

Capítulo Sexto

Fenómenos Térmicos

¿Cuándo es Mas Larga la Línea Férrea de Octubre¹, en Verano o en Invierno?

A la pregunta: ¿Qué longitud tiene la línea férrea de Octubre?, alguien contestó:

- Seiscientos cuarenta kilómetros aproximadamente; en verano es unos trescientos metros más larga que en invierno.

Esta inesperada respuesta no es tan absurda como parece. Si admitimos que la longitud de la línea férrea es igual a la longitud total de los raíles, en verano tiene que ser, efectivamente, mayor que en invierno. No olvidemos, que los raíles, al calentarse, se alargan en algo más de una cienmilésima parte de su longitud por cada grado centígrado. Durante los días calurosos de verano, los raíles pueden llegar a calentarse hasta 30, 40 ó más grados; hay veces en que el Sol los calienta tanto, que queman las manos. Las heladas de invierno enfrían estos raíles hasta temperaturas de -25°C y menores. Si tomamos la diferencia máxima entre la temperatura de verano y la de invierno igual a 55°C , tendremos que multiplicando la Longitud total de la vía, es decir, 640 km, por 0,00001 y por 55, resulta cerca de $1/3$ de km. Esto quiere decir, que, efectivamente, la longitud total de los raíles que van desde Moscú a Leningrado, es mayor en un tercio de kilómetro, es decir, en 300 m, aproximadamente, en verano que en invierno.

Lo que varía aquí, como es natural, no es la longitud de la vía, sino únicamente la suma de las longitudes de los raíles. Esto no es la misma cosa, ya que los raíles de las vías férreas no están en contacto directo unos con otros, sino que en los sitios en que se unen, se dejan intervalos, es decir, espacios de reserva, para que los raíles puedan dilatarse libremente cuando se calientan².

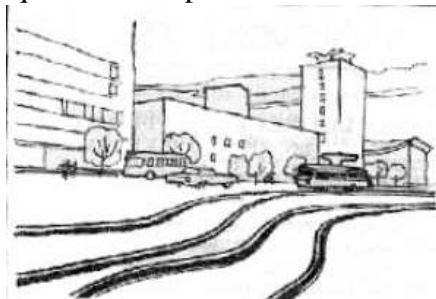


Fig. 73. Raíles del tranvía torcidos por el calor

Nuestros cálculos demuestran, que la suma de las longitudes de todos los raíles aumenta a costa de la longitud total de todos los intervalos u holguras. El alargamiento total durante los días más calurosos de verano alcanza 300 m, en comparación con su longitud durante las grandes heladas.

¹ Se denomina línea férrea de Octubre, la que une Moscú con Leningrado

² Esta holgura, para los raíles de 8 m de longitud, debe ser igual a 6 mm, cuando la temperatura es de 0°C . Para que esta holgura desaparezca por completo es necesario que la temperatura de los raíles se eleve hasta 65°C . Cuando se trata de raíles de tranvía, existen razones técnicas que impiden dejar estas holguras. Sin embargo, esto no da lugar a que se tuerzan dichos raíles, porque, como están hundidos en el suelo, su temperatura no sufre grandes alteraciones, y además, porque el propio sistema de sujeción que se emplea, impide que se tuerzan lateralmente. No obstante, cuando hace mucho calor, las vías del tranvía se tuercen. Una prueba de esto nos la muestra la fig. 73, que es reproducción de una fotografía. Lo mismo ocurre en algunos casos con los raíles de ferrocarril. Pasa esto porque en las cuestas, el material móvil del tren arrastra consigo a los raíles (a veces con traviesas y todo); como consecuencia, en estos tramos de vía suelen desaparecer las holguras y los extremos de los raíles se ponen en contacto directo unos con otros

Quedamos, pues, en que la parte férrea de la línea de Octubre es, efectivamente, 300 m más larga en verano que en invierno.

Un Robo que no se Castiga

En la línea Leningrado-Moscú, cada invierno desaparecen sin dejar huellas varios centenares de metros de alambre telefónico y telegráfico, sin que nadie se moleste en tomar medidas, a pesar de que los culpables son bien conocidos.

Hasta usted los conoce: son las heladas. Lo que acabamos de decir sobre los raíles, puede aplicarse también íntegramente a estos alambres, con la única diferencia de que el alambre de cobre que se emplea en telégrafos se alarga con el calor 1,5 veces más que el acero. Pero en este caso no existen intervalos, y, por consiguiente, podemos afirmar, sin ninguna clase de objeciones, que la línea telefónica Leningrado-Moscú es 500 m más corta en invierno que en verano.

Las heladas roban impunemente, en invierno, cerca de medio kilómetro de alambre, sin que esto perjudique en lo más mínimo el funcionamiento del teléfono o el telégrafo mucho calor, las vías del tranvía también se tuercen. Una prueba de esto nos la muestra la fig. 73, que es reproducción de una fotografía.

Lo mismo ocurre en algunos casos con los raíles del ferrocarril. Pasa esto, porque, en las cuestas, el material móvil del tren arrastra consigo a los raíles (a veces con traviesas y todo); como consecuencia, en estos tramos de vía suelen desaparecer las holguras y los extremos de los raíles se ponen en contacto directo unos con otros.

Es verdad, que en cuanto llega el calor devuelven puntualmente lo que se llevaron.

Pero cuando esta contracción por el frío se produce, no en los alambres, sino en los puentes, las consecuencias suelen ser más sensibles. He aquí lo que comunicaban los periódicos en diciembre de 1927, sobre uno de estos casos:.

«Las extraordinarias heladas que durante varios días se han dejado sentir en Francia, han causado serios desperfectos en uno de los puentes sobre el Sena, en el mismo centro de París. La armadura férrea del puente se contrajo por el frío, lo cual dio lugar a que los adoquines del pavimento se levantaran y diseminaran. El tránsito por el puente ha sido cerrado temporalmente».

La Altura de la Torre Eiffel

Si nos preguntan ahora, qué altura tiene la torre Eiffel, antes de contestar «300 metros», lo más probable es que preguntemos:

- ¿Cuándo hace frío o cuándo hace calor?

Porque la altura de una construcción férrea tan enorme no puede ser igual a cualquier temperatura. Sabemos que una varilla de hierro de 300 metros de longitud se alarga 3 mm cuando se calienta un grado. Aproximadamente igual deberá aumentar la altura de la torre Eiffel cuando su temperatura aumenta en 1°C. Cuando hace sol y calor, el hierro de la torre se puede calentar, en París, hasta +40°C, mientras que los días fríos y de lluvia su temperatura desciende hasta +10°C, y en invierno hasta 0°, e incluso hasta -10°C (en París no suele hacer más frío). Como puede verse, la variación de temperatura llega hasta 40 ó más grados. Esto quiere decir, que la altura de la torre Eiffel puede variar en $3 * 40 = 120$ mm, ó 12 cm (es decir, algo más que la longitud de este renglón).

Las mediciones directas han revelado que la torre Eiffel es más sensible a las variaciones de la temperatura que el aire, es decir, que se calienta y enfría con más rapidez que éste y reacciona antes cuando aparece y desaparece el Sol en los días nublados. Las variaciones de altura de la torre Eiffel fueron apreciadas por medio de un alambre especial de acero al níquel, el cual tiene la

propiedad de casi no variar de longitud al alterarse la temperatura. Esta magnífica aleación se conoce con el nombre comercial de «invar» (de las palabras latinas in y variable).

Es decir, los días de calor, la cúspide de la torre Eiffel se eleva sobre su altura de los días fríos, un trocito igual a la longitud de este renglón, y el hierro de que está hecho este trocito no cuesta ni un solo céntimo.

Vaso de Té al Tubo de Nivel

Antes de servir el té, cualquier ama de casa que mire por, sus vasos, pondrá dentro de ellos las cucharillas, sobre todo si son de plata. La experiencia de la vida ha elaborado esta buena costumbre. Pero, ¿cuál es su fundamento?

Procuraremos explicar previamente, por qué se quiebran los vasos al echarles agua caliente.

La causa de que esto ocurra es la dilatación desigual del vidrio. El agua caliente que se echa en el vaso, no calienta instantáneamente sus paredes, sino que primero calienta la capa interior de las mismas, mientras que la capa exterior sigue fría. La capa interior calentada se dilata inmediatamente, mientras que la exterior permanece invariable y sufre una gran presión interior. Esto hace que se produzca el chasquido y que se rompa el vidrio.

Es inútil pensar que estas «sorpresas» se pueden evitar comprando vasos más gruesos. Los vasos gruesos, en este sentido, son menos resistentes que los finos y se rompen con más frecuencia. Esto es comprensible, porque las paredes delgadas se calientan con mayor rapidez y el equilibrio de temperatura y la igualdad de dilatación se establece en ellos antes que en los gruesos, en los cuales la capa de vidrio se calienta lentamente.

No obstante, hay que recordar, que al elegir vasos de vidrio delgado hay que procurar que su fondo también lo sea. Porque cuando se echa el agua caliente, lo que se calienta principalmente es el fondo, y si es grueso, el vaso se quiebra, por muy finas que sean las paredes. También suelen romperse con facilidad los vasos y las tazas de porcelana que tienen algún reborde anular grueso en su parte inferior.

Cuanto más delgada es una vasija de vidrio, con más seguridad se puede someter a calentamiento. Los químicos emplean vasijas de paredes muy finas y hierven en ellas el agua, poniéndolas directamente al fuego del mechero sin temer que se rompan.

Naturalmente, la vasija ideal sería aquella que no se dilatara en absoluto al calentarla. El cuarzo se dilata extraordinariamente poco, es decir, de 12 a 20 veces menos que el vidrio. Una vasija gruesa de cuarzo transparente se puede calentar cuanto se quiera, sin que se rompa. Esta misma vasija, calentada al rojo, se puede introducir en agua helada sin temor a que salte³. Esto se debe en parte, a que la conductividad térmica del cuarzo es considerablemente mayor que la del vidrio. Los vasos se quiebran, no sólo al calentarlos con rapidez, sino también al enfriarlos bruscamente. La causa de este fenómeno es la contracción irregular del vidrio, ya que su capa exterior se contrae al enfriarse y presiona sobre la interior, que no ha tenido tiempo de enfriarse y contraerse. Por esta razón, los frascos de confitura caliente, por ejemplo, no deben enfriarse introduciéndolos en agua fría.

Pero volvamos a la cucharilla del vaso de té. ¿En qué se funda su acción protectora?

En el calentamiento de las capas (interior y exterior) de las paredes del vaso sólo se produce una diferencia brusca, cuando en éste se vierte de golpe agua muy caliente. El agua templada no provoca gran diferencia en el calentamiento ni, por consiguiente, en la tensión de las distintas

³ Las vasijas de cuarzo también son muy prácticas en los laboratorios por su gran resistencia al fuego: el cuarzo comienza a ablandarse a 1.700°C

partes del vidrio. Las vasijas, pues, no se rompen con agua templada. Pero, ¿qué ocurre cuando se pone una cucharilla en el vaso? Cuando el líquido cae en el fondo del vaso, antes de que pueda calentarse el vidrio (que es mal conductor del calor), tiene tiempo de ceder parte de su calor a la cucharilla, que, como metálica, es buen conductor; con esto, la temperatura del líquido desciende y, en lugar de caliente, se queda templado y, por lo tanto, se hace inofensivo. El hecho de que se siga echando té (o agua) caliente ya no es peligroso para el vaso, ya que el vidrio habrá tenido tiempo de calentarse un poco.

En una palabra, la cucharilla metálica puesta en el vaso (sobre todo si es pesada), regula la desigualdad con que se calienta el vaso y, de esta forma, evita su rotura.

Y, ¿por qué es preferible que la cucharilla sea de plata? Muy sencillo, porque la plata es un magnífico conductor del calor y, por lo tanto, recoge el calor del agua con más rapidez que el cobre. Recordemos si no, cómo las cucharillas de plata introducidas en vasos de té caliente, queman las manos. Esta es una particularidad que se puede emplear para determinar acertadamente el material de que está hecha la cucharilla, porque las de cobre no queman los dedos.

La irregularidad con que se calientan las paredes de vidrio representa un peligro, no sólo para los vasos de té, sino también para elementos importantes de las calderas de vapor, como son sus tubos de nivel, que sirven para indicar la altura del agua dentro de la caldera. Las capas interiores de estos tubos de vidrio, calentadas por el vapor y el agua caliente, se dilatan más que las exteriores. A la tensión que por esta causa se origina hay que añadir, en este caso, la gran presión que el vapor de agua ejerce sobre el tubo, por lo cual éste puede saltar fácilmente. Para evitar esto, los tubos de nivel se fabrican a veces de dos capas de vidrio diferente; en este caso, el coeficiente de dilatación de la capa interior, es menor que el de la exterior.

LEYENDA DE LA BOTA EN EL BAÑO⁴

«¿Por qué en invierno los días son más cortos y las noches más largas y en verano al contrario? Los días son cortos en invierno, porque igual que todas las demás cosas, visibles e invisibles, se contraen con el frío, mientras que las noches se alargan, porque se calientan con los faroles y las lámparas».

Esta curiosa explicación del «uriadnik⁵ retirado de las Tropas del Don» del cuento de Chejov, nos hace sonreír de puro absurda. Sin embargo, hay gentes que se ríen de semejantes «doctos» razonamientos, pero que crean con frecuencia teorías no menos absurdas. ¿Quién no ha oído o leído el caso de la bota en el baño, que no entra en el pie caliente porque «éste, al calentarse aumenta de volumen»? Este es un ejemplo tan célebre, que casi se hizo clásico, y, no obstante, la explicación que se da es absolutamente falsa.

En primer lugar, la temperatura del cuerpo humano casi no aumenta en el baño. El aumento, pues, suele ser de 1 ó 2°C porque el organismo del hombre se opone eficazmente a las influencias térmicas del medio ambiente y mantiene su propia temperatura en un punto determinado, y, por consiguiente, es imposible que se note al ponerse las botas. Porque el coeficiente de dilatación, tanto de las partes duras como de las blandas, de nuestro cuerpo, no excede de varias diezmillonésimas. Por lo tanto, la anchura de la planta del pie y el grosor de la pierna, pueden aumentar en una centésima parte de centímetro en total. ¿Es posible que las botas se hagan con la precisión del canto de un pelo, es decir 0,01 cm?

⁴ Se refiere a los baños de vapor rusos. (N. del T.)

⁵ Suboficial de cosacos del Don. (N. del T.)

Y sin embargo existe el hecho indiscutible de que las botas son más difíciles de poner después del baño. Pero la causa no está en la dilatación por el calor, sino en la acumulación de la sangre, en la hinchazón de la epidermis, en la humedad que conserva la superficie de la piel y otras circunstancias semejantes, que nada tienen de común con la dilatación térmica.

¿Se Hacían los Milagros?

El matemático y mecánico de la antigua Grecia, Herón de Alejandría, que vivió en el siglo II, y que inventó la fuente que lleva su nombre, nos dejó la descripción de dos ingeniosos procedimientos, que sirvieron a los sacerdotes egipcios para embaucar al pueblo e inculcarle fe en los milagros.



Fig. 74. Secreto de uno de los «milagros» de los sacerdotes egipcios: las puertas del templo se abrían por la acción del fuego que ardía en el altar.

Cuando el fuego ardía en él, se calentaba el aire que tenía dentro y hacía presión sobre el agua contenida en la vasija oculta debajo del suelo; este agua era desplazada de la vasija, salía por el tubo e iba a caer a un cubo, el cual, al descender, accionaba el mecanismo que hacía girar las puertas (fig. 75). Los creyentes, que no sospechaban la existencia del oculto artefacto, veían ante sí un «milagro», ya que, en cuanto se encendía fuego en el altar, las puertas del templo, «persuadidas por las oraciones del sacerdote», se abrían solas.

El otro seudomilagro ideado por los sacerdotes, es el que se representa en la fig. 76. Cuando arde fuego en el altar, el aire se dilata y presiona sobre el aceite que hay en el depósito inferior, obligándole a subir por los tubos que hay ocultos en las figuras de los sacerdotes y a gotear «milagrosamente» sobre el fuego.

En la fig. 74 vemos un altar metálico hueco y, debajo de él, un mecanismo oculto bajo el pavimento, que servía para abrir las puertas del templo. El altar estaba fuera del templo.

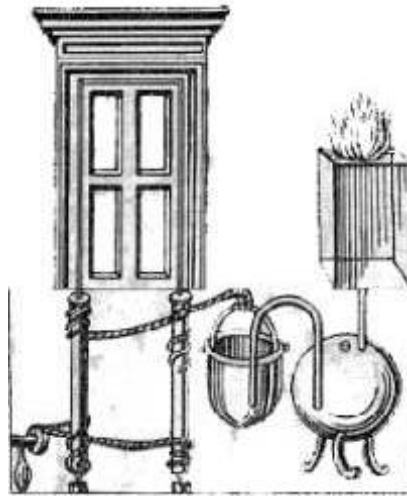


Fig. 75. Esquema del mecanismo de las puertas del templo, que se abrían solas cuando ardía el fuego en el altar

Pero en cuanto el sacerdote encargado de este altar quitaba disimuladamente el tapón que tenía la tapadera del depósito, el aceite dejaba de salir (porque el aire excedente salía por el orificio).

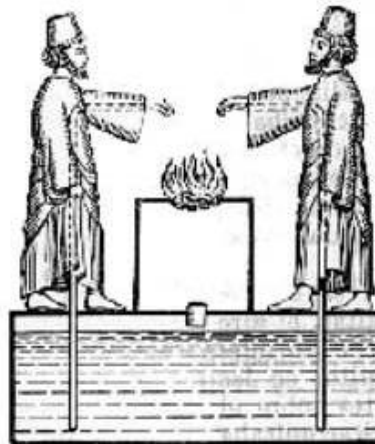


Fig. 76. Otro antiguo seudomilagro: el aceite se vierte por sí mismo en la llama del altar.

Los sacerdotes recurrían a este artificio cuando las dádivas de los creyentes eran escasas.

Relojes Sin Cuerda

Anteriormente (pág. 109) hemos descrito ya un reloj sin cuerda (mejor dicho, un reloj al que no había que darle cuerda), cuyo mecanismo estaba basado en las variaciones de la presión atmosférica.

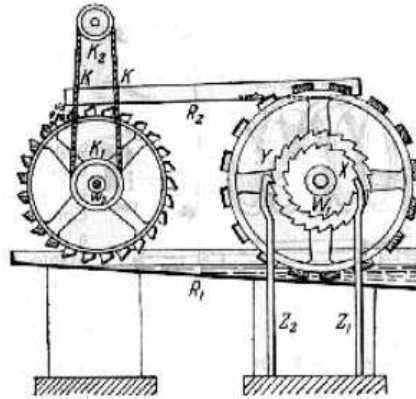


Fig. 77. Mecanismo de un reloj que se da cuerda a sí mismo

Ahora vamos a describir otro reloj automático semejante, basado en la dilatación térmica. El mecanismo de este reloj está representado en la fig. 77. Sus elementos más importantes son las varillas Z_1 y Z_2 , que están hechas de una aleación especial, de gran coeficiente de dilatación. La varilla Z_1 se apoya en los dientes de la rueda X, de tal forma, que cuando se alarga por efecto del calor, hace que la rueda gire un poco. La varilla Z_2 se engancha en los dientes de la rueda Y, y cuando se acorta por efecto del frío, hace que esta rueda gire en el mismo sentido que la anterior. Ambas ruedas están montadas en el árbol W_1 , el cual, cuando gira, mueve la gran rueda de cangilones. Estos cangilones recogen el mercurio que hay en el depósito inferior y lo transportan al depósito superior. Desde este depósito, el mercurio va a parar a los cangilones de la rueda izquierda, los cuales, al llenarse, hacen que ésta gire. Al ocurrir esto, se pone en movimiento la cadena de transmisión KK, que une entre sí la rueda K_1 (que se encuentra en el mismo árbol, W_2 , que la rueda de cangilones) y la K_2 . Esta última es la que al girar tensa el muelle del mecanismo del reloj (es decir, le da cuerda).

¿Qué ocurre con el mercurio que se derrama de los cangilones de la rueda izquierda? Este mercurio escurre por el canal inclinado R_1 y regresa a la rueda de cangilones derecha, para volver a comenzar el ciclo descrito.

Como vemos, este mecanismo debe funcionar sin interrupción mientras se estiren y encojan las varillas Z_1 y Z_2 . Por lo tanto, para que el reloj tenga cuerda se necesita solamente que la temperatura del aire aumente y disminuya alternativamente. Esto es lo que suele ocurrir de ordinario, sin que para ello se requiera la intervención humana. Toda variación de la temperatura del aire circundante provoca la dilatación o la contracción de las varillas y, en consecuencia, el muelle del reloj se va tensando, despacio, pero constantemente.

¿Puede decirse que este reloj es un motor de «movimiento continuo»? Naturalmente que no. El reloj en cuestión marchará indefinidamente, hasta que no se desgaste su mecanismo, pero emplea como fuente de energía el calor del aire que lo rodea. El trabajo que realiza la dilatación térmica es acumulado por este reloj, en pequeñas porciones, para gastarlo después ininterrumpidamente en mover sus manecillas. Es pues, un motor «gratuito», ya que no necesita ni cuidados ni gastos especiales para funcionar normalmente. Pero esto no quiere decir que cree energía de la nada. Su manantial primario de energía es el calor del Sol, que calienta la Tierra.

Otro modelo de reloj automático de estructura semejante al anterior, es el que se muestra en las figs. 78 y 79.

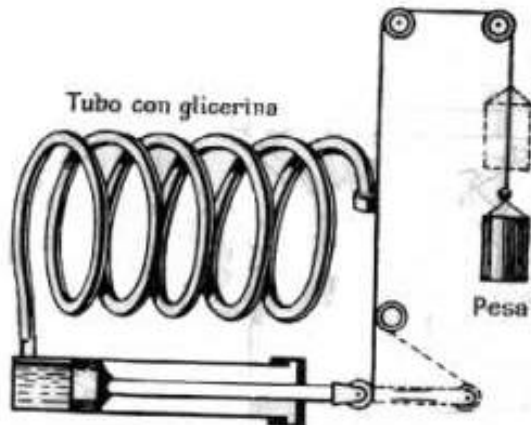


Fig. 78. Esquema del mecanismo de un reloj automático de otro tipo.

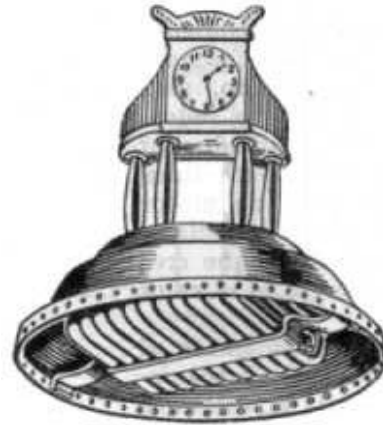


Fig. 79. Reloj automático; en la peana se oculta un tubo con glicerina.

En su mecanismo, el elemento principal es la glicerina, la cual, al dilatarse cuando sube la temperatura, eleva una pesa especial. Esta pesa es la que al caer pone en movimiento el mecanismo del reloj. Como quiera que la glicerina se solidifica a -30°C y hierve a los 290°C , este mecanismo puede servir para los relojes de las plazas públicas y demás sitios abiertos. Una variación de temperatura de 2°C es suficiente para asegurar la marcha del reloj. Un reloj de este tipo fue sometido a prueba durante un año. Los resultados fueron completamente satisfactorios, a pesar de que durante este tiempo nadie tocó su mecanismo.

¿No sería conveniente hacer motores de este tipo más grandes? A primera vista parece que un motor gratuito semejante debería ser muy económico. Pero los cálculos dicen lo contrario.

Para que un reloj ordinario funcione durante 24 horas hay que emplear, en darle cuerda, una energía de cerca de $1/7$ kilográmetros. Es decir, para que funcione un segundo, se necesita aproximadamente $1/600.000$ kilográmetros; y como un caballo de vapor es igual a 75 kgm/seg , la potencia de un mecanismo de relojería de este tipo será de $1/45.000.000$ caballos de vapor. Es decir, que si las varillas que se dilatan en el primer reloj o el dispositivo con glicerina del segundo, costasen, aunque sólo fuera un copeck, resultaría que el capital invertido por caballo de vapor en un motor semejante sería igual a:

$$1 \text{ copeck} * 45\,000\,000 = 450\,000 \text{ rublos.}$$

Cerca de medio millón de rublos por caballo de vapor, es un poco caro para un motor «gratuito».

Un Emboquillado Aleccionador



Fig. 80. ¿Por qué el humo que sale por un lado del cigarrillo se eleva, mientras que el que sale por el otro desciende?

Sobre una caja de cerillas hay un cigarrillo emboquillado encendido (fig. 80). Sale humo por sus dos extremos. Pero el que sale por la boquilla fluye hacia abajo, mientras que el que lo hace por el otro extremo, se eleva. ¿Por qué ocurre esto? Al parecer, tanto por un lado como por el otro sale el mismo humo.

Realmente, el humo es el mismo, pero en la parte encendida del cigarrillo existe una corriente ascendente de aire caliente, cual arrastra tras sí las partículas de humo. En cambio, el aire que pasa, junto con el humo, por la boquilla, tiene tiempo de enfriarse y no tiende hacia arriba; y como las partículas de humo son de por sí más pesadas que el aire, salen hacia abajo.

Un Hielo que no se Funde en Agua Hirviendo

Tomemos una probeta llena de agua y echemos en ella un trocito de hielo. Para evitar que el hielo flote, pongámoslo encima una bola de plomo, una pesita de cobre u otro objeto análogo, pero procurando que el agua tenga libre acceso al hielo. Acerquemos ahora la probeta a un mechero de alcohol, de tal forma, que la llama toque solamente la parte superior de la probeta (fig. 81). El agua no tardará en hervir y comenzará a desprender vapor. Pero, he aquí un hecho extraño: el hielo que hay en el fondo de la probeta... ¡no se funde! Parece que ante nuestros ojos se realiza un prodigio: ¡Un hielo que no se derrite en agua hirviendo!

La explicación se reduce a que, en el fondo de la probeta el agua, no sólo no hierve, sino que permanece fría.

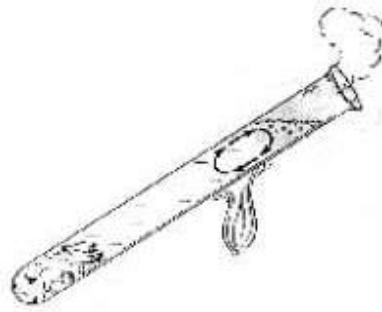


Fig. 81. El agua hierve en la parte superior, pero el hielo no se funde en la inferior.

Hierve exclusivamente el agua que está arriba. Lo que tenemos no es, pues, «hielo en agua hirviendo», sino «hielo debajo de agua hirviendo».

El agua cuando se calienta, se dilata y se hace más ligera, por lo cual, no baja hacia el fondo, sino que se queda en la parte superior de la probeta. Las corrientes de agua y la remoción de las capas líquidas sólo se producen en la parte alta de la probeta, sin que sean afectadas las capas bajas más densas. El calentamiento puede transmitirse hacia abajo por conductividad térmica, pero la conductividad térmica del agua es muy pequeña.

¿Encima del Hielo o Debajo de él?

Cuando queremos calentar agua, colocamos la vasija que la contiene encima del fuego y no junto a él. Esta manera de proceder es justa, ya que el aire calentado por las llamas se hace más ligero y al ser desplazado hacia arriba envuelve por todos lados nuestra vasija.

Por lo tanto, para aprovechar lo mejor posible el calor de un foco cualquiera, hay que colocar sobre las llamas el cuerpo que se calienta.

Pero, ¿qué hacer si queremos enfriar un cuerpo cualquiera con hielo? Muchos, por costumbre, ponen el cuerpo encima del hielo; ponen, por ejemplo, la jarra de la leche sobre el hielo. Esto no es lo más conveniente, porque el aire que hay sobre el hielo desciende al enfriarse y es sustituido por el aire caliente que lo rodea. De aquí se puede hacer una deducción práctica: si queremos enfriar una bebida o algún manjar, deberemos ponerlos, no sobre el hielo, sino debajo de él.

Expliquémonos más concretamente. Si se coloca una vasija con agua sobre el hielo, se enfría únicamente la capa inferior del líquido, ya que la parte restante estará rodeada de aire no enfriado. Por el contrario, si colocamos un trozo de hielo encima de la tapadera de una vasija, el enfriamiento de su contenido será más rápido. En este caso, las capas superiores de líquido enfriado, descenderán para ocupar el sitio de las inferiores más calientes, las cuales se elevarán renovándose constantemente, hasta que se enfríe todo el líquido⁶. Por otra parte, el aire frío que rodea al hielo, también descenderá envolviendo a la vasija.

¿Por Qué Sopla el Viento Cuando la Ventana Está Cerrada?

Frecuentemente notamos, que de una ventana que está bien cerrada y que no tiene intersticios sopla el viento. Esto parece extraño, pero no tiene nada de particular.

El aire de una habitación casi nunca está en reposo; en él existen corrientes invisibles, que se originan por calentamiento y enfriamiento. Al calentarse, el aire pierde densidad y se hace más ligero; al enfriarse, al contrario, se densifica y se hace más pesado. El aire ligero, calentado por el radiador de la calefacción o por la estufa, es desplazado hacia arriba, hacia el techo, por el aire frío, mientras que el aire que se enfría junto a la ventana, o junto a las paredes frías, baja hacia el suelo.

Estas corrientes del aire de la habitación pueden descubrirse fácilmente valiéndose de un globo de goma lleno de gas, al que se ata un pequeño contrapeso, para que no suba hasta el techo y no se apoye en él, sino que pueda volar libremente en el aire. Si lo soltamos junto a la estufa, este globo irá de una parte a otra de la habitación arrastrado por las invisibles corrientes de aire. Desde la estufa subirá hasta el techo e irá hacia la ventana, allí descenderá hasta el suelo y regresará a la estufa, para comenzar de nuevo su recorrido por el local.

Esta es la causa de que en invierno sintamos que el aire sopla de la ventana, sobre todo en los pies, aunque esté tan bien cerrada, que el aire exterior no puede penetrar por ninguna rendija.

Un Molinete Misterioso

Tomemos un papel de fumar, doblémoslo por sus líneas medias y abrámoslo. De esta forma sabremos dónde se encuentra su centro de gravedad.

Fig. 82. ¿Por qué gira el papel?



⁶ En estas condiciones, el agua pura no se enfriará hasta 0°C, sino únicamente hasta 4°C, que es la temperatura a que tiene mayor densidad. Pero en la práctica no hace falta enfriar las bebidas hasta cero grados

Depositamos ahora este papel sobre la punta de una aguja clavada verticalmente de forma que dicha punta se apoye en el punto de intersección de los dobleces.

El papel quedará en equilibrio, ya que descansa sobre su centro de gravedad. Pero bastará el menor soplo de viento para que comience a girar.

Hasta ahora este artificio no tiene nada de misterioso. Pero si como se indica en la fig. 82, acercamos a él una mano, con precaución, para que el papel no sea arrastrado por la corriente de aire, observaremos un fenómeno extraño: el papel comienza a girar, primeramente despacio y luego cada vez más de prisa. Separemos la mano, y este movimiento cesará. Acerquemosla otra vez, y el movimiento comenzará de nuevo. Este giro misterioso hizo pensar a muchos, allá por los años setenta del siglo XIX, que nuestro cuerpo tiene determinadas propiedades sobrenaturales. Los aficionados a lo místico hallaban en este experimento la confirmación de sus confusas doctrinas sobre una misteriosa fuerza que emana del cuerpo humano. Sin embargo, la causa de este fenómeno es completamente natural y muy fácil de explicar. Todo se reduce a que, el aire que, en nuestra mano caliente abajo, al subir, presiona sobre el papel y le hace girar, de forma semejante a como lo hacen las populares «voladeras» cuando se ponen sobre una lámpara, ya que al doblar el papel, le damos cierta inclinación a sus diferentes partes. Cualquier observador atento puede darse cuenta de que el molinete descrito gira en una dirección determinada, es decir, desde la muñeca, siguiendo la palma de la mano, hacia los dedos. Esto se explica por la diferencia de temperatura que tienen las mencionadas partes de la mano. Los extremos de los dedos están siempre más fríos que la palma de la mano, por este motivo, en las proximidades de la palma se forma una corriente de aire ascendente, más intensa, que empuja al papel con más fuerza que la que se origina por el calor de los dedos.

¿Calienta el Abrigo?

¿Qué diríais si os asegurasen que vuestro abrigo no calienta en absoluto? Pensaríais seguramente que están bromeando. Pero, ¿y si empezaran a demostrarnos que es así, efectivamente? Hagamos, por ejemplo, la siguiente prueba: Tomemos un termómetro, fijémoslo en los grados que marca y envolvámoslo en un abrigo. Si después de varias horas, lo sacamos, veremos que no se ha calentado ni en un cuarto de grado. Lo mismo que marcaba antes, marca ahora. He aquí una prueba de que el abrigo no calienta. Podría sospecharse incluso, que el abrigo enfría. Tomemos si no dos tarritos con hielo. Envolvamos uno de ellos en el abrigo, mientras que el otro lo dejamos, sin tapar, en la habitación. Cuando se haya derretido el hielo de este segundo tarro, saquemos el que está en el abrigo. Veremos que éste casi ni ha empezado a fundirse. Es decir, el abrigo, no sólo no ha calentado el hielo, sino que, al parecer, lo ha enfriado, retardando su licuación.

¿Qué podemos decir? ¿Cómo refutar estas conclusiones?

De ninguna manera. El abrigo realmente no calienta, si es que por «calentar» entendemos transmitir calor. La lámpara caliente, la estufa caliente, el cuerpo humano caliente, porque todos estos cuerpos son fuentes de calor. Pero el abrigo, en este sentido de la palabra, no calienta. El abrigo no da calor, sino que se limita, simplemente, a impedir que el calor de nuestro cuerpo salga de él. Esto es el motivo por el cual, todos los animales de sangre caliente, cuyo cuerpo es fuente de calor, se sentirán más calientes con el abrigo que sin él. Pero el termómetro no engendra calor propio y, por eso, su temperatura no varía aunque lo envolvamos en el abrigo. El hielo envuelto en el abrigo conserva más su baja temperatura, porque éste es muy mal conductor del calor e impide que llegue hasta el hielo el calor exterior, es decir, el calor del aire que hay en la habitación.

En el mismo sentido que el abrigo, la nieve calienta la tierra porque, análogamente a todos los cuerpos pulverizados, conduce mal el calor y dificulta la salida del que tiene la tierra que cubre. En las tierras protegidas por una capa de nieve el termómetro marca frecuentemente diez grados más que en las tierras desprovistas de esta protección.

De esta forma, cuando nos pregunten si calienta nuestro abrigo, deberemos responder, que el abrigo sólo nos sirve para calentarnos a nosotros mismos. Lo más exacto sería decir, que nosotros calentamos al abrigo, y no él a nosotros.

¿Qué Estación del Año Tenemos Debajo de los Pies?

Cuando en la superficie de la tierra es verano, ¿qué época del año hace a tres metros debajo de ella?

¿Pensáis que también será verano? ¡Os equivocáis! Las épocas del año sobre la superficie de la tierra y en el suelo no son las mismas, a pesar de lo que pueda creerse. El suelo conduce extraordinariamente mal el calor. En Leningrado, las tuberías del agua, enterradas a 2 m de profundidad, no se hielan ni durante los inviernos más fríos. Las variaciones de temperatura, que tienen lugar en la superficie de la tierra, se transmiten muy despacio hacia el interior del suelo y llegan a las distintas capas del mismo con gran retraso. Las mediciones directas efectuadas, por ejemplo, en Slutsk (región de Leningrado), demostraron, que el momento más templado del año llega a la profundidad de tres metros con un retraso de 76 días, y el más frío, con retraso de 108 días. Esto significa, que si sobre el suelo el día más caluroso fue, supongamos, el 25 de julio, a tres metros de profundidad fue el 9 de octubre. Y si el día más frío fue el 15 de enero, a la profundidad indicada se registra en el mes de mayo. En las capas más profundas del suelo, este retraso es aún mayor.

A medida que aumenta la profundidad, las variaciones de la temperatura del suelo, no sólo se van retrasando, sino que son cada vez más débiles, hasta que a una profundidad determinada desaparecen por completo. A esta profundidad, durante siglos enteros, la temperatura es la misma durante todo el año y coincide con la temperatura media anual del sitio dado. En los sótanos del observatorio de París, a una profundidad de 28 metros, se ha conservado más de siglo y medio un termómetro, colocado allí por Lavoisier, y que durante todo este tiempo ha marcado sin vacilación una misma temperatura (+11,7°C). Es decir, que dentro del suelo que pisan nuestros pies, las estaciones del año no coinciden nunca con las de la superficie. Cuando bajo el cielo es invierno, a tres metros de profundidades todavía otoño, aunque no el mismo otoño que hizo antes sobre la superficie de la tierra, sino con variaciones de temperatura más suaves; y mientras sobre la tierra es verano, en su interior se dejan sentir aún los ecos lejanos de las heladas invernales. Esto tiene gran importancia cuando se trata de las condiciones de vida de los animales subterráneos (por ejemplo, las larvas del escarabajo sanjuanero) y de aquellas partes de los vegetales que se encuentran debajo de tierra. No debe extrañarnos, por ejemplo, que en las raíces de nuestros árboles, la reproducción de las células tenga lugar, precisamente, durante la mitad más fría del año, ni que la actividad del cámbium se interrumpa durante casi todo el período templado, es decir, al contrario de lo que ocurre en el tronco, sobre el suelo.

Una Cacerola de Papel

Prestad atención a la fig. 83. Un huevo se cuece en el agua que contiene... ¡un cucurucho de papel! «Pero, ¿cómo es posible? El papel se quemará y el agua se derramará sobre la lámpara», diréis. No obstante, intentemos hacer este experimento, empleando para ello un papel apergaminado fuerte, bien sujeto a un mango de alambre. Nos convenceremos de que el papel no se deteriora en absoluto con el fuego. La causa de que así ocurra es, que, en vasijas abiertas, el

agua no puede calentarse hasta temperaturas mayores que la de ebullición, es decir, hasta más de 100°C.

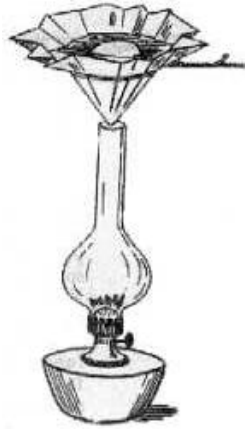


Fig. 83. Un huevo cociéndose en un cucurucho de papel.

Por esto, el agua que se calienta, que tiene además una gran capacidad calorífica, absorbe el exceso de calor del papel y no deja que se caliente sensiblemente a más de 100°C, es decir, hasta una temperatura a que pueda inflamarse. (Más práctico resultará emplear una pequeña cajita de papel, como la que representa la fig. 84.) El papel no se incendia aunque lo rocen las llamas.

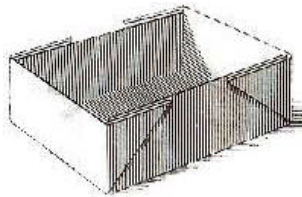


Fig. 84. Cajita de papel para hervir el agua.

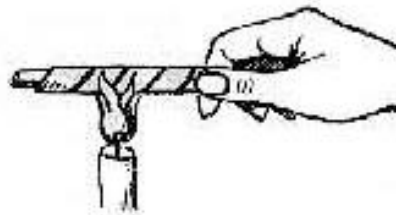


Fig. 85. Este papel no arde

A este tipo de fenómenos pertenece el triste experimento que hacen inconscientemente muchas personas distraídas, las cuales ponen a calentar el samovar⁷ o la cafetera y se olvidan de echarle agua. El samovar o la cafetera se desuelda. La causa es comprensible, porque el metal de la soldadura es relativamente fácil de fundir, y solamente el contacto con el agua lo protege de las peligrosas elevaciones de temperatura. Las cacerolas soldadas tampoco se pueden poner a calentar sin echarles agua. En las antiguas ametralladoras Maxim, el calentamiento del agua evitaba la fusión del arma.

Por otra parte, en una cajita hecha con un naípe se puede fundir, por ejemplo, un precinto de plomo. Lo único que hace falta, en este caso, es tener la precaución de que la llama caliente solamente el sitio de la caja en que se encuentra el plomo. Este metal, como es buen conductor, absorbe el calor de la cartulina y no deja que se caliente a temperatura sensiblemente mayor que

⁷ Caldera, típicamente rusa, para hervir agua para el té. (N. del T.)

la de su fusión, es decir, de 335°C (para el plomo). Esta temperatura también es insuficiente para que se inflame el papel.

Puede hacerse también el siguiente experimento (fig. 85): Se toma un clavo grueso, una varilla de hierro o, mejor aún, un alambre de cobre, y se le arrolla fuertemente, en forma helicoidal, una tira de papel estrecha. Hecho esto, sometamos la varilla con el papel a la acción de una llama, el fuego rozará el papel, lo tizará, pero no lo quemará mientras no se caliente al rojo la varilla. La explicación de este experimento está en la buena conductividad térmica del metal. Este mismo experimento hecho con una varilla de vidrio fracasaría.

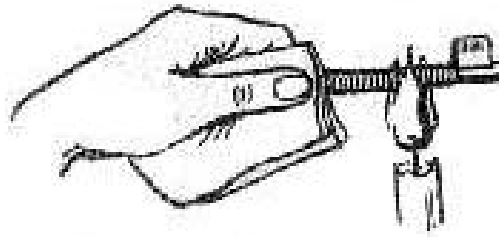


Fig. 86. Un hilo incombustible

La fig. 86 representa un experimento análogo, con un hilo «incombustible» arrollado fuertemente a una llave.

¿Por qué es Resbaladizo el Hielo?

En un suelo bien encerado es más fácil resbalar que en otro ordinario. Al parecer, lo mismo debe ocurrir con el hielo, es decir, el hielo liso debe ser más escurridizo que el que tiene rugosidades y asperezas.

Sin embargo, los habitantes de los países norteros saben, que arrastrar un trinco por una superficie helada rugosa y accidentada es bastante más fácil que por una lisa. ¡El hielo áspero es más resbaladizo que el liso! Esto se explica, porque la causa principal de que el hielo resbale no es su lisura, sino otra muy particular, que consiste, en que su temperatura de fusión desciende al aumentar la presión.

Veamos lo que ocurre cuando nos deslizamos en un trineo o patinamos sobre el hielo. Cuando estamos de pie sobre los patines, nos apoyamos sobre una superficie muy pequeña, de unos cuantos milímetros cuadrados en total. Y sobre esta pequeña superficie presiona todo el peso de nuestro cuerpo. Si recordamos lo dicho en el capítulo segundo sobre la presión, no será difícil comprender que el patinador presiona sobre el hielo con una fuerza considerable. Cuando la presión es grande, el hielo se funde a temperatura inferior; si, por ejemplo, el hielo tiene una temperatura de -5°C , y la presión que ejercen sobre él los patines hace que descienda su punto de fusión en más de 5°C , la parte de hielo que se encuentra debajo de los patines se derretirá. Y, ¿qué es lo que ocurre? Entre las deslizaderas de los patines y el hielo se forma una fina capa de agua, por lo cual, no es extraño que el patinador resbale. En cuanto sus pies cambian de sitio, vuelve a ocurrir lo mismo, y así sucesivamente, en todas partes, el hielo que pisa el patinador se va convirtiendo en una tenue capa de agua. El hielo es el único cuerpo existente que posee esta propiedad; por esto, un físico soviético dijo de él, que «es el único cuerpo resbaladizo de la naturaleza». Los demás cuerpos son lisos, pero no resbaladizos.

Ahora podemos volver a ocuparnos de qué hielo es más resbaladizo. Como sabemos, un mismo peso ejerce tanta mayor presión, cuanto menor es la superficie en que se apoya. ¿En qué caso ejercerá una persona más presión sobre la superficie del hielo, cuando ésta sea lisa o cuando sea rugosa? Está claro que en el segundo caso, ya que entonces se apoyará solamente en unas cuantas prominencias o rugosidades de la superficie. Y, mientras mayor sea la presión sobre el hielo, más intensa será la fusión del mismo y, por consiguiente, será más resbaladizo (siempre que las deslizaderas de los patines sean suficientemente anchas; porque a los patines que tienen las deslizaderas afiladas y cortan las rugosidades del hielo, no es aplicable lo que acabamos de decir, ya que, en este caso, la energía del movimiento se gasta precisamente en cortar dichas rugosidades).

El descenso del punto de fusión del hielo sometido a presiones considerables, explica también otros muchos fenómenos de la vida ordinaria. Gracias a esta propiedad, si se toman dos trozos de hielo y se aprietan fuertemente entre sí, se sueldan. Cuando los niños juegan a tirarse nieve y la aprietan entre sus manos, no hacen más que utilizar inconscientemente esta propiedad de las partículas de hielo, de aglutinarse cuando son sometidas a una presión suficiente para que descienda su temperatura de fusión. Lo mismo ocurre cuando ruedan una bola de nieve para hacer un monigote: los granitos de nieve que se encuentran en la parte inferior de la bola, se aglutinan bajo el peso de la masa que los oprime. La nieve de las aceras, bajo la presión que sobre ella ejercen los pies de los peatones, se va haciendo más dura, hasta convertirse en hielo, es decir, los granos de nieve se aglutinan formando una capa maciza.

Teóricamente se puede calcular, que para que el punto de fusión del hielo descienda en 1°C , se necesita una presión bastante considerable, aproximadamente de 130 kg/cm^2 . Este cálculo presupone que al fundirse el hielo, tanto éste como el agua se encuentran bajo una misma presión. Pero en los ejemplos que hemos descrito antes, solamente se somete a una gran presión el hielo, mientras que el agua que se forma se encuentra a la presión atmosférica. En estas condiciones, la influencia de la presión sobre la temperatura de fusión del hielo es mucho mayor.

Problema de los Carámbanos

Los habitantes de las regiones nórdicas saben que en los bordes de los tejados y en las ramas de los árboles se forman carámbanos colgantes, es decir, una especie de pequeñas estalactitas de hielo.

¿Cuándo se forman estos carámbanos, durante el deshielo o durante las heladas? Si se forman durante el deshielo, ¿cómo puede congelarse el agua a más de 0°C de temperatura? Si es durante las heladas, ¿de dónde saca el agua el tejado? Como vemos, el problema no es tan sencillo como parecía a primera vista. Para que puedan formarse los carámbanos, es necesario que se den simultáneamente dos temperaturas: una, para que se funda la nieve, es decir, superior a cero grados, y otra, para que se hiele el agua, es decir, inferior a cero grados.



Fig. 87. Los rayos solares calientan más la vertiente del tejado que la superficie horizontal de la tierra (los números indican el valor de los ángulos).

Esto es lo que ocurre en realidad. La nieve se derrite en la vertiente del tejado, porque los rayos del Sol la calientan hasta una temperatura superior a cero grados, mientras que las gotas de agua que escurren se hielan en el borde del tejado, porque en este sitio la temperatura es inferior a cero grados. (Aquí no nos referimos naturalmente al caso de la formación de carámbanos debidos a que el techo se caliente con el calor de la calefacción del local que hay debajo.) Figurémonos el siguiente cuadro: hace un día despejado; la temperatura del aire es de 1 ó 2 grados bajo cero. El Sol derrama sus rayos por todas partes, pero estos rayos son tan oblicuos, que no pueden calentar la tierra lo suficiente para que se derrita la nieve. Pero sobre la vertiente del tejado que da al Sol, sus rayos no caen oblicuamente, como sobre la tierra, sino con mayor pendiente, es decir, formando un ángulo que se aproxima más al recto. Como sabemos, la luz y el calor que proporcionan los rayos es tanto mayor, cuanto mayor es el ángulo que forman dichos rayos con el plano en que inciden. (La acción de los rayos es proporcional al seno de este ángulo; para el caso representado en la fig. 87, la nieve del tejado recibe 2,5 veces más calor que una superficie igual de nieve situada horizontalmente, puesto que el seno de 60' es 2,5 veces mayor que el de 20'.) Esta es la razón de que la vertiente del tejado se caliente más y la nieve que hay en ella pueda derretirse.

El agua que se forma, escurre, y sus gotas llegan al borde del tejado. Pero debajo de éste, la temperatura ya es inferior a cero grados, y las gotas, enfriadas además por la evaporación, se hielan y quedan colgando. Sobre la primera gota helada, escurre la siguiente, que también se hiela; después una tercera, y así sucesivamente, se va formando, poco a poco, un pequeño montículo. Otro día, cuando vuelve a hacer el mismo tiempo, estas acumulaciones de agua helada siguen alargándose, y, en definitiva, se forman los carámbanos, que crecen de manera análoga a como lo hacen las estalactitas calcáreas que suele haber en las cuevas. Así es cómo se forman los carámbanos en los tejados de los cobertizos y, en general, de los locales sin calefacción. Esta misma causa hace que se produzcan ante nuestros ojos fenómenos aún más grandiosos. Porque la diferencia entre las zonas climáticas y entre las estaciones del año se debe en alto grado⁸ a la variación del ángulo de incidencia de los rayos solares.

El Sol está en invierno casi a la misma distancia de nosotros que en verano; está separado por la misma distancia de los polos que del ecuador (la diferencia entre estas distancias es tan insignificante, que puede despreciarse). Pero la inclinación de los rayos solares con respecto a la superficie de la Tierra es mayor en las cercanías del ecuador que en los polos, y en verano, este ángulo es mayor que en invierno. Esto determina una sensible diversidad de las temperaturas durante el día y, por consiguiente, de la vida de toda la naturaleza.

⁸ Pero no exclusivamente; otra de las razones más importantes es la desigualdad de la duración de los días, es decir, del período de tiempo durante el cual el Sol calienta la superficie de la Tierra. Estas dos causas se deben a su vez a un mismo factor astronómico, que es, la inclinación del eje de la Tierra con respecto al plano de la órbita que ésta sigue alrededor del Sol