ENCENDIDA CERCA!** Se cierra con plastilina el extremo superior del tubo y se fija sobre una tablita.

Para graduar nuestro termómetro, lo introduciremos durante quince minutos en un embudo lleno de cubitos de hielo; marcaremos el 0° en la tablita en correspondencia con el nivel alcanzado por el alcohol (4).

Ahora, como sabemos que el alcohol a los 70 °C alcanza el extremo superior del tubito, dividimos en siete partes el espacio entre el 0° y ese extremo. Repetimos estas divisiones también por debajo del 0°. Cada división corresponde a 10° (5). Con este termómetro podemos medir temperaturas que van, aproximadamente, de -30° hasta +70°.

## QUÉ SON LOS GRADOS

Para este experimento necesitamos un termómetro industrial en el cual los grados estén marcados en dos distintas escalas de numeración: C y F.

Si ponemos este termómetro en un recipiente lleno de cubitos de hielo (ver el experimento anterior), notamos que el líquido (mercurio, en general) se detiene al lado del 0 en él la escala C, correspondiente al 32 en la escala F.

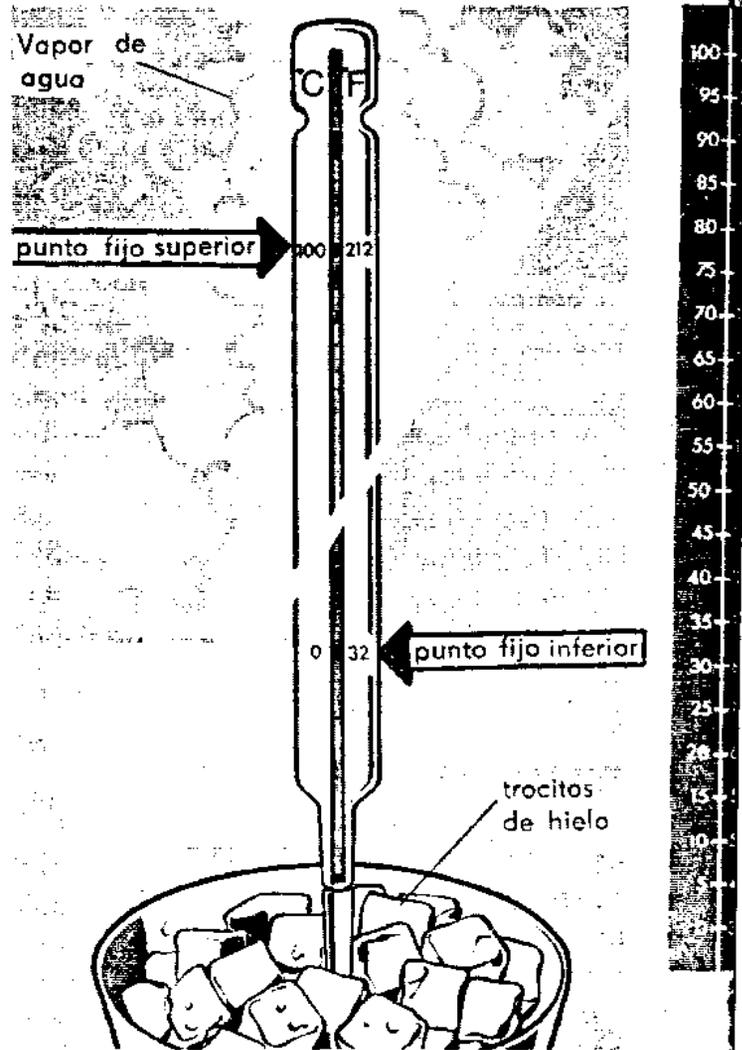
Podemos decir, pues, que el hielo tiene una temperatura de  $0^{\circ}\text{C}$ , o de  $32^{\circ}\text{F}$ .

Estas dos indicaciones de la misma temperatura se llaman "puntos fijos inferiores".

Si se pone el termómetro dentro del vapor de agua en ebullición, se nota que la escala C marca  $100^{\circ}$ , mientras que la escala F marca  $212^{\circ}$  (a nivel del mar o cuando el barómetro indica 760 mm de mercurio). Estos puntos correspondientes a la temperatura del agua hirviendo se llaman "puntos fijos superiores".

Hemos encontrado así que la distancia entre los puntos fijos inferiores y superiores está dividida en  $100^{\circ}$  en la escala C (Celsius) llamada precisamente "centígrada", mientras que en la escala F (Fahrenheit) la misma distancia se divide en 180 grados.

Celsius y Fahrenheit son los científicos que han propuesto las respectivas escalas.



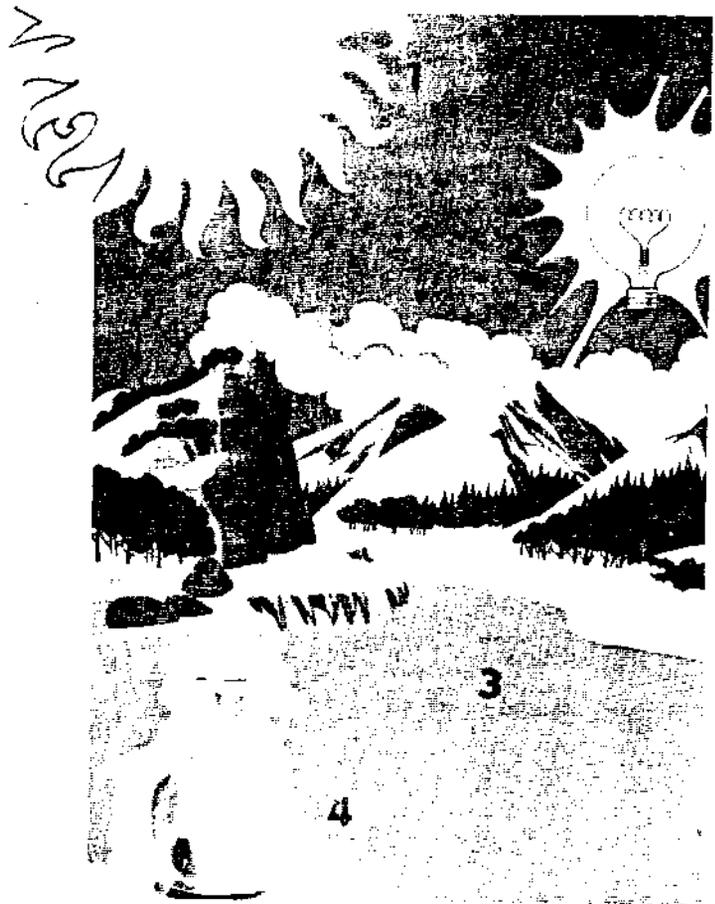
## DESDE LAS ESTRELLAS HASTA EL AIRE LÍQUIDO

Como ya sabemos qué es y cómo se mide la temperatura de un cuerpo, daremos, pues, un rápido viaje a través de las temperaturas existentes en la naturaleza. Esto nos ayudará también a comprender cómo los conocidos tres estados de la materia (sólido, líquido y gaseoso) dependen de la temperatura.

El nitrógeno líquido, por ejemplo, puesto sobre un pedazo de hielo seco, hierve; mientras que aproximadamente a la misma temperatura ( $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) el aire se torna líquido.

Ante todo, debemos decir que lo que determina el paso de la materia de un estado al otro es, además de la temperatura, también la presión. Por ejemplo, el agua, que hierve a  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  sobre la superficie del mar, alcanza la ebullición a una temperatura notablemente inferior en una alta montaña, donde justamente la presión atmosférica es más baja.

En el dibujo, los grados están representados según la "escala absoluta de las temperaturas" propuesta por el físico irlandés William Thompson (Lord Kelvin). Por esta razón, los grados se llaman Kelvin y se indican con K; en esta escala el 0 corresponde al "0 absoluto" y las unidades son iguales a los grados C.



- 1 Superficie del SOL: cerca de  $6\,000\text{ }^{\circ}\text{K}$ , es decir, 2 veces más caliente que el ...
- 2 ... filamento de una lámpara de TUNGSTENO: cerca de  $3\,000\text{ }^{\circ}\text{K}$ , es decir, 10 veces más caliente que la ...
- 3 ... Superficie de la TIERRA: cerca de  $300\text{ }^{\circ}\text{K}$ ; es decir, 4 veces más caliente que el ...
- 4 ... AIRE LÍQUIDO: cerca de  $80\text{ }^{\circ}\text{K}$ ; es decir, 75 veces más frío que la superficie del SOL.

## LA CALORÍA

La cantidad de calor necesario para elevar desde  $14,5^{\circ}$  hasta  $15,5^{\circ}\text{C}$  la temperatura de un gramo de agua se llama "pequeña caloría".

Hagamos un experimento sencillo: sobre una llamita, calentemos  $50\text{ cm}^3$  de agua y apuntemos el tiempo necesario para hacer pasar el agua, por ejemplo, de  $20^{\circ}$  a  $40^{\circ}$ . Repitamos el experimento con  $100\text{ mm}^3$  de agua y apuntemos también el tiempo necesario para pasar de  $20^{\circ}$  a  $40^{\circ}$ .

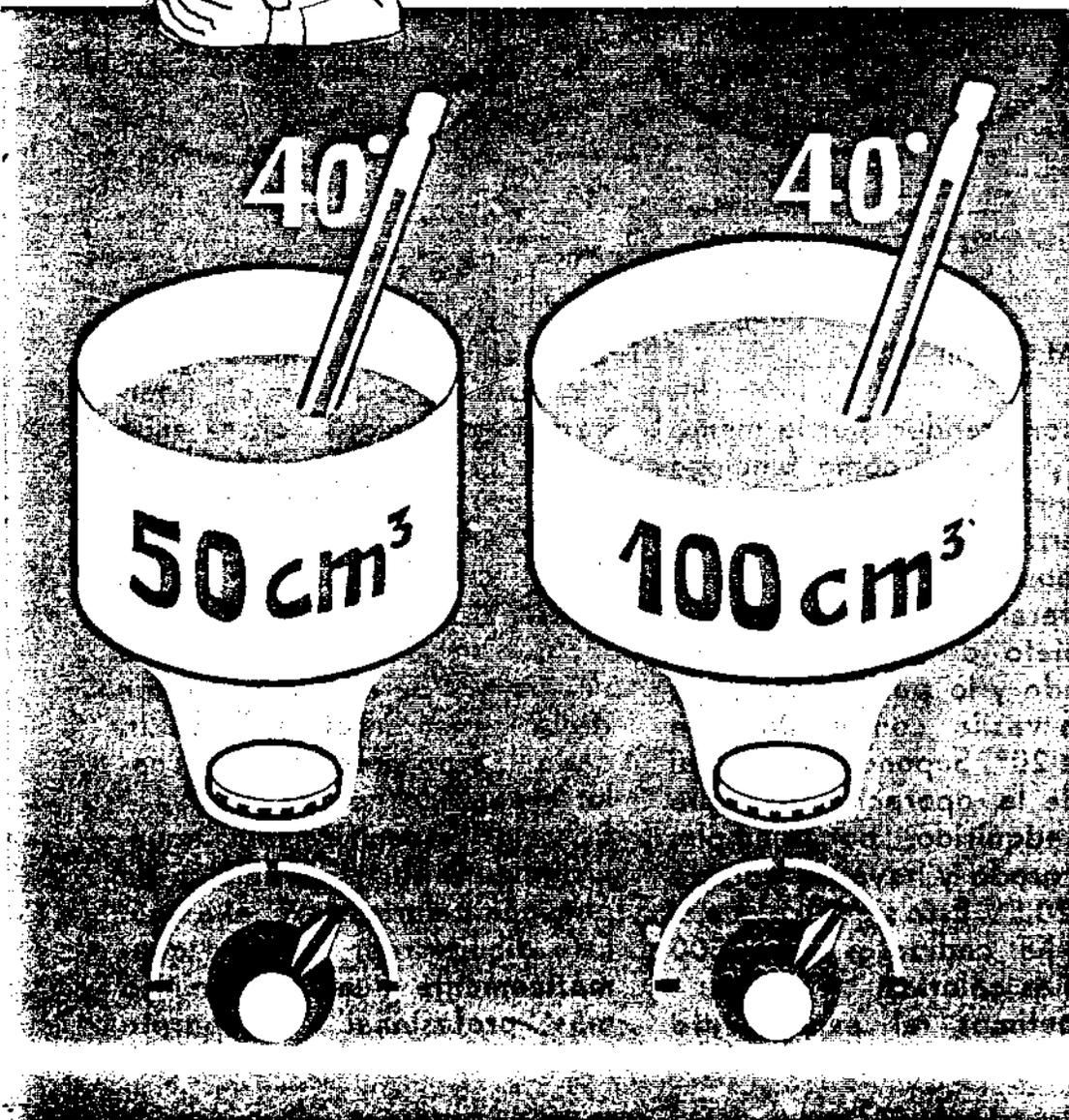
Conociendo que un  $\text{cm}^3$  es igual a un gramo, ¿cuántas calorías hemos empleado en cada uno de los experimentos?

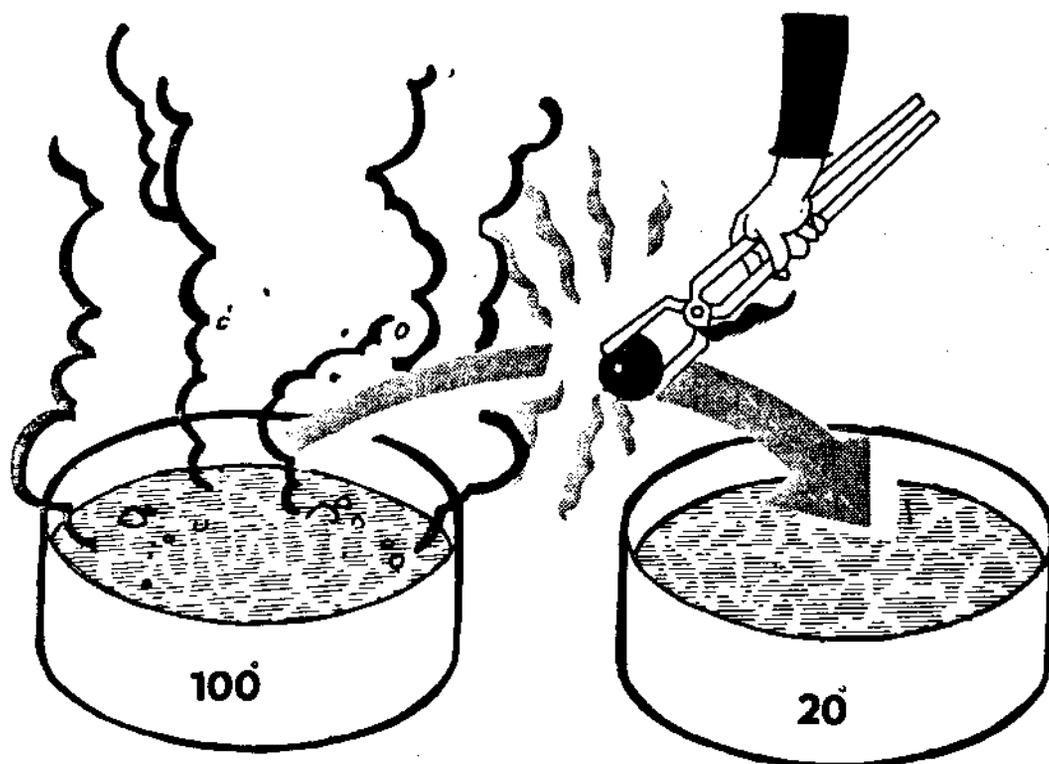
Esta experiencia demuestra que para llevar masas diferentes a una misma temperatura se necesitan diferentes cantidades de calor, es decir, diferentes calorías.

Por consiguiente, si las "temperaturas" de cuerpos de distinta masa son las mismas, las "calorías" —es decir, la cantidad de calor necesaria para llevar estos cuerpos a la misma temperatura— son sin duda distintas. Esto quiere decir que las palabras "temperatura" y "calor" no significan la misma cosa. El instrumento que mide las calorías se llama calorímetro.



¿LA MISMA  
TEMPERATURA=  
EL MISMO  
CALOR?





## EL CALORÍMETRO

Para comprender, por lo menos en su principio, cómo funciona un calorímetro, basta sumergir un cuerpo caliente en una vasija de agua fría.

Calentaremos, pues, un pequeño objeto de metal en agua hirviendo y lo pasaremos luego a otra vasija con un litro de agua a  $20^{\circ}$ . Supongamos que al final de la operación el agua haya adquirido, por ejemplo, medio grado y haya pasado de  $20^{\circ}$  a  $20,5^{\circ}$ . Esto significa que el objeto ha cedido al agua 500 pequeñas calorías.

Si repetimos el experimento

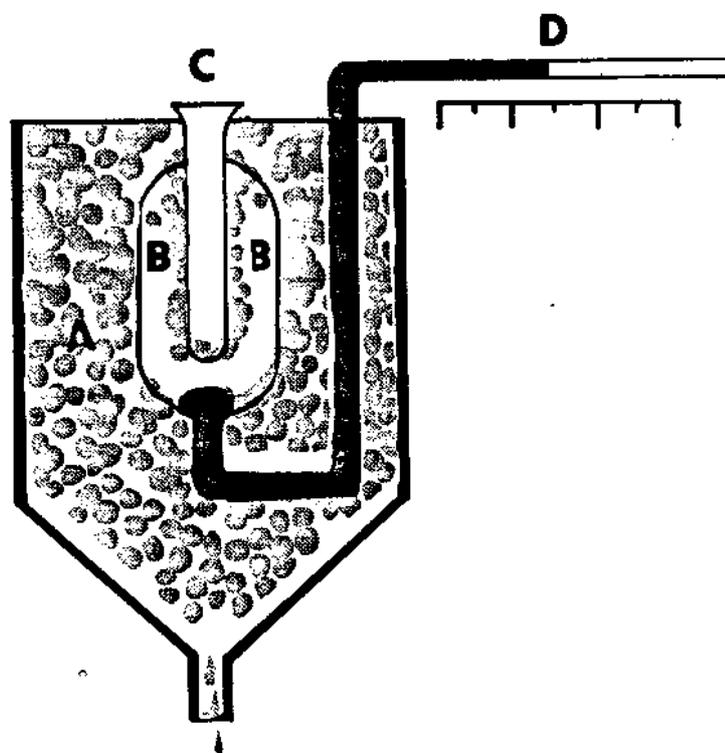
con objetos de distintos metales, observaremos que el "intercambio de calor" con el agua no será siempre igual. Esta distinta propiedad de los cuerpos para ceder y recibir calor demuestra que para cada cuerpo es distinta la cantidad de calor que se debe suministrar a un gramo para elevar en un grado su temperatura. Es decir, cada cuerpo presenta un "calor específico" propio.

El calor específico del agua, justamente por la definición de pequeña caloría, es igual a uno. Este dibujo representa esquemáticamente un calorímetro más "profesional". El aparato

está constituido por un recipiente lleno de hielo A en cuyo interior está sumergida una probeta de doble pared. El intersticio B está lleno de agua que se hace congelar parcialmente. El funcionamiento del aparato resulta claro si se tiene en cuenta que el volumen de determinada cantidad de hielo es mayor que el del agua que resulta de su fusión.

Se introduce en la probeta C una masa M de una sustancia

cuyo "calor específico" queremos conocer. Después de cierto tiempo, el calor inicial de la masa se reducirá a  $0^{\circ}$ , y esto habrá hecho derretirse cierta cantidad de hielo del intersticio B. Por consiguiente, el volumen ocupado globalmente por el agua y el hielo en B disminuye, causando así el cambio de posición de la columnita de mercurio D en correspondencia con una escala graduada en la cual se lee el valor del calor específico de la masa M.



## EL CALOR ESPECÍFICO

Pongamos sobre dos llamas idénticas 100 gramos de agua y un pedacito de hierro del mismo peso. Pongamos en el agua un termómetro, que servirá también para agitar; y un termómetro en la masa de metal que habremos perforado para eso.

Dejemos calentar ambas cosas durante el mismo tiempo, hasta que el termómetro del hierro marque 80°. Observa la increíble diferencia de temperatura entre el hierro y el agua: esta

diferencia demuestra claramente que el calor específico de los dos cuerpos es muy distinto.

Si multiplicamos la masa del agua y la del hierro por los correspondientes aumentos de temperatura, vemos que los resultados no son los mismos.

En el producto que concierne al hierro hay "algo más", que es, precisamente, su calor específico ( $c$ ). Para encontrar  $c$  debemos establecer la relación entre los dos productos, ya que nuestra unidad de calor específico es la que se refiere al agua:

$$c = \frac{100 \times \text{aumento temperatura del agua}}{100 \times \text{aumento temperatura del hierro}}$$

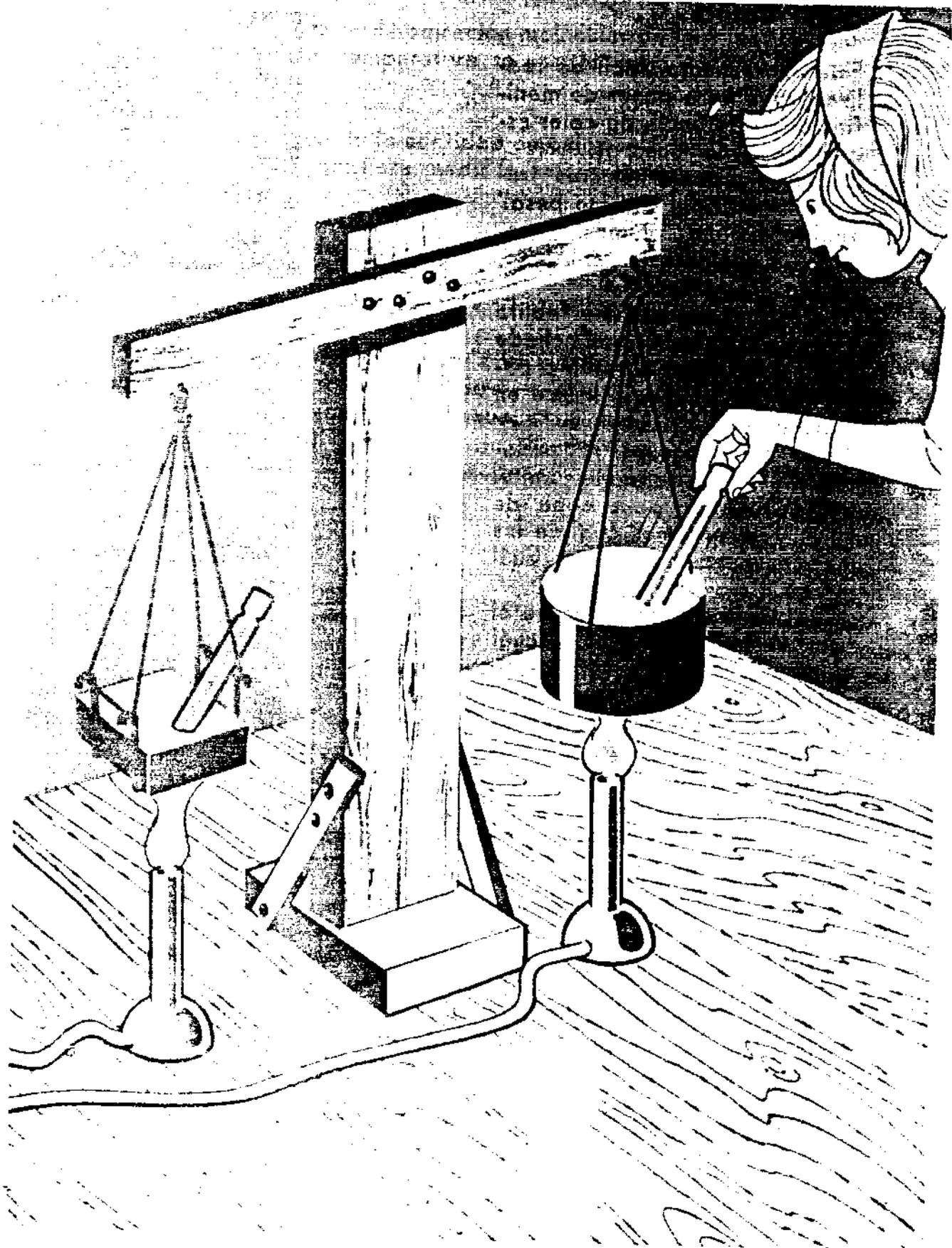
En nuestro experimento, por cada aumento de temperatura de 7,20° del agua se ha verifi-

cado un aumento de temperatura del hierro de 60°; podemos escribir, pues:

$$c = \frac{100 \times 7,20}{100 \times 60} = \frac{7,20}{60}; c = 0,12$$

Repita el mismo experimento con otros metales (aluminio, bronce) o con líquidos diver-

sos (alcohol etílico, aceite, etcétera).



## CALOR ESPECÍFICO COMPARADO

Este experimento, fácil de realizar, sirve para poner de manifiesto la diferencia de calor específico de los cuerpos.

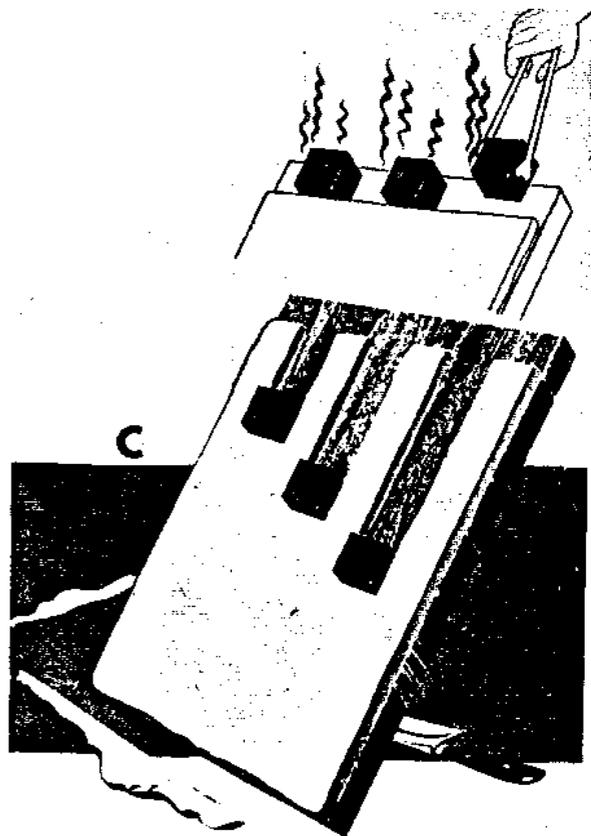
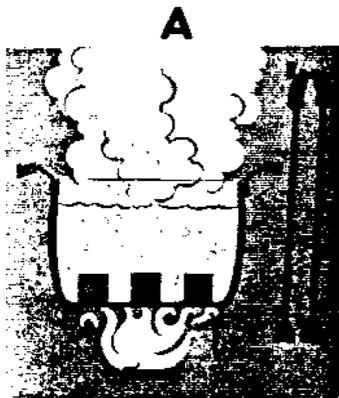
Debemos procurarnos tres trozos de metal del "mismo peso" (cobre, estaño, plomo) y ponerlos a calentar en agua hirviendo.

Aparte preparamos una tablita sobre la cual habremos echado una espesa capa de cera o parafina, tal y como se indica en el dibujo.

Ahora apoyamos los tres pedazos calientes de metal en el borde superior de la capa de cera, y observamos cuál de los metales desciende más y cuál menos.

¿Cuál de los metales posee el calor específico mayor, y cuál el menor?

¿Sólo los metales tienen calor específico? Repite el mismo experimento con pedazos de materiales distintos.



## RESUMEN

- La temperatura es el estado de agitación molecular de la materia. Para medir la temperatura se usa el termómetro.
  - La "caloría" es la medida de la cantidad de calor cedido o absorbido por un cuerpo. Para medir la caloría se usa el calorímetro.
  - Una "pequeña caloría" (cal) corresponde a la cantidad de calor necesario para elevar de  $14,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $15,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  un gramo de agua.
  - Un "kilocaloría" (kcal) corresponde a la cantidad de calor necesario para elevar desde  $14,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  hasta  $15,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  de temperatura un litro de agua. Esto significa que:  $1\text{ kcal} = 1\ 000\text{ cal}$ .
- 

**ANOTA AQUÍ TUS OBSERVACIONES**

# Cómo se transmite el calor

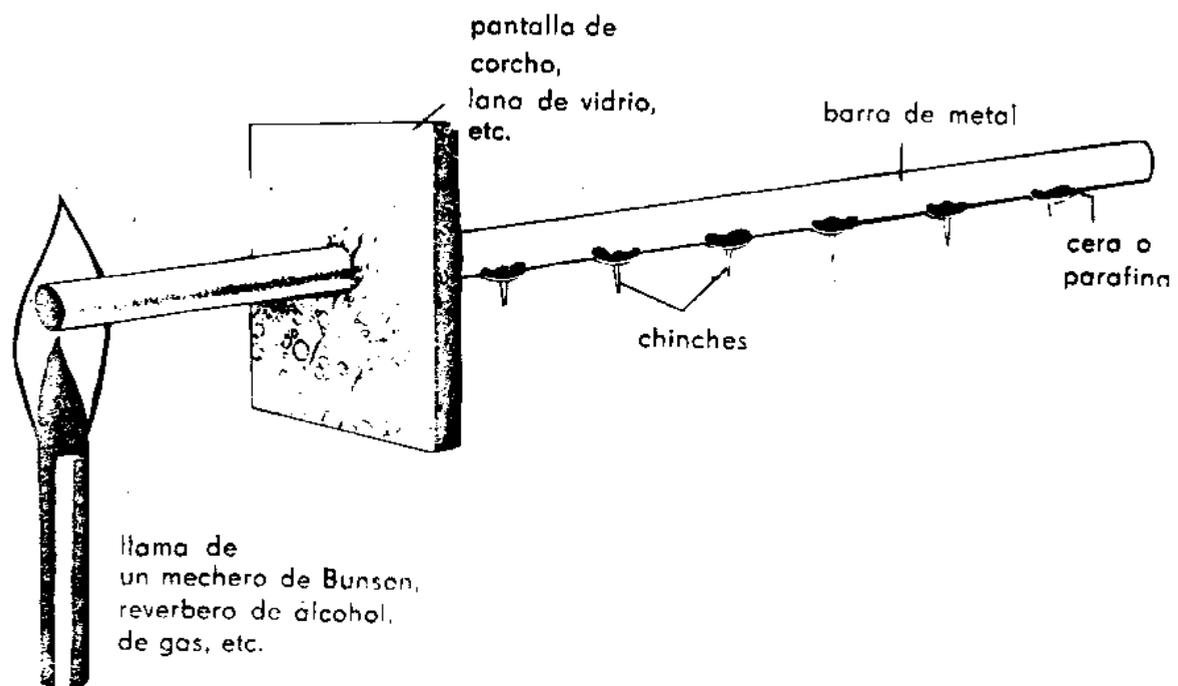
## CONDUCCIÓN DEL CALOR EN UNA BARRA

Sobre una barra de aluminio o de cobre de unos 30 ó 35 cm de largo se fija, por medio de cera o parafina derretidas, una hilera de chinches, a intervalos de 3 cm.

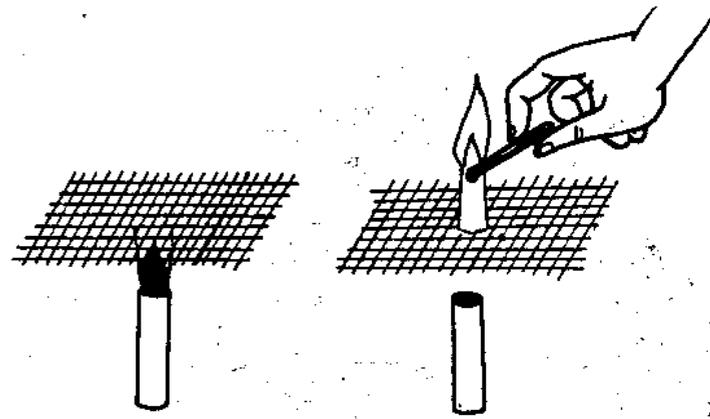
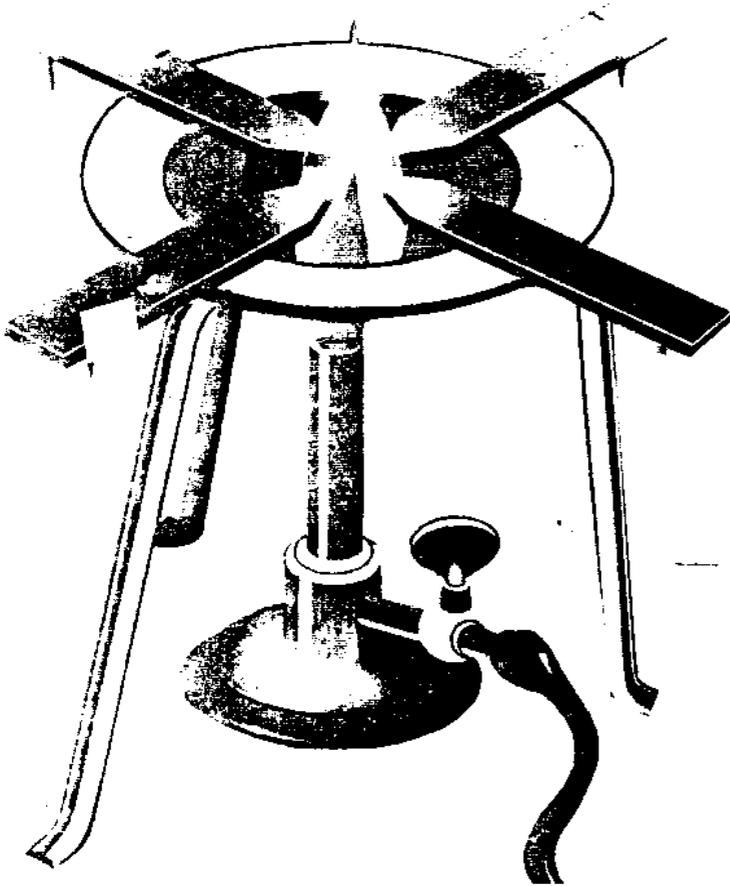
Se coloca ahora la barra de manera que un extremo de ella se pueda calentar con un reverbero.

Este experimento pone de manifiesto cómo el calor se transmite en el interior de los cuerpos sólidos.

¿Por qué se necesita un tiempo para que el calor se propague hacia el otro extremo de la barra?



plaquitas de distintos metales



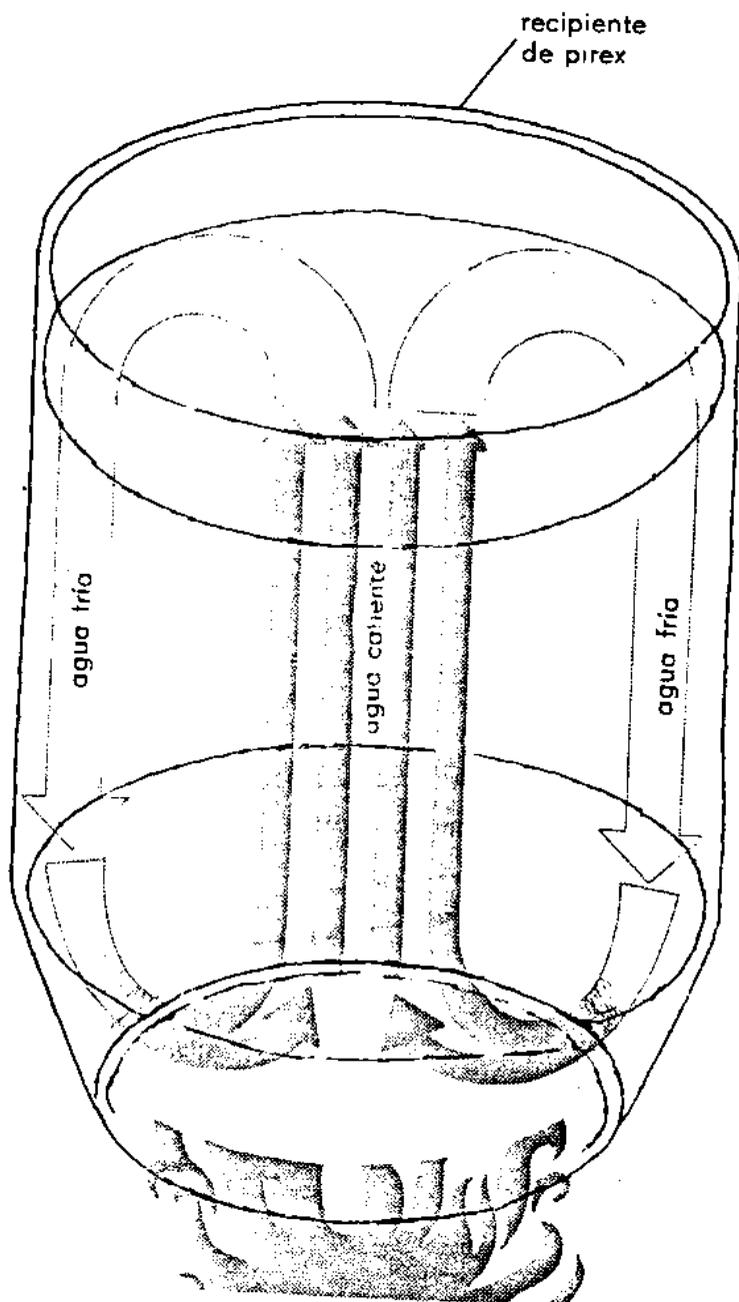
## CONDUCTIBILIDAD TÉRMICA

Se toman tres o cuatro plaquitas de metal de las mismas dimensiones pero de materiales distintos: hierro, cobre, zinc, estaño, bronce, etcétera.

Se colocan, a manera de los rayos en una rueda, encima de un reverbero de alcohol y se aplica en su extremo exterior una chinchete en cada una de las plaquitas, pegándola con parafina o cera derretidas.

Se enciende el reverbero y se observa en qué orden caen las chinchetes.

Esto nos indicará cuáles metales son buenos conductores de calor, y cuáles lo son menos. Podemos repetir el mismo experimento calentando con vapor de agua materiales diversos; madera, cristal, plástico. ¿Cuáles materiales son "buenos" conductores de calor? ¿Cuáles son "malos" conductores?



## CÓMO HIERVE EL AGUA

Llenamos de agua un pomo grande de pirex y echamos en él un poco de aserrín o un poco de papel secante desmenuzado.

Ponemos el recipiente a la candela y observamos el comportamiento del aserrín: podremos ver cómo se forman verdaderas corrientes verticales.

¿Por qué el agua del fondo, es decir, la que está en contacto más directo con la llama, sube hacia la superficie?

¿Acaso el agua caliente es más ligera que la fría?

¿En qué medida la gravedad tiene que ver con este fenómeno?

## EL RADIADOR

Efectivamente, el agua caliente es más ligera que la fría.

Sobre la base de este principio se creó el radiador doméstico.

Durante el invierno, en países de mucho frío, se calentaban las habitaciones con leña, pero el procedimiento era altamente tóxico, por lo que el hombre fue perfeccionando el sistema de protección contra el frío hasta llegar al radiador doméstico.

El radiador es un aparato sencillo, pero muy eficaz. En el sótano de la casa se colocaba una caldera (de carbón o de gas) y sobre ésta, se colocaban unos depósitos de agua del que salía un sistema cerrado de tuberías. Al encender el fuego en la caldera, éste calentaba el agua. Como el agua caliente es más ligera que la fría, al calentarse empujaba al agua fría que estaba depositada en las cañerías.

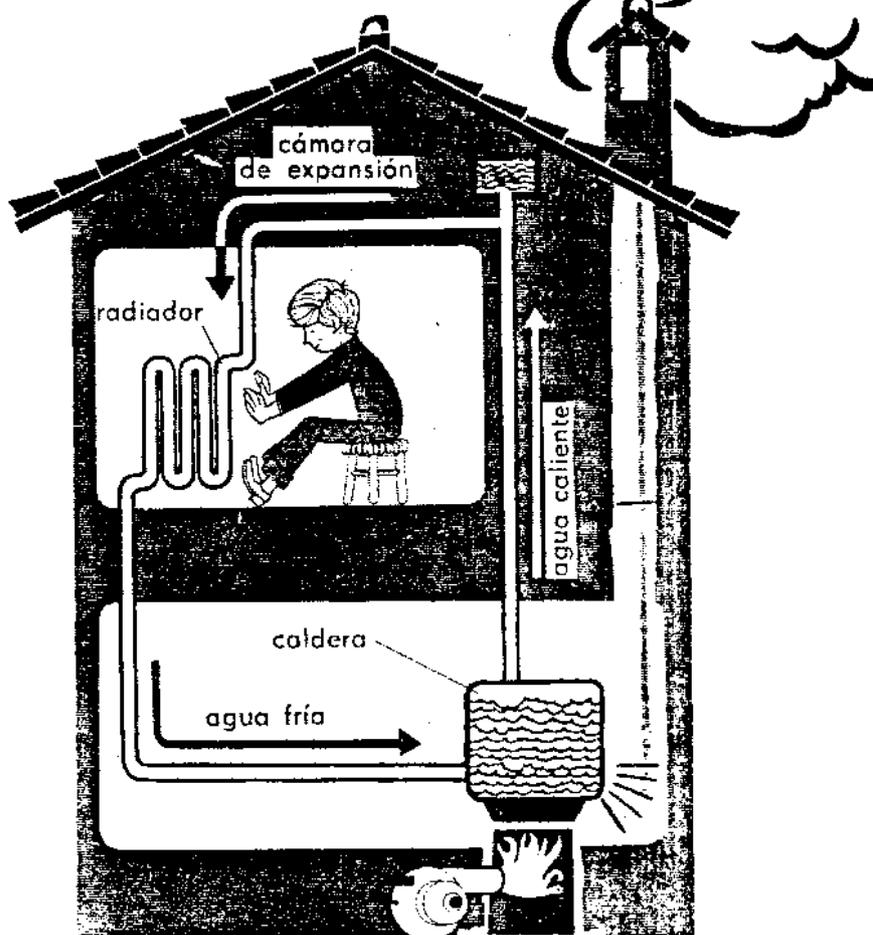
El agua caliente, al subir, pasa por el radiador y éste calienta la habitación.

A medida que recorre el circuito el agua se va enfriando y llega abajo ya fría para comenzar de nuevo su recorrido.

El radiador no es más que la misma tubería, que, como puedes apreciar en la ilustración, está doblada varias veces, para que el agua caliente mantenga más tiempo su recorrido y así dar más calor a la habitación.

La cámara de expansión tiene como finalidad evitar que el

agua, al calentarse demasiado y expandirse, pueda ocasionar una explosión. Con este compartimiento, si esto llegara a ocurrir, el agua sube y baja de acuerdo al calor y de esta forma se asegura que la cañería no se rompa.



## ¿POR QUÉ GIRA?

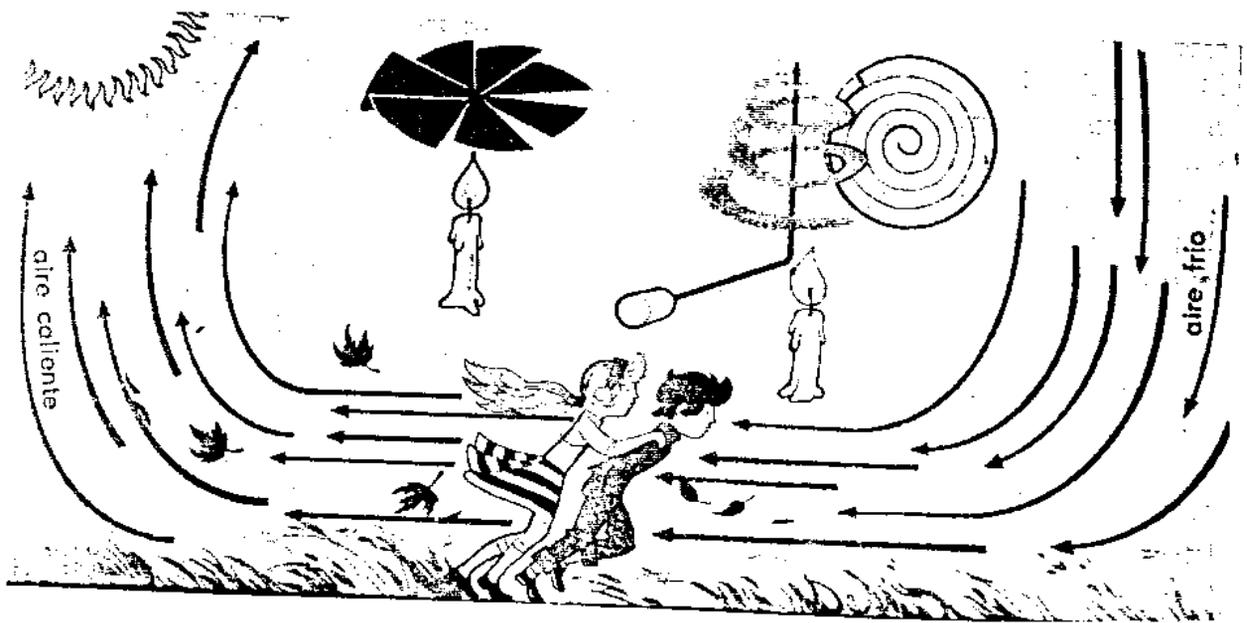
Es fácil y también divertido construir rehiletes como los ilustrados en el dibujo: se hacen con una hoja fina de lata o también con cartulina. Colocados encima de una fuente de calor, se ponen a girar.

¿Por qué?

¿Qué analogía existe entre este fenómeno y el que hemos observado en el agua que se calienta?

¿En el aire también se forman las corrientes de convección?

¿Nunca te has preguntado por qué soplan los vientos?



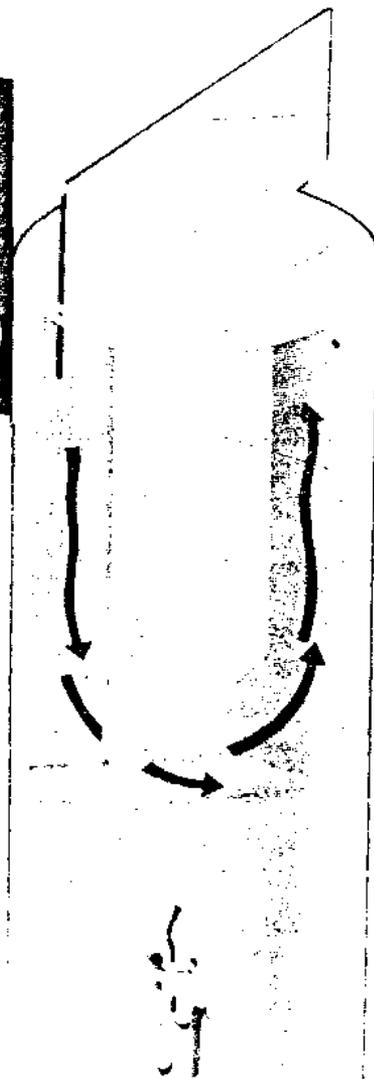
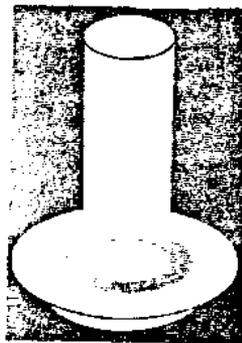
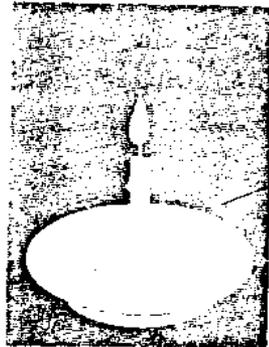
## PARA REANIMAR LA LLAMA

En el centro de un plato en que se ha vertido un poquito de agua, colocamos una vela encendida y, sobre la vela, un tubo de cristal.

Después de un rato, la llama de la vela comenzará a reducirse cada vez más, por el simple hecho de que la combustión consume el aire.

Antes de que la llama se apague del todo, introduciremos en el tubo una pantalla vertical de cartón.

¿Por qué la llama se reanima?  
¿Qué analogía encuentras con los experimentos anteriores?



## LA ENERGÍA SOLAR

Que el calor se propaga en los sólidos, los líquidos y los gases ya es conocido de todos y lo hemos demostrado a través de muchos experimentos.

¿Pero el calor se propaga únicamente en las formas descritas? Pongamos una mano, con la palma hacia arriba, bajo una lámpara de 100 W apagada. Cerremos el interruptor.

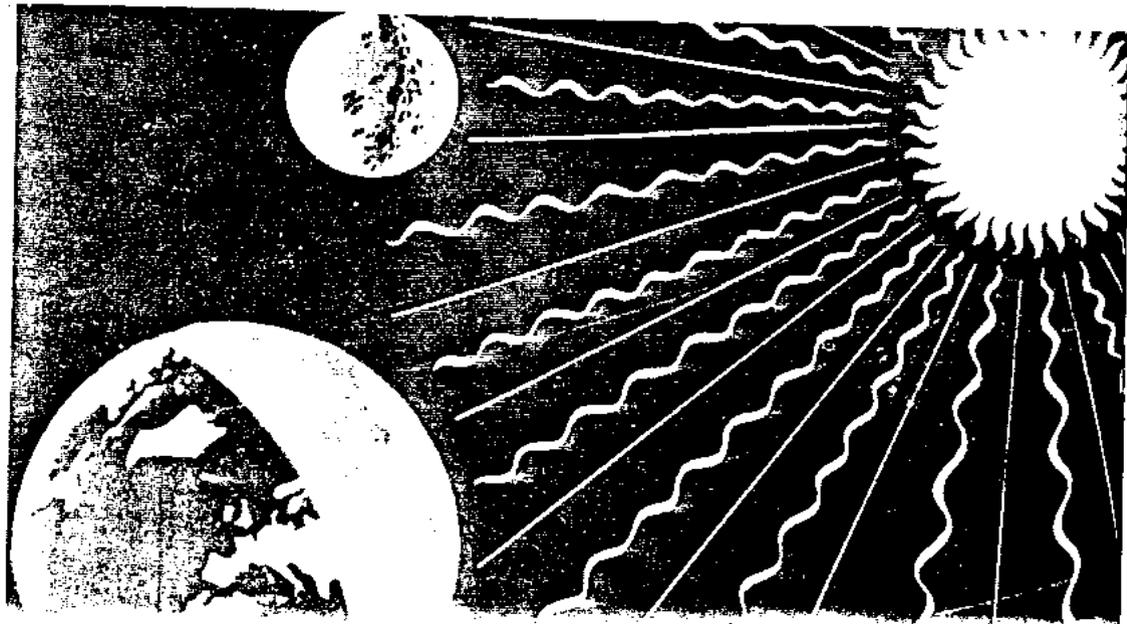
¿Por qué la mano se calienta?

No existe conducción, ya que no hay contacto directo; ni tampoco se puede hablar de convección, porque la mano está debajo del bombillo, y no sobre él.

Podemos deducir de ello que el calor puede transmitirse también sin que se interponga un cuerpo material.

Esto queda demostrado por el hecho de que, siempre que las nubes lo permitan, podemos tranquilamente calentarnos al sol, que se encuentra en el espacio, muy lejos de la Tierra.

El medio usado por el calor para viajar por el espacio es similar al que emplean la luz, la radio y las señales de televisión, y pertenece a la gran familia de las "ondas electromagnéticas".



## RESUMEN

- La propagación del calor a través de los sólidos se llama "conducción". La conducción se verifica por contacto, pero sin traslado de materia.
- La propagación del calor a través de los fluidos se debe principalmente a la fuerza de gravedad. Las partes calentadas del líquido, es decir, las más cercanas a la fuente de calor, pierden peso con respecto a las partes todavía frías, porque, como hemos visto, el calor dilata. Esta diferencia de peso genera un continuo movimiento en el líquido, precisamente porque las partes más "ligeras" son empujadas hacia arriba por las más "pesadas": justamente por ser más pesadas, estas últimas descienden a ocupar el lugar de las otras. Así se repite el ciclo y se verifican aquellas corrientes verticales llamadas "de convección".
- Finalmente, el calor se transmite también por "irradiación". Esta forma de transmisión ocurre también en el vacío, incluso mejor que a través de cualquier medio material.

---

**ANOTA AQUÍ TUS OBSERVACIONES**

# Pequeño diccionario ilustrado de la termología



¿Por qué el agua se mantiene líquida?

## C

### Calor latente

Hemos visto que la materia se presenta en forma de sólido, líquido o gas; también hemos observado que un cuerpo puede pasar de una de estas formas a la otra. En otras palabras, puede cambiar su "estado físico".

Ahora bien: "todo cambio de estado físico va generalmente acompañado de absorción o liberación de calor".

Se llama **calor latente de fusión** a la cantidad de calor necesaria para fundir un gramo de una determinada sustancia. En este caso, tenemos una "absorción" de calor por parte de la sustancia.

El calor de fusión del hielo, es decir 0°C; por ejemplo, es de 79 kcal por kilogramo.

En el proceso inverso, es decir, en la solidificación, está claro que se libera la misma cantidad de calor.

El **calor latente de ebullición**, de **evaporación**, de **condensación**, etc.

Llegamos así a la conclusión de que toda modificación del estado de una sustancia ocurre, a una presión constante, a una "temperatura" determinada, que es característica de la sustancia misma; y que toda modificación de estado va acompañada de absorción o liberación de "calor", en cantidad proporcional a la masa transformada.

Por esta razón, el agua de un recipiente abierto, expuesto al viento, y por tanto libre de evaporarse, se mantiene siempre a una temperatura ciertamente más baja que la del ambiente, hasta tal punto que se puede mantener "en frío" la fruta o la botella de vino.

### Calor específico

Del calor específico hemos hablado en la página 44.

Vamos a dar aquí una tabla que quizás puede resultar útil: se trata de los calores específicos de algunas sustancias bastante conocidas:

#### Sólidos

aluminio	0,22
hierro	0,12
hielo	0,50
mercurio	0,03
bronce	0,09
plomo	0,03
cobre	0,09
estaño	0,05
vidrio común	0,16
zinc	0,09

#### Líquidos

alcohol etílico	0,58
agua	1,00
ácido sulfúrico	0,34
queroseno	0,5

glicerina	0,57
mercurio	0,03

#### Gases

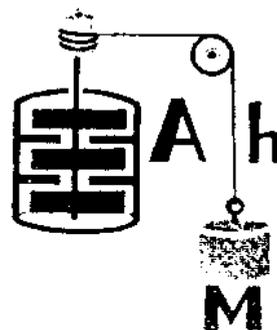
anhídrido carbónico	0,20
aire	0,24
nitrógeno	0,25
amoníaco (gas)	0,52
hidrógeno	3,38
oxígeno	0,22
vapor de agua	0,48

## E

### Equivalencia entre calor y trabajo

Imaginémonos un dispositivo como el indicado en la figura del margen. Está constituido por un recipiente lleno de agua en el cual está sumergido un eje vertical dotado de un sistema de pequeñas espas. Este eje puede ser puesto en rotación por la lenta caída de un peso  $M$ .

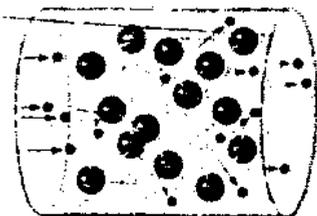
Imaginémonos ahora que se deje caer la pesa: su caída pondrá en rotación el sistema de espas, y esta rotación du-



El experimento de Joule sobre la equivalencia entre calor y trabajo.

rá hasta que la pesa haya alcanzado el punto más bajo posible.

He aquí cómo podemos imaginarnos el paso de la corriente eléctrica a través de un conductor. Las bolitas negras más grandes representan la posición de las moléculas en un cristal de cobre, mientras que las más pequeñas con la flechita representan los electrones que pasan por el conductor.



Al término del experimento, cuando todo esté en reposo, se encontrará que la temperatura del agua ha aumentado.

Entre el inicio y el final del experimento, sólo han cambiado dos cosas: la pesa  $M$ , al recorrer la distancia de caída  $h$ , ha determinado la disminución de la energía potencial (ver El flovido de las fuerzas, p. 43), y el agua se ha vuelto más caliente.

Todos los experimentos realizados con este aparato han demostrado que el aumento de temperatura del agua no depende de la velocidad, ni de la distancia, ni de la forma de las aspás, sino únicamente de la altura de caída de la pesa. Esto significa que para obtener siempre el mismo aumento de temperatura, es preciso emplear la misma cantidad de trabajo mecánico.

Por consiguiente, la energía mecánica (pesa que cae) y la energía interna (aumento de temperatura del agua) son equivalentes.

Esta equivalencia entre trabajo mecánico y energía térmica nos ayuda a comprender mejor las "transformaciones" del trabajo en calor que hemos encontrado en las páginas 21, 22 y 23.

El número que expresa una pequeña cantidad de calor (unidad térmica),

corresponde a 0,427 kilogrametros (unidad mecánica). Este número se llama **equivalente mecánico de la caloría**. Por tanto, las unidades de energía térmica pueden expresarse también en unidades de energía mecánica.

## S

### Superconductividad

Ya hemos visto que la resistencia de un conductor al paso de la corriente eléctrica varía de una manera bastante sensible al variar la temperatura.

Pero debemos añadir que existe una excepción a esta regla: se trata del carbón, cuya resistencia disminuye al aumentar la temperatura.

Otro aspecto de esta cuestión sobre el cual es oportuno fijar nuestra atención concierne a la manera en que los distintos conductores reaccionan a las variaciones de temperatura. En efecto, la resistencia varía en forma proporcional a la temperatura por un largo intervalo de temperaturas, mientras que en las temperaturas muy bajas esta ley deja de ser válida.

Para algunas sustancias, una vez alcanzada una cierta temperatura crítica, la resistencia se anula, y permanece nula por debajo de esa temperatura. En este caso, se dice que la sustancia se ha vuelto "superconductor".

## T

### Termodinámica

La termodinámica es el estudio de las transformaciones del trabajo mecánico en calor, y viceversa.

Conociendo que todos los fenómenos térmicos pueden reducirse en realidad a los desordenados movimientos de las moléculas de que está constituida la materia, se puede observar que el estudio del calor no es otra cosa que el estudio de una rama especial de la mecánica en la cual, al no po-

der aplicar materialmente las leyes de la dinámica a cada una de las partículas, se toma en consideración el "comportamiento medio" de una gran cantidad de ellas.

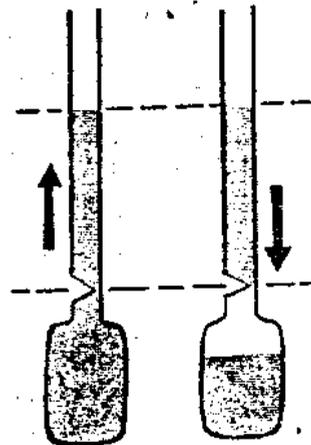
Por consiguiente, las magnitudes físicas que interesan a la termodinámica son los "volúmenes", las "presiones", las "masas" de las varias sustancias, y no las "velocidades", las "aceleraciones", o las "cantidades de movimientos" que se usan en mecánica.

Un sistema que comprenda un número muy grande de partículas, de las cuales no nos interesa el "comportamiento individual", sino únicamente el "comportamiento colectivo", se llama sistema termodinámico.

El estudio de la termodinámica es mucho más vasto y complejo de lo que hemos podido observar en este tomo, y también es bastante difícil; por consiguiente, nos hemos limitado a exponer los hechos esenciales y más accesibles de la terminología, que es, precisamente, una especie de introducción a la termodinámica.

### Termómetro

En las páginas 37, 38 y 44, hemos tratado del termómetro, es decir, el instrumento que sirve para medir la temperatura de los cuerpos. Trataremos ahora de enriquecer nuestras informaciones sobre este valioso instrumento. Para construir un verdadero termómetro

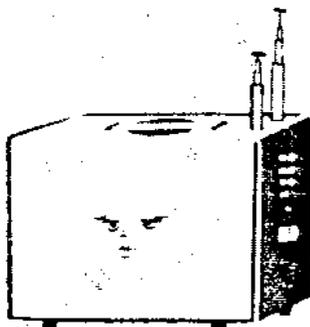


Cómo funciona un termómetro químico.

profesional, el tubo capilar de vidrio que contiene el azogue se vacía primero con mucho cuidado de todos los gases que contiene; luego se sella en la parte de arriba con la llama.

Empleando el azogue, se pueden medir temperaturas que van desde su punto de fusión (-38 °C) hasta su punto de ebullición (+350 °C).

Con un simple artificio se puede elevar la temperatura de ebullición de este metal y alcanzar temperaturas superiores a los 500 °C.



"Estado del tiempo: temperatura máxima de la madrugada..."

Para temperaturas más bajas, además del alcohol etílico, se emplea el toluol (-80 °C) y el pentano (-200 °C).

Con pequeñas modificaciones constructivas se obtiene el termómetro de máxima y el termómetro de mínima. El más conocido, es decir, el termómetro clínico, es precisamente "de máxima". Se trata de un común termómetro de mercurio en el cual está presente una estrangulación del tubo capilar, muy cerca del bulbo. Cuando la columnita de mercurio alcanza, por ejemplo, los 37,5 °C, el termómetro se "bloquea" sobre esta indicación, aunque durante ese tiempo la temperatura haya descendido mucho; esto sucede porque la columnita de mercurio, al retirarse, se quiebra en correspondencia con la estrangulación. Por esta razón, para "bajar" un termómetro clínico, es necesario sacudirlo con energía.

En el termómetro de mínima, en cambio, sucede que un pequeño cilindro de metal es arrastrado hacia abajo por la columnita de alcohol. Si la temperatura aumenta, el cilindro ya no es empujado hacia

arriba por la expansión del alcohol, y se queda "bloqueado" en la mínima temperatura alcanzada. Para poner de nuevo en su lugar el cilindro, se necesita un pequeño imán.

Las famosas "temperaturas mínimas de la madrugada", de las que con frecuencia se habla en el estado del tiempo, se registran precisamente con los termómetros de mínima que acabamos de describir.

INVAR	0,009 mm
AGUA	0,07
VIDRIO	0,08
HIERRO	0,12
NIQUEL	0,13
COBRE	0,16
BRONCE	0,18
PLATA	0,19
ESTADO	0,21
ZINC	0,29
MERCURIO	0,6
ALCOHOL	10,0

Tabla de los coeficientes de dilatación lineal de algunas sustancias. Los ejemplos representan las dilataciones experimentadas por un metro de sustancia calentada a 10 °C.

# Breve historia ilustrada de la termología



Así encendían el fuego los antiguos mexicanos.

Hablar otra vez de lo importante que ha sido para el hombre el descubrimiento del fuego es cosa ya trivial, puesto que todos, desde las primeras páginas de los primeros libros de primaria, han "descubierto... el fuego" y "sus consecuencias para la civilización humana".

Con esta breve historia, que-remos más bien entender cómo ha hecho el hombre para comprender en su sentido correcto todos los fenómenos que acompañan siempre al desarrollo de la "energía térmica".

Desde luego, nuestra charla sólo se desenvolverá a grandes rasgos.

## Siglo XVII

El calor era considerado como "un fluido elástico, ingenerable, indestructible y medurable". Cuando un cuerpo adquiría o perdía cierta cantidad de fluido, se elevaba o bajaba su temperatura.

Lavoisier y los académicos franceses llamaron "calórico"

a esta especie de sustancia, capaz, entre otras cosas, de pasar de un cuerpo a otro.

La teoría del "calórico" lograba explicar todos los fenómenos térmicos que se verificaban entre los cuerpos, como el calentamiento, el enfriamiento, la transmisión del calor, etcétera, pero no lograba explicar la "creación" del calor por parte de cuerpos simplemente frotados entre sí, (como hacían los indios para encender el fuego).

Uno de los primeros en rechazar esta teoría fue el norteamericano Benjamin Thompson (1753-1814), quien, utilizando una balanza ultrasensible, logró demostrar que el peso de una mesa de agua transformada en hielo, o convertida de nuevo en agua, no sufría ninguna variación apreciable, a pesar de que se verificaba una modificación de calor igual a la que experimentan 267 gramos de oro, al pasar del punto de congelación al de la incandescencia.

En 1798 Thompson, mejor conocido con el nombre de conde de Rumford, publicó un libro en el cual relata sus experiencias como supervisor en las fábricas de cañones de un arsenal militar bávaro. Rumford observó que el calor generado por el barrano en el ánima del cañón durante su elaboración era inagotable; llegó así a la conclusión de que "una cosa que un cuerpo puede producir ilimitadamente no puede ser una sustancia material". Por consiguiente, Rumford decidió que se trataba de una "forma de movimiento".

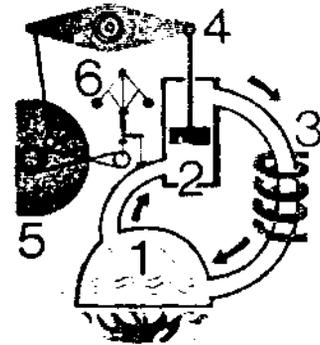
1824

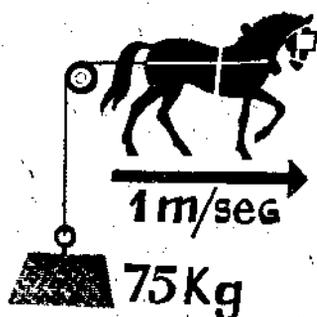
El joven ingeniero francés Sadi Carnot (1792-1832), publica en 1824 un folleto que llegaría a ser memorable en la historia del pensamiento científico. Hablando de la máquina de vapor, Carnot afirma que para obtener el máximo rendimiento posible, o sea, el máximo de trabajo con el mínimo de consumo, es necesario que la temperatura de la caldera sea lo más alta posible con respecto a la del refrigerador, es decir, del dispositivo que permitía la condensación del vapor producido por la caldera. Esta condensación era indispensable para establecer un ciclo de válvulas del émbolo en el interior de un cilindro.

Esta importante consideración —que permitió a James Watt

Esquema de funcionamiento de una máquina de vapor de Watt:

1) caldera; 2) cilindro y cuerpo de la bomba; 3) condensador del vapor; 4) órganos transmisores del movimiento del émbolo; 5) rueda; 6) reguladores de la entrada del vapor en el cilindro.





El caballo de vapor es la potencia que se necesita para levantar a un metro, en un segundo, un peso de 75 kg.

mejorar enormemente sus máquinas de vapor con el invento del famoso "condensador separado", confirma muy claramente que la producción de trabajo es tanto más alta cuanto mayor es el desnivel entre la temperatura inicial y la final del "ciclo" operativo de la máquina.

Por primera vez, este desnivel se compara con el de un salto de agua que, al hacer girar las turbinas, "produce" trabajo.

1842

Robert Mayer (1814-1878), publica sus experiencias, que demuestran la equivalencia entre calor y trabajo; establece, además, que la caloría equivale a 365 kilográmetros (ver pequeño diccionario de *El Movivo de las Fuerzas*).

1843

James Prescott Joule (1818-1889), sin conocer el trabajo de Mayer y después de haber pasado la mayor parte de su luna de miel midiendo la temperatura de las cascadas, enuncia el principio de la equivalencia entre calor y trabajo.

En 1878, Joule lleva a cabo su famoso experimento (ver *Equivalencia entre calor y trabajo* en el pequeño diccionario) y establece, después de una serie de pruebas, el equivalente mecánico de la kilocaloría en 427 kilográmetros.

1847

Hermann Helmholtz (1821-1894), generaliza el concepto de la equivalencia entre trabajo y calor y llega a considerar como "energía" a cualquier ente que puede pasar de una forma a otra. Es la primera vez que se hace una distinción entre la "energía" y la "fuerza", y que la primera se considera presente en todos los fenómenos físicos, variable en las formas pero indestructible; inmaterial pero reguladora de las "apariencias" de la materia.

Durante toda la segunda mitad del siglo XIX, los conceptos de la física se basaron precisamente en la distinción entre materia y energía.

Si nos conformamos con las apariencias, esto sigue siendo cierto actualmente. Pero que las cosas no son así y que la materia puede ser transformada en energía lo demuestra Einstein, con su famosa fórmula  $E = mc^2$ , donde la energía  $E$  (en erg) es igual a la masa  $m$  (en gramos) por el cuadrado de la velocidad de la luz  $c$  (en cm por segundo).

Esto significa que la masa de "un solo gramo" de una sustancia cualquiera puede desarrollar 900 000 millones de erg, iguales a 25 millones de kWh. Las bombas termonucleares sólo son una pálida prueba experimental de esta teoría.

1856

August Krönig (1822-1879) y, el año siguiente, Rudolf Clausius (1822-1888), valiéndose de los nuevos conceptos sobre la estructura atómica y molecular de la materia, logran aclarar la razón de la transformación del calor en trabajo, y afirman que el calor no es otra cosa que un "estado vibratorio" de las moléculas, dando así una definición aceptable aún en la actualidad de la naturaleza del calor.

Aunque breve, esta historia del calor nos permite ahora comprender dos hechos bastante importantes.

El primero concierne a la conservación de la energía que, análogamente a lo que hemos visto en *El Movivo de las Fuerzas*, es una característica de cualquier transformación física y, por ende, también de los sistemas termodinámicos: éste es el objeto del primer principio de la termodinámica.

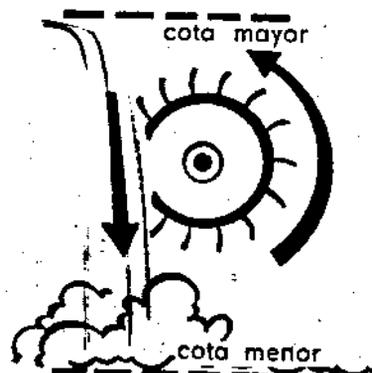
El segundo se relaciona con la imposibilidad de una transformación en la cual la energía pase de un nivel más bajo al más alto. Esta afirmación, que constituye el segundo principio de la termodinámica, más que una ley exacta es una ley probabilista.

Para comprenderlo, basta pensar en dos globos que se comunican entre sí por una pequeña abertura.

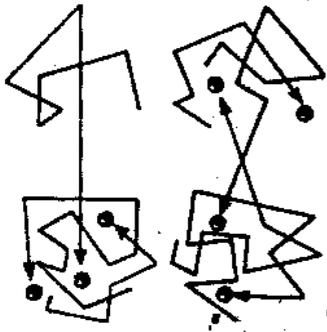
Imaginémonos que en uno de esos globos haya una sola molécula de un gas cualquiera, mientras que en el otro hay dos. Como los movimientos moleculares son imprevisibles, es probable que la molécula sola atraviese el agujerito y vaya a unirse a las otras dos. En este caso tendríamos un paso de energía desde un nivel más bajo al más alto, porque la presión inicial de un gas compuesto por una sola molécula es inferior a la de un gas compuesto por dos.

Esto se contradice, evidentemente, con el segundo principio.

Desde luego, si las moléculas estuvieran dispuestas de dos en dos, las probabilidades de pasar, en el mismo sentido, de



Cómo el desnivel produce trabajo.



Al aumentar las partículas, se hace cada vez más improbable que su cantidad en los globos no llegue a ser aproximadamente igual

un globo al otro disminuirían mucho. Así pues, a medida que crece el número de las moléculas, las probabilidades se tornan cada vez más pequeñas, pero siguen siendo probabilidades y no certezas absolutas.

Por consiguiente, el segundo principio de la termodinámica es una ley que se basa en la extrema improbabilidad de que las cosas sucedan de cierta forma; de la misma manera que es extremadamente improbable que un mono, puesto delante de una máquina de escribir, logre componer **La divina comedia**.



¿Cuántas posibilidades hay de que un mono logre escribir en la máquina **La divina comedia**!