

¿CUANDO ES MAS LARGA LA LINEA FERREA DE OCTUBRE*,
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 calientan**. Nuestros cálculos demuestran, que la suma de

* Se denomina línea férrea de Octubre, la que une Moscú con Leningrado. (N. del T.)

** 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

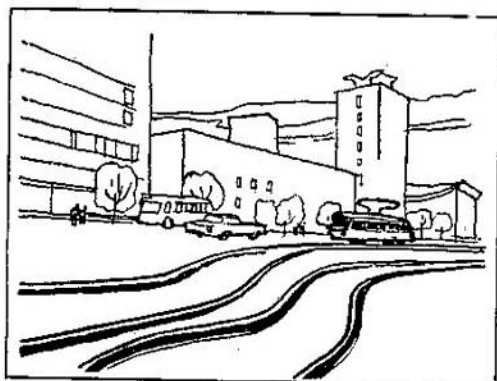


Fig. 73. Raíles del tranvía torcidos por el calor.

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. 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 desparecen 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 los más mínimo el funcionamiento del

que se emplea, impide que se tuerzan lateralmente. No obstante, cuando hace 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.

teléfono o el telégrafo. 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 $3 \times 40 = 120$ 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.

DEL VASO DE TE 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 dilatará 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 salte*. Esto se debe en parte, a que la conductividad térmica del cuarzo es considerablemente mayor que la del vidrio.

* Las vasijas de cuarzo también son muy prácticas en los laboratorios por su gran resistencia al fuego: el cuarzo comienza a ablandarse a 1700°C.

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 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.

te. 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.

LA LEYENDA DE LA BOTA EN EL BAÑO*

«¿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 «uridnik** retirado de las Tropas del Don» del cuento de Chejov, nos hace sonreír de puro absurda. Sin embargo, hay gentes que se rien 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 calenté 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 diezmilésimas. 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?

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.

¿COMO SE HACIAN 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

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

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

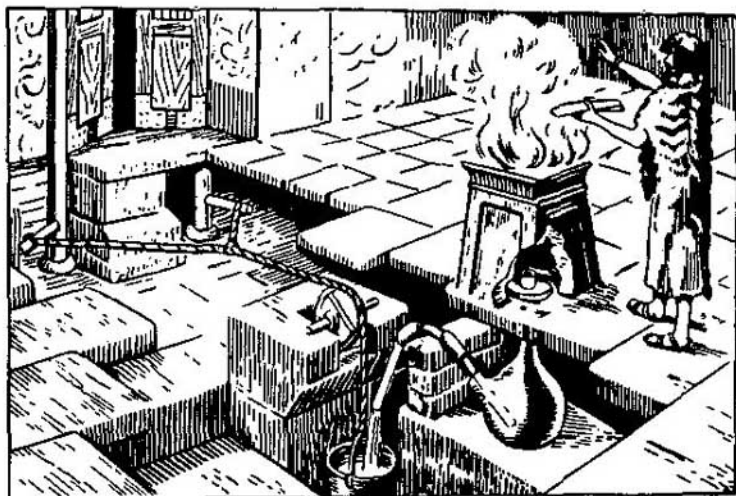


Fig. 74. Secreto de uno de los «milagros» de los sacerdotes egipcios: las puertas del templo se abrían por la acción del fuego que ardía en el altar.

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.

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. 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. Pero en cuanto el sacerdote encargado de este altar quitaba disimuladamente el tapón que tenía la tapadera del de-

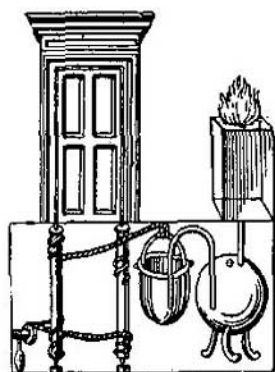


Fig. 75. Esquema del mecanismo de las puertas del templo, que se abrían solas cuando ardía el fuego en el altar.

pósito, el aceite dejaba de salir (porque el aire excedente salía por el orificio). Los sacerdotes recurrían a este artificio cuando las dádivas de los creyentes eran escasas.

RELOJES SIN CUERDA

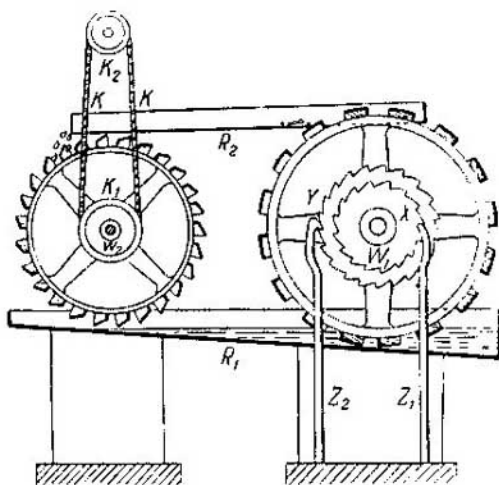
Anteriormente (pág. 109) hemos descrito ya un reloj sin cuerda (mejor dicho, un reloj al que no había que darle cuerda), cuyo mecanismo estaba basado en las variaciones de la presión atmosférica. Ahora vamos a describir otro reloj automático semejante, basado en la dilatación térmica.

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).



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

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



¿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, despacito, 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. En su mecanismo, el elemento principal es la glicerina, la cual, al dilatarse

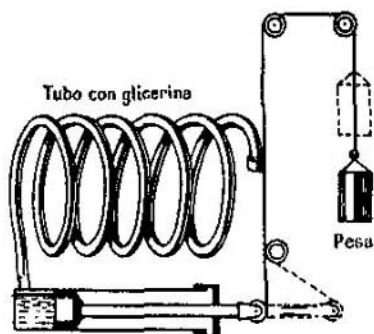


Fig. 78. Esquema del mecanismo de un reloj automático de otro tipo.

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 grande? 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 $\frac{1}{600\,000}$ 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 $\frac{1}{45\,000\,000}$ 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:

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

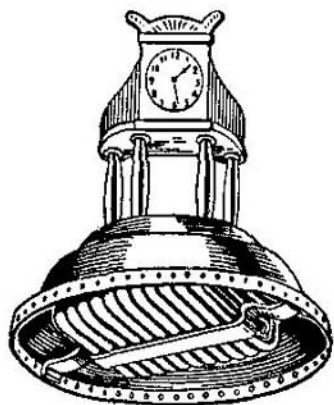
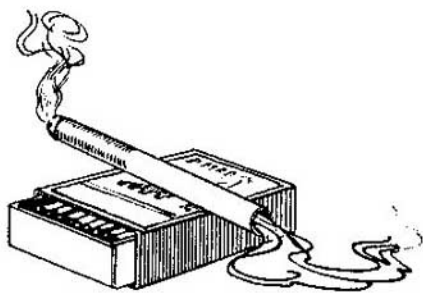


Fig. 79. Reloj automático; en la peana se oculta un tubo con glicerina.

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



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

UN EMBOQUILLADO ALECCIONADOR

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, la 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, pongámosle 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*. Hierve

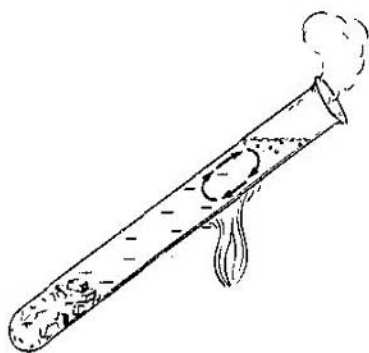


Fig. 81. El agua hierve en la parte superior, pero el hielo no se funde en la inferior.

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 líquido*. Por otra parte, el aire frío que rodea al hielo, también descenderá envolviendo a la vasija.

¿POR QUE SOPLA EL VIENTO CUANDO LA VENTANA ESTA 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 sentimos 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. Depositemos 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.

* 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.

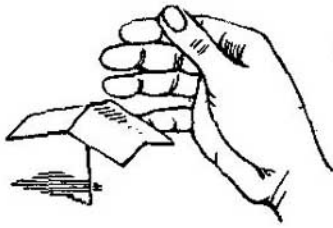


Fig. 82. ¿Por qué gira el papel?

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. Acercuémosla otra vez, y el movimiento comenzará de nuevo.

Este giro misterioso hizo pensar a muchos, allá por los años setenta del siglo pasado, 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 nuestra mano calienta 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 dimos 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*.

* También puede observarse, que cuando se tiene calentura o una temperatura más alta que la normal, el molinete se mueve mucho más de prisa. Este aleccionador artificio, que tanto preocupó a algunos en su tiempo, fue objeto hasta de una pequeña investigación físico-fisiológica, presentada ante la Sociedad Médica de Moscú en 1876 (N. Nechaev «La rotación de cuerpos ligeros por el calor de la mano»).

¿Qué diríais si os asegurasen que vuestro abrigo *no calienta* en absoluto? Pensaríais seguramente que están bromeando. Pero, ¿y si empezaran a demostraros que es así, efectivamente?

Hagamos, por ejemplo, la siguiente prueba: Tomemos un termómetro, fijémosnos 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 *enfria*. 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 calienta, la estufa calienta, el cuerpo humano calienta, 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.

¿QUE ESTACION 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 profundidad es 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

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

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 . 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.

A este tipo de fenómenos pertenece el triste experimento que hacen inconscientemente muchas perso-

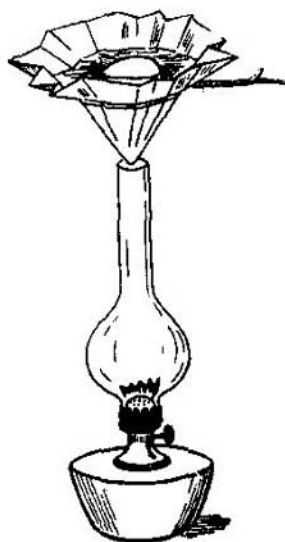
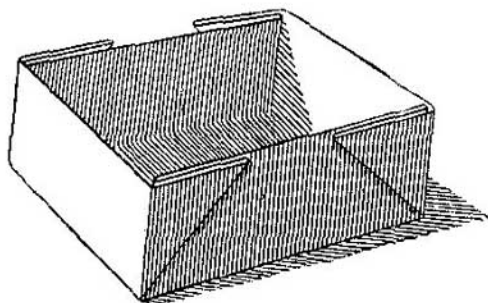


Fig. 84. Cajita de papel para hervir el agua.



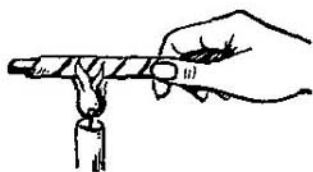


Fig. 85. Este papel no arde.

nas distraídas, las cuales ponen a calentar el şamovar* o la cafetera y se olvidan de echarle agua. El şamovar 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 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 tiznará, 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. La fig. 86 representa un experimento análogo, con un hilo «incombustible» arrollado *fuertemente* a una llave.

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

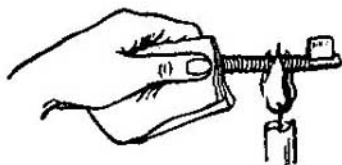


Fig. 86. Un hilo incombustible.

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 nortños saben, que arrastrar un trineo 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 derritirá. 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 suficiente-

mente 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.

EL PROBLEMA DE LOS CARAMBANOS

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.

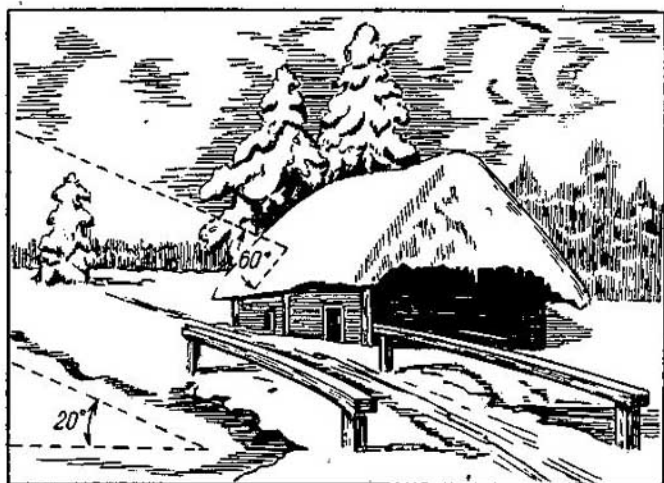


Fig. 87. Los rayos solares calientan más la vertiente del tejado que la superficie horizontal de la tierra (los números indican el valor de los ángulos).

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 grado* 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.

* 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.

LAS SOMBRAS APRESADAS

¡Oh sombras, oscuras sombras!
 ¿A quién no podréis alcanzar?
 ¿A quién no dejaréis atrás?
 Sólo a vosotras, ¡oh sombras!
 No se os puede coger ni abrazar.

Nekrasov.

Nuestros bisabuelos sabían, si no coger sus sombras, por lo menos aprovecharse de ellas. Valiéndose de las sombras dibujaban «siluetas», es decir, representaban las figuras humanas como sombras.

Hoy día, gracias a la fotografía, todo el mundo puede hacerse un retrato o reproducir los rasgos de las personas queridas. Pero en el siglo XVIII no eran tan felices. Los retratos había que encargárselos a los pintores, costaban mucho y, por lo tanto, estaban al alcance de una pequeña minoría. Por esto es por lo que estaban tan difundidas las *siluetas*. Hasta cierto punto, estas sombras apresadas y fijas hacían las veces de fotogra-

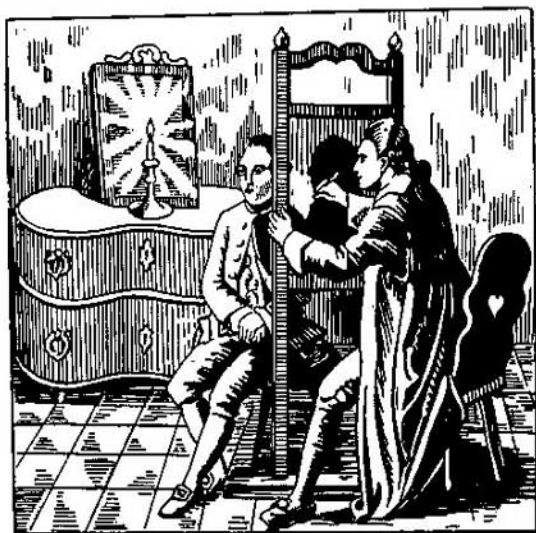


Fig. 88. Antiguo procedimiento de hacer retratos en silueta.

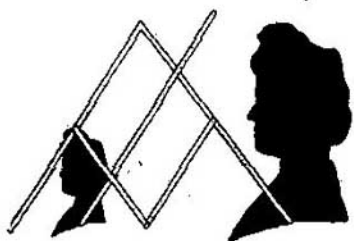


Fig. 89. Reducción de un retrato en silueta.

fías modernas. Las siluetas se obtenían de forma mecánica y, en este sentido, puede decirse que son la inversa de la fotografía. Si nosotros nos valemos de *la luz*, nuestros antepasados, para este mismo fin, utilizaban su carencia, es decir, *la sombra*.

La fig. 88 da una idea de cómo se dibujaban las siluetas. La cabeza la situaban de tal forma, que la sombra diera un perfil característico, y después, marcaban con lápiz sus contornos. Luego, estos contornos se rellenaban con tinta china, se recortaban y se pegaban en un papel blanco, con lo que la silueta quedaba terminada. Si el cliente lo deseaba, la silueta se reducía por medio de un aparato especial llamado pantógrafo (fig. 89).

No penséis que un simple diseño oscuro no puede dar una idea de los rasgos característicos del original. Al contrario, una silueta acertada se suele caracterizar por la sorprendente semejanza con el original.

Esta peculiaridad de las representaciones en negro, de proporcionar una gran semejanza con el original con simples contornos logró interesar a muchos pintores, los cuales comenzaron a dibujar por este estilo escenas enteras, paisajes, etc. Poco a poco se fue creando toda una escuela de pintores siluetistas.

Es curiosa la procedencia de la propia palabra «silueta», que no es otra que el apellido de un ministro francés de finanzas, de mediados del siglo XVIII, que se llamaba Etienne de Silhouette, el cual hizo un llamamiento a los derrochadores de su tiempo, para que fueran razonablemente económicos, y criticó a la aristocracia francesa por sus



Fig. 90. Silueta de Schiller (año 1790).

extraordinarios gastos en cuadros y retratos. La baratura de los retratos de sombra dio pie a los chistosos para denominar estos retratos «a la Silhouette».

EL POLLITO EN EL HUEVO

Las propiedades de las sombras se pueden utilizar para mostrar a nuestros amigos un truco interesante. Para ello, se hace una pantalla de papel impregnado en aceite, colocando dicho papel en un hueco cuadrangular practicado en una hoja de cartón. Detrás de esta pantalla, es decir, por el lado opuesto al que ocupará el público, se colocan dos lámparas. Una de estas lámparas, la de la izquierda, por ejemplo, se enciende.

Entre la lámpara encendida y la pantalla, se interpone un trozo de cartón de forma ovalada, con lo que, en la pantalla aparecerá la silueta de un huevo. (La otra lámpara permanece por ahora apagada.) En este momento, anunciamos a los invitados, que vamos a conectar nuestro «aparato de rayos X», el cual pondrá al descubierto lo que hay dentro del huevo, es decir, un pollito! Y, acto seguido, todos los presentes ven que, efectivamente, la silueta del huevo parece que se hace más clara por los bordes, mientras que en su centro aparece bastante bien definida la silueta del pollito (fig. 91).

La explicación de este truco es muy sencilla: cuando se enciende la lámpara derecha, y entre ella y la pantalla hay interpuesto un trozo de cartón, recortado en forma de pollo, una parte de la sombra ovalada (sobre la que recae la sombra del «pollito»), se iluminará con dicha lámpara, por cuya razón, los bordes del «huevo» se hacen más claros que su parte central. Pero el público que se encuentra por el otro lado de la pantalla y que no sospecha nuestras manipulaciones, puede pensar, sobre todo si no tiene nociones de Física y de Anatomía, que realmente sometimos el huevo a la acción de los rayos X.

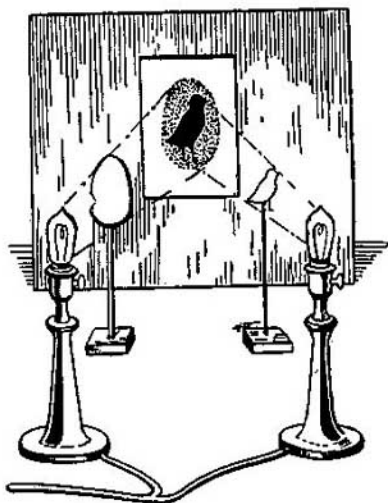


Fig. 91. Seudoradiografía.

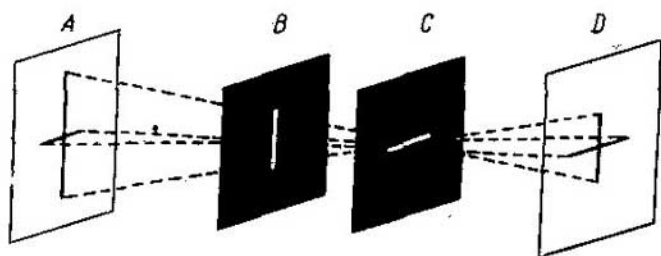


Fig. 94. Explicación gráfica de por qué la cámara de rendija produce imágenes deformadas.

FOTOGRAFÍAS CARICATURESCAS

No es un secreto, que se puede construir un aparato fotográfico sin cristal de aumento (es decir, sin objetivo), empleando simplemente un pequeño orificio redondo. Las imágenes que se obtienen en este caso son menos nítidas. Una curiosa variedad de esta cámara sin objetivo es la de «rendija», la cual, en lugar de un orificio redondo, tiene dos rendijas que se cruzan entre sí. En la parte delantera de esta cámara hay dos tablillas; una de ellas tiene una rendija vertical y la otra, una rendija horizontal. Si ambas tablillas se colocan juntas, la imagen que se obtiene es igual que la que produce la cámara con orificio redondo, es decir, no está desfigurada. Pero si las tablillas se colocan a cierta distancia una de otra (para lo que se suelen hacer móviles), se observan variaciones muy interesantes, ya que la imagen se deforma de manera muy curiosa (figs. 92 y 93). Se obtiene más bien una caricatura que una fotografía.

¿Cómo se explica esta deformación?

Examinemos el caso en que la rendija horizontal se encuentra delante de la vertical (fig. 94). Los rayos procedentes de las líneas verticales de la figura D (una cruz) pasan a través de la primera rendija C lo mismo que a través de un orificio redondo. La segunda rendija no cambia en absoluto la trayectoria de estos rayos. Por consiguiente, la escala de la imagen de la línea vertical, que se obtiene en el vidrio esmerilado A, corresponde a la distancia que hay entre dicho vidrio A y la tablilla C.

No ocurre lo mismo con la imagen que produce la línea horizontal en el vidrio esmerilado (si las rendijas siguen en la posición antedicha). A través de la primera rendija (horizontal) los rayos pasan sin dificultad y sin deformarse, hasta que se encuentren con la rendija vertical B; pero por esta segunda ren-

Fig. 92. Fotografía caricaturesca alargada verticalmente (obtenida con la cámara de rendija).



Fig. 93. Fotografía caricaturesca obtenida con la cámara de rendija. La imagen está alargada horizontalmente.



dija pasan lo mismo que por un agujero redondo y dan en el vidrio esmerilado A una imagen cuya escala corresponde a la distancia desde este vidrio A hasta la segunda tablilla B.

Concretando podemos decir, que cuando las rendijas se encuentran en la posición antedicha, para las líneas *verticales* de la figura todo ocurre igual que si sólo existiera la rendija *delantera*, mientras que para las *horizontales*, al contrario, como si únicamente existiera la rendija *trasera*. Y como quiera que la rendija delantera se encuentra *más lejos* del vidrio esmerilado que la trasera, todas las dimensiones verticales deben obtenerse en el vidrio A en una escala mayor que las horizontales, es decir, la imagen parecerá estar alargada en el sentido vertical.

Por el contrario, cuando las rendijas se disponen al revés, la imagen que se obtiene está alargada en el sentido horizontal (figs. 92 y 93).

Está claro, que si las rendijas se colocan *inclinadas*, las deformaciones que se produzcan serán de otro tipo.

Las cámaras de este tipo se pueden emplear no sólo para hacer caricaturas. Tienen aplicación en trabajos prácticos más serios, como, por ejemplo, para buscar variantes de motivos decorativos para la arquitectura, dibujos para alfombras y tapices, etc., es decir, para obtener ornamentos y dibujos alargados o encogidos convenientemente en la dirección que se desee.

EL PROBLEMA DE LA SALIDA DEL SOL

Nosotros observamos la salida del Sol a las 5 en punto. Pero sabemos que la luz no se difunde instantáneamente, es decir, que se necesita un tiempo determinado para que los rayos puedan llegar desde el foco luminoso hasta el ojo del observador. Por consiguiente, se nos puede preguntar: ¿A qué hora hubiéramos visto la salida del Sol, si la luz se difundiera instantáneamente?

La luz recorre la distancia que separa al Sol de la Tierra en 8 minutos. Por lo tanto, si luz se difundiera *instantáneamente*, deberíamos ver la salida del Sol 8 minutos antes, es decir, a las 4 y 52.

A muchos les cogerá de sorpresa saber que esta respuesta es totalmente errónea. Pero es el caso, que la «salida» del Sol se debe a que la esfera terrestre, al girar dentro de un espacio ya iluminado, hace que salgan a la luz nuevos puntos de su superficie. Por consiguiente, si la luz se difundiera instantánea-

mente, veríamos la salida del Sol *a la misma hora* que difundándose consecutivamente, es decir, a las 5 en punto*.

Otra cosa es lo que ocurre cuando observamos (con un telescopio) la aparición de una protuberancia en los bordes del disco solar. Si la luz se difundiera instantáneamente, veríamos la aparición de la protuberancia 8 minutos antes.

* Si se toma en consideración la denominada «refracción atmosférica», el resultado que se obtiene es aún más sorprendente. La refracción encorva la trayectoria que los rayos siguen en el aire y con ello, hace que veamos la salida del Sol *antes* de que aparezca «geométricamente» sobre el horizonte. Pero si la luz se difundiera instantáneamente, no podría existir la refracción, puesto que ésta depende de la distinta velocidad de propagación de aquélla en los distintos medios. La carencia de refracción daría pues, por resultado, el que el observador viera la salida del Sol *más tarde* que ahora. Esta diferencia dependería de la latitud del punto de observación, de la temperatura del aire y de otras condiciones y podría variar entre 2 min y varios días (en las latitudes polares). Resulta una interesante paradoja: ¡Si la luz se difundiera instantáneamente (es decir, si su velocidad fuese infinita), veríamos la salida del Sol más tarde que cuando su difusión no es instantánea! Una ampliación de este mismo problema puede verse en el libro «¿Sabe usted Física?»

¿COMO VER A TRAVES DE LAS PAREDES?

Allá por los años noventa del siglo pasado, se vendía un juguete muy interesante, al que se daba la pomposa denominación de «aparato de Roentgen». Recuerdo mi preocupación cuando, siendo todavía escolar, cogí por primera vez esta ingeniosa invención. Su tubo permitía ver todo a través de cuerpos totalmente opacos. Yo distinguía todo cuanto nos rodeaba, no sólo a través de un papel grueso, sino también a través de la hoja de un cuchillo, que es impenetrable hasta para los verdaderos rayos X. El secreto de este sencillo juguete queda completamente claro si nos fijamos en la fig. 95, que representa el prototipo del tubo a que nos referimos. Cuatro espejos inclinados bajo ángulos de 45° , reflejan los rayos de luz varias veces, haciéndoles dar un rodeo, por decirlo así, en torno del objeto opaco.

Un aparato semejante se emplea mucho con fines militares. Con él se puede vigilar al enemigo sin necesidad de sacar la cabeza de la trincherá ni de exponerse a su fuego. Este aparato se llamó «periscopio» (fig. 96).

Cuanto más largo es el camino a seguir por los rayos de luz, desde que entran en el periscopio hasta que llegan al ojo del observador, tanto menor es el campo visual del aparato. Para aumentar este campo se emplean cristales ópticos (lentes). Pero

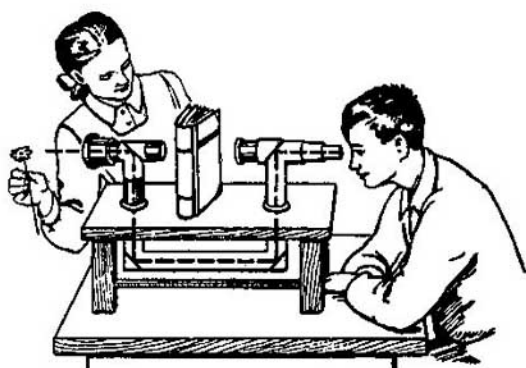


Fig. 95. El «aparato de Roentgen» de juguete.



Fig. 96. Periscopio.

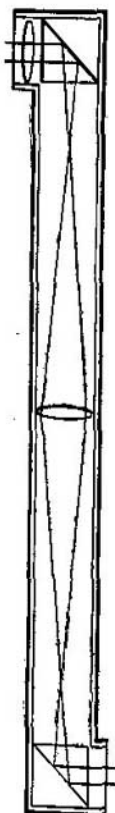


Fig. 97. Esquema del periscopio de los submarinos.

estos cristales absorben parte de la luz que entra en el periscopio, con lo cual la nitidez de los objetos que se ven empeora. Lo antedicho establece unos límites determinados a la altura del periscopio. Una altura de dos decenas de metros puede considerarse ya como próxima al límite. Los periscopios más altos tienen un campo visual extraordinariamente pequeño y proporcionan imágenes borrosas, sobre todo cuando el tiempo está nublado.

Los capitanes de los submarinos también observan los buques que van a atacar a través de un periscopio, es decir, de un tubo largo, cuyo extremo sobresale del agua. Estos periscopios son mucho más complicados que los de infantería o artillería, pero su fundamento es el mismo, y se reduce, a que los rayos de luz se reflejan en un espejo (o prisma), que hay sujeto en la parte saliente del periscopio, y siguiendo a lo largo del tubo, vuelven a reflejarse otra vez en la parte inferior del mismo, después de lo cual llegan al ojo del observador (fig. 97).

LA CABEZA PARLANTE

Esta «maravilla» se mostraba hace aún no muchos años en los «museos» y «panópticos» ambulantes de las ferias provinciales. Era algo que llamaba verdaderamente la atención del profano. Este veía ante sí una mesita, en la que, sobre un plato, se encontraba... ¡una cabeza humana viva, que movía los ojos, hablaba y comía! Debajo de la mesa no parecía haber sitio para ocultar el cuerpo. Aunque no era posible acercarse a ella, porque lo impedía una barrera, se veía perfectamente que debajo de la mesa no había nada.

Si tenéis ocasión de presenciar alguna «maravilla» de éstas, tirad una bolita de papel de-

Fig. 98. El secreto de la «cabeza parlante».

bajo de la mesa. El secreto se descubrirá en el acto. La bolita de papel rebotará en... ¡un espejo! Incluso si no llega a la mesa, la pelotita descubrirá la existencia del espejo, puesto que se reflejará en él su imagen (fig. 98).

Para que el espacio que hay debajo de una mesa parezca de lejos vacío, basta poner un espejo entre las patas, por cada lado. Claro que, para que la ilusión sea perfecta, en estos espejos no deberá reflejarse ni el mobiliario de la habitación ni el público. Es decir, la habitación deberá estar vacía, sus paredes deberán ser exactamente iguales, el suelo deberá estar pintado de un color uniforme y sin dibujos y el público situarse a bastante distancia de los espejos.

El secreto es ridículamente sencillo, pero mientras no se conoce en que consiste, se rompe uno la cabeza en adivinanzas.

Este truco se presenta con frecuencia de una forma más espectacular. El prestidigitador enseña primeramente al público una mesa vacía. Tanto debajo, como sobre ella, no hay nada. Acto seguido, traen de dentro de la escena una caja cerrada, en la cual se asegura que está la «cabeza viva, sin cuerpo». En realidad, esta caja está vacía. El prestidigitador coloca la caja sobre la mesa, abre su pared delantera y, ante el público asombrado, aparece la «cabeza parlante». El lector se habrá figurado ya, seguramente, que el tablero de la mesa tiene una parte de quita y pon, que cierra un agujero, por el cual, en cuanto ponen sobre él la caja vacía y sin fondo, saca la cabeza la persona que está sentada debajo de la mesa, oculta detrás de los espejos. Este truco tiene otras muchas variantes, pero no vamos a entretenernos en enumerarlas, puesto que el mismo lector, cuando las vea, podrá explicárselas.



¿DELANTE O DETRAS?

Hay no pocos objetos domésticos que generalmente se utilizan mal. Ya hemos hablado anteriormente de cómo algunos no saben emplear el hielo para enfriar las bebidas, y ponen éstas

sobre el hielo, en lugar de colocarlas *debajo* de él. Pero suele ocurrir también, que no todos saben utilizar un simple espejo. Hay muchas personas que para verse mejor en el espejo, colocan una lámpara *a su espalda*, con objeto de que «alumbre su reflejo», en lugar de alumbrarse a sí mismas. Estamos seguros de que nuestros lectores no incurrir en este error.

¿SE PUEDE VER UN ESPEJO?

He aquí demostración de lo poco que conocemos a nuestro vulgar espejo. La mayoría de la gente da una respuesta errónea a la pregunta que encabeza este párrafo, a pesar de que cada día se mira al espejo.

Los que crean que se puede ver un espejo, están equivocados. Un espejo que sea bueno y limpio es invisible. Se puede ver su marco, sus bordes, los objetos que se reflejan en él, pero el propio espejo, si no está sucio, no se ve. Toda superficie *refleitora*, a diferencia de las que *dispersan* la luz, es de por sí invisible. (De ordinario, las superficies reflectoras son pulimentadas y las que dispersan la luz son mate).

Todos los trucos y artificios engañosos basados en el empleo de espejos, como por ejemplo, el de la cabeza que acabamos de describir, parten precisamente de esta particularidad de los espejos, de que siendo invisibles de por sí, son visibles las imágenes de los objetos que en ellos se reflejan.

¿A QUIEN VEMOS CUANDO NOS MIRAMOS AL ESPEJO?

«Indudablemente, nos vemos a nosotros mismos — responden muchos —, la imagen que vemos en el espejo es una fidelísima copia nuestra, idéntica a nosotros en todos los detalles».

No obstante, ¿quiere usted convencerse de este parecido? Pues, si tiene usted un lunar en la mejilla derecha, su gemelo del espejo no lo tendrá en dicha mejilla, mientras que en su mejilla izquierda tendrá una manchita que usted no tiene. Si usted se peina *hacia la derecha*, su gemelo se peinará *hacia la izquierda*. Si tiene usted la ceja derecha más alta y poblada que la izquierda, él, al contrario, tendrá esta ceja más baja y despoblada que la izquierda. Si usted lleva el reloj en la mano izquierda y el librito de notas en el bolsillo derecho de la chaqueta, su gemelo del espejo tendrá la costumbre de llevar el reloj en la mano derecha y el librito de notas en el bolsillo izquierdo de la chaqueta. Y fíjese usted en la esfera de su reloj. Nunca tuvo usted uno semejante. La disposición de las cifras en este reloj

Fig. 99. Un reloj como éste es el que tiene su gemelo del espejo.



es muy extraña; por ejemplo, la cifra ocho está representada de una forma que nadie la escribe, IIX, y está situada en lugar de la cifra doce; después de las seis, van las cinco, etc.; además, las manecillas del reloj de su gemelo se mueven en dirección contraria a lo normal.

Finalmente, su gemelo del espejo tiene un defecto físico, que creemos que usted no tiene; nos referimos a que es zurdo. Escribe, cose, come, etc., con la mano izquierda, y si quiere usted estrechar su mano, le tenderá la izquierda.

Por otra parte es difícil esclarecer si este gemelo sabe leer y escribir. Si sabe, lo hace de una forma muy particular. Es muy posible que usted no pueda leer ni un solo renglón del libro que él tiene en la mano, o una sola palabra de los garabatos que él escribe con su mano izquierda.

¡Así es el que pretende ser una exacta copia suya! Y usted quiere juzgar por él su propio aspecto.

Pero dejando las bromas a un lado, si usted cree que cuando se mira al espejo se ve a sí mismo, se equivoca. La cara, el cuerpo y el vestido de la mayoría de las personas, no son simétricos (a pesar de que generalmente no nos damos cuenta de ello). El lado derecho no es completamente igual al izquierdo. En el espejo, todas las peculiaridades de la mitad derecha, pasan a la izquierda, y al contrario, de tal forma, que la figura que aparece ante nosotros produce con frecuencia una impresión totalmente diferente a la nuestra.

EL DIBUJO DELANTE DEL ESPEJO

La falta de identidad entre la imagen que refleja el espejo y el original, se pone aún más de manifiesto en el experimento siguiente:

Pongamos verticalmente, sobre la mesa que tenemos delante un espejo, tomemos un papel e intentemos dibujar en él cualquier figura geométrica, por ejemplo, un rectángulo con sus diagonales. Pero no mirando directamente a la mano que dibuja, sino a los movimientos que hace su imagen reflejada en el espejo.

Nos convenceremos de cómo, esto que parece tan sencillo, es algo casi imposible de realizar. Durante muchos años, nues-

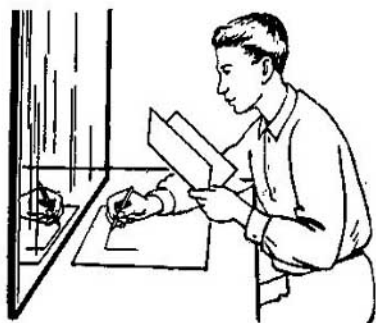


Fig. 100. Dibujando delante de un espejo.

tras impresiones visuales y nuestro sentido de los movimientos han llegado a una determinada coordinación. El espejo infringe esta relación, al invertir ante nuestros ojos el movimiento de la mano. Nuestras antiguas costumbres se rebelarán contra cada uno de estos movimientos. Cuando queremos trazar una línea hacia la derecha, la mano tira hacia la izquierda, etc.

Todavía nos encontraremos con mayores rarezas, si en lugar de hacer un simple dibujo intentamos pintar figuras más complejas o escribir algo mirando los renglones que se ven en el espejo. Resultará una confusión francamente cómica.

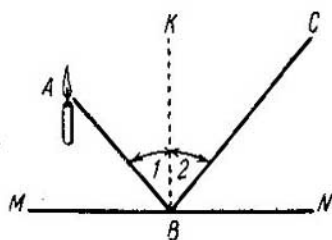
Las impresiones que quedan en el papel secante, también son simétrico-invertidas, como las del espejo. Si nos fijamos en ellas e intentamos leerlas, no entenderemos ni una palabra, aunque la letra sea clara. Las letras tienen una inclinación anormal hacia la izquierda, y, sobre todo, los trazos se suceden de una manera, a la cual no estamos acostumbrados. Pero si colocamos junto al papel secante un espejo, de manera que forme con aquél un ángulo recto, veremos en él todas las letras escritas tal como estamos acostumbrados a verlas. Ocurre esto, porque el espejo nos da un reflejo simétrico de aquello que de por sí ya es una impresión simétrica de un escrito usual.

UNA PRECIPITACION ECONOMICA

Sabemos que en todo medio homogéneo la luz se propaga en línea recta, es decir, por el camino más corto. Pero la luz elige el camino más corto incluso cuando no va directamente de un punto a otro, sino que antes de llegar al segundo tiene que reflejarse en un espejo.

Sigamos atentamente este camino. Supongamos que el punto A de la fig. 101 es un foco de luz; la línea MN, un espejo, y la

Fig. 101. El ángulo de reflexión 2, es igual al ángulo de incidencia 1.



ABC , el camino que recorre un rayo de luz desde el foco A hasta el ojo C . La recta KB es perpendicular a la MN .

Según las leyes de la óptica, el ángulo de reflexión 2 es igual al ángulo de incidencia 1. Sabiendo esto, es fácil demostrar, que de todos los caminos posibles de A a C , que pasan por el espejo MN el ABC es el más corto. Para ello, comparemos el camino del rayo ABC con otro cualquiera, por ejemplo, con el ADC (fig. 102). Bajemos una perpendicular AE desde el punto A a la recta MN , y prolonguémolo hasta su intersección con la continuación del rayo BC , en el punto F . Unamos también los puntos F y D . Nos convenceremos, en primer lugar, de que los triángulos ABE y EBF son iguales. Son rectángulos y tienen común el cateto EB ; además los ángulos EFB y EAB son iguales entre sí, por serlo sus correspondientes 2 y 1. Por consiguiente, $AE=EF$. De aquí se desprende que los triángulos rectángulos AED y EDF son iguales por tener los dos catetos iguales y, por consiguiente, AD es igual a DF .

En vista de esto, podemos sustituir el camino ABC por su igual CBF (ya que $AB=FB$) y el camino ADC por el CDF . Pero si comparamos entre sí las líneas CBF y CDF , veremos que la línea recta CBF es más corta que la quebrada CDF . De donde se deduce, que el camino ABC es más corto que el ADC , como queríamos demostrar.

Donde quiera que se encuentre el punto D , el camino ABC será siempre más corto que el ADC , mientras el ángulo de reflexión sea igual al ángulo de incidencia. Es decir, que la luz elige

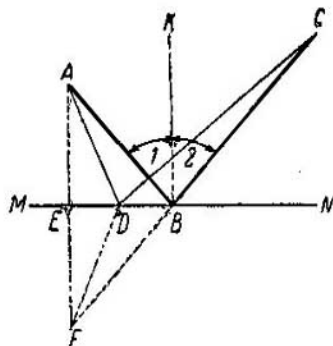


Fig. 102. La luz, al reflejarse, sigue el camino más corto.

efectivamente el camino más corto, de todos los posibles, entre el foco luminoso, el espejo y el ojo. Este hecho fue señalado por primera vez por Herón de Alejandría.

EL VUELO DE LA CORNEJA

Sabiendo hallar el camino más corto en casos análogos al que acabamos de examinar, podemos resolver también algunos acertijos. A continuación ofrecemos un ejemplo de problemas de este tipo.

En la rama de un árbol está posada una corneja. Abajo, en la calle, hay derramados granos de trigo. La corneja planea desde su rama, coge un grano y va a posarse sobre una valla. Se pregunta, ¿dónde deberá coger el grano la corneja, para que su camino sea el más corto? (fig. 103).



Este problema es completamente igual al anterior. Por esto, no es difícil dar una respuesta acertada, como la siguiente: la corneja deberá imitar al rayo de luz, es decir, volar de tal manera, que el ángulo 1 sea igual al ángulo 2 (fig. 104). Como vimos antes, en este caso, el camino será el más corto.

LO NUEVO Y LO VIEJO DEL CALEIDOSCOPIO

Todos conocemos un buen juguete, que se llama caleidoscopio. Un puñado de trocitos multicolores de vidrio se refleja en tres espejos planos, formando figuras de singular belleza, las cuales varían en cuanto el caleidoscopio se hace girar lo más

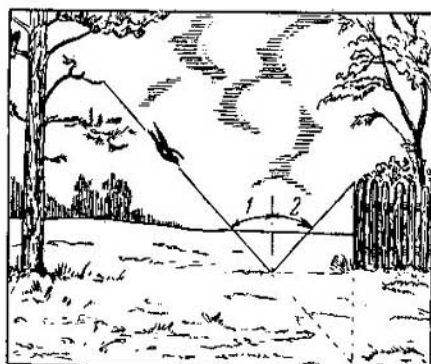
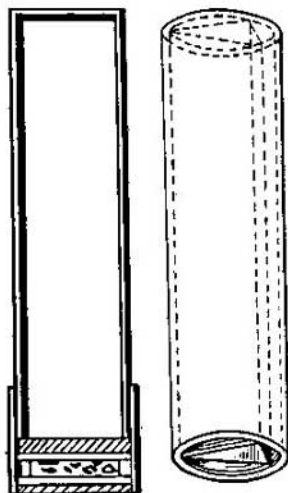


Fig. 103. El problema de la corneja. Hallar el camino más corto hasta la valla.

Fig. 104. Solución del problema de la corneja.

Fig. 105. Caleidoscopio.



mínimo. Pero aunque el caleidoscopio es muy conocido, son pocos los que sospechan la enorme cantidad de figuras diferentes que pueden obtenerse con este juguete. Supongamos que tenemos un caleidoscopio en el que hay 20 trocitos de vidrio y que lo giramos 10 veces por minuto, para hacer que los trocitos reflejados adopten nuevas posiciones. ¿Cuánto tiempo necesitaríamos para ver todas las figuras que su pueden formar?

Ni la inteligencia más vehemente puede prever una respuesta acertada a esta pregunta. Los océanos se secarían y las cadenas montañosas desaparecerían, antes de que pudiéramos acabar de ver todos los dibujos, que de forma tan maravillosa se encierran en este pequeño juguete, porque para efectuar todas las combinaciones posibles se necesitarían, por lo menos, 500 000 millones de años. Es decir, ¡más de quinientos millones de milenios habría que estar girando nuestro caleidoscopio para ver todos los dibujos!

Esta infinita variedad de dibujos, eternamente cambiantes, hace ya mucho tiempo que llamó la atención de los decoradores, cuya fantasía no puede competir con la inagotable inventiva de este aparato. El caleidoscopio produce con frecuencia dibujos de singular belleza, que pueden servir perfectamente de motivos ornamentales para tapices, de dibujos para tejidos, etc.

Sin embargo, hoy día el caleidoscopio no despierta ya el interés con que fue acogido, como novedad, hace cien años. En aquella época era cantado en prosa y en verso.

El caleidoscopio fue inventado en Inglaterra en el año 1816 y al cabo de un año o de año y medio penetró en Rusia, donde fue acogido con admiración. El fabulista A. Izmailov, en la revista «Blagonamerenni» (julio de 1818), escribía lo siguiente sobre el caleidoscopio:

«Leí un anuncio del caleidoscopio y conseguí uno de estos maravillosos aparatos,

Miro, y, ¿qué ven mis ojos?
En distintas figuras y estrellas,
Zafiros, rubies, topacios.
Y esmeraldas, y diamantes,
Y amatistas, y perlas,

Y nácar, y todo, ide repente!
Y en cuanto la mano muevo,
Mis ojos ven algo nuevo.

No sólo en verso, sino hasta en prosa es imposible describir todo lo que se ve en el caleidoscopio. Las figuras cambian cada vez que se mueve la mano, sin que se parezcan las unas a las otras. ¡Qué dibujos tan preciosos! ¡Oh, si fuera posible trasladarlos al cañamazo! Pero, ¿dónde conseguir sedas tan brillantes? ¿Qué otro entretenimiento puede ser más agradable? Es preferible mirar el caleidoscopio, que hacer solitarios.

Se asegura que el caleidoscopio se conocía ya en el siglo XVII. Recientemente ha sido restaurado y perfeccionado en Inglaterra, desde donde hace un par de meses pasó a Francia. Uno de los ricos de aquel país ha encargado un caleidoscopio que cuesta 20 000 francos. En vez de cuentas y vidrios multicolores, ha pedido que se pongan perlas y piedras preciosas.

Más adelante, este fabulista cuenta una distraída anécdota sobre el caleidoscopio y, finalmente, termina su artículo con una observación melancólica, muy característica de la época de la servidumbre y el atraso:

«El físico-mecánico imperial, Rospini, célebre por sus magníficos instrumentos ópticos, hace caleidoscopios y los vende por 20 rublos. Indudablemente, la demanda de caleidoscopio es mayor que la de conferencias de física y química, de las cuales, desgraciadamente, el bienintencionado señor Rospini no obtenía ningún beneficio».

Durante mucho tiempo, el caleidoscopio no pasó de ser un interesante juguete, hasta que en nuestros días ha conseguido aplicación práctica en el diseño de dibujos. Se ha inventado un aparato que permite fotografiar las figuras que produce el caleidoscopio y, de esta forma, «idear» mecánicamente toda clase de ornamentos.

LOS PALACIOS DE ILUSIONES Y DE ESPEJISMOS

¿Qué sensación experimentaríamos si, achicados hasta tener las dimensiones de uno de los trocitos de vidrio, nos encontráramos dentro de un caleidoscopio? Existe un procedimiento de realizar este experimento. Esta magnífica oportunidad la tuvieron en 1900 todos los visitantes de la Exposición Internacional de París, en la cual tuvo un gran éxito el denominado «Palacio de las ilusiones». Este palacio era algo parecido a un caleidoscopio, pero fijo. Imaginémos una sala hexagonal, cada una de cuyas seis paredes es un grandioso espejo idealmente

Fig. 106. La triple reflexión de las paredes de la sala central produce 36 salas.

pulido. En los ángulos de esta sala de espejos hay unos adornos arquitectónicos en forma de columnas y cornisas, que armonizan con las molduras del techo. El espectador que se encuentra en esta sala se ve a sí mismo, como si estuviera perdido entre una multitud de personas parecidas a él, dentro de una infinita enfilada de salas y columnas, que lo rodean por todas partes y que se extienden tan lejos como alcanza la vista.

Las salas que en la fig. 106 están rayadas horizontalmente, son las que resultan de la reflexión simple; las rayadas perpendicularmente a las primeras, las producidas por la reflexión doble, que forman en total 12 salas. La triple reflexión añade a las anteriores otras 18 salas (rayadas oblicuamente). De esta forma, las salas se van multiplicando a cada reflexión y su número total depende exclusivamente de la perfección del pulimentado y del paralelismo de los espejos que ocupan las paredes opuestas de la sala prismática. Prácticamente se podían distinguir hasta las salas resultantes de la duodécima reflexión, es decir, que el horizonte abarcado por la vista comprendía 468 salas.

La causa de esta «maravilla» está clara para todo aquel que conozca las leyes de la reflexión de la luz, ya que se reduce a que tenemos tres pares de espejos paralelos y diez pares de espejos colocados en ángulo. Nada tiene de particular, pues, la gran cantidad de reflexiones que se producen. Más interesantes aún eran los efectos ópticos que se consiguieron en la Exposición de París en el llamado «Palacio de los es-

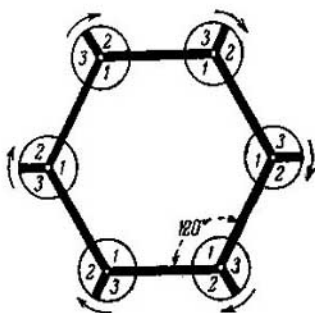
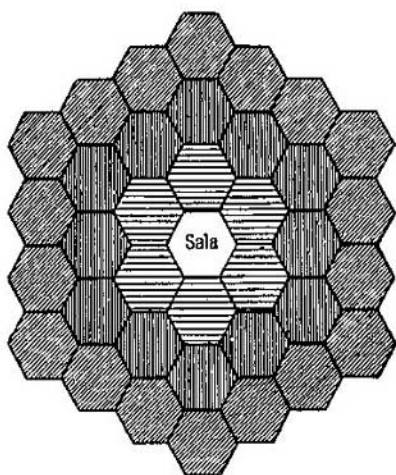


Fig. 107.



Fig. 108. El secreto del «Palacio de los espejismos».

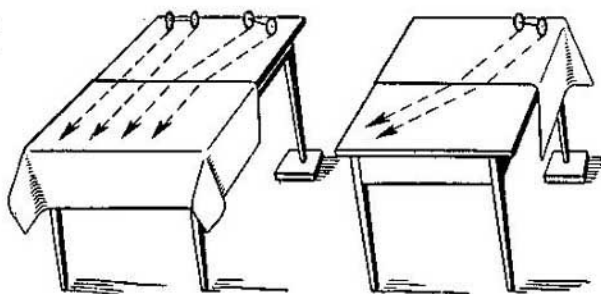
pejismos». Los constructores de este «palacio» unieron al infinito número de reflexiones, la mutación instantánea de todo el cuadro. Es decir, hicieron algo parecido a un enorme caleidoscopio móvil, en cuyo interior se situaba el observador.

El cambio de decoración de este «Palacio de los espejismos» se conseguía de la forma siguiente: los espejos que hacían de paredes, estaban cortados a lo largo a cierta distancia de los ángulos de la sala, de manera, que estos últimos podían girar alrededor de un eje y variar la decoración. La fig. 107 muestra cómo pueden hacerse tres cambios, correspondientes a los ángulos 1, 2 y 3. Ahora, figurémonos que todos los ángulos designados con la cifra 1, representan elementos de un jardín tropical, todos los designados con la cifra 2, los elementos de una sala árabe, y los que llevan el número 3, los de un templo hindú. Un simple movimiento del oculto mecanismo, que hacía girar los ángulos de la sala, bastaba para que el bosque tropical se transformara en un templo o en una sala árabe. Y el secreto de esta «magia» estaba basado en un fenómeno físico tan sencillo, como la reflexión de los rayos de luz.

¿POR QUE Y COMO SE REFRACTA LA LUZ?

Eso de que un rayo de luz cambie de dirección cuando pasa de un elemento a otro, les parece a muchos un extraño capricho de la naturaleza. Resulta incomprensible, por qué la luz, en vez de conservar su dirección inicial en el nuevo medio, elige un camino quebrado. Los que piensan así se alegrarán seguramente de saber, que la luz hace, en este caso, lo mismo que una columna militar al pasar el límite entre un terreno fácil de andar y otro difícil. He aquí lo que dice sobre esto el célebre astrónomo y físico del siglo pasado John Herschel.

Fig. 109. Experimento para explicar la refracción de la luz.



«Figurémonos un destacamento militar marchando, en formación, por un terreno que una línea recta divide en dos zonas, una de ellas llana, lisa y cómoda para andar, y otra terrosa y accidentada de tal forma, que por ella no se puede avanzar tan de prisa como por la primera. Supongamos, además, que el frente del destacamento forma un ángulo con la línea divisoria entre las dos zonas, y que, por consiguiente, los soldados que forman dicho frente no llegan a ella al mismo tiempo, sino sucesivamente. En estas condiciones, cada soldado, al pasar la demarcación, notará que se encuentra en un terreno por el cual no puede avanzar tan rápidamente como antes. Ya no podrá guardar línea con los demás soldados de su fila, que se encuentran aún en el terreno mejor, y empezará a retrasarse cada vez más con respecto a ellos. Como quiera que así le irá ocurriendo a cada soldado que pase por la línea divisoria, al notar las mismas dificultades para la marcha, si no se rompe la formación, toda la parte de la columna que haya pasado la demarcación se irá retrasando de la restante y formando con ella un ángulo obtuso, en el punto de transición de la línea de demarcación. Y como la necesidad de marcar el paso, sin estorbarse unos a otros, hace que cada soldado marche de frente, es decir, formando un ángulo recto con el nuevo frente de la columna, tendremos, que el camino que cada cual sigue después de pasar la línea será, en primer lugar, perpendicular al nuevo frente, y en segundo, guardará una relación con el camino que habría recorrido, de no haberse retrasado, igual a la que existe entre la nueva velocidad y la anterior».

De una forma más reducida, nosotros podemos repetir esta representación gráfica de la refracción de la luz, en nuestra propia mesa. Para ello, una mitad de esta mesa se cubre con un mantel (fig. 109) y, después de inclinarla un poco, se hace que ruede por ella un par de ruedecitas fijas en un eje común (pue-

den servir las de cualquier juguete roto). Si la dirección en que se mueve este par de ruedas y la del borde del mantel forman entre sí un ángulo recto, el camino no se tuerce. En este caso tenemos una ilustración de la regla óptica que dice: Todo rayo de luz, perpendicular al plano de separación de dos medios diferentes, no se refracta. Pero si la dirección del movimiento de las ruedecitas está inclinada con respecto al borde del mantel, el camino que siguen aquéllas se tuerce al llegar a dicho borde, es decir, en la divisoria entre los dos medios que determinan la diferencia en la velocidad de las ruedecitas. No es difícil darse cuenta de que, al pasar de la parte de la mesa en que la velocidad del movimiento es mayor (la desprovista de mantel), a la parte en que dicha velocidad es menor (la cubierta por el mantel), la dirección del camino (del «rayo») tiende a aproximarse a la «perpendicular de incidencia». En el caso contrario, se observa una tendencia a separarse de dicha perpendicular.

De esto puede sacarse una enseñanza de gran importancia, que revela la esencia del fenómeno que examinamos y que consiste en que, la refracción está condicionada por la diferencia de velocidades de la luz en ambos medios. Cuanto mayor sea esta diferencia de velocidades, tanto mayor será la refracción; es decir, que el denominado «índice de refracción», que caracteriza la magnitud de la desviación que sufren los rayos, no es otra cosa, que la relación entre estas velocidades. Cuando leemos, que el índice de refracción para el paso del aire al agua es de $4/3$, nos enteramos al mismo tiempo de que, la luz se transmite en el aire 1,3 veces más de prisa que en el agua.

Esta propiedad está relacionada con otra peculiaridad de la refracción de la luz, que consiste en que: de la misma manera que el rayo de luz sigue al reflejarse el camino *más corto*, al refractarse elige el camino *más rápido*, es decir, que no hay ninguna otra dirección que conduzca más rápidamente el rayo de luz a su «punto de destino», que esta línea quebrada.

¿CUANDO SE RECORRE MAS PRONTO UN CAMINO LARGO QUE OTRO CORTO?

¿Es posible que una línea quebrada pueda conducir al objetivo más rápidamente que una recta? Sí, en aquellos casos en que la velocidad del movimiento es distinta en las diferentes partes del camino recorrido. Recordemos si no lo que hacen los habitantes de los pueblos, que encontrándose entre dos estaciones de ferrocarril, están más cerca de una de ellas. Cuando necesitan ir a la estación más lejana, van a caballo, en dirección *contraria*, hasta la estación más próxima, y allí toman el tren y

van hasta su punto de destino. El camino *más corto* sería irse directamente, a caballo, a la estación más lejana, pero ellos prefieren recorrer el más largo, primero a caballo y luego en un vagón de ferrocarril, porque así llegan *antes* a su objetivo.

Prestemos un minuto de atención a otro ejemplo. Un soldado de caballería debe llevar un parte desde el punto *A* a la tienda de campaña de su jefe, la cual se encuentra en el punto *C* (fig. 10). Le separan de dicha tienda dos zonas, una formada por arenas profundas y otra por un prado, divididas entre sí por la línea recta *EF*. Por la arena, el caballo marcha dos veces más despacio que por el prado. ¿Qué camino deberá seguir el jinete, para llegar cuanto antes a la tienda de su jefe?

A primera vista, parece que el camino más rápido será el que va en línea recta desde el punto *A* al punto *C*. Pero esto es totalmente erróneo, y yo creo que ningún jinete elegiría este camino. La lentitud de la marcha por el arenal le hará pensar en la manera de acortar esta parte del camino, atravesando la zona arenosa por la línea menos oblicua. Naturalmente, al proceder así, alargará la segunda parte del recorrido; pero como quiera que por el prado puede marchar dos veces más de prisa, el tiempo en recorrer el trozo en que se alargue esta parte no excederá del que se economiza acortando la parte arenosa, y en total, se tardará menos tiempo en recorrer todo el camino. En otras palabras, el camino a seguir por el jinete debe *desviarse* al pasar el límite entre los dos terrenos, y esta desviación se caracterizará, porque el camino a seguir por el prado formará con la perpendicular a la línea divisoria un ángulo mayor que el que forma con ella el camino por el arenal.

Todo aquel que sepa geometría, y especialmente el teorema de Pitágoras, puede comprobar, que el camino en línea recta *AC* no es realmente el más rápido, y que, teniendo en cuenta la anchura de las zonas y las distancias a que aquí nos referi-

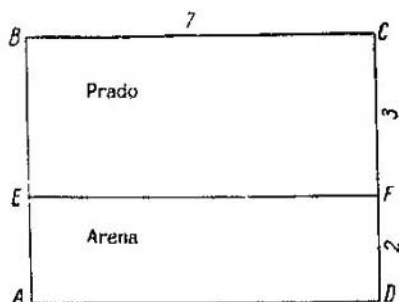


Fig. 110. El problema del jinete. Hallar el camino más rápido desde *A* a *C*.

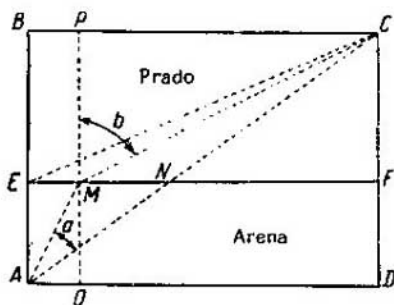


Fig. 111. Solución del problema del jinete. El camino más rápido es AMC .

mos, se llegará más pronto al objetivo siguiendo, por ejemplo, la línea quebrada AEC (fig. 111).

En la fig. 110 puede verse, que la anchura de la zona arenosa es de 2 km, y la del prado, de 3 km. La distancia BC es de 7 km. En este caso, la distancia AC (fig. 111) será igual, por el teorema de Pitágoras, a $\sqrt{5^2 + 7^2} = \sqrt{74} = 8,60$ km. La parte AN , correspondiente a la zona arenosa de este segmento, será igual, como es fácil de comprender, a $2/5$ de esta magnitud, es decir, a 3,44 km. Como quiera que la marcha por la arena es dos veces más lenta que por el prado, para recorrer estos 3,44 km se necesitará el mismo tiempo que para recorrer 6,88 km por el prado. Por consiguiente, el camino combinado total, por la línea AC , cuya longitud efectiva es de 8,60 km, corresponde, atendiendo al tiempo que se tarda en recorrerlo, a un camino de 12,04 km por el prado.

Hagamos ahora una idéntica «reducción al prado» para el camino en línea quebrada AEC . Su parte $AE = 2$ km, representará 4 km por el prado. La parte $EC = \sqrt{3^2 + 7^2} = \sqrt{58} = 7,6$ km.

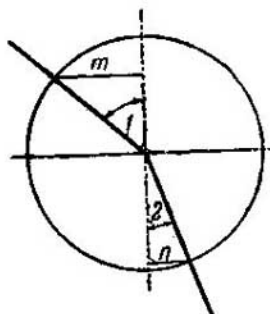


Fig. 112. ¿Qué es el «seno»? La razón de m al radio, es el seno del ángulo 1; la razón de n al radio, es el seno del ángulo 2.

En total, la línea quebrada AEC corresponderá a $4+7,6=11,6$ km por el prado.

De esta forma, el camino «más corto», en línea recta, corresponde a 12,0 km de recorrido por el prado, mientras que el «más largo», en línea quebrada, solamente 11,6 km por este mismo terreno. Como vemos el «camino más largo» da una ventaja de $12,0-11,6=0,5$ km, es decir, de cerca de medio kilómetro. Pero aún no hemos determinado el camino *más rápido*. Este camino más rápido, según nos enseña la teoría, será aquel, en que (aquí tendremos que recurrir a la trigonometría) la relación entre el seno del ángulo b y el seno del ángulo a sea igual a la relación entre la velocidad por el prado y la velocidad por el arenal, es decir, a 2:1. En otras palabras, hay que elegir una dirección para la cual el $\text{sen } b$ sea dos veces mayor que el $\text{sen } a$. Para esto, hay que cruzar el límite entre las zonas en un punto M , que se encuentre a un kilómetro de distancia del punto E . Efectivamente, en este caso $\text{sen } b = \frac{6}{\sqrt{3^2+6^2}}$, y $\text{sen } a = \frac{1}{\sqrt{1+2^2}}$, y

la relación

$$\frac{\text{sen } b}{\text{sen } a} = \frac{6}{\sqrt{45}} : \frac{1}{\sqrt{5}} = \frac{6}{3\sqrt{5}} : \frac{1}{\sqrt{5}} = 2,$$

es decir, igual a la relación entre las velocidades.

Y, ¿cuál será en este caso la longitud total el camino «reducida al prado»?

Calculémosla: $AM = \sqrt{2^2+1^2}$ lo que corresponde a 4,47 km de camino por el prado. $MC = \sqrt{3^2+6^2} = 6,49$ km. Por consiguiente, la longitud total del camino «reducida al prado» será igual a $4,47+6,49=10,96$, es decir, 1,08 km *más* corto que el camino en línea recta, el cual, como ya sabemos, corresponde a 12,04 km.

Vemos claramente las ventajas que proporciona, en estas condiciones, el camino en línea quebrada. El rayo de luz elige, precisamente, este camino más rápido, porque la ley de la refracción de la luz satisface rigurosamente las condiciones de la solución matemática del problema, es decir, la relación entre el seno del ángulo de refracción y el seno del ángulo de incidencia, es igual a la relación entre la velocidad de la luz en el nuevo medio y la velocidad de la luz en el medio de que procede; por otra parte, esta relación es igual al índice de refracción de la luz entre dichos medios.

Uniéndolo en una regla las peculiaridades de la reflexión y de la refracción, podemos decir, que el rayo de luz sigue en to-

dos los casos el camino *más rápido*, o sea, sigue la regla que los físicos llaman «principio de la llegada más rápida» (principio de Fermat).

Si el medio no es homogéneo y su capacidad de refracción varía paulatinamente, como ocurre, por ejemplo, con nuestra atmósfera, también se cumple el «principio de la llegada más rápida». Esto explica la pequeña desviación que los rayos de los cuerpos celestes experimentan al atravesar la atmósfera, y que en el lenguaje de los astrónomos recibe el nombre de «refracción atmosférica». En la atmósfera, cuya densidad aumenta paulatinamente hacia abajo, el rayo de luz se desvía de tal manera, que su parte cóncava mira hacia la Tierra. En este caso, el rayo permanece más tiempo en las capas superiores, que retrasan menos su marcha, y menos tiempo en las capas inferiores «lentas», y, en definitiva, llega a su objetivo antes que si siguiera exactamente el camino en línea recta.

El «principio de la llegada más rápida» (principio de Fermat) no se cumple solamente en los fenómenos de la propagación de la luz, sino también en los de propagación *del sonido* y de todos los movimientos *ondulatorios*, cualquiera que sea la naturaleza de sus ondas. El lector querrá saber seguramente, cómo se explica esta peculiaridad de los movimientos ondulatorios. Para satisfacer esta curiosidad, incluyo a continuación una idea referente a este particular, expresada por el eminente físico contemporáneo Schrödinger*. Partía del ejemplo, ya conocido, de los soldados marchando en formación, y consideraba el caso de la propagación de un rayo de luz en un medio cuya densidad cambia paulatinamente.

«Supongamos — escribía — que para conservar rigurosamente la rectitud del frente, los soldados van unidos entre sí por una barra larga, que cada uno sostiene fuertemente en sus manos. La orden dada es la siguiente: ¡Corred todos, lo más velozmente que podáis! Si el carácter del terreno varía paulatinamente de un punto a otro, veremos, que al principio, por ejemplo, se moverá más de prisa el ala derecha, mientras que después, la izquierda, produciéndose un giro espontáneo del frente. Al ocurrir esto, nos daremos cuenta de que, el camino recorrido no es rectilíneo, sino curvado. Pero, que este camino coincide rigurosamente con el más corto, en el sentido del tiempo de llegada al punto dado, en las condiciones de terreno dadas, está bastante claro, puesto que cada soldado procuró correr lo más velozmente posible».

* En la disertación leída en Estocolmo con motivo de la recepción del premio Nobel (en 1933).

Indudablemente todos recordamos cómo los protagonistas de la novela de Julio Verne «La Isla Misteriosa», abandonados en su deshabitada tierra, encendieron fuego sin tener cerillas ni eslabón. A Robinsón le ayudó el rayo, incendiando un árbol, pero a los nuevos Robinsones de Julio Verne no fue la casualidad, sino el ingenio de un experto ingeniero y el sólido conocimiento de las leyes de la Física. Recordemos cómo se sorprendió el ingenuo marino Pencroff, cuando al regresar de la caza, encontró al ingeniero y al periodista junto a la hoguera.

«—Pero, ¿quién ha encendido esta lumbre? — preguntó el marino.

— El Sol — respondió Spilett.

El periodista no bromeaba. Fue, efectivamente, el Sol el que hizo arder este fuego del que tanto se admiraba el marino. Pero a éste le parecía mentira lo que veían sus ojos, y era tanta su admiración, que no pudo dejar de interrogar al ingeniero.

— Ah, ¿tenía usted un cristal de aumento? — le preguntó Harbert al ingeniero.

— No, pero lo he hecho.

Dijo esto, y acto seguido se lo mostró. Estaba hecho de dos vidrios, que el ingeniero había quitado de su reloj y del de Spilett. Había unido sus bordes con arcilla, después de llenar de agua la cavidad que entre ellos quedaba, y de esta manera consiguió una lente en forma de lenteja; valiéndose de la cual, había hecho arder un puñado de musgo seco, concentrando sobre él los rayos del Sol.

El lector querrá saber, para qué es necesario llenar de agua el espacio entre los dos vidrios de reloj y quizá se haga la pregunta: ¿Acaso no puede concentrar los rayos una lente biconvexa llena de aire?

No, no puede. El vidrio de reloj está limitado por dos superficies paralelas (concéntricas), una exterior y otra interior, y, como sabemos por la Física, los rayos, al atravesar un medio limitado por superficies de este tipo, no cambian casi de dirección. Tampoco se desvían al pasar por el segundo vidrio, y, por lo tanto, no se concentran en el foco. Para que los rayos se concentren en un punto hay que llenar el espacio que queda entre los vidrios de una sustancia transparente cualquiera, que refracte los rayos de luz más que el aire. Esto es lo hizo el ingeniero de la novela de Julio Verne.

Una botella o jarra cualquiera, siempre que tenga forma esférica y esté llena de agua, también puede hacer las veces de

lente y encender fuego. Esta propiedad era conocida ya en la antigüedad, y ya entonces se dieron cuenta de que, al ocurrir esto, el agua seguía estando fría. Se han dado casos, en que una jarra de agua, puesta en una ventana abierta, ha incendiado cortinas y manteles o carbonizado una mesa. Aquellas enormes botellas esféricas, llenas de agua coloreada, que adornaban tradicionalmente los escaparates de las farmacias, pudieron ocasionar verdaderas catástrofes, haciendo arder las sustancias inflamables que se encontraban cerca de ellas.

Un pequeño matraz esférico, lleno de agua, es suficiente para hacer hervir el agua que cabe en un vidrio de reloj. Para esto basta un matraz de 12 centímetros de diámetro. Cuando el diámetro es de 15 cm, en el foco* se obtiene una temperatura de 120°C. Encender un cigarro, valiéndose de un matraz con agua, es algo tan fácil como hacerlo con la lente de vidrio, de la cual decía Lomonosov en su poesía «A la utilidad del vidrio»:

Imitando no poco a Prometeo,
Hacemos llamas de Sol con un cristal.
Y reprobando la ruindad falsaria,
Fuego del cielo usamos al fumar.

Debemos advertir sin embargo, que el efecto que producen las lentes de agua es considerablemente menor que el de las de vidrio. Esto se debe, en primer lugar, a que la refracción de la luz es mucho menor en el agua que en el vidrio, y en segundo, a que el agua absorbe una gran cantidad de rayos infrarrojos, los cuales juegan un papel importante en el calentamiento de los cuerpos.

Es interesante el hecho de que los antiguos griegos, más de mil años antes de que se inventaran los anteojos y catalejos, sabían ya que las lentes podían producir el fuego. De esto nos habla Aristófanes en su célebre comedia «Las Nubes». En ella, Sócrates le plantea a Estreptíades el siguiente problema: «Si alguien escribiese que tienes la obligación de pagar cinco talentos, ¿qué harías para destruir esta escritura?»

Estreptíades. He pensado cómo destruir esa escritura, y se trata de un procedimiento, que tú mismo reconocerás que es ingenioso. ¿Has visto en las boticas esa maravillosa piedra transparente, con la cual prenden el fuego?»

Sócrates. ¿El cristal encendedor?

Estreptíades. Ese mismo.

Sócrates. ¿Y, qué más?

Estreptiades. Mientras el notario esté escribiendo, yo me pondré detrás de él, dirigiré los rayos del Sol hacia la escritura y derretiré todas las palabras...»

Debemos recordar, que los griegos de la época de Aristófanes escribían sobre tablillas enceradas, las cuales podían fundirse fácilmente con el calor.

¿COMO HACER FUEGO CON EL HIELO?

Para hacer lentes biconvexas y, por consiguiente, para encender fuego, puede emplearse también el hielo, siempre que su transparencia sea suficiente. En este caso, al refractar los rayos de luz, el hielo ni se calienta ni se funde. El índice de refracción del hielo es poco menor que el del agua, y si, como hemos visto, se puede encender fuego valiéndose de una esfera llena de agua, también se puede conseguir esto empleando lentes de hielo.

Estas lentes de hielo prestaron un buen servicio a los protagonistas de la novela de Julio Verne «Aventuras del capitán



Fig. 113. «El doctor hizo pasar los rayos por la lente, y los concentró en la yesca».

Hatteras». En ella, el doctor Clawbonny hace arder la hoguera por este procedimiento, cuando los expedicionarios perdieron el eslabón y se encontraron privados de fuego con un frío de 48 grados bajo cero.

«— Esto es una desgracia — dijo Hatteras al doctor.

— Sí — respondió éste.

— No tenemos ni siquiera un catalejos, del que se pudieran quitar las lentes y encender fuego.

— Lo sé — respondió el doctor — y siento mucho que así sea, porque los rayos solares tienen fuerza suficiente para encender la yesca.

— ¿Qué hacer? Tendremos que saciar el hambre con carne de oso cruda — sugirió Hatteras.

— Sí — susurró pensativo el doctor —, en último caso. Pero, ¿por qué no?...

— ¿Qué piensa usted? — se interesó Hatteras.

— Se me ha ocurrido una idea...

— ¿Una idea? — exclamó el contraмаestre —. Si se le ha ocurrido a usted una idea, estamos salvados.

— No sé cómo saldrá — dudó el doctor.

— Pero, ¿qué es lo que ha pensado? — interrogó Hatteras.

— No tenemos lente, pero podemos hacerla.

— ¿Cómo? — se interesó el contraмаestre.

— La puliremos de un trozo de hielo.

— ¿Es posible qué?

— ¿Y, por qué no? Lo único que hace falta es concentrar los rayos de Sol en un punto, y, para este fin, el hielo puede servir lo mismo que el mejor cristal. Claro que yo preferiría un trozo de hielo de agua dulce, porque sería más duro y más transparente.

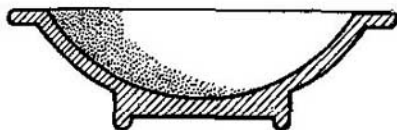
— Pues, si no me equivoco — dijo el contraмаestre señalando un témpano que se alzaba a unos cien pasos de ellos —, ese témpano, a juzgar por su color, es precisamente lo que usted necesita.

— Lleva usted razón. Coja un hacha. ¡Vamos, amigos!

Los tres se dirigieron hacia el témpano indicado. Efectivamente, el hielo era de agua dulce.

El doctor pidió que cortaran un trozo de hielo de un pie de diámetro y comenzó a tallarlo con el hacha. Después lo repasó con el cuchillo y finalmente lo fue puliendo, poco a poco, con la mano. Resultó una lente tan transparente como de mejor cristal. Hacía un sol bastante claro. El doctor hizo pasar los rayos por la lente, y los concentró en la yesca. Al cabo de unos segundos, ésta comenzó a arder».

Fig. 114. Vasiija para hacer lentes de hielo.



Esta narración de Julio Verne no es fantástica en su totalidad. En Inglaterra se hicieron, en 1763, los primeros intentos satisfactorios de encender un trozo de madera valiéndose de una lente de hielo de gran tamaño. Desde entonces, estos experimentos se han repetido con éxito. Claro que es difícil hacer una lente *transparente* con unas herramientas tan rudimentarias como un hacha, un cuchillo y una «simple mano» (¡a 48 grados de frío!). Pero la lente de hielo se puede hacer por un procedimiento más sencillo, que consiste en echar agua en una vasija de fornia a propósito y dejarla que se hiele. Después, se calienta ligeramente la vasija y se extrae la lente acabada.

CON AYUDA DE LOS RAYOS SOLARES

En aquellos países en que hay nieve en invierno, se puede hacer fácilmente otro experimento. Un día de Sol se toman dos trozos de tela, uno de color claro y otro negro, cuyas dimensiones sean iguales, y se colocan sobre la nieve. Al cabo de una o dos horas podremos observar que el trozo negro se ha hundido en la nieve, mientras que el claro continúa al mismo nivel. No es difícil hallar la causa de esta diferencia. Se trata simplemente de que la nieve se funde más intensamente debajo de la tela negra, porque ésta absorbe una gran parte de los rayos solares que caen sobre ella; mientras que la tela clara, por el contrario, dispersa la mayor parte de estos rayos y se calienta mucho menos que la negra.

El primero en hacer este experimento fue Benjamín Franklin, insigne luchador por la independencia de los Estados Unidos de América del Norte, que se inmortalizó como físico con la invención del pararrayos. «Cogí a un sastre varios trozos de tela cuadrados — escribía Franklin —. Entre ellos lo había de color negro, azul oscuro, azul claro, verde, púrpuro, rojo, blanco y de otros colores y tonalidades. Una mañana de claro sol, puse todos estos trozos de tela sobre la nieve. Al cabo de unas horas, el trozo negro, que se había calentado más que los otros, era tanto lo que se había hundido, que los rayos de sol no llegaban ya a él; el azul oscuro se había hundido casi tanto como el negro; el azul claro, bastante menos, y los demás colores, cuan-

to más claros, menos se hundieron. El blanco se quedó en la superficie, es decir, no se hundió en absoluto».

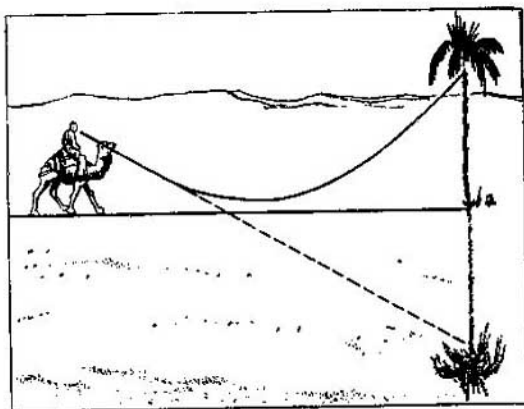
«¿Para qué serviría la teoría si de ella no se pudieran obtener beneficios prácticos? — exclamaba él a este propósito y continuaba —: ¿A caso no podemos deducir de este experimento que los trajes negros son menos apropiados que los blancos para los climas templados y de mucho sol? Naturalmente, puesto que con ellos nuestro cuerpo se calienta más al sol, y si además hacemos movimientos, que de por sí contribuyen a calentarnos, el calor será excesivo. ¿No deberían ser los sombreros de verano de color blanco, para evitar así ese calor que llega a producir la insolación a ciertas personas? Es más, si se pintaran las paredes de negro, ¿no podrían acaso absorber durante el día tanto calor, que por la noche se conservasen, hasta cierto punto, templadas y pudieran evitar que se helasen las frutas? ¿Es que no puede un observador atento tropezarse con otras particularidades más o menos importantes?»

Una idea de la importancia de estas deducciones y de la utilidad de su empleo, nos la ofrece el ejemplo de la expedición alemana al polo sur, efectuada en el año 1903, con el buque «Gauss». Este buque fue aprisionado por los hielos y ninguno de los procedimientos ordinarios empleados para su liberación dio resultado. Las materias explosivas y las sierras que se pusieron en juego, sirvieron para apartar unos cuantos centenares de metros cúbicos de hielo, pero no para liberar al navío. Entonces, los expedicionarios recurrieron a la ayuda de los rayos solares. Trazaron sobre el hielo una franja oscura de ceniza y carbón, de 2 km de largo y unos 10 m de ancho, la cual conducía desde el barco hasta la más próxima de las grietas que había en el hielo. Era verano, y en el polo hacía unos días despejados y largos, durante los cuales, los rayos solares consiguieron lo que fue imposible para la dinamita y las sierras. El hielo, al fundirse, se rompió a lo largo de la franja recubierta y el buque quedó liberado.

LO VIEJO Y LO NUEVO DEL ESPEJISMO

Lo más probable es que todos sepan la causa física del espejismo ordinario. Las arenas del desierto, caldeadas por el calor, adquieren propiedades semejantes a las de un espejo, porque la capa de aire caliente que linda con ellas es menos densa que las superiores. Todo rayo de luz oblicuo, procedente de cualquier objeto bastante alejado, al encontrarse con esta capa de aire se desvía, de forma, que al seguir adelante vuelve a ale-

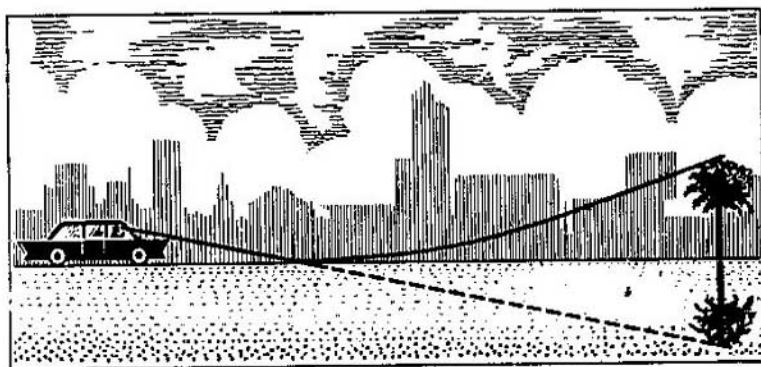
Fig. 115. ¿Cómo se produce el espejismo en el desierto? Este dibujo, que generalmente reproducen los libros de texto, representa el camino que sigue un rayo de luz, cuyo ángulo de inclinación con respecto a la tierra está muy aumentado.



jarse del suelo y llega a los ojos del observador lo mismo que si se hubiera reflejado en un espejo formando un gran ángulo de incidencia. Esto hace, que el observador sienta la impresión de que ante él se abre en el desierto una extensión de agua, en la cual se reflejan los objetos que hay en sus orillas (fig. 115).

Mejor sería decir, que la capa de aire caliente que linda con el suelo caldeado, refleja los rayos de luz, no como un espejo, sino como lo hace la superficie del agua cuando se mira desde abajo, es decir, desde dentro del agua. En este caso no se produce una reflexión ordinaria, sino lo que se llama en física una «reflexión interna». Para que así ocurra, el rayo de luz tiene

Fig. 116. El espejismo en una carretera alquitranada.



que entrar en esta capa de aire muy oblicuamente (mucho más de lo que se ve en la reproducción simplificada de la fig. 115); de lo contrario, no superaría el «ángulo máximo» de incidencia del rayo y no se produciría la «reflexión interna».

Señalemos de pasada uno de los puntos de esta teoría que puede parecer raro. La explicación que acabamos de dar exige que las capas de aire estén dispuestas de tal manera, que las más densas se encuentren encima de las de menor densidad. Sabemos sin embargo, que el aire denso, y por consiguiente el más pesado, tiende siempre a descender y a desplazar hacia arriba a la capa de aire más ligera, que se encuentra debajo. ¿Cómo puede entonces producirse la disposición de las capas, densas y enrarecidas del aire, que hace falta para que se dé el espejismo?

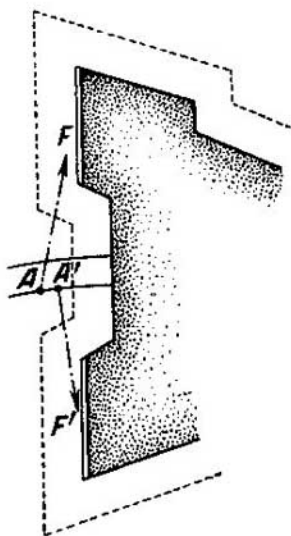
La explicación está en que esta disposición de las capas no se produce en un aire inmóvil, sino en un aire que está en movimiento. La capa de aire que calienta el suelo no permanece sobre él, sino que es desplazada constantemente hacia arriba y sustituida por otra capa nueva, la cual se calienta casi en el acto. Este cambio ininterrumpido da lugar a que, junto a la arena caldeada se encuentra siempre una capa de aire enrarecido, que, aunque no siempre sea la misma, es la que influye en la marcha de los rayos.

Este tipo de espejismo, que acabamos de examinar, se conoce desde la más remota antigüedad. La meteorología moderna lo designa con el nombre de «espejismo inferior» (para diferenciarlo del «superior», que es el que produce la reflexión de los rayos de luz en las capas de aire enrarecido de las altas regiones de la atmósfera). La mayoría de las personas están convencidas de que este espejismo clásico se observa exclusivamente en el aire tórrido de los desiertos del sur y de que no puede producirse en otras latitudes más al norte. No obstante, el espejismo inferior puede observarse frecuentemente en nuestras latitudes.

Fenómenos semejantes se producen asiduamente en las carreteras asfaltadas o alquitranadas, las cuales, debido a su color oscuro, se calientan mucho al sol. Cuando esto ocurre, desde lejos parece que la superficie mate de estas carreteras está húmeda y que refleja los objetos distantes. El camino que siguen los rayos de luz, en este espejismo, se muestra en la fig. 116. Cuando uno es un poco observador, estos fenómenos se suelen ver más a menudo de lo que en general se piensa.

Hay otro tipo de espejismo, el espejismo *lateral*, cuya existencia ni se sospecha por lo general. Se trata del reflejo produ-

Fig. 117. Plano del fuerte en que se observó el espejismo. La pared F parecía un espejo desde el punto A y la pared F' daba la misma sensación desde el punto A' .



cido por las paredes verticales calientes. A este tipo corresponde el caso que nos refiere un autor francés. Cuando se acercaba a un fuerte, se dio cuenta de que una de sus paredes de hormigón comenzó a brillar de improviso, lo mismo que un espejo, y a reflejar el paisaje, el suelo y el cielo. Después de dar varios pasos, observó esta misma transformación en otra de las paredes del fuerte. Daba la impresión de que aquella superficie gris y desigual se convertía instantáneamente en lisa y pulida. Hacía un día muy caluroso y las paredes debían estar muy caldeadas; en esto consistía el secreto del espejismo de las paredes. En la fig. 117 se muestra la disposición de las paredes del fuerte (F y F') y los lugares en que se encontraba el observador (A a A'). Después resultó, que el espejismo se observaba cada vez que los rayos solares calentaban suficientemente la pared. Hasta se consiguió fotografiar este fenómeno.

En la fig. 118 se ve (a la izquierda) la pared F del fuerte, primeramente mate, y después brillante (a la derecha) como un espejo (fotografiada desde el punto A'). En la foto de la izquierda se distingue el hormigón gris y ordinario, en el cual no pueden reflejarse las figuras de los dos soldados que junto a la pared se encuentran. En la de la derecha, se ve esta misma pared cuando la mayor parte de ella adquirió propiedades semejantes a las del espejo y reproduce *simétricamente* la imagen del soldado más próximo a ella. Está claro, que donde se reflejan los rayos de luz no es en la superficie de la pared, sino en la capa de aire caliente contigua a ella.

En los días calurosos de verano deberíamos prestar más atención a las paredes caldeadas de los grandes edificios y procurar

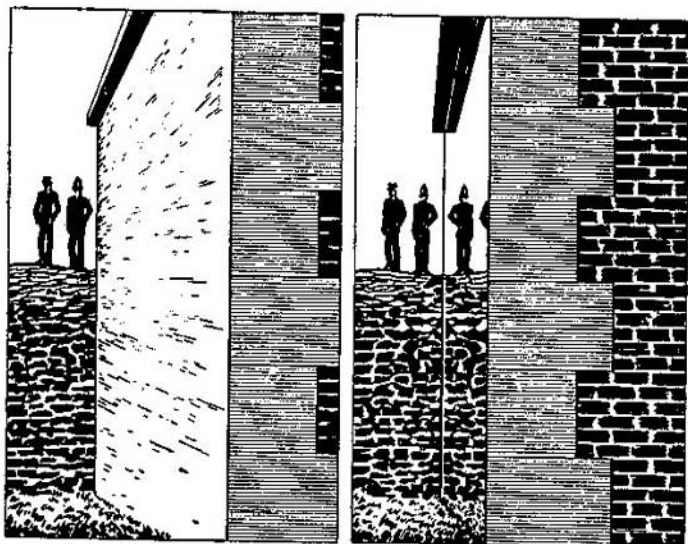


Fig. 118. La pared gris e irregular del fuerte (a la izquierda) se transformaba de repente en una superficie pulida, que reflejaba las imágenes (a la derecha).

descubrir si se produce en ellas el fenómeno del espejismo. Indudablemente, los casos de espejismo se observarían con mucha más frecuencia si prestáramos a ellos más atención.

EL «RAYO VERDE»

«¿Ha presenciado usted alguna vez la puesta del Sol en el mar? Sí, indudablemente. ¿Y siguió al Sol hasta ese momento en que la parte superior de su disco toca la línea del horizonte y luego desaparece? Probablemente también. Pero, ¿se dio cuenta de un fenómeno que suele ocurrir en el momento en que el astro radiante lanza su último rayo, cuando el cielo está completamente despejado y transparente? Puede que no. Pues, no pierda la ocasión de presenciar este fenómeno. Sus ojos percibirán, no un rayo rojo, sino un rayo de maravilloso color verde, de un color, que no hay pintor que pueda reproducirlo en su paleta y que la propia naturaleza no ha repetido ni en los diversos tonos de las plantas, ni en el color más transparente de los mares».

Un comentario como éste, publicado en un periódico inglés, entusiasmó de tal forma a la joven protagonista de la novela de Julio Verne «El Rayo Verde», que resolvió emprender una serie de viajes con el único fin de ver con sus propios ojos el mencionado rayo. La joven escocesa no consiguió, según la narración del novelista, observar este bello fenómeno de la naturaleza. No obstante, el rayo verde existe. El rayo verde no es una simple leyenda, a pesar de que con él guarden relación muchas historias legendarias. El rayo verde es un fenómeno que puede admirar todo aquel que tenga afición a la naturaleza, siempre que lo busque con suficiente paciencia.

¿Por qué se produce el rayo verde?

Para comprender la causa de este fenómeno hay que recordar cómo vemos los objetos cuando los miramos a través de un prisma de cristal. Hagamos, por ejemplo, el siguiente experimento: cojamos un prisma de cristal y, teniéndolo delante del ojo horizontalmente, con la parte ancha hacia abajo, miremos a través de él una hoja de papel blanco clavada en la pared. Notaremos, en primer lugar, que dicha hoja sube a una altura mucho mayor que la que ocupa en realidad, y, en segundo lugar, que tiene en su parte superior un borde violáceo azulado y en la parte inferior otro borde amarillo rojizo. La elevación depende de la refracción de la luz y los bordes coloreados, de la dispersión que produce el cristal, es decir, de la propiedad que tiene éste de refractar *distintamente* los rayos de colores distintos. Los rayos violeta y azules se refractan más que los restantes, por lo cual, el borde que vemos en la parte superior es violáceo azulado; los rayos rojos, por el contrario, son los que menos se refractan, por cuya razón vemos nuestra hoja de papel con un borde rojo en su parte inferior.

Para en adelante comprender mejor, es conveniente detenernos un poco en el origen de estos bordes coloreados. El prisma descompone la luz blanca, procedente del papel, en todos los colores del espectro, produciendo una multitud de imágenes de dicha hoja de papel, situadas en el orden correspondiente a la refracción de los distintos colores, pero superpuestas parcialmente unas a otras. De la acción simultánea de estas imágenes coloreadas superpuestas, nuestro ojo recibe la sensación del color blanco (suma de los colores del espectro), pero por arriba y por abajo sobresalen los bordes de los colores que no se mezclan. Goethe, el insigne poeta y naturalista alemán del siglo XVIII, que hizo este experimento, pero que no comprendió su sentido, pensó, que acababa de descubrir la falsedad de la teoría de Newton sobre los colores, y escribió su propia «Ciencia de

los Colores», la cual está basada casi totalmente en ideas falsas. Es de suponer que nuestros lectores no repetirán los errores de este gran poeta y no esperarán que el prisma pinte para ellos, con nuevos colores, todos los objetos que les rodean.

La atmósfera terrestre viene a ser para nuestros ojos algo así como un enorme prisma de aire, cuya base está dirigida hacia abajo. Cuando miramos al Sol en el horizonte, lo hacemos a través de este prisma gaseoso. El disco toma por su parte superior un borde de color azul y verde, y por la inferior otro, de color rojo y amarillo. Mientras el Sol se encuentra sobre el horizonte, la claridad de la luz del disco es tan intensa, que apaga estas zonas coloreadas e impide que las veamos. Pero en el momento de la salida y de la puesta del Sol, cuando casi todo el disco está oculto tras el horizonte, podemos ver el borde azul de su parte superior. Este borde es en realidad bicolor: su parte más alta está formada por una franja azul, y la más baja, por una celeste, resultado de la mezcla de rayos azules y verdes. Cuando el aire próximo al horizonte está completamente limpio y transparente, vemos el borde azul, o «rayo azul». Pero con frecuencia, los rayos azules se dispersan en la atmósfera y queda solamente un borde verde; éste es precisamente el fenómeno del «rayo verde». En la mayoría de los casos, la atmósfera está turbia, y dispersa, además de los rayos azules, los verdes. En este caso no se observa ningún borde y el Sol, al ponerse, semeja una esfera purpúrea.

El astrónomo soviético G. Tijov, que consagró al «rayo verde» una investigación especial, nos comunica algunos indicios de la visibilidad de este fenómeno. «Si el Sol tiene color rojo al ponerse y es fácil de contemplar a simple vista, puede decirse con toda seguridad que no habrá rayo verde». La causa es comprensible, porque el color rojo del disco solar indica que en la atmósfera se produce una gran dispersión de los rayos azules y verdes, es decir, de los que forman el borde superior del disco. «Por el contrario — continúa el astrónomo —, si el ordinario color blanquecino amarillento del Sol cambia poco y éste se pone resplandeciente (es decir, cuando la atmósfera absorbe poca luz — Y.P), es muy posible que se produzca el rayo verde. Pero en este caso tiene gran importancia que el horizonte forme una línea bien definida, sin desigualdades, ni bosques próximos, ni edificios, etc. Estas condiciones se dan preferentemente en el mar; he aquí por qué el rayo verde es bien conocido por los marinos».

Quedamos, pues, en que para ver el «rayo verde» hay que observar el Sol, en el momento de salir o de ponerse, cuando

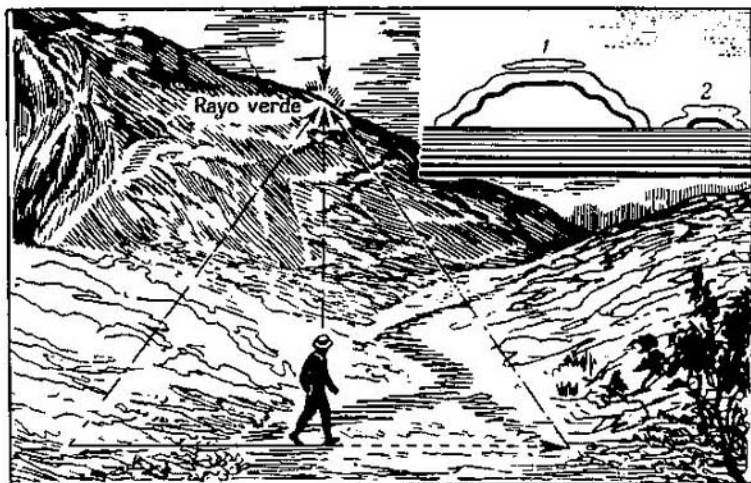


Fig. 119. Una larga observación del «rayo verde». El observador divisó el «rayo verde», detrás de una cordillera, durante 5 minutos. Arriba a la derecha: el «rayo verde» observado con anteojo de larga vista. El disco solar tiene contornos irregulares. En la posición 1, el brillo del Sol ciega los ojos e impide distinguir el margen verde. En la posición 2, cuando el disco solar desaparece casi por completo, el «rayo verde» se hace perceptible a simple vista

el cielo está muy despejado. En los países del sur, el cielo suele ser más transparente en el horizonte, que en los del norte, por lo cual es allí donde este fenómeno se observa con más frecuencia. Pero esto no quiere decir que en las latitudes medias se produzca tan raras veces como muchos creen, seguramente influidos por la novela de Julio Verne. Las búsquedas obstinadas del «rayo verde», tarde o temprano, acaban viéndose coronadas por el éxito. Se han dado casos en que este bello fenómeno se ha podido contemplar con anteojo de larga vista. Dos astrónomos alsacianos describen una observación de este tipo de la forma siguiente:

«...En el último minuto precursor de la puesta del Sol, cuando, por consiguiente, aún se veía una parte apreciable de él, su disco, cuyos límites eran ondulados y móviles, pero bien definidos, estaban rodeados de un margen verde. Mientras el Sol no se puso por completo, este margen no se distinguía a simple vista. Solamente se hizo visible en el momento en que el Sol desapareció tras el horizonte. Si un fenómeno como éste se observa con

un anteojo de suficiente aumento (aproximadamente de 100 veces), se puede seguir minuciosamente todo el transcurso del mismo: el margen verde comienza a notarse, por lo menos, 10 minutos antes de ponerse el Sol; este margen limita la parte superior del disco, mientras que en la inferior se observa un margen rojo. La anchura de este margen es muy pequeña al principio (de varios segundos de arco en total), pero después va aumentando a medida que se pone el Sol. A veces llega a alcanzar hasta medio minuto de arco. Sobre este margen verde suelen verse unas prominencias del mismo color, las cuales, al ir desapareciendo paulatinamente el Sol, parece que se deslizan por su orilla hasta llegar al punto más alto. Algunas veces, estas prominencias se separan del margen, brillan varios segundos aisladas de él y luego se apagan» (fig. 119).

Generalmente, el fenómeno dura un par de segundos. Pero en circunstancias extraordinarias esta duración aumenta sensiblemente. Se ha registrado un caso en que el «rayo verde» se observó... ¡durante más de 5 minutos! El Sol se ocultaba detrás de una lejana montaña, cuando un observador, que caminaba de prisa, vio como el margen verde del disco solar parecía deslizarse por la pendiente de aquélla (fig. 119).

Es muy interesante la observación del «rayo verde» *al salir* el Sol, cuando su parte superior comienza a surgir de detrás del horizonte. Esto desmiente la versión de que el «rayo verde» no es más que una ilusión óptica, que se produce por cansancio del ojo con el brillo del Sol al ponerse.

El Sol no es el único astro que lanza el «rayo verde». Este fenómeno se ha podido observar también al ponerse Venus.

ANTES DE QUE EXISTIERA LA FOTOGRAFIA

La fotografía ha conseguido hacerse tan común en nuestra vida, que casi no podemos imaginarnos cómo podían pasar sin ella nuestros antepasados. Dickens, en su obra «Los Papeles póstumos del club Pickwick», nos cuenta humorísticamente de qué forma grababan la fisonomía del individuo en las instituciones oficiales inglesas hace cien años. La acción del relato tiene lugar en la cárcel de deudores, a donde va a parar Pickwick.

Al llegar allí, le dicen que tiene que estar sentado hasta que saquen su retrato.

«— ¡Hasta que saquen mi retrato! — exclamó mister Pickwick.

— Sí, su imagen y semejanza, sir — le respondió un robusto carcelero —. Nosotros somos maestros en eso de sacar retratos, sépalo usted. No tendrá tiempo de volverse y ya estará hecho el dibujo. Siéntese, sir, como si estuviera en su casa.

Obedeciendo esta invitación, mister Pickwick se sentó, y entonces, Samuel (su criado) le susurró al oído, que la expresión «sacar el retrato» la comprenderían aquí, seguramente, en un sentido figurado.

— Esto quiere decir, sir, que los carceleros mirarán atentamente su fisonomía, para poderlo distinguir de los visitantes.

Con esto comenzó la sesión. Un carcelero grueso miraba distraídamente a mister Pickwick, mientras otro de sus compañeros se puso frente a un nuevo detenido y clavó su fija mirada en él. Un tercer carcelero se detuvo ante la misma nariz de mister Pickwick y empezó a estudiar sus rasgos con toda atención.

Por fin, terminaron de sacarle el retrato, y dijéronle a mister Pickwick que podía entrar en la cárcel».

El papel de estos «retratos», impresos en la memoria, lo hacían antes las relaciones de «señas personales». ¿Recordáis cómo Pushkin describía en «Boris Godunov» a Grigori Otrepiev, según el decreto del zar? «Su talla es baja; el pecho, ancho; una de sus manos, más corta que la otra; los ojos, azules; pelirrojo; en la mejilla tiene una verruga y en la frente otra». Ahora se adjunta simplemente una fotografía.

La fotografía llegó hasta nosotros allá por los años cuarenta del siglo pasado. Primeramente estuvo representada por lo que se denominó «daguerrotipia»*, que reproducía las imágenes en placas metálicas. Este procedimiento de fotografiar era muy incómodo, ya que obligaba a permanecer decenas de minutos delante del aparato.

«Mi abuelo — contaba B. Veinberg, profesor de Física de Leningrado — estuvo sentado delante de la cámara fotográfica, para hacerse un daguerrotipo, del que no se podían sacar copias, ¡cuarenta minutos!».

No obstante, la posibilidad de hacerse un retrato en el cual no intervenía un pintor, era tan nueva y casi maravillosa, que el público tardó mucho en acostumbrarse a esta idea. En una revista rusa del año 1845 se cuenta sobre esto un caso curioso:

«Hay muchas personas que no pueden creer hasta ahora que el daguerrotipo funciona solo. Un señor bastante respetable fue a encargarse un retrato. El dueño (es decir, el fotógrafo — Y.P.) lo sentó, ajustó el cristal, colocó la placa, miró su reloj y se marchó. Mientras el dueño estuvo en la habitación, el respetable señor permaneció sentado sin moverse; pero en cuanto aquél salió por la puerta, el que quería hacerse el retrato no creyó necesario seguir quieto. Se levantó, tomó rapé, miró el daguerrotipo (aparato) por todas partes, acercó el ojo al cristal, movió la cabeza, pensó: ¡qué cosa más ingeniosa! y empezó a pasearse por la sala.

Cuando volvió el dueño, se quedó asombrado junto a la puerta y exclamó:

— Pero, ¿qué hace usted? ¿No le dije que se quedase sentado y quieto?

— Sí, señor, y así lo hice. Me levanté cuando se marchó usted.

— Pues, entonces era cuando había que estar sentado.

— ¿Para qué estar sentado inútilmente?»

El lector creará, que, ahora, ya estamos lejos de todas estas ideas simplistas sobre la fotografía. Sin embargo, en nuestros días, la mayoría de las personas aún no se han acostumbrado por completo a ella, y, dicho sea de paso, son pocos los que saben *mirar* una fotografía acabada. Se me dirá, que para eso no hay que saber nada, basta coger la foto y mirarla. Pero eso no es tan fácil como parece. Las fotografías forman parte de esos objetos domésticos, que, a pesar de su popularidad, no sabemos apro-

vechar como es debido. La mayoría de los fotógrafos, tanto de afición como profesionales — sin hablar de todo el público restante — miran las fotografías *de forma muy diferente a la que hace falta*. Hace un siglo que se conoce el arte fotográfico, pero siguen siendo muchos los que todavía no saben cómo hay que mirar las fotos.

EL ARTE DE MIRAR LAS FOTOGRAFÍAS

Por su estructura, la cámara fotográfica semeja un gran ojo. Lo que se dibuja en el vidrio esmerilado depende de la distancia que hay entre el objetivo y los objetos que se fotografían. El aparato fotográfico fija en la placa la perspectiva que vería uno de nuestros ojos (*uno sólo!*) si lo colocásemos en lugar del objetivo. De aquí se deduce, que si queremos recibir de la fotografía la misma impresión óptica que nos produce la naturaleza, tendremos que:

- 1) mirar las fotos con *un solo ojo*, y
- 2) colocar dichas fotos a *una determinada distancia del ojo*.

No es difícil comprender, que, si miramos las fotos con *los dos ojos*, veremos inevitablemente un cuadro plano y no una imagen profunda. Esto no es más que una consecuencia de las peculiaridades de nuestra vista. Porque cuando miramos un cuerpo, en las retinas de nuestros ojos no se forman dos imágenes iguales, sino que entre lo que ve el ojo derecho y lo que ve el izquierdo hay cierta diferencia (fig. 120). Esta diferencia entre las imágenes es, en esencia, la causa principal de que percibamos el volumen de los cuerpos, porque nuestra conciencia funde estas dos impresiones diferentes en una sola imagen *en relieve* (en esto se basa el estereoscopio). Otra cosa es lo que ocurre cuando el objeto que tenemos delante es plano, como la superficie de una pared, por ejemplo. En este caso, los dos ojos reciben una impresión idéntica y esta identidad es percibida por nuestra conciencia como indicio de que el objeto es plano en toda su extensión.

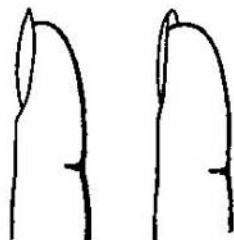


Fig. 120. Un dedo, colocado a poca distancia de la cara, según lo perciben el ojo izquierdo y el derecho respectivamente.

Ahora está claro el error en que incurrimos al mirar una fotografía con los dos ojos. Porque al hacerlo, influimos sobre nuestra conciencia, convenciéndola de que lo que tiene delante es un cuadro plano. Cuando fijamos *ambos* ojos en una fotografía apta para *uno sólo*, nosotros mismos impedimos que dicha fotografía nos dé lo que debería darnos, es decir, anulamos con nuestro error la ilusión que de una manera tan perfecta crea la cámara fotográfica.

¿DESDE QUE DISTANCIA DEBEN MIRARSE LAS FOTOGRAFÍAS?

Tan importante como lo que acabamos de decir es la segunda regla, o sea, la que dice, que las fotografías deben colocarse a *una determinada distancia* del ojo, ya que de lo contrario se altera la perspectiva normal.

¿Qué distancia debe ser ésta?

Para que la impresión sea perfecta hay que mirar las fotos bajo el mismo ángulo que el objetivo del aparato «vio» la imagen en el cristal esmerilado, o lo que es lo mismo, bajo el mismo ángulo con que «vio» los objetos fotografiados (fig. 121). De aquí se deduce, que la distancia desde la foto al ojo debe ser tantas veces menor que la que había entre el objeto y la cámara, como la imagen de éste es menor que su tamaño natural. En otras palabras, la distancia a que hay que mirar la fotografía debe ser aproximadamente igual a la longitud focal del objetivo.

Teniendo en cuenta que la mayoría de los aparatos para aficionados tienen una longitud focal igual a 12—15 cm*, se comprende que nunca miremos estas fotografías desde la distancia que corresponde, ya que la distancia óptima para la vista normal (25 cm) es casi dos veces mayor que la indicada. También parecerán planas las fotografías colgadas en la pared, porque las miramos desde una distancia aún mayor.

Solamente las personas miopes, cuya distancia de visión óptima es más corta (y los niños, que pueden ver desde más cerca), pueden darse el placer de contemplar el efecto que produce una fotografía ordinaria cuando se mira como es debido (con un ojo). Teniendo la foto a 12-15 cm del ojo, ven ante sí, no un cuadro plano, sino una imagen en relieve, en la cual, el primer plano se separa del fondo casi tanto como en el estereoscopio.

* Tanto aquí como en lo sucesivo, el autor se refiere a los aparatos más populares del tiempo en que fue escrita esta obra. (N. de la Edit.)

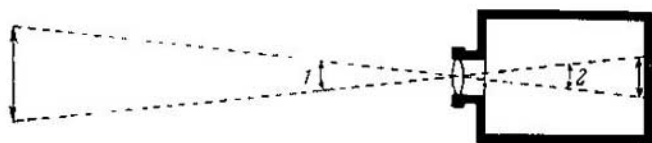


Fig. 121. En el aparato fotográfico, los ángulos 1 y 2 son iguales.

Espero que el lector estará de acuerdo ahora en que, en la mayoría de los casos, si no recibimos de las fotografías toda la satisfacción que podrían producirnos, es por nuestra propia ignorancia, a pesar de que con frecuencia nos quejamos inútilmente de su falta de vida. El secreto está en que no colocamos el ojo en el sitio que le corresponde respecto a la foto y en que miramos con los *dos* ojos una imagen que solamente sirve para uno.

UN EFECTO EXTRAÑO DEL CRISTAL DE AUMENTO

Como hemos dicho, los miopes pueden ver en relieve y sin dificultad las fotografías ordinarias. Pero, ¿qué pueden hacer los que tienen vista normal? Estos no pueden acercar mucho la imagen a su ojo, pero pueden recurrir a un cristal de aumento. Mirando las fotos con una lente de dos aumentos, estas personas pueden adquirir cómodamente las mismas ventajas que tienen los miopes, es decir, pueden ver cómo la fotografía toma relieve y profundidad, sin forzar la vista. La diferencia entre la impresión que produce lo que vemos así y la que nos produce la fotografía cuando la miramos desde lejos, con los dos ojos, es enorme. Este procedimiento de contemplar las fotografías ordinarias produce casi el mismo efecto que el estereoscopio.

Ahora está claro por qué las fotografías suelen adquirir relieve cuando se miran con un ojo y un cristal de aumento. Este es un hecho muy conocido. Sin embargo, la explicación verdadera de este fenómeno se escucha pocas veces. Uno de los críticos de «Física Recreativa» me escribía sobre esto:

«En la edición siguiente examine usted el problema de, ¿por qué parecen en relieve las fotografías vistas a través de una simple lupa? Mi opinión es, que la complicada explicación que se da del estereoscopio no resiste la menor crítica. Pruebe usted mirar por el estereoscopio con un solo ojo y verá como el relieve se conserva a pesar de la teoría».

Para nuestros lectores ha quedado claro que la teoría del estereoscopio no sufre lo más mínimo con este hecho.

En esto mismo se basa el curioso efecto de los llamados «panoramas». En estos pequeños aparatos, una fotografía ordinaria, de un paisaje o de un grupo, se mira con un ojo a través de un cristal de aumento. Esto es suficiente para que se note el relieve; esta ilusión se intensifica generalmente recortando algunos objetos del primer plano y colocándolos delante de la misma fotografía, ya que nuestro ojo es muy sensible al relieve de los objetos más próximos y menos al de los más lejanos.

AMPLIACION DE LAS FOTOGRAFIAS

¿No se pueden hacer las fotografías de tal forma que el ojo *normal* pueda percibir las bien sin necesidad de cristales? No hay ningún inconveniente. Para conseguir esto no hace falta más que emplear cámaras provistas de objetivos de gran longitud focal. Después de lo dicho anteriormente se comprenderá, que una foto hecha con un objetivo de 25-30 *cm* de longitud focal, puede mirarse (con un ojo) desde una distancia normal y parecerá que tiene bastante relieve.

Se pueden conseguir fotos que no parecerán planas aunque se miren con *los dos ojos* y desde una distancia grande. Ya hemos dicho, que cuando ambos ojos perciben imágenes idénticas de un objeto cualquiera, nuestra conciencia las confunde en un cuadro único plano. Pero esta tendencia se debilita rápidamente a medida que la distancia aumente. La práctica demuestra que fotografías obtenidas con objetivos de 70 *cm* de longitud focal, se pueden mirar directamente con los dos ojos, sin que pierdan su perspectiva.

Como quiera que el empleo de objetivos de gran longitud focal resulta bastante incómodo, queremos recomendar otro procedimiento: el *de ampliar* las fotografías obtenidas en los aparatos corrientes. Con esta ampliación está relacionado el aumento de la distancia ideal, desde la cual debe mirarse la fotografía. Si una foto sacada con un objetivo de 15 *cm* se amplía en 4 ó 5 veces, esto será suficiente para recibir el efecto apetecido. Dicha fotografía podrá contemplarse con ambos ojos desde una distancia de 60—75 *cm*.

Es verdad que con la ampliación se pierde cierta nitidez, pero esto no estropea el efecto, porque, desde lejos, apenas si se nota. En cuanto a relieve y perspectiva se refiere, la fotografía mejora indudablemente.

Los espectadores de cine asiduos se habrán dado cuenta del extraordinario relieve que caracteriza a ciertas películas. Sus figuras parece que se separan del fondo y que sobresalen tanto, que se olvida uno de la existencia de la pantalla y cree ver un paisaje de verdad o unos artistas que viven en la escena.

Este relieve de las imágenes no depende de las cualidades de la película, como suele creerse, sino del sitio que ocupa el espectador. Aunque para filmar se emplean generalmente tomavistas de longitud focal bastante pequeña, las películas se proyectan en la pantalla muy ampliadas (en más de cien veces), por cuya razón pueden mirarse desde lejos ($10\text{ cm} \times 100 = 10\text{ m}$) con ambos ojos. El relieve máximo se nota cuando miramos la escena bajo el mismo ángulo con que el tomavistas «vio» el natural al filmarlo. En este caso, ante nosotros se ofrecerá una perspectiva natural.

¿Cómo se puede determinar la distancia correspondiente al ángulo visual óptimo? Para esto hay que buscar un sitio que se encuentre, en primer lugar, *frente al centro del cuadro*, y en segundo, *a una distancia* de la pantalla, que sea tantas veces mayor que la anchura del cuadro, como la longitud focal del objetivo es mayor que la anchura de la película.

Los tomavistas ordinarios se proveen de objetivos de 35, 50, 75 y 100 mm de longitud focal, según sea el carácter de la escena. La anchura normalizada de la película es de 24 mm. Para el foco de 75 mm, por ejemplo, tendremos la siguiente relación:

$$\frac{\text{Distancia que se busca}}{\text{Anchura del cuadro}} = \frac{\text{Longitud focal}}{\text{Anchura de la película}} = \frac{75}{24} \approx 3.$$

Es decir, para hallar a qué distancia de la pantalla debe sentarse uno, no hay más que multiplicar por tres, aproximadamente, el ancho del cuadro de la misma. Si la anchura de la imagen cinematográfica tiene 6 pasos, el mejor sitio para ver estos cuadros se encontrará a 18 pasos de la pantalla.

Esta circunstancia debe tenerse en cuenta durante las pruebas de las diversas proposiciones que se presentan con objeto de hacer estereoscópico el cine, porque de lo contrario, puede ocurrir que se atribuya al invento que se ensaya lo que se debe a las causas antedichas.

UN CONSEJO A LOS LECTORES DE REVISTAS ILUSTRADAS

Las fotografías que reproducen los libros y las revistas tienen, como es natural, las mismas cualidades que sus originales, es decir, también cobran relieve cuando se las mira con un solo ojo y desde la distancia correspondiente. Como quiera que las diversas fotografías están sacadas con aparatos de diferente longitud focal, la distancia más apropiada para mirarlas debe buscarse por medio de pruebas. Para esto, se cierra uno de los ojos y se sostiene la revista con el brazo extendido, de forma, que su plano quede perpendicular a la línea de mira y nuestro ojo abierto, enfrente del centro de la figura. Si en estas condiciones vamos acercando paulatinamente la reproducción, sin dejar de mirarla, no será difícil encontrar el momento en que adquiere el relieve máximo.

Muchas fotografías, que miradas como de costumbre parecen planas y poco nítidas, adquieren nitidez y profundidad cuando se observan por este procedimiento. Con frecuencia, al mirar las fotografías de esta manera, empieza a notarse el brillo del agua y otros efectos puramente estereoscópicos.

Parece mentira, que hechos tan simples sean tan poco conocidos, a pesar de que todo lo que aquí hemos dado a conocer fue expuesto, hace más de medio siglo, en libros populares. En la obra «Bases de la fisiología de la inteligencia», el psicólogo inglés del siglo pasado B. Carpenter, escribía sobre este asunto lo siguiente:

«Merece destacarse, que el efecto de este procedimiento de mirar las fotografías (con un ojo) no se limita a resaltar el relieve de los cuerpos; con él aparecen otras peculiaridades que contribuyen a aumentar incomparablemente la ilusión de viveza y realidad. Esto se refiere principalmente a la representación del agua estancada, que es uno de los lados más débiles de las fotografías en condiciones normales. Efectivamente, si se mira con *ambos* ojos una de esas fotografías en que está representada el agua, su superficie parece de cera; pero cuando la miramos con un *solo* ojo, se observa en ella una transparencia y profundidad admirables. Esto mismo puede decirse también con respecto a otras cualidades de los cuerpos cuyas *superficies* reflejan la luz, como, por ejemplo, el bronce y el marfil. El material de que están hechos los objetos representados en una fotografía es más fácil de reconocer cuando ésta se mira con *un ojo*, en lugar de *con los dos*».

Queremos llamar la atención sobre otro hecho. De la misma manera que las fotografías cobran vitalidad al ser ampliadas,

pierden, en este sentido, cuando se reducen. Las fotografías reducidas suelen tener mayor nitidez y contraste, pero son planas, es decir, no dan la sensación de profundidad y relieve. La causa de que ocurra así puede comprenderse fácilmente después de lo dicho, y se reduce a que, al disminuir la fotografía, disminuye proporcionalmente la «distancia de la perspectiva», la cual es ya de por sí demasiado pequeña.

¿COMO MIRAR LOS CUADROS?

Todo lo que hemos dicho sobre la fotografía puede aplicarse, hasta cierto punto, a los cuadros creados por la mano de un pintor, los cuales suelen verse mejor desde una distancia determinada. Sólo en estas condiciones puede notarse la perspectiva y el cuadro, en vez de plano, parece profundo y en relieve. También es conveniente mirarlo con un ojo, sobre todo si es pequeño.

«Se sabe desde hace tiempo — escribía sobre esto B. Carpenter en el libro citado —, que cuando se mira con atención un cuadro, en el cual, las condiciones de la perspectiva, la luz, las sombras y la disposición general de los detalles corresponden fielmente a la realidad representada, la impresión que produce es mucho más viva si se mira con *un ojo* (y no con *los dos*) y el efecto es aún mayor cuando lo hacemos a través de un tubo, que excluye todo lo ajeno. Este hecho lo explicaban antes de una forma totalmente falsa. «Vemos con un ojo mejor que con dos — decía Bacon —, porque los espíritus vitales se concentran, en este caso, en un sitio y actúan con más fuerza».

Pero la realidad es, que cuando miramos el cuadro con *los dos* ojos y desde una distancia prudencial, nos vemos obligados a reconocerlo como una superficie plana; mientras que si lo hacemos con un solo ojo, nuestra imaginación puede recibir, con más facilidad, la impresión de la perspectiva, de la luz, de las sombras, etc. De aquí, que cuando miramos atentamente, el cuadro no tarda en adquirir relieve y hasta puede alcanzar el volumen del paisaje real. La ilusión será tanto más completa, cuanto más fielmente esté reproducida en el cuadro la proyección real de los objetos en el plano... La ventaja de la visión monocular depende, en estos casos, de la libertad que tiene nuestra mente para interpretar el cuadro a su albedrío, sin que nada le obligue a ver en él un cuadro plano».

Las fotografías reducidas de cuadros grandes, suelen dar una ilusión más completa del relieve que el propio original. Para comprender esto no hay más que recordar, que al reducir el

cuadro disminuye también la distancia, generalmente grande, desde la cual debe mirarse la imagen, y, por consiguiente, la fotografía adquiere relieve desde cerca.

REPRESENTACION DE CUERPOS EN EL PLANO

Todo lo dicho anteriormente sobre cómo mirar las fotografías, los cuadros y los grabados, aunque es verdad en esencia, no debe entenderse en el sentido de que cualquier otro procedimiento de mirar cuadros planos no puede producir en el observador la sensación de volumen. Todo artista, sea pintor, grabador, o fotógrafo, compone las imágenes que representa, de tal forma, que causen esta sensación en el observador, independientemente de cómo las mire, ya que no puede confiarse a que el público que visite su exposición vaya por las salas de la misma con un ojo cerrado y comprobando la distancia de visión óptima para cada cuadro.

La técnica de todo arte plástico, incluida la fotografía, cuenta con amplias posibilidades de trasladar el espacio tridimensional al plano. Porque la diferencia entre las imágenes que producen en los dos ojos los objetos que se encuentran a distintas distancias, no es para nosotros el único indicio de la profundidad del espacio. Otra posibilidad de formarnos una idea de las diferentes distancias a que se encuentran de nosotros los diversos planos de un cuadro, está determinada en alto grado por la llamada «perspectiva aérea», la cual hace que los objetos más alejados nos parezcan menos claros, como si estuviesen difuminados por un velo de aire.

Si los planos más alejados se representan menos nítidos y con tonos más claros, esto, junto con la diferencia de tamaño de los objetos que se encuentran a distintas distancias, da la sensación de profundidad del espacio, independientemente del procedimiento que se emplee para observar el cuadro. El pintor puede crear esta «perspectiva aérea» combinando las tonalidades de luz y de colorido con la correspondiente precisión del dibujo. El fotógrafo artístico consigue un efecto análogo eligiendo acertadamente la iluminación y empleando objetivos «blandos» y papel de la calidad más a propósito para obtener suficiente variedad de tonalidades de luz. En la fotografía también tiene gran importancia el enfoque: si el primer plano se representa nítidamente, mientras que los planos más alejados resultan cada vez más «desenfocados», esto es suficiente, en muchos casos, para dar la sensación de profundidad del espacio; por el contrario, si se utiliza un diafragma pequeño y todos los planos resultan igualmente nítidos, la imagen pierde profundidad y resulta plana.

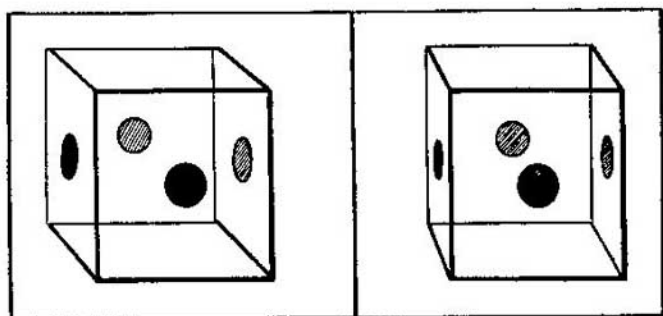


Fig. 122. Un cubo de vidrio con manchas, visto por el ojo izquierdo y por el derecho.

En general puede decirse que es de la maestría del artista de la que depende esa influencia psicológica, gracias a la cual el observador percibe las imágenes planas como si tuvieran volumen, independientemente de las condiciones fisiológicas que determinan las sensaciones visuales, incluso en aquellos casos en que no se cumplen las leyes de la perspectiva geométrica.

¿QUE ES EL ESTEREOSCOPIO?

Pasando ahora de los cuadros a los cuerpos, nos hacemos la siguiente pregunta: ¿por qué los objetos nos parecen cuerpos y no figuras planas? En la retina de nuestro ojo, la imagen que se forma es plana, ¿qué es lo que ocurre entonces para que los objetos no nos parezcan planos, sino cuerpos con tres dimensiones?

En esto influyen varias causas. En primer lugar, el diferente grado de iluminación de las distintas partes de los objetos, nos permite hacernos una idea de su forma. En segundo lugar, juega su papel la tensión que sentimos al adaptar nuestro ojo para que pueda percibir claramente las partes del cuerpo que se encuentran a distintas distancias; porque así como todas las partes de un cuadro plano están a la misma distancia del ojo, las partes de un cuerpo se encuentran a distancias diferentes, y para que el ojo pueda verlas con claridad, tiene que adaptarse de distinta manera. Pero lo que más nos ayuda en este caso es, que las imágenes de un mismo objeto que percibe cada ojo no son iguales entre sí. Para convencerse de esto, basta con mirar cualquier objeto cercano, cerrando primeramente el ojo derecho y después el izquierdo. El ojo derecho no ve los objetos lo mismo que el izquierdo; cada ojo percibe un cuadro diferente, y esta diferencia,

al ser interpretada por nuestra conciencia, nos da la sensación de relieve (fig. 120 y 122).

Figurémonos ahora dos dibujos de un mismo objeto: el primero representa dicho objeto tal como lo ve el ojo izquierdo, mientras que el segundo, como lo ve el derecho. Si miramos estas imágenes de forma, que cada ojo vea solamente «su» dibujo, en lugar de dos cuadros planos veremos un objeto convexo, cuyo relieve será mayor que el de los cuerpos vistos con *un solo ojo*. Estas parejas de dibujos se miran a través de un aparato especial, llamado estereoscopio. En los estereoscopios antiguos, la coincidencia de las imágenes se conseguía por medio de espejos; en los más modernos se logra con prismas de cristal convexos, los cuales refractan los rayos de tal forma, que, al prolongarlos idealmente, ambas imágenes (aumentadas ligeramente gracias a la convexidad de los prismas) se cubren entre sí. Como vemos, la idea del estereoscopio es extraordinariamente simple, pero el efecto conseguido por este medio tan sencillo es sorprendente.

La mayoría de los lectores habrán tenido ocasión de ver fotografías estereoscópicas de escenas y paisajes distintos. Es posible que algunos hayan visto con el estereoscopio dibujos de figuras geométricas diseñados con el fin de facilitar el estudio de la estereometría. En adelante no nos referiremos a estos empleos, más o menos conocidos, del estereoscopio, sino que nos detendremos únicamente en aquellos que la mayoría de los lectores seguramente no conocen.

NUESTRO ESTEREOSCOPIO NATURAL

Las imágenes estereoscópicas pueden mirarse sin necesidad de ningún aparato. Para esto no hay más que acostumbrarse a dirigir los ojos de una forma determinada. El resultado que se obtiene es el mismo que cuando se emplea el estereoscopio, aunque la imagen, en este caso, no se amplía. El inventor del estereoscopio Wheatstone, utilizó primeramente este procedimiento natural.

Aquí ofrecemos una serie de dibujos estereoscópicos, cada vez más complicados, que recomendamos para ser mirados directamente, es decir, sin estereoscopio. El éxito suele conseguirse después de realizar una serie de ejercicios*.

* Hay que advertir, que no todas las personas consiguen ver estereoscópicamente, incluso con el estereoscopio; algunos (por ejemplo, los bisojos y los acostumbrados a trabajar con un solo ojo) son totalmente incapaces para ello; otros lo consiguen después de ejercitarse mucho, y finalmente, hay un tercer grupo, formado principalmente por jóvenes, que aprenden muy pronto, en cosa de un cuarto de hora.

Empecemos por el par de puntos negros de la fig. 123. Mantengámoslos delante de los ojos, durante varios segundos, sin separar la vista del espacio que hay entre ellos; al mismo tiempo hay que hacer un esfuerzo, como si quisiéramos ver un objeto situado más lejos, detrás del dibujo. Pronto no serán dos, sino cuatro, los puntos que vemos, ya que éstos se duplican. Pero después, los puntos extremos se alejan, mientras que los internos se aproximan y confunden. Si hacemos esto mismo con las figs. 124 y 125, en el último caso, al producirse la coincidencia, veremos ante nosotros algo parecido al interior de un tubo largo, cuyo extremo se distingue a lo lejos.

Una vez conseguido esto, podemos pasar a la fig. 126; aquí tenemos que ver unos cuerpos geométricos pendientes en el aire. La fig. 127 nos da la representación del largo corredor de un edificio de piedra o de un túnel, mientras que la fig. 128 nos proporcionará la ilusión del vidrio transparente de un acuario. Finalmente, en la fig. 129 vemos el cuadro completo de un paisaje marítimo.

Aprender a mirar de esta forma las imágenes apareadas es relativamente fácil. Muchos amigos míos consiguieron dominar este arte en poco tiempo, después de realizar varias pruebas. Los miopes y las personas con vista cansada que usan lentes, no necesitan quitárselos, sino que pueden mirar las imágenes lo mismo que si se tratara de un cuadro cualquiera. Es conveniente aproximar la figuras a los ojos, o re-

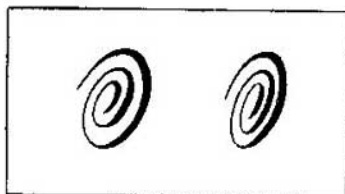
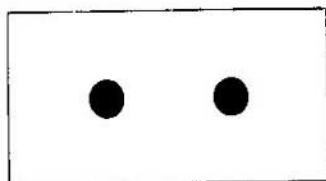
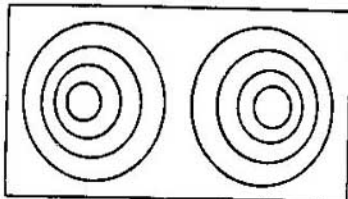


Fig. 123. Estos dos puntos se confundirán en uno solo, si durante varios segundos fijamos nuestra vista en el espacio que hay entre ellos.

Fig. 124. Intentemos hacer lo mismo con este par de figuras. Después de conseguir su fusión podemos pasar al ejercicio siguiente.

Fig. 125 Cuando estas dos figuras se confundan, veremos algo parecido al interior de un tubo, cuyo extremo se distingue a lo lejos.



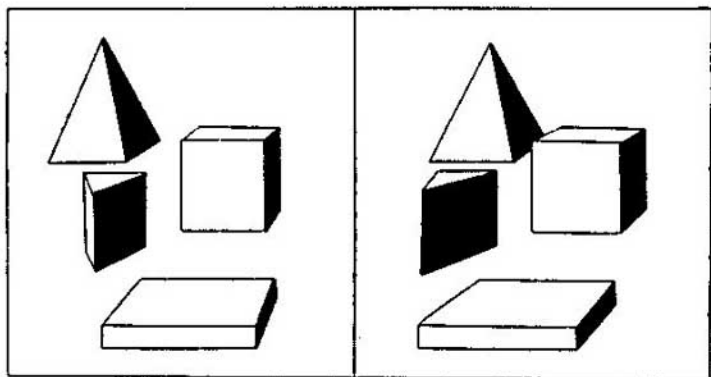


Fig. 126. Parece que estas cuatro figuras geométricas, al fundirse las dos imágenes, flotan en el espacio.

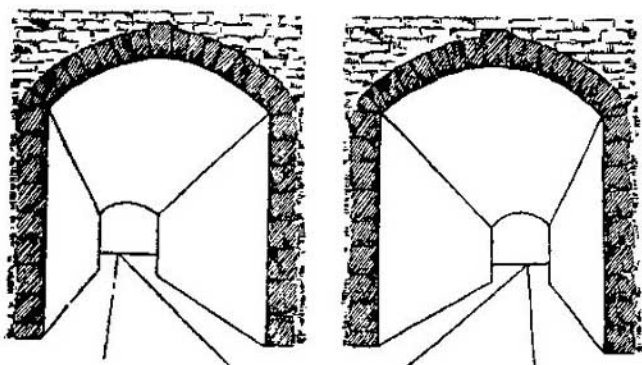


Fig. 127. Un corredor largo, cuyo extremo se divide a lo lejos.

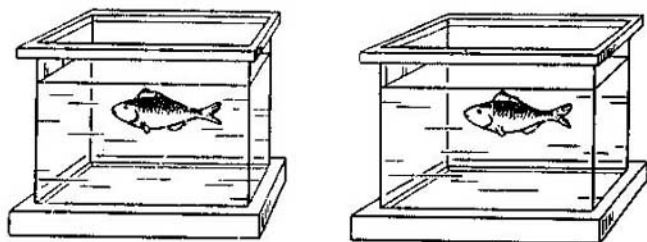


Fig. 128. Un acuario con un pez.

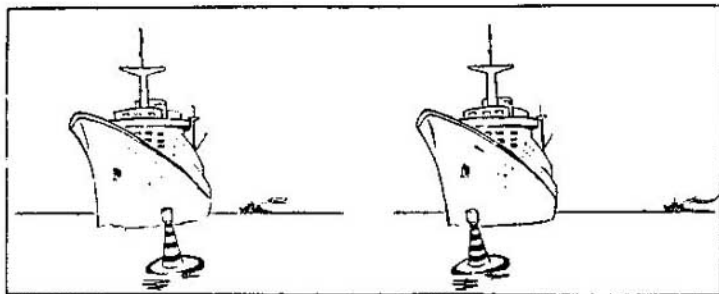


Fig. 129. Un paisaje marítimo estereoscópico.

tirarlas de ellos, hasta conseguir la mejor distancia. Las pruebas deben hacerse siempre con buena iluminación, ya que ésta contribuye considerablemente al éxito.

Después de aprender a mirar sin estereoscopio las figuras aquí reproducidas, podemos emplear la experiencia adquirida para mirar las fotografías estereoscópicas sin recurrir a aparatos especiales.

Las fotografías estereoscópicas impresas en las págs. 186 y 193 también pueden mirarse a simple vista. No obstante, para evitar que se cansen los ojos, no es conveniente dedicar demasiado tiempo a estos ejercicios.

Si, a pesar de todo, hay alguien que no consigue aprender a dirigir sus ojos, podemos aconsejarle, que si no dispone de estereoscopio, emplee un par de lentes para vista cansada. Estos cristales deberán pegarse sobre unos orificios practicados en un cartón, de forma que se mire únicamente a través del borde interior de cada lente. Entre los dibujos debe colocarse una pared divisoria. Este estereoscopio simplificado es suficiente para conseguir el fin deseado.

CON UN OJO Y CON LOS DOS

En la fig. 130, arriba a la izquierda, se reproduce una fotografía que representa tres frascos de farmacia, cuyas dimensiones, al parecer, son iguales. Por muy atentamente que examinemos estas imágenes, no podremos hallar ninguna diferencia de tamaño entre los frascos. Y sin embargo, existe diferencia y bastante considerable. Los frascos solamente parecen iguales porque no se encuentran a una misma distancia del ojo o del aparato fotográfico: el frasco más grande está más lejos y los

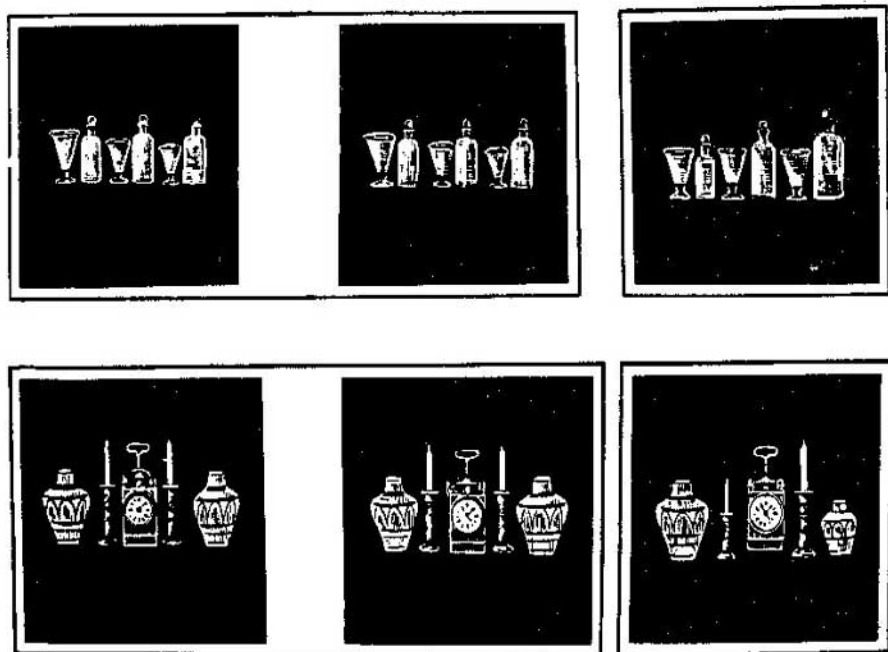


Fig. 130. A simple vista.

Con el estereoscopio.

más pequeños, más cerca. Pero, ¿cuál de los tres frascos representados está más cerca y cuál, más lejos? Esto es imposible de determinar mientras miremos simplemente la figura.

Pero este problema es fácil de resolver si recurrimos al estereoscopio o a la visión estereoscópica, sin aparato, de que hemos hablado anteriormente. En estas condiciones se ve claramente, que, de los tres frascos, el que está en el extremo izquierdo se encuentra bastante más lejos que el del centro, y éste, a su vez, más lejos que el de la derecha. La relación efectiva entre las dimensiones de los frascos se muestra en la figura de la derecha.

Aún más sorprendente es el caso que tenemos en la fig. 130, abajo. En ella vemos la reproducción de una fotografía que representa unos jarrones, unas velas y un reloj. En ella, los dos jarrones y las dos velas parecen tener idénticas dimensiones. Pero en realidad, tanto entre aquéllos como entre éstas, hay una gran diferencia: el jarrón izquierdo es casi dos veces más

alto que el derecho, y la vela izquierda es mucho más baja que el reloj y que la vela derecha.

Al observar estereoscópicamente estas reproducciones se descubre inmediatamente la causa de esta metamorfosis: los objetos no se encuentran alineados, sino colocados a diferentes distancias. Los mayores están más lejos y los menores, más cerca.

Las ventajas de la visión estereoscópica «binocular», sobre la «monocular», se ofrecen aquí de forma convincente.

UN PROCEDIMIENTO FACIL DE DESCUBRIR FALSIFICACIONES

Tenemos dos dibujos exactamente iguales, por ejemplo, dos cuadrados negros iguales. Cuando los miramos a través del estereoscopio vemos un cuadrado, que no se diferenciará en nada de cada uno de los cuadrados por separado. Si en el centro de cada cuadrado hay un punto blanco, este punto resultará también en el cuadrado que vemos por el estereoscopio. Pero en cuanto este punto esté un poco desviado del centro en uno de los cuadrados, se obtiene un efecto bastante inesperado: en el estereoscopio se seguirá viendo un punto, lo mismo que antes, pero este punto... ¡no se encontrará en el mismo plano que el cuadrado!, sino *delante o detrás de él*. La más mínima diferencia entre los cuadrados es suficiente para provocar, por medio del estereoscopio, la sensación de profundidad.

Este hecho proporciona un procedimiento fácil de descubrir falsificaciones en los billetes de banco y en otros documentos. Basta colocar en el estereoscopio el billete sospechoso, junto a otro verdadero, y quedará descubierta la falsificación, por muy hábil que ésta sea. La más insignificante diferencia en una letra o en un trazo, salta inmediatamente a la vista, puesto que esta letra o trazo parecerá encontrarse delante o detrás del fondo restante*.

VISTA DE GIGANTES

Cuando un objeto se encuentra muy lejos de nosotros (a más de 450 m), la distancia entre nuestros ojos no puede hacer ya que se produzcan diferentes impresiones visuales. Por esto, los

* Esta idea, expresada por primera vez a mediados del siglo XIX por Dove, no es aplicable a todos los billetes de banco modernos, debido a que las condiciones técnicas de su impresión son tales, que los ejemplares obtenidos no dan en el estereoscopio la sensación de imagen plana, incluso cuando los billetes son buenos. Pero el procedimiento de Dove sirve perfectamente para distinguir dos impresiones hechas con una misma composición tipográfica de otra realizada con una composición de tipos nueva.

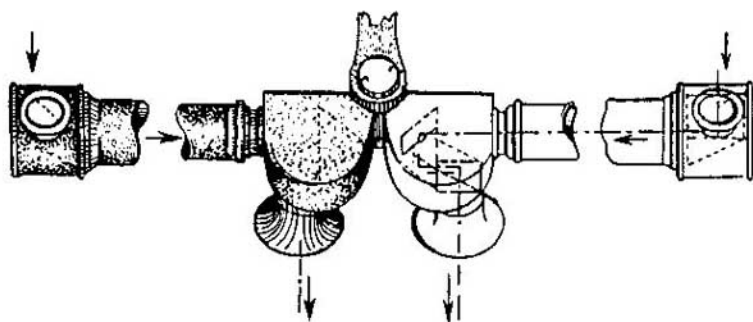


Fig. 131. Anteojo estereoscópico.

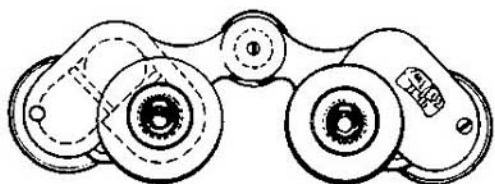
edificios, las montañas y los paisajes lejanos nos parecen planos. Esta es también la causa de que nos parezca que todos los cuerpos celestes están a la misma distancia, a pesar de que la Luna se encuentra mucho más cerca que los planetas y éstos, inconmensurablemente más cerca que las estrellas fijas.

En general, para todos aquellos objetos que se encuentran a más de 450 m de distancia, perdemos totalmente nuestra facultad de apreciar directamente el relieve. Estos objetos resultan iguales para nuestros dos ojos, puesto que los 6 cm, que separan entre sí sus dos pupilas, son una distancia insignificante comparados con los 450 m. Está claro, que las fotografías estereoscópicas sacadas en estas condiciones serán idénticas y, por consiguiente, no podrán dar en el estereoscopio la sensación de relieve.

Pero esto tiene fácil remedio: hay que fotografiar los objetos lejanos desde puntos situados entre sí a una distancia mayor que la que separa normalmente nuestros ojos. Al mirar estas fotografías por el estereoscopio, veremos un paisaje igual que el que veríamos si la distancia entre nuestros ojos fuera mucho mayor que la normal. En esto consiste el secreto de la obtención de fotografías estereoscópicas de paisajes. Generalmente, estas fotos se miran a través de prismas de aumento (con lados convexos), con lo cual, vemos estas vistas estereoscópicas a tamaño natural y el efecto que producen es sorprendente.

El lector se habrá dado cuenta, probablemente, de que sería posible construir un sistema de dos anteojos de larga vista, a través de los cuales podríamos ver el relieve de un paisaje cual-

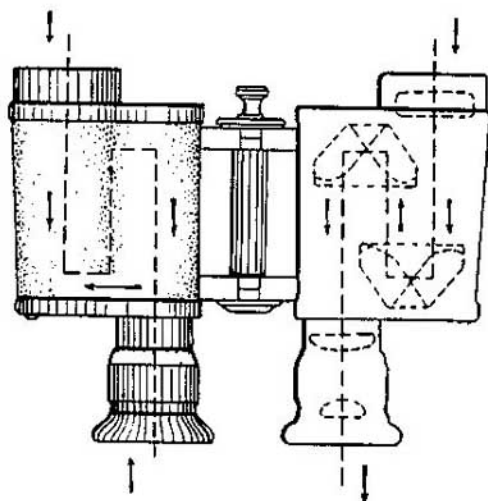
Fig. 132. Prismáticos.



quiera, a tamaño natural, sin necesidad de hacer fotografías. Estos aparatos, denominados *anteojos estereoscópicos*, existen. Constan de dos tubos, separados entre sí por una distancia mayor que la que separa normalmente los ojos. Las dos imágenes que percibimos a través de estos aparatos, llegan a los ojos después de refractarse en unos prismas (fig. 131). La sensación que produce mirar

por uno de estos anteojos es tan extraordinaria, que no es fácil describirla. Parece que cambia toda la naturaleza. Las lejanas montañas cobran relieve, los árboles, las peñas, los edificios y hasta los barcos que están en el mar, sobresalen, resaltando como si estuvieran situados en un espacio infinito y no en una pantalla plana. Vemos directamente cómo se mueve un barco lejano, que parecería quieto si lo mirásemos con un anteojo común. Así verían nuestros paisajes terrenales los gigantes fabulescos.

Si los anteojos proporcionan un aumento de 10 veces y la distancia entre los objetivos es 6 veces mayor que la normal entre las pupilas (es decir, igual a $6,5 \times 6 = 39$ cm), la imagen percibida será $6 \times 10 = 60$ veces más plástica que la que observamos a simple vista. Esto se refleja en que, hasta los objetos que se encuentran a 25 km revelan aún cierto relieve.



Este tipo de anteojos es imprescindible para los agrimensores, marinos, artilleros y exploradores, sobre todo si van provistos de graduación para medir las distancias (telémetros estereoscópicos).

Los gemelos prismáticos también producen este efecto, ya que la distancia entre sus objetivos es mayor que la que separa los ojos (fig. 132). En los gemelos de teatro se procura lo contrario, es decir, disminuir la distancia entre los objetivos, para que de esta forma sea menor el relieve y evita que se note la colocación de los bastidores.

EL UNIVERSO EN EL ESTEREOSCOPIO

Si dirigimos un antejo estereoscópico hacia la Luna o hacia cualquier otro cuerpo celeste, no notamos ningún relieve. Esto era de esperar, puesto que las distancias celestes son demasiado grandes incluso para estos anteojos. ¿Qué representan los 30-50 cm, que separan entre sí los objetivos de este aparato, en comparación con la distancia que hay desde la Tierra a los planetas? Y aunque fuera posible construir un aparato, en el cual la distancia entre los tubos fuera de decenas o centenares de kilómetros, tampoco notaríamos ningún efecto estereoscópico al observar con él los planetas, separados de nosotros por decenas de millones de kilómetros.

Pero también aquí viene a ayudarnos la fotografía estereoscópica. Supongamos que ayer fotografiamos un planeta cualquiera y que hoy volvemos a hacerlo. Ambas fotografías estarán hechas desde un mismo punto de la Tierra, pero desde distintos puntos del sistema solar, puesto que la Tierra, durante el día transcurrido, tuvo tiempo de recorrer millones de kilómetros por su órbita. Estas fotografías, como es lógico, no serán idénticas y si las colocamos en el estereoscopio, veremos una imagen que no será plana, sino en relieve.

Por consiguiente, podemos aprovechar el movimiento de la Tierra por su órbita para obtener fotografías de los cuerpos celestes desde dos puntos muy alejados entre sí. Estas fotografías serán estereoscópicas. Imaginaos un gigante, con la cabeza tan enorme, que la distancia entre sus ojos midiera millones de kilómetros, y comprenderéis qué resultados tan extraordinarios consiguen los astrónomos valiéndose de la fotografía estereoscópica celeste.

Al examinar las fotografías estereoscópicas de la Luna, vemos claramente cómo su imagen se redondea. Parece como si el cincel mágico de un escultor gigantesco, animara los planos y

mueritos bloques. El relieve se ve tan claro, que hasta se ha conseguido *medir* la altura de las montañas de la Luna valiéndose de estas fotografías.

En la actualidad se utiliza el estereoscopio para descubrir nuevos planetas, o mejor dicho, los planetas pequeños (*asteroides*), que en gran número giran entre las órbitas de Marte y Júpiter. Hasta hace poco tiempo, el encontrarlos era cuestión de suerte. Ahora, basta comparar estereoscópicamente dos fotografías de un sector dado del cielo, obtenidas en tiempos distintos. Si el asteroide se encuentra en la prueba tomada, el estereoscopio lo distingue inmediatamente, porque se destaca del fondo común.

El estereoscopio no distingue solamente la diferencia de *situación* de los puntos, sino también su diferente *brillantez*. Esto proporciona a los astrónomos un procedimiento cómodo de hallar las llamadas estrellas *variables*, cuyo brillo cambia periódicamente. Si en dos fotografías del cielo una estrella cualquiera resulta con diferente brillantez, el estereoscopio indica inmediatamente al astrónomo esta estrella.

Finalmente, se ha conseguido obtener fotografías estereoscópicas de las nebulosas (Andrómeda y Orión). Para hacer estas fotos, el sistema solar es demasiado pequeño, y los astrónomos se vieron obligados a aprovechar el desplazamiento de nuestro sistema entre las estrellas. Gracias a este desplazamiento en el espacio universal, podemos observar el firmamento desde nuevos puntos de vista, y cuando transcurre un espacio de tiempo suficientemente grande, esta diferencia puede hacerse apreciable incluso para el aparato fotográfico. De esta forma tenemos la posibilidad de hacer fotografías entre las que medie un largo intervalo de tiempo y mirarlas a través del estereoscopio.

LA VISTA CON TRES OJOS

No penséis que este tercer ojo es un lapso, como aquél de la tercera oreja, en labios del emocionado Iván Ignátievich de «La hija del capitán», cuando decía:

«El a usted en los morros, mientras que usted a él en una oreja, en la otra, en la tercera, y... despejen». Nosotros vamos a hablar efectivamente de cómo se puede ver con tres ojos.

¿Ver con *tres* ojos? ¿Pero se puede acaso adquirir un tercer ojo?

Pues, sí, vamos a hablar precisamente de esta forma de ver. La ciencia es impotente para dar al hombre un tercer ojo, pero tiene poder suficiente para darle la posibilidad de ver los objetos como los vería un ser que tuviera tres ojos.

Comencemos diciendo, que una persona que haya perdido un ojo, puede perfectamente mirar fotografías estereoscópicas y recibir de ellas la impresión de relieve que directamente no puede percibir. Para esto hay que proyectar sobre una pantalla, cambiándolas rápidamente, las fotografías destinadas al ojo derecho y al izquierdo. En este caso, lo que una persona con dos ojos ve simultáneamente, la que tiene un ojo solo lo ve de forma sucesiva y rápidamente cambiante. Pero el resultado que se obtiene es el mismo, porque las impresiones visuales, al cambiar rápidamente, se confunden en una sola imagen, de igual manera que ocurre cuando se ven a un mismo tiempo*.

Pero si esto es así, una persona con *dos* ojos puede ver simultáneamente, con un ojo, dos fotografías que se cambian rápidamente, y con el otro, una fotografía más, tomada desde un tercer punto.

En otras palabras, del objeto en cuestión se sacan tres fotografías, correspondientes a tres puntos diferentes, como si fuera visto por tres ojos. Después, se hace que dos de estas fotografías se sucedan rápidamente, actuando sobre un ojo del observador. Al sucederse rápidamente, sus impresiones se confunden en una imagen compleja *en relieve*. A esta imagen se suma una tercera impresión, la del otro ojo, el cual mira la tercera fotografía.

En estas condiciones, aunque miremos solamente con dos ojos, recibiremos una impresión exactamente igual que si mirásemos con tres. En este caso el relieve alcanza su grado máximo.

¿QUE ES EL BRILLO?

La fotografía estereoscópica que reproducimos en la fig. 133 representa dos poliedros: uno, negro sobre blanco, y otro, blanco sobre negro. ¿Qué veríamos si mirásemos estos dos dibujos en el estereoscopio? Algo difícil de adivinar. He aquí lo que dice sobre esto el físico alemán del siglo pasado Helmholtz:

«Cuando en un cuadro estereoscópico un plano cualquiera se representa en blanco y en el otro en negro, la imagen conjunta parece brillante, incluso si el papel en que está hecho el dibujo

* Es posible que el asombroso relieve que se nota en algunas películas cinematográficas se explique, además de por las causas indicadas anteriormente, por el efecto a que ahora nos referimos: porque si el tomavistas se balancea acompasadamente (como suele ocurrir al funcionar el mecanismo de arrastre de la película), las fotografías no resultan idénticas, y al sucederse rápidamente en la pantalla, se confunden en nuestra conciencia formando una imagen en relieve

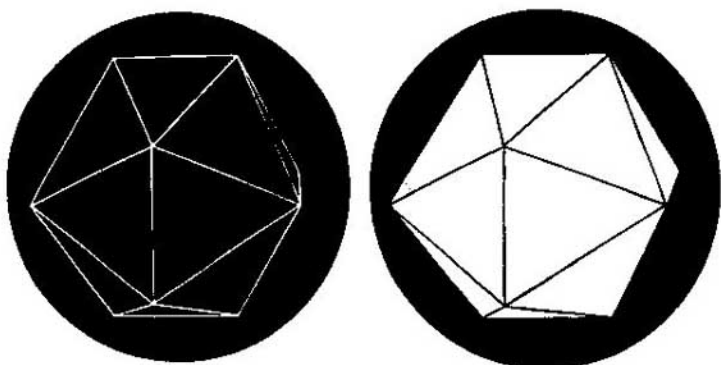


Fig. 133. Brillo estereoscópico. Cuando estos dibujos se miran por el estereoscopio y se confunden, vemos la imagen de un cristal brillante sobre fondo negro.

es mate. Los dibujos estereoscópicos de los modelos de cristales (hechos de esta forma) dan la impresión de que dichos modelos son de grafito brillante. Gracias a este mismo efecto, en las fotografías estereoscópicas suele salir muy bien el brillo del agua, de las hojas, etc.»

En un libro, que aunque antiguo no ha perdido actualidad, del gran fisiólogo ruso Séchenov, titulado «Fisiología de los órganos sensoriales. La vista» (1867), encontramos una explicación magnífica de este fenómeno. Dice así:

«En los experimentos de conjugación estereoscópica artificial de superficies desigualmente iluminadas o pintadas, se repiten las condiciones reales que producen la visión de los cuerpos brillantes. ¿En qué se diferencia realmente una superficie mate de otra brillante (pulimentada)? En que la primera refleja la luz difundiendo la luz en todos los sentidos, por lo que a nuestros ojos les parece que está siempre igualmente iluminada, aunque la miremos desde lados distintos, mientras que la superficie pulimentada refleja la luz en una dirección determinada, por lo que pueden darse casos en que un ojo del hombre, al mirar esta superficie, reciba de ella muchos rayos reflejados, mientras que el otro ojo no recibe casi ninguno (estas condiciones son las que corresponden precisamente al caso de la conjugación estereoscópica de una superficie blanca con otra negra). Los casos en que la luz reflejada se distribuye desigualmente entre los ojos (es decir, en que un ojo recibe más rayos que el otro), al mirar las superficies pulimentadas brillantes, son, evidentemente, inevitables.

El lector puede ver de esta forma, que el brillo estereoscópico es una demostración en favor de la idea, según la cual, la experiencia juega un papel de primer orden en el acto de la conjunción estereoscópica de las imágenes en un cuerpo. La lucha entre los campos visuales cede su puesto a la idea firme, en cuanto el órgano de la vista, educado por la práctica, tiene la posibilidad de relacionar la diferencia entre dichos campos con cualquier caso conocido de visión real».

Por consiguiente, la causa de que veamos *el brillo* (o por lo menos, una de las causas), es la diferencia de claridad existente entre las imágenes percibidas por el ojo derecho y las percibidas por el izquierdo. Sin el estereoscopio hubiera sido difícil descubrir esta causa.

LA VISION CON MOVIMIENTO RAPIDO

Hemos dicho con anterioridad, que imágenes diferentes de un mismo objeto, confundándose en nuestra retina al sucederse rápidamente, nos producen la sensación visual de relieve.

Se plantea una pregunta: ¿ocurre esto únicamente cuando las imágenes son móviles y el ojo que las percibe está inmóvil, o se observa esto mismo cuando las imágenes son fijas y el ojo que las percibe se mueve rápidamente? Como era de esperar, en este último caso también se produce el efecto estereoscópico. Probablemente, muchos lectores habrán tenido ocasión de observar, que los cuadros cinematográficos tomados desde un tren a gran velocidad, revelan un relieve extraordinario, comparable con el que se obtiene en el estereoscopio. Directamente también podemos convencernos de esto, siempre que prestemos atención a las impresiones visuales que percibimos cuando viajamos en ferrocarril o en automóvil a considerable velocidad. Los paisajes que observamos en esas condiciones destacan por su gran efecto estereoscópico, que separa sensiblemente el primer plano del fondo. La sensación de *profundidad* aumenta considerablemente, extendiéndose a lo lejos más de los 450 m de la visión estereoscópica del ojo inmóvil.

¿No es ésta la causa de esa agradable impresión que sentimos al contemplar el paisaje desde un tren en marcha rápida? El fondo parece que retrocede, y podemos ver perfectamente el enorme cuadro de la naturaleza que se extiende alrededor nuestro. Cuando pasamos rápidamente por un bosque, en un automóvil, esta misma causa hace que percibamos cada árbol, cada rama, cada hoja, de forma perfectamente delimitada en el espacio, separadamente, sin que se confundan en un todo como el que ve

el observador inmóvil. Y cuando viajamos de prisa por la carretera de un país montañoso, todo el relieve del suelo se percibe a simple vista. Las montañas y los valles se ven con una plasticidad tangible. Todo esto está también al alcance de las personas que sólo tienen un ojo, para las cuales todas estas impresiones son completamente nuevas y desconocidas. Ya hemos dicho, que para ver en relieve no es imprescindible, como se piensa generalmente, la percepción simultánea de dos cuadros diferentes por los *dos* ojos. La visión estereoscópica se consigue también con un solo ojo, cuando los *diferentes* cuadros se confunden al combinarse con suficiente rapidez*.

No hay nada más fácil que comprobar lo que acabamos de decir. Para esto no se necesita más que prestar un poco de atención a las impresiones que percibimos cuando vamos en un tren o en un autobús. Es posible, que al hacerlo así nos demos cuenta de otro fenómeno sorprendente, sobre el cual escribía Dove hace más de cien años (en realidad nos parece nuevo todo aquello de que nos hemos olvidado): los objetos próximos que vemos pasar junto a la ventanilla nos parecen *más pequeños*. Este hecho se explica por una causa que tiene muy poco de común con la visión estereoscópica y que consiste en que, al ver lo de prisa que se mueven los objetos, nos parece, erróneamente, que deben estar más cerca. Y, naturalmente, si el objeto está más cerca — como inconscientemente pensamos —, tiene que ser en realidad menor de lo normal, para que sus dimensiones puedan parecer-nos iguales a las de siempre. Esta explicación se debe a Helmholtz.

CON GAFAS DE COLOR

Si miramos a través de un vidrio rojo unas letras escritas sobre papel *blanco*, con un lápiz también *rojo*, veremos solamente un fondo rojo homogéneo. Las letras rojas serán invisibles, porque se confunden con el fondo rojo. Pero si a través de este mismo vidrio miramos unas letras de color *celestes* escritas sobre papel *blanco*, veremos claramente unas letras *negras* escritas sobre fondo rojo. La explicación de por qué vemos negras estas letras, es fácil. El vidrio rojo no deja pasar los rayos celestes (por eso es rojo, porque únicamente deja pasar los rayos rojos); por consiguiente, en el sitio de las letras celestes tenemos que notar una carencia de color, es decir, ver unas letras negras.

* Esto explica el sensible efecto estereoscópico de las vistas cinematográficas tomadas desde un tren, cuando éste recorre una curva y los objetos fotografiados se encuentran en la dirección del radio de dicha curva. Este «efecto ferroviario» es bien conocido por los operadores de cine.

Esta propiedad de los vidrios de color sirve de base a los llamados *anáglifos*, los cuales son unos cuadros impresos por un procedimiento especial, que producen un efecto análogo al de las fotografías estereoscópicas. En los anáglifos, las imágenes correspondientes a los ojos derecho e izquierdo, se imprimen *una sobre otra*, pero con tintas diferentes, es decir, una con tinta celeste y la otra con tinta roja.

Para ver una imagen negra en relieve, en lugar de estas dos imágenes en color, no hay más que mirarlas con unas gafas a propósito. En este caso, el ojo derecho, a través de un vidrio rojo, verá solamente la impresión *celeste*, o sea, la que corresponde al ojo derecho (la cual no será percibida por aiste como de color, sino como negra), mientras que el ojo izquierdo, a través de un vidrio celeste, verá también una sola imagen, la roja que será precisamente la que a él le corresponde. Tenemos, pues, las mismas condiciones que en el estereoscopio, y, por lo tanto, el resultado debe ser el mismo, es decir, recibir la sensación de relieve.

LAS «MARAVILLAS DE LAS SOMBRAS»

En el principio que acabamos de examinar se basa también el efecto de las "maravillas de las sombras" que algunas veces se muestran en los cines.

Estas "maravillas" consisten en que las sombras de las figuras móviles que se proyectan sobre la pantalla son percibidas por el público (provisto de gafas bicolors) como cuerpos voluminosos que sobresalen de la pantalla hacia adelante. Esta ilusión se consigue empleando el efecto de la estereoscopia bicolor. El objeto, cuya sombra se quiere mostrar, se coloca entre la pantalla y dos focos luminosos (uno rojo y otro verde) próximos entre sí. De esta forma, en la pantalla se proyectan dos sombras coloreadas (una roja y otra verde) que se cubren entre sí. El público no mira estas sombras directamente, sino a través de gafas con cristales planos rojos y verdes.

Como hemos dicho antes, en estas condiciones se produce la sensación de imágenes voluminosas, que sobresalen por delante de la pantalla plana. La ilusión que se consigue con las «maravillas de las sombras» es extraordinariamente interesante. Hay veces, en que un objeto lanzado parece que vuela hacia el público, o que una araña gigantesca anda por los aires sobre aquél, obligándole a gritar involuntariamente o a volverse de espaldas. Los aparatos que se necesitan para esto son muy simples, y el esquema de su disposición se comprende fácilmente examinando la fig. 134, en la cual, *V* y *R* indican las lámparas verde y

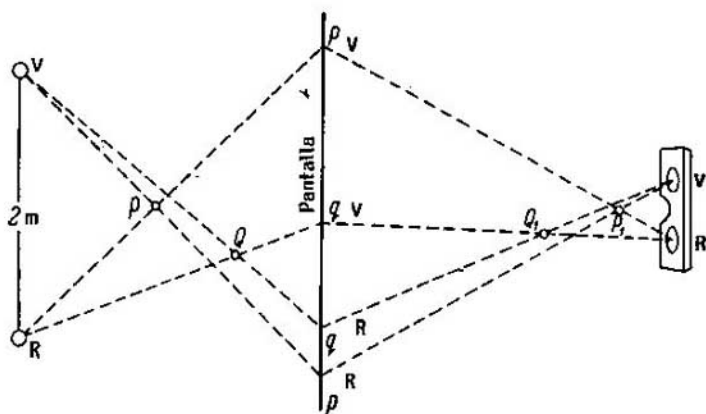


Fig. 134. El secreto de las «maravillas de las sombras».

roja respectivamente (a la izquierda); P y Q son los objetos colocados entre las lámparas y la pantalla; p y q , con los subíndices V y R , son las sombras, coloreadas de verde o de rojo respectivamente, de dichos objetos, proyectadas sobre la pantalla; P_1 y Q_1 son los lugares en que el público ve estos objetos, cuando mira a través de los vidrios (o del celuloide) verde (V) y rojo (R) de sus gafas. Cuando la araña artificial se traslada por detrás de la pantalla desde Q a P , al público le parece que aquélla recorre el espacio que hay entre Q_1 y P_1 .

En general, cuando el objeto que hay detrás de la pantalla se acerca al foco luminoso, aumenta la sombra que proyecta sobre aquélla y da la sensación de que el objeto avanza desde la pantalla hacia el público. Todo aquello que al público le parece que desde la pantalla vuela hacia él, en realidad se mueve en dirección contraria, es decir, desde la pantalla hacia atrás, hacia el foco luminoso.

TRANSFORMACIONES INESPERADAS DE LOS COLORES

Ahora es el momento oportuno para hablar de una serie de experimentos que tuvieron mucho éxito entre los visitantes del «Pabellón de ciencia recreativa» del parque central de Leningrado, emplazado en las islas de Kirov. Uno de los ángulos de este pabellón estaba amoblado como una sala de recibir. El público veía los muebles cubiertos con fundas de color naranja oscuro, la mesa con un tapete verde y sobre ella, una botella

con jugo rojo de klukva* y unas flores, y unos anaqueles con libros, en cuyos lomos podían leerse sus títulos en letras de color. Primeramente, todo esto se mostraba con luz blanca normal. Después, se hacía girar un conmutador, y la iluminación blanca se tornaba *roja*. Esto provocaba en la sala un cambio inesperado: los muebles tomaban color rosa, el tapete verde se convertía en lila oscuro, el jugo de klukva se hacía incoloro y parecía agua, las flores cambiaban de color y parecían otras y los títulos de los libros desaparecían sin dejar rastro.

Un nuevo giro del conmutador hacía que la sala se inundara de luz *verde* y que todo su aspecto cambiase por completo.

Todas estas divertidas metamorfosis ilustran muy bien la teoría de Newton sobre la coloración de los cuerpos. La esencia de esta teoría se reduce a que, la superficie de los cuerpos tiene siempre el color, no de los rayos que absorbe, sino de aquellos que dispersa, es decir, de los que van a parar a los ojos del observador. El célebre físico Tyndall, compatriota de Newton, formula esta tesis de la forma siguiente:

«Cuando iluminamos los cuerpos con luz blanca, el color rojo se engendra por la absorción de los rayos verdes, y el verde, por la de los rayos rojos, mientras que los demás colores se revelan en ambos casos. Es decir, los cuerpos se colorean de una manera negativa; su color no se debe a la adhesión, sino a la exclusión».

El tapete verde, por consiguiente, tiene este color, cuando la luz es blanca, porque puede dispersar principalmente los rayos verdes y los que en el espectro se encuentran más próximos a ellos. La mayor parte de los demás rayos es absorbida y los otros se dispersan. Si sobre este tapete se dirige una mezcla de rayos rojos y violetas, dispersará casi exclusivamente los de color violeta y absorberá la mayor parte de los rojos. Por esto, el ojo recibe la impresión de que tiene color lila oscuro.

Esta es, más o menos, la causa de todas las demás metamorfosis cromáticas de nuestra sala. Sólo queda por esclarecer la decoloración del jugo de klukva. ¿Por qué este líquido rojo parece incoloro cuando la iluminación es también roja? La explicación se reduce a que la botella que lo contenía no estaba puesta directamente sobre el tapete verde, sino sobre un pañito blanco que había encima de él. Si se hubiera quitado este pañito de debajo de la botella, se hubiera notado inmediatamente, que, con la luz roja, el líquido que contenía no era incoloro, sino rojo. Parecía incoloro por encontrarse junto al pañito blanco, el cual,

con la luz roja tomaba este color, pero que por costumbre y por contraste con el tapete de color oscuro *seguíamos considerando blanco*. Y como quiera que el color del líquido de la botella era igual que el del pañito supuestamente blanco, inconscientemente, también le atribuíamos al jugo el color blanco; por eso, ante nuestros ojos este jugo se convertía en agua incolora.

Experimentos semejantas al descrito pueden hacerse en un ambiente más modesto. Para ello es suficiente adquirir vidrios de varios colores y mirar a través de ellos los objetos que nos rodean. (Efectos análogos se describen en mi libro «¿Sabe usted Física?»)

LA ALTURA DEL LIBRO

Propóngale a un amigo que indique en la pared la altura a que llegará un libro que él mismo tenga en la mano, si este libro se pusiera de pie en el suelo. Cuando lo haya hecho, ponga el libro en el suelo y compruebe la indicación. Se convencerá de que la altura del libro es casi dos veces menor que la distancia indicada.

Este experimento resulta mejor aún, si su amigo no se agacha para señalar la altura, sino que se limita a decir de palabra el sitio de la pared en que debe hacerse la señal. Naturalmente, este experimento se puede hacer también con una lámpara, un sombrero, o cualquier otro objeto que estemos acostumbrados a ver a la altura de nuestros ojos.

La causa de este error se reduce a que, todos los objetos nos parecen más pequeños, cuando los miramos a lo largo.

LAS DIMENSIONES DE LOS RELOJES DE LAS TORRES

El mismo error en que incurrió su amigo al determinar la altura del libro, lo cometemos toda vez que intentamos determinar las dimensiones de los objetos que se encuentran muy altos. En particular es muy característico el error que cometemos al determinar las dimensiones de los relojes de las torres. Sabemos, naturalmente, que estos relojes son muy grandes, y sin embargo, la idea que nos hacemos de su tamaño difiere mucho de la realidad. En la fig. 135 la esfera del famoso reloj de la Abadía de Westminster de Londres se representa sobre el pavimento de la calle.

Las personas parecen escarabajos en comparación con ella. Y, si nos fijamos en la torre del reloj, que se ve al fondo, nos parece inverosímil que los huecos que se ven en ella tengan las mismas dimensiones que este reloj.

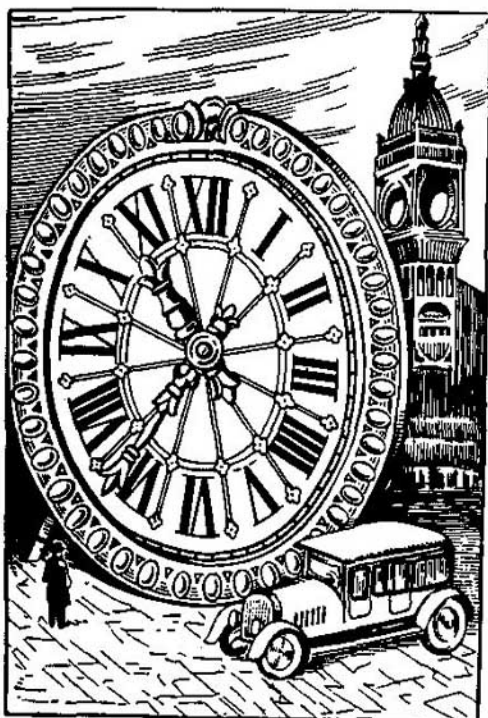


Fig. 135. La esfera del reloj de la Abadía de Westminister.

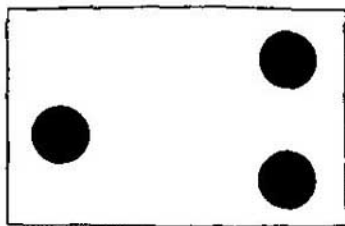
BLANCO Y NEGRO

Fíjese desde lejos en la fig. 136 y diga: ¿cuántos círculos negros se podrán colocar en el espacio libre que queda entre el círculo de la izquierda y cualquiera de los otros dos, cuatro o cinco? Lo más probable es que responda, que cuatro círculos caben fácilmente pero que para el quinto no queda sitio.

Pero si le dicen que en este espacio caben exactamente tres círculos nada más, no lo creerá. Si quiere convencerse de su error, coja un papel o un compás y compruébelo.

Esta extraña ilusión que hace que las partes negras nos parezcan menores que las blancas de igual tamaño, se denomina "irradiación", y se debe a la imperfección de nuestro ojo, el cual, como aparato óptico, no satisface totalmente las rígidas exigencias de la óptica. Sus medios refractores no producen en la retina contornos tan definidos como los que se obtienen en el vidrio esmerilado de cualquier aparato fotográfico bien enfocado. A consecuencia de la llamada *aberración esférica*, cada contorno

Fig. 136. El espacio libre entre el círculo izquierdo y cualquiera de los otros parece mayor que la distancia que hay entre los bordes exteriores de los círculos de la derecha. En realidad la distancia es la misma.



claro se rodea de un cerco, también claro, que hace que sus dimensiones aparezcan aumentadas en la retina del ojo. Como resultado de esto, todas las partes blancas de una figura nos parecen siempre mayores que las negras de igual tamaño.

En su «Ciencia de los colores», el gran poeta Goethe, que era un atento observador de la naturaleza (aunque no siempre un físico teórico suficientemente circunspecto), escribe sobre este fenómeno lo siguiente:

«Un objeto oscuro parece más pequeño que otro claro de las mismas dimensiones. Si miramos simultáneamente dos círculos iguales, uno blanco sobre fondo negro y otro negro sobre fondo blanco, este último nos parecerá menor que el primero, aproximadamente, en $1/5$ parte. Si el círculo negro se agranda en esta proporción, nos parecerá igual que el blanco. La Luna creciente parece corresponder a un círculo de mayor diámetro que el resto oscuro del disco lunar, visible en algunas ocasiones (la luna de «color ceniza» — *Y. P.*). Las personas parecen más delgadas cuando visten trajes oscuros, que cuando los llevan claros. Una regla, detrás de la cual aparece la llama de una vela, parece que tiene un hueco en este sitio. El foco luminoso que se ve detrás del borde es el que produce este corte aparente. El Sol, al salir y ponerse, también parece que hace un hueco en el horizonte».

Todas estas observaciones son ciertas, a excepción de la que asegura que todo círculo blanco parece siempre mayor que otro negro, igual que él, en una misma proporción. En realidad, este aumento aparente depende de la distancia, desde la cual se miran los círculos. A continuación veremos claramente por qué ocurre así.

Alejemos de nuestros ojos la fig. 136, y veremos que la ilusión antedicha aumenta y se hace más extraordinaria. Esto se explica, porque la anchura del cerco adicional permanece constante, y, por consiguiente, si a corta distancia representaba un aumento de la anchura de todo el círculo igual a un 10%, a larga distancia cuando la propia imagen disminuye, este mismo cerco

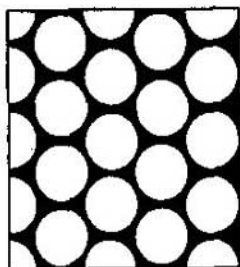


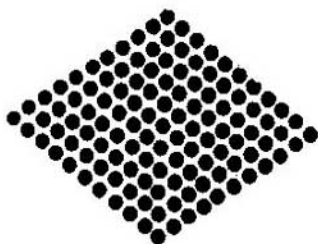
Fig. 137. Desde lejos estos círculos parecen hexágonos.

adicional no representará ya el 10%, sino un 30% ó un 50% de la anchura del círculo. Esta peculiaridad de nuestro ojo se utiliza generalmente también para explicar la extraña propiedad de la fig. 137. Esta consiste en que, cuando la miramos, vemos una multitud de círculos blancos sobre fondo negro. Pero cuando nos separamos del libro 2 ó 3 pasos (ó 6-8 pasos los que tengan muy buena vista) y miramos la figura, notaremos que ésta cambia de aspecto y que, en lugar de círculos, vemos hexágonos blancos, parecidos a los que forman los panales de las abejas.

A mí, personalmente, dejó de convencerme la explicación que se da de esta ilusión por medio de la irradiación, desde que me di cuenta de que los círculos negros sobre fondo blanco, desde lejos, también parecen hexágonos (fig. 138), a pesar de que la irradiación, en este caso, no aumenta, sino que disminuye el tamaño de los círculos. Hay que decir, que, en general, las explicaciones existentes sobre las ilusiones ópticas no pueden considerarse definitivas; muchas de estas ilusiones no tienen explicación todavía*.

QUE LETRA ES MAS NEGRA?

La fig. 139 da la posibilidad de conocer otro defecto de nuestro ojo, el «astigmatismo». Si miramos estas letras con un ojo, lo más probable es que no todas nos parezcan igual de negras. Fijémonos en cuál es la más negra de todas, y pongamos la figura de lado. Ocurre un cambio



* Mi librito «Ilusiones Ópticas» trata de esto más concretamente.

Fig. 138. Estos circulitos negros también parecen hexágonos desde lejos.

Fig. 139. Cuando miramos estas letras con un ojo, una de ellas nos parece más negra que las restantes.



inesperado: la letra que era más negra parece ahora gris, mientras que es otra la que parece más negra.

En realidad, las cuatro letras son igual de negras. La única diferencia entre ellas es la dirección del rayado. Si nuestro ojo estuviera construido tan perfectamente como los objetivos fotográficos, la dirección del rayado no influiría en la negrura de las letras. Pero nuestro ojo no refracta los rayos de luz exactamente igual en todas direcciones. Esta es la causa de que no podamos ver con la misma claridad las líneas verticales, horizontales y oblicuas.

Son raras las personas cuyos ojos no tienen este defecto, pero en algunos casos, *el astigmatismo* alcanza un grado tan alto, que entorpece la vista y amenaza su agudeza. Las personas que padecen este mal, se ven obligadas a usar gafas especiales, para poder ver con claridad.

Los ojos suelen tener otros defectos orgánicos, de los cuales están exentos los aparatos ópticos. El célebre Helmholtz, refiriéndose a estos defectos, decía lo siguiente: «Si algún óptico intentara venderme un instrumento con estos defectos, yo me consideraría con derecho a expresar de forma terminante su negligencia en el trabajo, a protestar, y a devolverle el instrumento».

Pero además de estas ilusiones, debidas a defectos de la estructura del ojo, nuestra vista sufre toda una serie de equivocaciones, cuyas causas son completamente distintas.

RETRATOS VIVOS

Seguramente, todos hemos visto retratos que, además de mirarnos directamente, parece que nos siguen con sus ojos, volviéndolos hacia el lado en que nos situamos. Esta curiosa peculiaridad se conoce desde hace mucho tiempo y fueron muchos los que siempre la consideraron misteriosa. Algunas personas nerviosas llegan a asustarse de esta mirada. Gogol, en «El Retrato», describe perfectamente uno de estos casos.

«Los ojos se clavaron en él, como si no quisieran ver otra cosa... El retrato, sin reparar en nada, mira fijamente, mira como si quisiera verle las entrañas...»



Fig. 140. La figura tomada del cartel.

Existen muchas leyendas supersticiosas relacionadas con esta enigmática particularidad de los ojos de los retratos (recordemos «El retrato»), y sin embargo, su clave se reduce a una simple ilusión óptica.

Todo se explica por el hecho de que, en todos estos retratos, las pupilas se encuentran *en el centro* de los ojos. Así es como estamos acostumbrados a ver los ojos de las personas que nos miran fijamente. (Cuando miran a otra parte, aunque la mirada pase cerca de nosotros, nos parece

que la pupila, como todo el iris, no se halla en el centro del ojo, sino que está un poco desviada.) Si nos apartamos a un lado del retrato, sus pupilas no cambian de posición, es decir, siguen estando en el centro del ojo. Y como, por otra parte, continuamos viendo que todo su rostro sigue también en la misma posición con respecto a nosotros, como es natural, nos parece que el retrato ha vuelto la cabeza hacia nuestro lado y que nos sigue con los ojos.

De esta misma forma se explican otras particularidades desconcertantes de ciertos cuadros, por ejemplo: un caballo viene directamente hacia nosotros, aunque nos apartemos a uno u otro lado del cuadro; un hombre nos señala con el dedo y su brazo extendido hacia adelante se dirige resueltamente hacia nosotros, etc. Un ejemplo de estos cuadros puede verse en la fig. 140. Carteles de este tipo se emplean frecuentemente para fines de agitación y publicidad.

Si meditamos bien la causa de semejantes ilusiones, queda claro que, no sólo no tiene nada de asombroso, sino al contrario, sería asombroso si dichos cuadros no tuvieran estas peculiaridades.

LAS LINEAS «HINCADAS» Y OTRAS ILUSIONES OPTICAS

A primera vista, el grupo de alfileres dibujados en la fig. 141 no tiene nada de particular. Pero cerremos un ojo y, levantando el libro hasta ponerlo a la altura del otro, fijémonos en estas

líneas de forma, que nuestra mirada pase a lo largo de ellas. (El ojo debe situarse en el punto de intersección de las prolongaciones de las rectas). En estas condiciones, parece que los alfileres no están dibujados en el papel, sino hincados verticalmente en el mismo. Desviando la cabeza un poco hacia un lado, veremos cómo parece que los alfileres se inclinan hacia este mismo lado.

Esta ilusión se explica por las leyes de la perspectiva. Las líneas están dibujadas de la forma que deben proyectarse sobre el papel los alfileres clavados verticalmente, cuando se miran por el procedimiento descrito anteriormente.

La facilidad de incurrir en ilusiones ópticas no debe considerarse únicamente como un defecto de nuestra vista. Esta facilidad tiene un lado positivo, del cual nos olvidamos con frecuencia. Es el caso, que si nuestro ojo no fuera capaz de caer en ninguna clase de ilusiones, no existiría la pintura y nos veríamos privados del placer que proporcionan las artes plásticas. Los pintores aprovechan eficazmente estos defectos de nuestra vista.

«En estas ilusiones se basa todo el arte de la pintura — escribía Euler, el genial científico del siglo XVIII, en sus célebres «*Cartas sobre diversas materias físicas*» —. Si estuviéramos acostumbrados a juzgar las cosas por su realidad misma, este arte (es decir, la pintura) no podría existir, lo mismo que no existiría si todos fuéramos ciegos. El pintor agotaría en vano su arte mezclando los colores. Nosotros podríamos decir: esta fablilla representa una mancha roja, otra azul, otra negra y allí varias líneas blanquecinas. Todo esto se encontraría en un plano, sin que se notara diferencia de distancias ni fuera posible representar ni un solo objeto. Todo cuanto hubiera pintado en el cuadro, nos parecería igual que un escrito en un papel... Con toda nuestra perfección, ¿no seríamos dignos de lástima al vernos privados del placer que produce cada día un arte tan útil y agradable?»

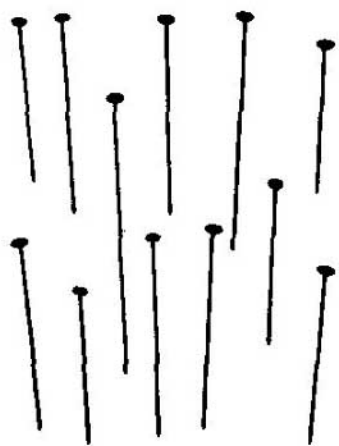


Fig. 141. Colocando un ojo (después de cerrar el otro) en el punto de intersección de las prolongaciones de estas líneas, puede verse una serie de alfileres hincados en el papel. Si movemos el dibujo de un lado para otro, parece que los alfileres se balancean.

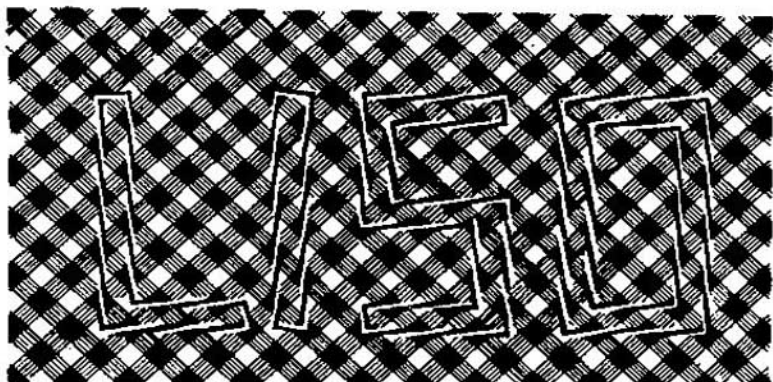


Fig. 142. Estas letras están derechas.

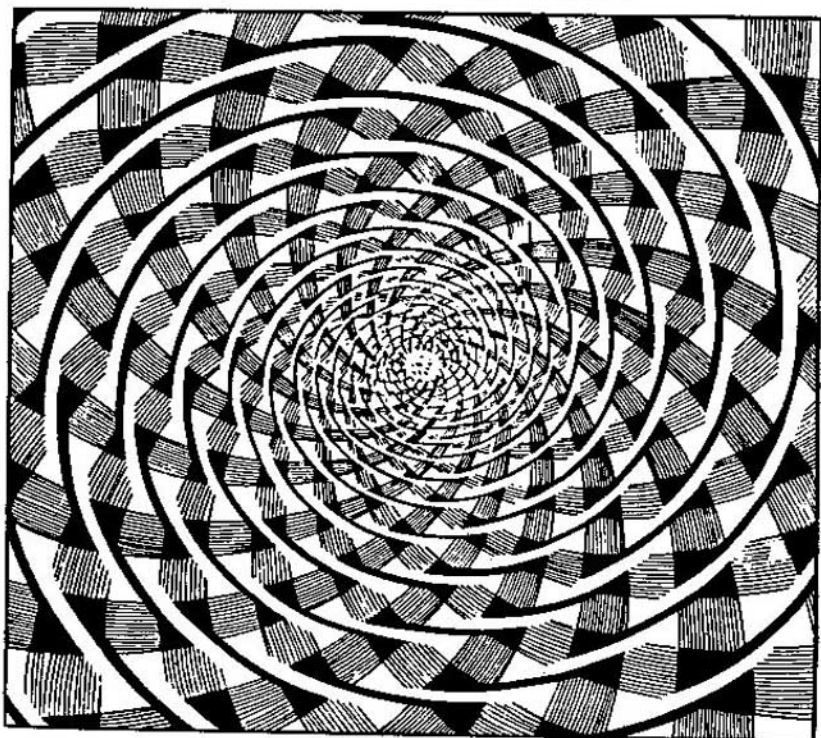


Fig. 143. Las curvas de esta figura parecen espirales, pero son circunferencias. Para convencerse basta seguirlas con un palillo afilado.

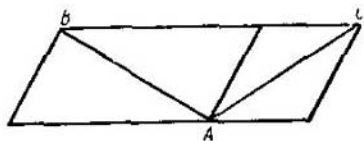


Fig. 144. La distancia AB es igual a la AC aunque la primera parece mayor.



Fig. 145. La línea oblicua que corta estas franjas parece quebrada.

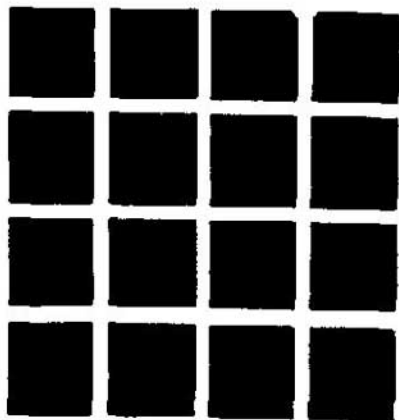


Fig. 147. En los puntos de intersección de las franjas blancas de esta figura aparecen y desaparecen unas manchitas grisáceas cuadradas, aunque en realidad las franjas son completamente blancas en toda su longitud. La comprobación puede hacerse tapando con un papel las filas contiguas de cuadrados negros.

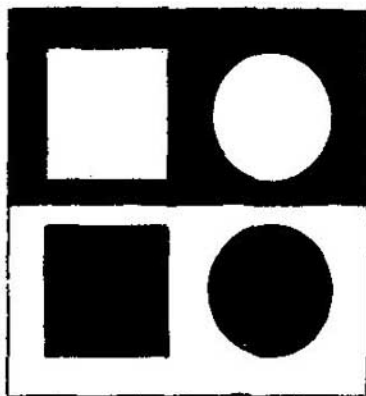


Fig. 146. Estos cuadrados y estos círculos son iguales respectivamente.

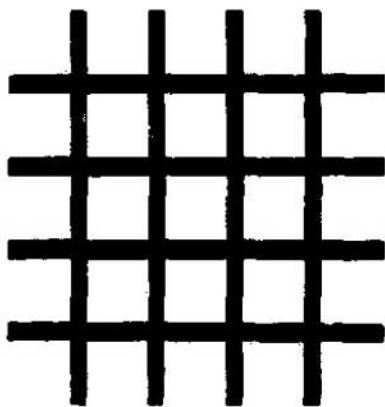


Fig. 148. En los cruces de las franjas negras aparecen manchitas grisáceas.

Existen muchas ilusiones ópticas. Se puede llenar todo un álbum con diferentes ejemplos de estas ilusiones*. Muchas de ellas son conocidas por todos, otras no. En las figs. 142-148 se dan varios ejemplos más de ilusiones ópticas poco conocidas. Producen ilusiones de gran efecto las figs. 142 y 143, con líneas sobre fondo cuadrículado. Nuestros ojos no pueden creer que las letras de la fig. 142 estén derechas. Aún es más difícil reconocer, que lo que representa la fig. 143 no son espirales. Para convencerse de ello hay que recurrir a la comprobación, es decir, colocar la punta de un lápiz en una de las ramas de la supuesta espiral y seguir la curva sin acercarse ni alejarse del centro. Exactamente lo mismo ocurre con la fig. 144, en la cual, solamente con ayuda de un compás, podemos convencernos de que la recta AC no es más corta que la AB . La esencia de las demás ilusiones, producidas por las figs. 145, 146, 147 y 148, se explica en los pies de las mismas. El caso que referimos a continuación da idea de la fuerza ilusoria de la fig. 147. El editor de una de las ediciones anteriores de mi libro, cuando recibió de la cincografía la prueba de este cliché, la consideró defectuosa, y ya estaba dispuesto a devolverla al taller, para que eliminaran las manchitas grises de las intersecciones de las franjas blancas, cuando casualmente entré yo en su despacho y le expliqué la causa.

¿COMO VEN LOS MIOPESES?

Las personas con vista normal saben que los mioipes sin gafas ven mal, pero tienen una idea muy vaga de qué es lo que éstos ven y cómo perciben los objetos. Sin embargo, los miopes son muchos y, por lo tanto, no está de más saber cómo perciben el mundo que los rodea.

Ante todo el miope (sin gafas) no ve nunca contornos bien definidos. Para él, todos los objetos tienen los contornos borrosos. Una persona con vista normal, cuando mira un árbol, distingue cada una de sus hojas y ramas dibujándose claramente sobre el fondo del cielo. El miope no ve más que una masa verde informe, sin contornos realmente definidos; para él no existen pequeños detalles.

Para los miopes, los rostros de las personas suelen ser más jóvenes y atractivos que para las personas de vista normal; porque ellos no notan las arrugas ni los demás pequeños defectos

* En mi librito, antes mencionado, «Ilusiones Ópticas» figuran más de 60 tipos diferentes.

de la cara, y el rudo color rojo (natural o artificial) de la piel, les parece suavemente encarnado. A veces nos asombramos de la ingenuidad de algunos conocidos que se equivocan en cerca de 20 años al calcular la edad de ciertas personas, o nos extraña lo raro de sus gustos al apreciar la belleza, o les tachamos de inseguros, cuando nos miran fijamente a la cara y parece que no quieren reconocernos. Todo esto suele deberse a la miopía.

«En el liceo — recuerda el poeta Delvig, contemporáneo y amigo de Pushkin — me prohibieron usar gafas, pero todas las mujeres me parecían admirables; ¡qué desilusión sufrí después, al terminar!» Cuando un miope sin gafas habla con nosotros, por lo general no ve nuestro rostro, o por lo menos, lo que ve no es lo que nosotros suponemos. Ante él no hay más que una imagen borrosa, por eso, no tiene nada de particular, que, si nos volvemos a encontrar al cabo de una hora, no nos reconozca. La mayoría de los miopes reconocen a las personas, más que por su aspecto exterior, por su voz, es decir, la falta de vista se compensa con la sutileza del oído.

También es interesante esclarecer cómo los miopes ven el mundo de noche. Con el alumbrado nocturno, todos los objetos resplandecientes, como faroles, lámparas, ventanas alumbradas, etc., se agrandan para el miope, hasta alcanzar dimensiones enormes, convirtiendo el cuadro general en un caos de resplandecientes y deformes manchas y de oscuras y borrosas siluetas. En lugar de una serie de faroles alineados, el miope ve en la calle dos o tres enormes manchas brillantes que tapan todo el resto de la calle. Cuando se aproxima un automóvil, los miopes no lo distinguen; solamente ven dos auréolas resplandecientes (los faros) y detrás de ellos una mancha oscura.

Hasta el aspecto del cielo nocturno es diferente para los miopes. Estos ven únicamente las estrellas de las tres o cuatro primeras magnitudes, es decir, en lugar de varios millares de estrellas, distinguen nada más que varios cientos. Pero estas pocas estrellas les parecen grandes bolas luminosas. La Luna se ofrece al miope enorme y muy cercana, y la media Luna toma para él una forma más compleja y fantástica.

La causa de todas estas deformaciones y presuntos aumentos de la dimensiones de los objetos se encuentra, naturalmente, en la estructura del ojo. El ojo miope es demasiado profundo, hasta tal punto, que sus partes refractarias hacen que converjan los rayos procedentes de los objetos, no en la misma retina, sino un poco antes de llegar a ella. Por esto, a la retina, que cubre el fondo del ojo, llegan ya haces de rayos divergentes, que producen en ella imágenes borrosas.

¿COMO ENCONTRAR EL ECO?

Nadie ha conseguido verlo,
Aunque todos lo han oído,
Porque incorpórea es su vida
Y sin tener lengua grita.

Nekrasov

Entre las narraciones del humorista norteamericano Mark Twain, hay una graciosa ficción sobre las desventuras de un coleccionista, que concibió la idea de reunir... ¿qué pensáis? ¡Ecos! Este excéntrico se dedicó a comprar todas aquellas parcelas de tierra en que el eco se repetía varias veces u ofrecía alguna otra particularidad.

«Empezó comprando un eco en el estado de Georgia; el cual se repetía cuatro veces; después compró uno de seis repeticiones, en Maryland; luego otro de trece, en Man. La siguiente compra fue la de un eco de 9 repeticiones, en Kansas y más tarde, la de otro de 12, en Tennessee. Este último le resultó barato, porque, a causa de haberse derrumbado parte de una peña, requería una reparación. El pensaba que sería fácil de reparar rematándolo convenientemente, pero el arquitecto que se encargó de la empresa no había hecho ecos en su vida y acabó estropeándolo por completo. Después de las obras, aquéllo quizá hubiera podido servir para asilo de sordomudos...»

Esto, naturalmente, es una broma, pero existen magníficos ecos múltiples en diversos lugares de la esfera terrestre, especialmente en las montañas, algunos de los cuales son famosos en todo el mundo desde hace muchos años.

Enumeraremos algunos de estos ecos célebres. En el castillo de Woodstock, Inglaterra, el eco repite claramente 17 sílabas. Las ruinas del castillo de Derenbourg, cerca de Halberstadt, producían un eco de 27 sílabas, que enmudeció al ser volado uno de sus muros. Las peñas, que formando círculo se encuentran en las inmediaciones de Adersbach, en Checoslovaquia, en un sitio determinado repiten tres veces 7 sílabas; pero a varios pasos de este sitio, ni el ruido de un disparo produce eco. En un castillo de las cercanías de Milán (hoy desaparecido) se escuchaba un eco de muchas repeticiones. Un disparo hecho desde

la ventana de una de sus alas, era repetido por el eco 40 ó 50 veces, y una palabra pronunciada en alta voz, 30 veces.

No es cosa fácil encontrar el sitio donde el eco se escucha claramente, aunque sólo sea una vez. No obstante, hay muchas llanuras rodeadas de bosques y muchos claros en los propios bosques, en las cuales, basta dar una voz fuerte, para que de las paredes que forman los árboles nos llegue un eco más o menos claro.

En las montañas el eco suele ser más variado, pero menos frecuente que en las llanuras. En los sitios montañosos es más difícil oír el eco que en las llanuras rodeadas de bosques.

Ahora explicaremos por qué ocurre así. El eco no es más que el retorno de las ondas sonoras, reflejadas en un obstáculo cualquiera. Lo mismo que cuando se refleja la luz, el ángulo de incidencia del «rayo sonoro» es igual al ángulo de reflexión. (Llamamos rayo sonoro a la dirección en que se transmiten las ondas sonoras.)

Figurémonos ahora, que nos encontramos al pie de una montaña (fig. 149) y que el obstáculo que debe reflejar el sonido se encuentra más alto que nosotros, por ejemplo, en *AB*. Se ve fácilmente, que las ondas sonoras, que se propagan según las líneas *Ca*, *Cb* y *Cc*, después de reflejadas no llegan a nuestro oído, porque se dispersan en el espacio siguiendo las direcciones *aa*, *bb* y *cc*. Otra cosa ocurre cuando nos encontramos al nivel del obstáculo o algo más altos que él (fig. 150). El sonido que va hacia abajo, siguiendo la dirección *Ca* y *Cb*, regresa a nosotros por las líneas quebradas *CaaC* o *CbbC*, después de reflejarse en el suelo una o dos veces. La profundidad del terreno entre ambos puntos contribuye a que el eco sea más claro, puesto que actúa de una forma análoga al espejo cóncavo. Por el contrario, si el terreno entre los puntos *C* y *B* es convexo, el eco será más débil e incluso puede no llegar a nuestro oído, porque esta superficie dispersa los rayos sonoros, lo mismo que un espejo convexo.

Para buscar el eco en un terreno escabroso, hace falta cierta experiencia. Incluso después de encontrar un sitio a propósito,

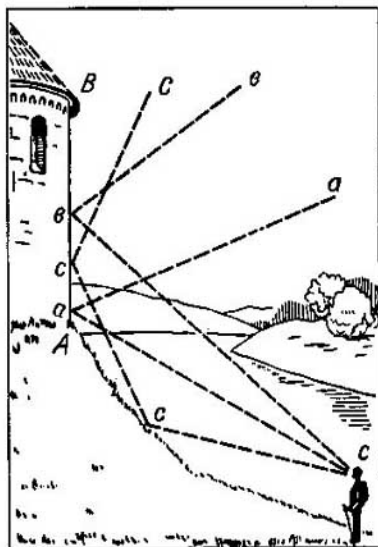


Fig. 149. Aquí no existe eco.

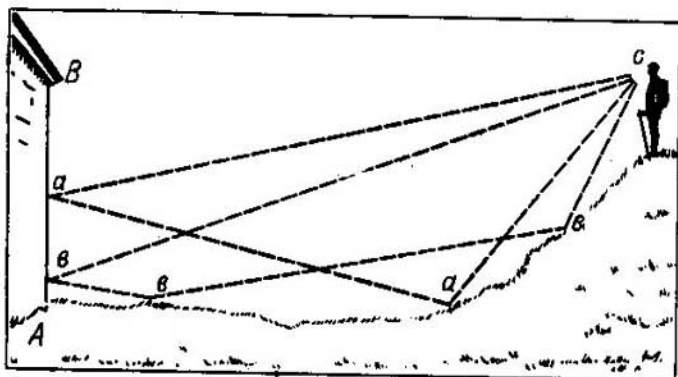


Fig. 150. Aquí el eco es muy claro.

hay que saber provocar el eco. Ante todo, no conviene situarse demasiado cerca del obstáculo, porque es necesario que el sonido recorra una distancia suficientemente larga, de lo contrario, el eco retorna demasiado pronto y se confunde con el sonido mismo. Sabiendo que el sonido recorre 340 m por segundo, es fácil comprender, que si nos colocamos a 85 m de distancia del obstáculo, tendremos que oír el eco exactamente medio minuto después de producirse el sonido.

El eco no responde igual a todos los sonidos. Cuanto más estridente y entrecortado sea el sonido, más claro será el eco. Lo mejor para provocar el eco es dar una palmada. La voz humana es menos apta, sobre todo la del hombre. Los tonos altos de las voces femeninas e infantiles producen ecos más precisos.

EL SONIDO EN LUGAR DE LA CINTA METRICA

Conociendo la velocidad de propagación del sonido en el aire, puede recurrirse a ella, en ciertas ocasiones, para medir la distancia hasta un objeto inaccesible. Julio Verne describe un caso de este tipo en su novela «Viaje al centro de la Tierra». Durante una excursión subterránea, dos viajeros (el profesor y su sobrino) se pierden entre sí. Cuando consiguieron, por fin, oírse desde lejos, se entabló entre ellos el siguiente diálogo:

«— ¡Tío! — grité yo (el narrador es el sobrino).

— ¿Qué, hijo? — oí al cabo de cierto tiempo.

— Ante todo, ¿a qué distancia nos encontramos el uno del otro?

— No lo sé, pero no es difícil de determinar.

— ¿Conserva usted su cronómetro?

— Sí.

— Pues, cójalo. Pronuncie mi nombre y fíjese el segundo exacto que marca, cuando empiece a hablar. Yo repetiré el nombre, en cuanto el sonido llegue hasta mí. Cuando oiga mi respuesta, vuelva a fijarse en el segundo que marca el cronómetro.

— Entendido. La mitad del tiempo transcurrido, entre la señal y la respuesta, nos dará los segundos que tarda el sonido en llegar hasta ti. ¿Estás preparado?

— Sí.

— ¡Atención! Pronuncio tu nombre.

Yo arrimé el oído a la pared. En cuanto la palabra «Aksel» (nombre del narrador) llegó a mi oído, la repetí inmediatamente y esperé.

— Cuarenta segundos — dijo mi tío —, por consiguiente, el sonido llegó hasta mí en 20 segundos. Como quiera que el sonido recorre un tercio de kilómetro por segundo, la distancia entre nosotros es de cerca de siete kilómetros».*

Después de comprender bien lo dicho en la cita anterior, no es difícil resolver el problema siguiente:

El silbido de una locomotora lejana fue oído segundo y medio después de ver cómo salía el humo blanco de su silbato, ¿a qué distancia se encontraba la locomotora?

ESPEJOS ACUSTICOS

El frente de un bosque, una tapia alta, un edificio, una montaña, o cualquier obstáculo capaz de reflejar el eco, puede considerarse como *un espejo*, en el cual el sonido se refleja de la misma forma que la luz en un espejo plano.

Los espejos acústicos pueden ser planos y curvos. Los curvos cóncavos actúan como reflectores, es decir, concentran los «rayos sonoros» en su foco.

Dos platos hondos dan la posibilidad de realizar un interesante experimento de este tipo. Pongamos uno de los platos en la mesa, y sobre él, a unos centímetros de su fondo, sostengamos con la mano un reloj de bolsillo. Acerquemos al oído el otro plato como indica la fig. 151. Si logramos encontrar la correspondiente disposición mutua entre el reloj, el oído y los platos

* El autor cometió aquí un error en el cálculo, porque, como sabemos, en los medios densos el sonido se propaga más de prisa. Por ejemplo, la velocidad del sonido en el agua del mar es de 1 490 m/seg. En los cuerpos sólidos esta velocidad es aún mayor. (*N. de la Edit.*)

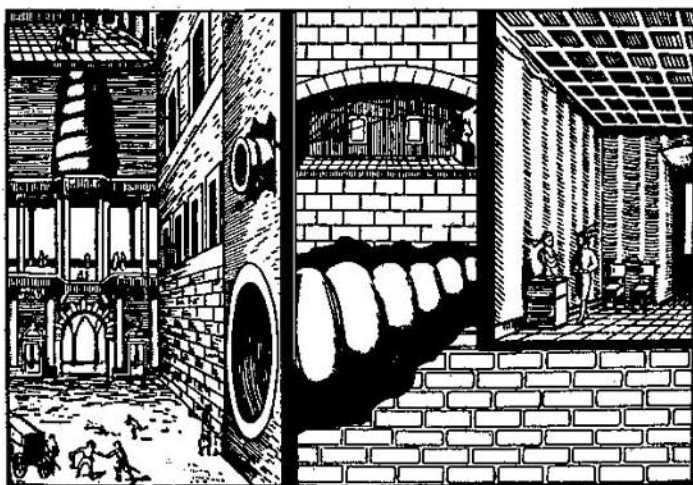


Fig. 151. Estos platos producen el efecto de espejos acústicos cóncavos.

(lo que se consigue después de una serie de pruebas), oiremos el tictac del reloj como si procediera del plato que tenemos junto al oído. Esta ilusión es mayor aún cuando se cierran los ojos. En estas condiciones es francamente imposible distinguir con el oído, en qué mano tenemos el reloj, en la derecha o en la izquierda.

Los constructores de castillos medievales solían introducir en ellos curiosidades acústicas, para lo cual colocaban bustos en el foco de espejos acústicos cóncavos o al final de tubos especiales, hábilmente disimulados en las paredes. En la fig. 152 se muestra la reproducción de un grabado tomado de un libro del siglo XVI (de Athanasius Kircher, 1560), en el cual pueden verse estos ingeniosos dispositivos. El

Fig. 152. Curiosidades acústicas de un castillo medieval. Bustos parlantes. (De un libro de Athanasius Kircher, del año 1560).



techo en forma de bóveda dirige hacia los labios del busto los sonidos, que el tubo acústico conduce desde el exterior. Estos enormes tubos acústicos, emparedados en los edificios, recogían los sonidos de la calle o del patio y los conducían a los bustos de piedra, situados junto a la pared de una de las salas. A los visitantes les parecía que los bustos murmuraban o canturreaban algo.

LOS SONIDOS EN EL TEATRO

Todo aquel que haya frecuentado teatros y salas de conciertos, sabe perfectamente, que, en el sentido auditivo, hay salas con buenas condiciones acústicas y salas con malas condiciones. En unas salas se oyen muy bien las voces de los artistas y los sonidos de los instrumentos musicales, desde lejos, mientras que en otras, ni de cerca se perciben claramente. La causa de este fenómeno está muy bien explicada en el libro del físico norteamericano Wood: «Las ondas sonoras y su utilización».

«Cualquier sonido producido en un local, se continúa oyendo bastante tiempo después de haber terminado de emitirlo la fuente del mismo. La reflexión múltiple hace que recorra varias veces la sala. Pero durante este tiempo se producen otros sonidos, y suele ocurrir, que el oyente no puede captarlos en el orden correspondiente ni comprenderlos. Así, por ejemplo, si el sonido dura 3 segundos y el orador pronuncia tres sílabas por segundo, las ondas sonoras correspondientes a 9 sílabas recorrerán conjuntamente la sala, armando una verdadera confusión y ruido, por cuya culpa el oyente no podrá comprender al orador.

Cuando un orador se encuentra en estas condiciones no tiene más remedio que hablar claro y no muy alto. Pero por regla general, los oradores hacen lo contrario, procuran hablar más alto, con lo cual no consiguen otra cosa que aumentar el ruido».

Hasta hace relativamente poco tiempo, la construcción de un teatro con buenas condiciones acústicas se consideraba cuestión de suerte. En la actualidad se han encontrado procedimientos que permiten combatir eficazmente la duración perniciosa de los sonidos (llamada «reverberación»), es decir, aquella que entorpece la audición. En este libro no podemos entrar en detalles que sólo interesan a los arquitectos, pero sí concretarnos a decir, que la lucha contra las malas condiciones acústicas consiste en crear una serie de superficies que absorben los sonidos superfluos. El mejor absorbente del sonido es una ventana abierta (lo mismo que el mejor absorbente de la luz es un orificio). Tanto es así, que como unidad de medición de la absorción del sonido se ha tomado el metro cuadrado de ventana abierta. También absorbe muy bien el sonido, aunque dos veces peor que la

ventana abierta, el público que asiste al teatro. Cada persona equivale en este sentido, aproximadamente, a la mitad de un metro cuadrado de ventana abierta. Y si bien es verdad la indicación de un físico que decía, que «el auditorio absorbe el discurso del orador en el sentido más directo de la palabra», tampoco lo es menos, que una sala vacía es enojosa para el orador, también en el sentido directo de la palabra.

Si la absorción del sonido es *demasiado* grande, también se empeora la audición. En primer lugar, porque la excesiva absorción amortigua el sonido, y, en segundo lugar, porque disminuye la reverberación hasta tal grado, que los sonidos se oyen como si fueran cortados y dan la sensación de cierta sequedad. Por esto, las reverberaciones demasiado cortas tampoco son convenientes y deben evitarse lo mismo que las excesivamente prolongadas. La magnitud óptima de la reverberación no es igual para diferentes salas, por lo cual, hay que determinarla expresamente al proyectar cada local.

En los teatros existe también otro objeto interesante desde el punto de vista de la Física: la concha del apuntador. ¿Habéis observado que en todos los teatros tiene la misma forma? Esto se debe a que la concha del apuntador es una especie de aparato físico. La bóveda de esta concha es de por sí un espejo acústico cóncavo, que desempeña dos funciones: una, la de interceptar las ondas sonoras que van desde la boca del apuntador hacia el público, y la otra, la de reflejar estas mismas ondas hacia el escenario.

EL ECO DEL FONDO DEL MAR

Durante muchísimos años el hombre no sacó ningún provecho del eco, hasta que por fin ideó un procedimiento para medir con su ayuda la profundidad de los mares y océanos. El descubrimiento fue casual. En 1912 se hundió el enorme transatlántico «Titanic» con casi todos sus pasajeros. La causa de esta catástrofe fue el choque con un iceberg. Para evitar en lo sucesivo casos semejantes y poder descubrir estos obstáculos de hielo durante la noche y los días de niebla, se intentó emplear el eco. Este procedimiento fracasó, pero dio impulso a otra idea: la de medir la profundidad de los mares valiéndose de la reflexión del sonido en el fondo. Esta idea resultó muy acertada.

En la fig. 153 vemos el esquema de una instalación de esta clase. En la parte sumergida del barco se encuentra un foco de ondas sonoras. Las ondas producidas por este foco avanzan rápidamente a través de la capa de agua, llegan al fondo, se re-

flejan en él y regresan conduciendo el eco. Este eco se capta con un aparato especial colocado en la parte inferior del casco. Unos relojes de precisión miden el intervalo de tiempo transcurrido entre la emisión del sonido y la llegada del eco. Conociendo la velocidad del sonido en el agua, es fácil calcular la distancia que hay hasta el obstáculo en que se refleja, es decir, determinar la profundidad del mar o del océano.

La sonda de eco, o sonar, que así es como se llamó esta instalación, realizó una verdadera revolución en la práctica de la medición de las profundidades marinas. Los antiguos sistemas de sondeo podían emplearse únicamente con el barco parado y requerían mucho tiempo. La sondaleza tenía que irse soltando bastante despacio (150 m/min) de la rueda en que estaba arrollada y su recogida se efectuaba con la misma lentitud. Para medir una profundidad de 3 km por este procedimiento, se necesitan 3/4 de hora. Con el sonar esta medición puede realizarse en varios segundos, con el barco en plena marcha y obteniendo un resultado incomparablemente más seguro y exacto. El error de este sondeo no suele ser mayor de un cuarto de metro (porque el intervalo de tiempo se mide con una precisión de hasta una tresmilava parte de segundo).

Si la medición exacta de las grandes profundidades tiene gran importancia para la ciencia oceanográfica, la posibilidad de determinar con rapidez, seguridad y precisión las pequeñas profundidades aporta una gran ayuda a la navegación, garantizando su seguridad. Gracias a la sonda de eco los barcos pueden acercarse de prisa y sin vacilar a la costa.

En los sonars modernos no se utilizan sonidos ordinarios, sino «ultrasonidos» extraordinariamente intensos, imperceptibles para el oído humano, cuya frecuencia es del orden de varios

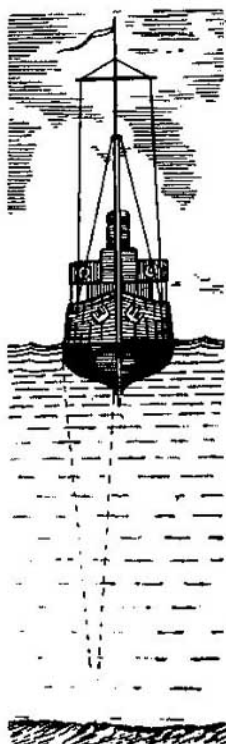


Fig. 153. Esquema del funcionamiento de la sonda de eco.

millones de oscilaciones por segundo. Estos sonidos son generados por las oscilaciones de una lámina de cuarzo piezoeléctrico intercalada en un campo alterno de gran frecuencia.

El primer tipo moderno de eco sonda fue proyectado, durante la primera guerra mundial, por el físico francés Langevin, para descubrir los submarinos alemanes.

EL ZUMBIDO DE LOS INSECTOS

¿Por qué zumban los insectos? En la mayoría de los casos, los insectos no tienen órganos especiales para zumbar. El zumbido, que suele oírse cuando vuelan, se debe a que los insectos dan varios cientos de aletadas por segundo. El ala de por sí es una lámina vibrante, y, como sabemos, toda lámina que oscila con suficiente frecuencia (más de 16 veces por segundo) engendra sonidos de una altura determinada. Ahora comprenderá el lector, de qué forma se consiguió saber la cantidad de aletadas por segundo que da cualquier insecto cuando vuela. Para ello basta con determinar a oído la altura del sonido que emiten los insectos, puesto que a cada tono le corresponde una frecuencia de vibración determinada. Con ayuda de la «cámara lenta» (cap. 1) se consiguió precisar que cada insecto mueve las alas con una frecuencia casi invariable; para regular su vuelo, los insectos varían únicamente la amplitud de las aletadas y la inclinación de sus alas. El número de aletadas por segundo aumenta exclusivamente a causa del frío. He aquí por qué el tono del sonido, que emiten los insectos cuando vuelan, permanece invariable. Se ha hallado, por ejemplo, que la mosca vulgar (que cuando vuela emite sonidos de tono *F*) da 352 aletadas por segundo. El abejorro hace 220 movimientos de ala en este mismo tiempo. La abeja, que produce sonidos de tono *A*, da 440 aletadas por segundo, cuando vuela libremente, y 330 aletadas (tono *B*), cuando lo hace cargada de miel. Los escarabajos, que emiten al volar sonidos más bajos, mueven sus alas con menos agilidad. Los mosquitos, por el contrario, comunican a sus alas 500-600 oscilaciones por segundo. Para que sirva de término de comparación, diremos, que la hélice de los aviones suele dar unas 25 revoluciones por segundo.

ILUSIONES ACUSTICAS

Si por una causa cualquiera suponemos que la fuente de un ruido pequeño, en lugar de estar cerca, se encuentra lejos de nosotros, el sonido nos parece *mucho más fuerte*. Las ilusiones de este tipo suelen ser frecuentes, pero no siempre les prestamos atención.

He aquí un caso curioso, que el científico norteamericano William James relata en su «Psicología».

«En una ocasión, estaba yo sentado leyendo, bien entrada la noche, cuando de repente se produjo un ruido espantoso en la parte superior de la casa. El ruido cesó, pero al cabo de un minuto volvió a producirse. Yo decidí salir a la sala para oír mejor el ruido, pero allí no se reprodujo. Sin embargo, en cuanto entré en mi habitación y cogí el libro, el sonido fuerte y alarmante sonó de nuevo. Era algo semejante al comienzo de una tempestad o inundación. Parecía venir de todas partes. Francamente alarmado, volví a salir a la sala, y otra vez cesó el ruido.

Cuando regresé por segunda vez a mi habitación, descubrí inesperadamente que el ruido era producido por un perrillo. El animalito dormía en el suelo y roncaba plácidamente.

Y lo más interesante es, que después de hallar la verdadera causa del ruido me fué imposible reproducir la ilusión anterior».

Probablemente, el lector podrá recordar algún caso semejante que le haya ocurrido en su vida. A mí, personalmente, me ha ocurrido más de uno.

¿DONDE CHIRRIA EL GRILLO?

Con frecuencia, lo que determinamos erróneamente no es la distancia, sino la dirección en que se encuentra el objeto que suena.

Nuestros oídos distinguen bastante bien si un disparo suena a nuestra derecha o a nuestra izquierda (fig. 154). Pero son impotentes para determinar la situación de la fuente del sonido, cuando éste se encuentra directamente delante o detrás de nosotros (fig. 155). Suele ocurrir, que un disparo hecho por delante, lo oímos como si hubiera sonado por detrás.

En estos casos somos capaces de distinguir solamente, por la fuerza del sonido, si el disparo fue hecho cerca o lejos.

Citaremos un ejemplo que puede servirnos de enseñanza. Sentad a un amigo cualquiera, con los ojos vendados en el centro de una habitación y decidle que se esté quieto y que no mueva la cabeza. Después, tomad dos monedas y haced sonarla una sobre la otra, procurando permanecer siempre situados en el plano vertical que pasando entre los ojos, divide por la mitad la cabeza del que esta sentado. Hecho esto, preguntad a vuestro amigo, en qué sitio sonaron las monedas. El resultado será increíble: en lugar del ángulo en que se produjo el sonido, señalará el punto opuesto.

Pero si os apartáis del antedicho plano de simetría de la cabeza, los errores no serán tan grandes. Esto es comprensible,



Fig. 154. ¿Por qué lado se hizo el disparo, por el derecho o por el izquierdo?

porque en este caso, el sonido llegará antes y con más fuerza al oído que está más cerca, y, gracias a esto, vuestro amigo puede determinar el sitio de donde procede el sonido.

Este experimento explica, entre otras cosas, por qué es tan difícil encontrar un grillo que chirrea entre la hierba. Su agudo sonido se oye a dos pasos de nosotros, a la derecha de la carretera. Miramos hacia allá, pero no vemos nada; el sonido se oye entonces por la izquierda. Volvemos la cabeza hacia allí, y el sonido nos llega desde un tercer punto. Y cuanto más rápidamente miremos hacia el lado del chirrido, con más agilidad parece que salta este músico invisible. Sin embargo, el insecto está quieto en su sitio; sus maravillosos saltos son fruto de nuestra imaginación y consecuencia de una ilusión acústica. Nuestro error consiste, en que al volvernos, colocamos la cabeza de tal forma, que el grillo se encuentra en el plano de simetría. En estas condiciones, como ya sabemos, no es difícil equivocarse la

Fig. 155. ¿Dónde dispararon?

dirección del sonido. El chirrido del grillo suena delante de nosotros, pero nos parece, erróneamente, que suena por el lado contrario.

De aquí podemos sacar una conclusión práctica: si queremos determinar de dónde procede el chirrido de un grillo, o el canto de un pájaro u otro sonido lejano cualquiera, no debemos girar la cabeza hacia el lado por el cual suena, sino, al contrario, volverla hacia otra parte. Esto precisamente es lo que hacemos cuando, como suele decirse, «aguzamos el oído».

CURIOSIDADES DEL OIDO

Cuando mascamos un trozo de pan seco (o duro), oímos un ruido ensordecedor, mientras que si alguien hace lo mismo junto a nosotros apenas si lo notamos. ¿Cómo se las arregla para evitar el estrépito?

Muy fácilmente. Todo consiste en que este estrepitoso ruido sólo existe para nuestros oídos y no molesta a los de nuestros vecinos. Ocurre esto, porque los huesos del cráneo, como todos los cuerpos sólidos y elásticos en general, conducen muy bien el sonido, y hay veces en que éste, al pasar por un medio denso, se amplifica extraordinariamente. Cuando el chasquido del pan seco llega a nuestro oído *por el aire*, lo percibimos como un pequeño ruido; pero este mismo chasquido se convierte en estrépito si llega a nuestro nervio acústico a través de los duros huesos del cráneo.

Y he aquí otro experimento de este mismo campo: sujetad entre vuestros dientes un reloj y taparos bien los oídos con los dedos. Escucharéis unos fuertes golpes; son el tic-tac ampliado del reloj.

Dicen que Beethoven, después de quedarse sordo, oía el piano apoyando en él uno de los extremos de su bastón, mientras sujetaba el otro extremo entre los dientes. De la misma manera, aquellos sordos que conservan su oído interno pueden bailar al compás de la música, porque el sonido llega hasta sus nervios acústicos a través del suelo y de sus propios huesos.

«LAS MARAVILLAS DE LA VENTRILOQUIA»

Una cosa tan asombrosa como las «maravillas» que realizan los ventrílocuos, se basa en la peculiaridad del oído de que hablamos en las págs. 218-220.

«Si alguien anda por el caballete del tejado — escribe el profesor Gampson — su voz, dentro de la casa, da la impresión de ser un leve murmullo. A medida que se va alejando hacia el extremo del edificio, este murmullo se va debilitando más. Si esta-

mos sentados en una habitación de la casa, nuestro oído no puede decirnos nada sobre la dirección del sonido ni de la distancia que nos separa de la persona que habla. Pero nuestra conciencia deduce, que si la voz varía, es porque se aleja de nosotros. Si esta misma voz nos dice, que el que habla se pasea por el tejado, la creemos fácilmente. Si, por fin, otra persona cualquiera comienza a hablar con la anterior (que suponemos fuera) y recibe de ella respuestas comprensibles, la ilusión resulta perfecta.

Estas son las condiciones en que actúan los ventrílocuos. Cuando le llega la hora de hablar al que está en el tejado, el ventrílocuo apenas si susurra las palabras; pero cuando le toca a él mismo, habla con voz plena y clara, para remarcar de esta forma el contraste con la otra voz. El contenido de sus advertencias y de las respuestas de su supuesto interlocutor acrecienta la ilusión. El único punto flaco que puede tener este engaño es, que la voz del sujeto imaginario (que se encuentra fuera), en realidad es emitida por el que está en la escena, es decir, que su dirección es falsa.»

«Conviene también señalar, que la denominación de *ventrílocuo* no es correcta. El ventrílocuo tiene que ocultar de sus oyentes el hecho de que, cuando el turno de hablar le corresponde al interlocutor imaginario, el que lo hace en realidad es él mismo. Para conseguirlo se vale de una serie de artificios. Procura distraer la atención del público haciendo toda clase de gestos. Inclínándose hacia un lado y poniéndose la mano en la oreja, como para oír mejor, hace lo posible por ocultar sus labios. Si le es imposible ocultar el rostro, procura mover los labios lo menos posible. Esto es fácil de conseguir, puesto que la mayoría de las veces solamente necesita emitir un débil y casi imperceptible murmullo. El movimiento de los labios puede disimularse muy bien, por lo que ciertas personas creen, que la voz del artista sale de las entrañas de su cuerpo. A esto, precisamente, se debe el nombre de ventrílocuo (es decir «que habla con el vientre»).

Como vemos, las supuestas maravillas de la ventriloquia se basan totalmente en el hecho de que nosotros no podemos determinar exactamente ni la dirección del sonido, ni la distancia que nos separa del cuerpo que lo emite. En condiciones normales conseguimos hacerlo aproximadamente; pero en cuanto se nos coloca en circunstancias en las cuales la percepción del sonido es algo anormal, al querer determinar su origen, cometemos grandes errores. Yo, por ejemplo, en una ocasión, a pesar de que estaba mirando al ventrílocuo y de que comprendía perfectamente sus secretos, no pude vencer la ilusión acústica.

CIEN PREGUNTAS SOBRE EL PRIMER LIBRO DE "FISICA RECREATIVA"

1. ¿Cuántas veces es menor la velocidad con que se mueve un caracol que la de un peatón?
2. ¿Qué velocidades alcanzan los aviones modernos?
3. ¿Puede el hombre adelantar al Sol en su movimiento diario por el firmamento?
4. ¿Cómo se consigue en la pantalla del cine que los movimientos sean muy lentos?
5. ¿Cuándo nos movemos más de prisa alrededor del Sol, a mediodía o a medianoche?
6. ¿Por qué los radios superiores de las ruedas en movimiento se suelen confundir a simple vista, mientras que los inferiores se distinguen entre sí?
7. ¿Qué puntos de una locomotora en marcha se mueven más despacio? ¿Qué partes de la locomotora se mueven en dirección contraria?
8. ¿Por qué nos parece que las estrellas están desplazadas hacia adelante en la dirección que sigue la Tierra por su órbita?
9. ¿Por qué, al levantarnos de una silla, echamos el cuerpo hacia adelante o metemos los pies debajo de ella?
10. ¿Cómo se explica el andar de los viejos marinos?
11. ¿En qué se distingue el correr del andar?
12. ¿Cómo hay que saltar, en caso de necesidad, de un vagón en marcha? Explicar fundamentadamente la respuesta.
13. El fabuloso embustero Munchhausen contaba, que había cogido balas de cañón en pleno vuelo. ¿Es totalmente imposible esto?
14. Cuando se va en un automóvil a gran velocidad, ¿pueden cogerse impunemente objetos lanzados hacia él?
15. Cuando un cuerpo cae, ¿qué pesa, más o menos que en reposo?
16. ¿Es inevitable que todos los cuerpos lanzados hacia arriba vuelvan a caer en la Tierra?
17. ¿Está bien descrito en la novela de Julio Verne «De la Tierra a la Luna» lo que sucede dentro del proyectil en vuelo?
18. ¿Se puede pesar bien en balanzas inexactas, si se tienen pesas buenas? Y en balanzas exactas, ¿se puede pesar bien con pesas malas?

19. ¿Es conveniente para nosotros que los huesos de nuestro esqueleto trabajen como palancas, en condiciones en las cuales se emplea mucha fuerza para vencer pequeñas resistencias?

20. ¿Por qué los esquiadores no se hunden en la nieve blanda?

21. ¿Por qué no parecen duras las hamacas de cuerda?

22. ¿Cómo se llevó a cabo el tiro de ultralargo alcance?

23. ¿Por qué se elevan las cometas?

24. Cuando una piedra cae, en el aire, desde una gran altura, ¿todo el tiempo va aumentando su velocidad?

25. ¿Cuál es la velocidad máxima que alcanza el cuerpo humano, cuando cae sin abrir el paracaídas?

26. ¿Cómo se explica el complicado vuelo del bumerang?

27. ¿Se puede saber si un huevo está crudo o cocido, sin romper su cascarón?

28. ¿Dónde pesan más los cuerpos, cerca del ecuador o cerca de los polos?

29. Cuando una semilla germina en la llanta de una rueda en rotación, ¿hacia qué lado se dirige la raíz de la planta?

30. ¿Qué diferencia hay entre «movimiento continuo» y motor de «movimiento continuo»?

31. ¿Ha tenido éxito alguno de los intentos de construir motores de «movimiento continuo»?

32. Si un cuerpo está sumergido en un líquido, ¿por qué lado sufre mayor presión, por arriba, por los lados o por abajo?

33. ¿Qué sucederá si en un frasco con agua, colocado en una balanza y equilibrado con pesas, introducimos un peso colgado de un hilo, que sostenemos con la mano?

34. ¿Qué forma tomaría un líquido cualquiera si no pesase nada? ¿Se puede comprobar la respuesta con algún experimento?

35. ¿Por qué son redondas las gotas de la lluvia?

36. ¿Es verdad que el petróleo se filtra a través del vidrio y de los metales? ¿Por qué se llegó a este convencimiento?

37. ¿Se puede conseguir que una aguja de acero flote en el agua?

38. ¿Qué es la flotación?

39. ¿Por qué lava el jabón?

40. ¿Por qué suben las pompas de jabón? ¿En qué locales suben más de prisa, en los fríos o en los calientes?

41. ¿Qué es más delgado, un cabello humano o la pared de una pompa de jabón? ¿Cuántas veces?

42. Si en un plato con agua colocamos un vaso invertido, en el cual arda un papel, todo el agua del plato no tardará en reunirse debajo del vaso, ¿por qué?

43. ¿Por qué sube el agua cuando se absorbe con una paja?
44. En una balanza se encuentran en equilibrio un trozo de madera y unas pesas. Si ponemos esta balanza debajo de una campana neumática y hacemos el vacío, ¿se conservará el equilibrio?
45. ¿Qué ocurriría con la balanza de la pregunta anterior si la introdujésemos en aire comprimido?
46. Si nuestro cuerpo perdiera su peso, pero nuestros vestidos conservaran el suyo, ¿seguiríamos apoyándonos en la superficie de la tierra o nos remontaríamos en el aire?
47. ¿Qué diferencia hay entre el motor de «movimiento continuo» y el motor gratuito? ¿Se ha conseguido construir el motor gratuito?
48. ¿Qué desperfectos pueden sufrir las vías del tranvía cuando hace mucho calor? ¿Y cuando hace mucho frío? ¿Por qué son menores estos peligros en las vías de ferrocarril?
49. ¿En qué época del año cuelgan más los cables telefónicos y telegráficos?
50. ¿Qué vasos saltan más fácilmente al echarles agua caliente, los de paredes gruesas o los finos? ¿Y al enfriarse?
51. ¿Por qué se hacen con fondo grueso los vasos para limonada y por qué estos mismos vasos no sirven para el té?
52. ¿Qué material transparente es el mejor para vasijas que no se rompan ni con el calor ni con el frío?
53. ¿Por qué es difícil ponerse las botas cuando se tienen los pies recalentados?
54. ¿Se pueden hacer relojes a los que no haya que darles cuerda?
55. ¿Se puede emplear este mismo principio básico para hacer grandes mecanismos?
56. ¿Por qué sube el humo?
57. ¿Qué debemos hacer si queremos enfriar con hielo una botella de limonada?
58. ¿Se derritirá antes el hielo si lo envolvemos en una piel?
59. ¿Es verdad que la nieve calienta la tierra?
60. ¿Por qué no se hiela el agua en las tuberías subterráneas?
61. ¿En qué sitio de Moscú es invierno en el mes de julio?
62. ¿Por qué se puede hervir agua en una vasija estañada sin que se desuelde?
63. ¿Por qué se deslizan mal los trineos por la nieve cuando hace mucho frío?

64. ¿Por qué se hacen bien las pelotas de nieve cuando la temperatura es moderada, mientras que cuando hiela se desmoronan?

65. ¿Por qué se forman carámbanos en los tejados de los edificios sin calefacción?

66. ¿Por qué hace más calor en los países ecuatoriales que en los próximos a los polos?

67. ¿De dónde procede la palabra «silueta»?

68. ¿Cómo cambiaría el momento de la salida del Sol si la luz se propagara instantáneamente?

69. Si la propagación de la luz fuera instantánea en todos los medios, ¿cambiaría el efecto que producen los telescopios y los microscopios?

70. ¿Puede conseguirse que los rayos de luz rodeen un obstáculo?

71. ¿Cómo está construido el periscopio?

72. ¿Dónde hay que poner la lámpara para verse mejor en el espejo, delante de uno o detrás?

73. ¿Existe una analogía total entre nuestra fisonomía y su imagen reflejada en el espejo?

74. ¿Se puede obtener alguna utilidad del caleidoscopio?

75. ¿Qué hay que hacer para conseguir fuego con el hielo?

76. ¿Se dan casos de espejismo en nuestras latitudes?

77. ¿Qué es el «rayo verde»?

78. ¿Cómo hay que mirar las fotografías?

79. ¿Por qué adquieren relieve y profundidad las fotografías que se miran a través de un cristal convexo o de un espejo cóncavo?

80. ¿Por qué las filas de en medio son las mejores para ver el cine?

81. ¿Por qué es preferible mirar los cuadros cerrando un ojo?

82. ¿En qué se basa el funcionamiento del estereoscopio?

83. ¿Puede asemejarse nuestra vista a la de un gigante fabuloso?

84. ¿Qué es un antejo estereoscópico?

85. ¿A qué se debe el brillo?

86. ¿Por qué parece mayor la profundidad del paisaje, cuando lo contemplamos desde la ventanilla de un tren que marcha velozmente?

87. ¿Cómo se hacen las fotografías estereoscópicas de los cuerpos celestes?

88. ¿En qué se basa el efecto de las llamadas «maravillas de las sombras»?

89. ¿Qué color tendrá una bandera roja si se alumbrá con luz azul?

90. Explíquese lo que significan las palabras «irradiación» y «astigmatismo».

91. ¿Hay retratos que parece que nos siguen con la vista? ¿Cómo se explica esto?

92. ¿A quién le parecen mayores las estrellas brillantes, a las personas con vista normal o a los miopes?

93. El eco de una palmada llega a nosotros al cabo de 1,5 segundos de haberla dado, ¿a qué distancia se encuentra el obstáculo que refleja el sonido?

94. ¿Existen espejos acústicos?

95. ¿Dónde se propaga el sonido más de prisa, en el aire o en el agua?

96. Indíquese alguna aplicación técnica del eco.

97. ¿Por qué zumban las abejas?

98. ¿Por qué es tan difícil encontrar un grillo que oímos chirriar cerca?

99. ¿Dónde se transmite mejor el sonido, en el aire o en medios más densos?

100. ¿Cuál es el secreto de la «ventriloquia»?

* * *

La continuación inmediata de esta obra es el segundo libro de «Física Recreativa», que por esto no deja de ser un libro independiente y original del mismo autor. Al final de este segundo libro se da una relación de la literatura que puede recomendarse para lecturas posteriores.