



¿Qué quiere decir —¡Decidido! —anunció mi hermano «mirar con la cabeza»? • Un periódico pesado esta tarde haremos experimentos eléctricos.

—¿Experimentos? ¡Nuevos experimentos! —exclamé yo entusiasmado—. ¿Cuándo? ¿Ahora? Yo quiero hacerlos ahora.

—Pues ten paciencia. Los haremos esta tarde. Ahora tengo que marcharme.

—¿Por la máquina?

—¿Qué máquina?

—La eléctrica. Para los experimentos hará falta una máquina.

—La máquina que nos hará falta ya la tenemos, está en mi cartera. Pero, haz el favor de no buscarla sin mí —previó mi hermano lo que yo pensaba—. No la encontrarás y me revolverás todo —añadió, mientras se ponía el abrigo.

—Pero, ¿la máquina está ahí?

—Ahí está, no te preocupes.

Y mi hermano salió de casa, dejando tranquilamente la cartera, con la máquina, en la mesita que había en la antesala.

Si el hierro pudiera sentir, experimentaría junto a un imán lo mismo que yo notaba cuando me quedé a solas con la cartera de mi hermano. La cartera tiraba de mí, atraía todos mis sentimientos e ideas. Era imposible pensar en ninguna otra cosa, era inútil pretender mirar a otra parte ...

Es raro que una máquina eléctrica pueda caber en una cartera. Yo me la figuraba menos delgada. La cartera no estaba cerrada con llave, y sí, con cuidado, echaba una ojeada a su interior... Aquí hay algo envuelto en un periódico. ¿Una caja? No, son libros. Libros y más libros, otra cosa no hay en la cartera. ¿Cómo no se me ocurrió en el acto que mi hermano me había gastado una broma? ¡Puede, acaso, guardarse una máquina eléctrica en una cartera!

Mi hermano regresó con las manos vacías y, por la cara desilusionada que yo tenía, se dio cuenta en seguida de la causa de mi triste aspecto.

—¿Me parece que le has hecho una visita a mi cartera? —preguntó él.

—¿Dónde está la máquina? —fue mi respuesta.

—En la cartera. ¿No la has visto?

—Ahí no hay más que libros.

—Y la máquina. Por lo visto has mirado mal.

¿Con qué has mirado?

—¿Qué con qué he mirado? Con los ojos.

—Está claro, has mirado sólo con los ojos. ¡Hay que mirar con toda la cabeza! No basta mirar, hay que comprender lo que se ve. Esto es lo que se llama «mirar con la cabeza». Si quieres te demostraré la diferencia que hay entre mirar sólo con los ojos y mirar con la cabeza.

Mi hermano sacó del bolsillo un lápiz y dibujó en un papel la figura representada a la izquierda.

—Aquí las líneas dobles representan vías férreas, y las simples, carreteras. Mira atentamente y dime: ¿qué vía es más larga, la que va de 1 a 2, o la que va de 1 a 3?

—La de 1 a 3 es, naturalmente, la más larga.

—Eso es lo que has visto con los ojos. Pero ahora mira la figura con toda la cabeza.

—¿Cómo? Yo no sé.

—Con toda la cabeza puede mirarse esta figura así. Figúrate que desde 1 bajamos una recta perpendicular a la carretera 2—3 —mi hermano trazó una línea punteada en su dibujo—. ¿Cómo divide mi línea a esta carretera? ¿En qué partes?

—Por la mitad.

—Por la mitad. Por consiguiente, todos los puntos de esta línea distarán lo mismo de los extremos 2 y 3. ¿Qué dices ahora del punto 1? ¿De dónde está más cerca, de 2 ó de 3?

—Ahora veo claramente que está a la misma distancia de 2 que de 3. Pero antes me pareció que el ferrocarril de la derecha era más largo que el de la izquierda.

—Antes miraste sólo con los ojos, y ahora has mirado con toda la cabeza. ¿Has comprendido la diferencia?

— Sí. Pero, ¿dónde está la máquina?

—¿Qué máquina? ¡Ah, la eléctrica! En la cartera. Está donde estaba. No la viste porque no sabías mirar con la cabeza.

Mi hermano sacó de la cartera el paquete con los libros, lo desenvolvió con cuidado, dejó libre una hoja grande de periódico y me la dio:

—Esta es nuestra máquina eléctrica.

Yo miré desconcertado el periódico.

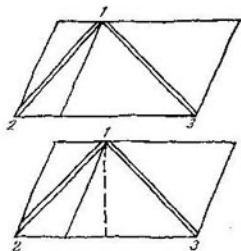


Figura 62



—¿Crees que esto no es más que un papel? —prosiguió mi hermano—. Para la vista, sí. Pero el que sabe mirar con toda la cabeza reconoce que el periódico es un aparato físico.

—¿Un aparato físico? ¿Para hacer experimentos?

—Sí. Coge el periódico. ¿Pesa poco, verdad? Y tú crees, como es natural, que puedes levantarlo siempre hasta con un solo dedo. Pues, ahora verás como este mismo periódico se hace a veces pesadísimo. ¡Dame aquella regla de dibujo!

—Está mellada, no sirve para nada.

—Tanto mejor, no sentiremos que se rompa.

Mi hermano puso la regla sobre la mesa, de modo que una parte de ella sobresalía del borde.

—Toca el extremo sobresaliente. ¿Es fácil de inclinar, verdad? Bueno, pues, prueba a inclinarlo cuando yo cubra el otro extremo de la regla con el periódico.

Extendió el periódico en la mesa, le alisó cuidadosamente los pliegues y tapó con él la regla.

—Coge un palo y da un golpe fuerte sobre la parte de la regla que sobresale. ¡Dale con todas tus fuerzas!

—Le voy a dar un golpe, que la regla romperá el periódico y saltará hasta el techo —dije yo, y levanté el palo.

—No escatimes fuerzas.

El resultado del golpe fue completamente inesperado: sonó un chasquido, se rompió la regla, y el periódico siguió en la mesa, como antes, cubriendo el resto roto de la desdichada regla.

—El periódico es más pesado de lo que tú creías, ¿no es así? —me preguntó mi hermano con malicia.

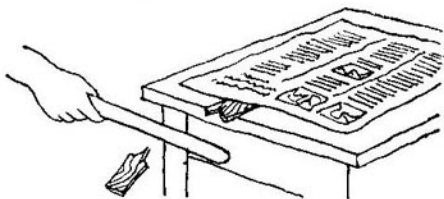


Figura 63

Yo miraba desconcertado los restos de la regla y el periódico.

—¿Esto es un experimento? ¿Eléctrico?

—Sí, un experimento, pero no eléctrico. Los eléctricos vendrán después. Sin embargo, yo quería demos-

trarte que un periódico puede servir, en efecto, de aparato para hacer experimentos físicos.

—Pero, ¿por qué no dejó salir a la regla, si yo puedo levantarlo fácilmente de la mesa?

—Eso es el quid del experimento. Sobre el periódico presiona el aire y ... con no poca fuerza: cada centímetro cuadrado de la hoja de periódico es apretado por él con la fuerza de un kilogramo. Cuando se golpea el extremo de la regla que sobresale, ésta presiona con su otro extremo, desde abajo, sobre el papel y el periódico debe levantarse. Si esto se hace despacio, debajo del periódico, que empieza a levantarse, tiene tiempo de entrar aire desde fuera, el cual, con su presión, equilibra la que sufre el periódico por arriba. Pero tu golpe fue tan rápido, que el aire no tuvo tiempo de penetrar debajo del periódico: el borde de la hoja de papel aún estaba en contacto con la mesa, cuando su parte central ya era empujada hacia arriba. Por esto tuviste que levantar no sólo el periódico, sino también el aire que presionaba sobre él. En resumidas cuentas: hubieras tenido que levantar con la regla un peso aproximado igual a tantos kilogramos como centímetros cuadrados tiene la parte del periódico a levantar. Si ésta fuera una parte del papel de sólo 16 centímetros cuadrados —un cuadradito de 4 centímetros de lado—, la presión del aire sobre él sería de 16 kilogramos. Pero la parte del papel que había que levantar era considerablemente mayor, por lo tanto, el peso a levantar era grande, quizá de medio ciento de kilogramos. La regla no aguantó este peso y se rompió. ¿Crees ahora que con un periódico pueden hacerse experimentos? ... Cuando anochezca, empezaremos con los eléctricos.

Los dedos despiden
chispas • Un palo
obediente •

La electricidad
en las montañas

Mi hermano cogió con una mano un cepillo de la ropa y con la otra arrimó una hoja de periódico a la estufa caliente y empezó a frotarla con el cepillo, lo mismo que un empapelador cuando extiende el pa-

pel sobre la pared para que se pegue bien.

—¡Mira! —dijo mi hermano, al mismo tiempo que retiraba ambas manos del periódico.

Yo esperaba que el papel se deslizaría hacia el suelo. Pero no fue así: el periódico quedó sujeto de un modo raro a los lisos azulejos, como si estuviera pegado.

—¿Cómo se sostiene —pregunté yo—, si no tiene cola?

—Lo sostiene la electricidad. Ahora está electrizado y lo atrae la estufa.

—¿Y por qué no me dijiste que el periódico que tenías en la cartera estaba electrizado?

—Antes no lo estaba. Lo he electrizado yo ahora, delante de tí, frotándolo con el cepillo. Se ha electrizado por frotamiento.

—Entonces, ¿esto ya es un experimento eléctrico de verdad?

—Sí. No hemos hecho más que empezar. ¡Apaga la luz!

En la obscuridad se dibujaba confusamente la negra figura de mi hermano y una mancha grisácea en el lugar en que estaba la blanca estufa.

—Ahora fíjate bien en mis manos.

Yo más bien suponía, que veía, lo que hacía mi hermano. Desprendió el periódico de la estufa y, manteniéndolo con una mano en el aire, aproximó a él los dedos abiertos de la otra mano.

Y entonces —yo no podía dar crédito a mis ojos— de sus dedos se desprendieron chispas: ¡Chispas largas, blanco-azuladas!

—Estas chispas eran eléctricas. ¿Quieres probar tú mismo?

Yo me apresuré a ocultar mis manos detrás de la espalda. ¡Por nada del mundo!

Mi hermano volvió a aplicar el periódico a la estufa, lo frotó con el cepillo y de nuevo hizo saltar de sus dedos haces de largas chispas. Pude darme cuenta de que sus dedos no llegaban a tocar el periódico, sino que se mantenían a unos diez centímetros de él.

—Prueba, no tengas miedo, no duele nada. Dame la mano —dijo, y cogió una de mis manos y me acercó a la estufa —: ¡Abre los dedos! ... ¡Así! ¿Qué, te duele?

Yo no tuve tiempo de volver en mí, cuando de mis dedos salían ya haces de chispas azuladas. A su luz pude ver que mi hermano sólo había separado de la estufa la mitad del periódico, la parte inferior de la hoja de papel seguía como pegada a ella. Al mismo tiempo que las chispas sentí un ligero pinchacito, pero el dolor fue insignificante. En efecto, no había nada que temer.

—¡Más! —ahora era yo el que quería.

Mi hermano aplicó el periódico a la estufa y comenzó a frotarlo con las palmas de las manos.

—¿Qué haces? ¡Te has olvidado del cepillo!

—Es lo mismo. ¡Prepárate!



Figura 64

—No saldrá nada. Lo has frotado con las manos, sin cepillo.

—Sin cepillo también se puede hacer, si las manos están secas. Lo que hace falta es frotarlo.

Efectivamente, también esta vez despidieron chispas mis dedos, lo mismo que antes.

Cuando me harté de ver chispas, me dijo mi hermano:

—Bueno, basta. Ahora te enseñaré la descarga en penacho, la misma que vieron Colón y Magallanes en las puntas de los mástiles de sus embarcaciones ... ¡Dame las tijeras!

Mi hermano acercó en la obscuridad las puntas de las tijeras abiertas al periódico, medio separado de la estufa. Yo esperaba ver chispas, pero vi algo nuevo: las puntas de las tijeras se coronaron de haces brillantes de cortos hilos azul-rojizos, aunque aún se hallaban del papel bastante lejos. Al mismo tiempo se oía un ligero susurro prolongado.

—Penachos de fuego como éstos, sólo que mucho más grandes, ven con frecuencia los marinos en los extremos de los mástiles y en las vergas. Ellos les llaman «fuegos de Santelmo».

—¿Y cómo se producen allí?

—Es decir, ¿quién sostiene el periódico electrizado sobre los mástiles? ¿Eso es lo que querías preguntar? Pues, como es lógico, allí no hay periódico, pero hay en cambio una nube electrizada baja. Ella es la que hace las veces de periódico. Y no creas que esta luminosidad eléctrica de las puntas agudas suele producirse sólo en el mar. También se observa en tierra, sobre todo en las montañas. Julio César describía ya cómo una noche nublada se iluminaron con estos fuegos las puntas de las lanzas de sus soldados. Los marinos y los soldados no tienen miedo a los fuegos eléctricos, al contrario, los consideran buena señal, aunque sin ningún fundamento razonable. En las montañas suele ocurrir que la luminosidad eléctrica se manifiesta incluso en las personas, en sus cabellos, gorros, oídos y en todas las partes salientes del cuerpo. Al mismo tiempo suele oírse un susurro parecido al que producían nuestras tijeras.

—Y este fuego, ¿quema mucho?

—No quema nada. Porque no es fuego, sino una luminiscencia, es decir, una luminosidad fría. Tan fría e inofensiva, que con ella ni se puede encender una cerilla. Mira: en vez de las tijeras cojo una cerilla,



Figura 65

y, como puedes ver, su cabeza queda rodeada de luminiscencia eléctrica, pero ella no arde.

—Pues, yo creo que arde: la llama sale de la misma cabeza.

—Enciende la luz y mira la cerilla junto a la lámpara.

Me convencí de que la cerilla no sólo no tenía indicios de carbonización, sino que hasta su cabeza estaba intacta. Había estado, pues, rodeada de luz fría, y no de fuego.

—No apagues la lámpara. El experimento siguiente lo haremos con luz.

Mi hermano puso una silla en medio de la habitación y sobre su espaldar colocó un palo atravesado.

Después de varios intentos logró que el palo, apoyado en un solo punto, descansara sobre el espaldar de la silla sin volcarse.

—Yo no creía que el palo pudiera quedarse así —dije yo—, porque es bastante largo.

—Por eso se sostiene, porque es largo. Si fuera corto no se sostendría. Un lápiz, por ejemplo, no se sostiene.

—Un lápiz, de ninguna manera —afirmé yo.

—Y ahora a lo que íbamos. Sin tocar el palo, ¿puedes hacer que se vuelva hacia tí?

Yo me quedé pensativo.

—Si a uno de sus extremos se le echa un lazo ... —comencé yo.

—Sin ninguna cuerda y sin tocarlo en absoluto. ¿Puedes?

—¡Ah, ya sé!

Acercué la cara al palo y empecé a absorber aire con la boca, para atraerlo hacia mí. Pero el palo ni se movió.

—¿Qué dices?

—Que es imposible.

—¿Imposible? Ahora veremos.

Y retirando de la estufa el periódico, que durante todo este tiempo estuvo adherido a los azulejos, como si estuviera pegado, comenzó mi hermano a acercarlo lentamente al palo por un lado. A casi medio metro de distancia, el palo percibió la atracción del periódico electrizado y se volvió obedientemente hacia él. Moviendo la hoja de periódico, mi hermano consiguió que el palo lo siguiera, y le hizo girar sobre el espaldar de la silla, primero en un sentido y después en otro.

—Como ves, el periódico electrizado atrae el palo



Figura 66

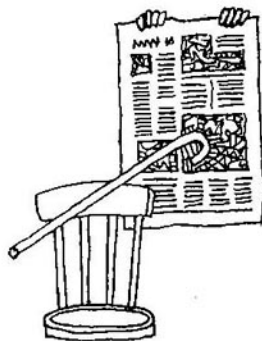


Figura 67

con tanta fuerza, que éste lo seguirá mientras que toda la electricidad del papel no haya pasado al aire.

—¡Qué lástima que estos experimentos no se pueden hacer en verano! Entonces la estufa está fría.

—La estufa hace falta aquí para secar el papel, porque estos experimentos sólo salen bien cuando el periódico está completamente seco. Y tú te habrás dado cuenta, seguramente, de que el papel de periódico absorbe la humedad del aire, por eso está siempre algo húmedo y hay que secarlo. No creas que en verano es totalmente imposible hacer nuestros experimentos. Pueden hacerse, pero no salen tan bien como en invierno, porque en invierno, en una habitación con calefacción, el aire está mucho más seco que en verano. Y la sequedad tiene mucha importancia para estas experiencias. En verano se seca el periódico sobre la plancha de la cocina, cuando ésta, después de comer, se enfría lo suficiente para que el papel no se queme. Una vez bien seca en la plancha, la hoja de periódico se traslada a una mesa seca y allí se frota fuertemente con un copillo. El papel se electriza, pero no tan intensamente como cuando se prepara en la estufa de azulejos. Y ... ya está bien por hoy. Mañana haremos otros experimentos.

—¿También eléctricos?

—Sí, y con la misma máquina eléctrica: con el periódico. Mientras tanto te daré a leer un relato interesante acerca de los fuegos de Santelmo en las montañas, del que es autor el célebre naturalista francés Saussure. En 1867 estuvo con varios compañeros en una cumbre de los Alpes, de más de tres kilómetros de altura. Y aquí tienes lo que allí experimentaron.

Mi hermano cogió del estante el libro de Flammarión «La Atmósfera», lo hojeó, y me dio a leer el pasaje siguiente:

«Los que habían realizado la escalada acababan de dejar junto a una peña sus bastones con conteras de hierro y se disponían a comer, cuando Saussure sintió en los hombros y en la espalda un dolor, que parecía estar producido por agujas que se le hincaran lentamente en el cuerpo. «Suponiendo —dice Saussure— que en mi capote habían caído alfileres, me lo quité, pero no sentía alivio, sino, por el contrario, el dolor se hizo más intenso y se extendió a toda la espalda, desde un hombro a otro; este dolor iba acompañado de cosquilleo y de pinchazos dolorosos, como si por

mi piel andara una avispa y la llenara de picaduras. Después de quitarme rápidamente mi segundo abrigo, no encontré nada que pudiera producir esta afección. El dolor proseguía y empezó a parecerse a una quemadura. Pensé que se había inflamado mi jersey de lana. Estaba ya dispuesto a desnudarme, cuando me llamó la atención un ruido parecido al abejorreo. Este ruido procedía de nuestros bastones apoyados en la peña; era semejante al ruido que hace el agua caliente en víperas de arrancar a hervir. Todo esto duraría unos cinco minutos.

Comprendí entonces que la sensación dolorosa era debida al flujo eléctrico procedente de la montaña. Sin embargo, como era de día, no ví ningún resplandor en los bastones. Estos producían el mismo ruido agudo cuando, teniéndolos en la mano, dirigíamos las conteras de hierro hacia arriba, hacia abajo u horizontalmente. Del suelo no salía ningún sonido.

Al cabo de algunos minutos sentí que se me erizaban los pelos de la cabeza y la barba, parecía que me estaban pasando una navaja de afeitar seca por la barba fuerte y crecida. Mi joven ayudante gritó que se le erguían los bigotes y de la parte superior de sus oídos emanaban fuertes corrientes. Al levantar la mano sentí como la corriente salía de mis dedos. En una palabra, la electricidad emanaba de los bastones, de las ropas, de los oídos, de los pelos, de todas las partes salientes del cuerpo.

Abandonamos rápidamente la cumbre de la montaña y descendimos unos cien metros. A medida que íbamos bajando, nuestros bastones emitían cada vez un sonido más débil; por fin, el sonido se hizo tan sordo, que sólo podía oírse llevándose el bastón al oído».

Así termina la narración de Saussure. En el mismo libro leí las descripciones de otros casos de aparición de los fuegos de Santelmo.

«La emanación de electricidad de las peñas prominentes se observa con frecuencia cuando el cielo está cubierto de nubes bajas que pasan a poca altura de las cumbres.

El 10 de julio de 1863, Watson y varios turistas más ascendieron al puerto de Jungfrau (en los montes Suizos). Hacía una mañana magnífica, pero ya cerca del desfiladero, los viajeros tuvieron que aguantar un viento fuerte con pedrisco. Se oyó el horrísono bramido del trueno, y poco después Watson percibió un sonido silbante procedente de su bastón; este sonido era

parecido al de un calentador en que se inicia la ebullición. Los viajeros se detuvieron, y notaron que sus bastones y hachas emitían el mismo sonido y no dejaron de sonar ni después de clavar uno de sus extremos en tierra. Uno de los guías, que se quitó el sombrero, comenzó a gritar que le ardía la cabeza. Y, efectivamente, sus cabellos estaban erizados como si los tuviera electrizados. Todos experimentaban sensación de cosquilleo en la cara y en otras partes del cuerpo. Watson tenía los cabellos completamente de punta. En los extremos de los dedos, cuando los movíamos en el aire, se oía el silbido eléctrico».

La danza de los payasos de papel •
Las serpientes •
Los pelos de punta

Mi hermano cumplió su palabra. Al día siguiente, cuando anocheció, continuó los experimentos. Lo primero que hizo fue «pegar» un periódico a la estufa. Después me pidió un papel más fuerte que el de periódico — de escribir — y empezó a recortar de él figuras

graciosas: muñequitos en diversas posturas.

—Estos payasos de papel van a bailar ahora. Trae unos alfileres.

Cada payaso tuvo pronto su alfiler clavado en una pierra.

—Esto es para que los payasos no salgan volando ni sean arrastrados por el periódico —me explicó mi hermano, mientras ponía las figuras de papel en una bandeja—. ¡Atención! ¡El espectáculo va a comenzar!

«Despegó» el periódico de la estufa y, sosteniéndolo horizontalmente con las dos manos, lo acercó, desde arriba, a la bandeja en que estaban las figuras.

—¡Levantaos! —ordenó mi hermano.

Y, fígrese usted, los muñecos le hicieron caso y se levantaron. Se pusieron de pie y así estuvieron hasta que mi hermano retiró el periódico; entonces volvieron a tumbarse. Pero él no los dejó descansar mucho: acercando y alejando el periódico, obligaba a los payasos ya a levantarse ya a acostarse.

—Si no les hubiera puesto los alfileres, serían más livianos, se lanzarían hacia el periódico y se pegarían a él. Mira —mi hermano quitó los alfileres a varias figuras—, han sido atraídas por el periódico y ya no se desprenden: Esto es la *atracción eléctrica*. Y ahora haremos un experimento de *repulsión* ... ¿Dónde has puesto las tijeras?

Yo le dí las tijeras, y mi hermano, después de «pegar» el periódico en la estufa, empezó a cortar de

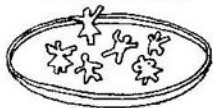


Figura 68

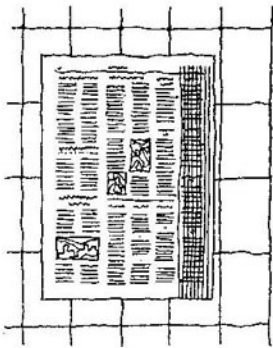


Figura 69



Figura 70

su extremo, de abajo a arriba, una tira larga y estrecha. Sin llegar hasta arriba, comenzó a cortar, del mismo modo, una segunda tira, después una tercera y así sucesivamente. La tira sexta o séptima la cortó del todo. Resultó una especie de plumero de papel que no se deslizó de la estufa, como yo esperaba, sino que siguió adherido a ella. Sujetando la parte superior con la mano, mi hermano pasó varias veces el cepillo por las tiras y luego retiró el «plumero» de la estufa, sosteniéndolo por arriba con el brazo extendido hacia adelante.

En vez de pender libremente hacia abajo, las tiras se separaron formando una especie de campana, repeliéndose sensiblemente unas a otras.

—Se repelen —me explicó mi hermano—, porque todas están igualmente electrizadas. En cambio, se acercarán a los objetos que no estén electrizados. Mete la mano, por abajo, dentro de la campana: las tiras se acercarán a ella.

Me puse en cuclillas y metí la mano en el espacio que había entre las tiras. Es decir, *quise* introducir la mano, pero no pude hacerlo, porque las tiras de papel se enrollaron a ella como si fueran serpientes.

—¿No te asustan estas serpientes? —me preguntó mi hermano.

—Si son de papel, ¿cómo me van a asustar?

—Pues a mí me horrorizan, ¡mira!

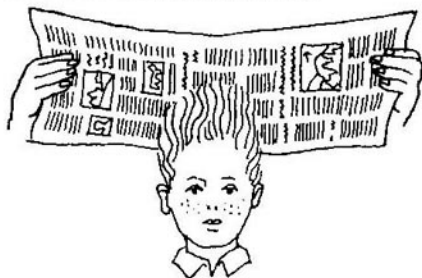


Figura 71

Mi hermano levantó la hoja de periódico hasta tenerla más arriba de la cabeza, y yo pude ver como sus largos cabellos se erizaban.

—¿Esto también es un experimento? ¿Dime, es un experimento o no?

—Es el mismo experimento que acabamos de hacer,

pero de otra forma. El periódico ha electrizado mis pelos, y ellos se han sentido atraídos hacia él, al mismo tiempo que se repelían entre sí, lo mismo que las tiras de nuestro «plumero» de papel. Coge un espejo y te enseñaré cómo tus pelos se erguirán lo mismo que los míos.

—Pero, ¿no duele?

—En absoluto.

En efecto, no sentí ni el menor dolor, ni siquiera cosquilleo, y, sin embargo, vi en el espejo cómo, debajo de la hoja de periódico, mis cabellos estaban erizados.

Volvimos a repetir también los experimentos del día anterior, y mi hermano dio por terminada la «sesión», como llamó a nuestro pasatiempo, prometiéndome que al día siguiente haría una serie de experimentos nuevos.

Un rayo pequeño •	Al día siguiente empezó mi hermano
Experimento con	los experimentos haciendo unos pre-
un chorro de	parativos muy raros.
agua •	Cogió tres vasos, los calentó junto
Un soplado	a la estufa, los puso después sobre
de gigante	la mesa y los tapó con la bandeja,
	que también calentó previamente acercándola a la
	estufa.

—¿Qué vas a hacer? —curioseé yo—. ¿Por qué pones la bandeja sobre los vasos, y no los vasos sobre la bandeja?

—Espera, no tengas prisa. Vamos a hacer un experimento con un rayo pequeño.

Mi hermano puso en marcha su «máquina eléctrica», es decir, empezó a frotar la hoja de periódico que había aplicado a la estufa. Una vez frotada, dobló la hoja por la mitad y volvió a frotarla. Luego la «despegó» de la estufa y la depositó rápidamente sobre la bandeja:

—Toca la bandeja, ¿no está fría?

Sin sospechar la mala pasada, alargué despreocupadamente la mano hacia la bandeja y ... la retiré precipitadamente; algo dio un chasquido y sentí un pinchazo en el dedo. Mi hermano se echó a reír.

—¿Qué te parece? Te ha caído un rayo. ¿Has oído el chasquido? Pues, eso fue un trueno pequeño.

—He sentido un pinchazo fuerte, pero no he visto ningún relámpago.

—Ahora lo verás, cuando repitamos el experimento a oscuras.

—Pero yo no quiero volver a tocar la bandeja —declaré yo resueltamente.

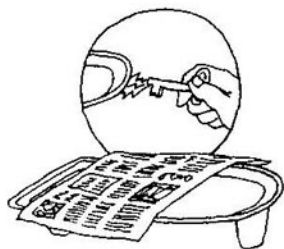


Figura 72

—Y no hace falta que la toques. Puedes hacer saltar la chispa aunque sea con la llave de la puerta o con una cucharilla. No sentirás nada, y las chispas serán igual de largas. Las primeras chispas las haré saltar yo, mientras tus ojos se acostumbran a la obscuridad.

Mi hermano apagó la luz.

—Ahora calla y mira atentamente —dijo en la obscuridad.

Se oyó un chasquido, y simultáneamente saltó una brillante chispa blanco-azulada entre el borde de la bandeja y la llave.

—¿Has visto el relámpago? ¿Has oído el trueno? —me preguntó mi hermano.

—Pero han sido simultáneos. El trueno de verdad se oye siempre después de ver el relámpago.

—Eso es cierto. El trueno lo oímos siempre después de ver el relámpago. Y, sin embargo, se producen al mismo tiempo, lo mismo que el chasquido y la chispa de nuestro experimento.

—¿Y por qué se oye el trueno más tarde?

—Porque el relámpago es luz, y los rayos de luz se propagan tan de prisa, que a través de las distancias que existen en la Tierra pasan casi instantáneamente. El trueno es, en cambio, una explosión, y, como tal, se propaga en el aire mucho más despacio; su ruido se rezaga considerablemente de los rayos de luz y llega a nosotros después que ellos. Por eso vemos el relámpago antes de oír el trueno producido por él.

Mi hermano me dio la llave y, quitando el periódico —mis ojos ya se habían acostumbrado a la obscuridad—, me propuso que hiciera saltar un «rayo» de la bandeja.

—Pero sin el periódico, ¿se producirá la chispa?

—Haz la prueba.

Aún no había tenido tiempo de tocar la llave el borde de la bandeja, cuando vi una chispa larga y brillante.

Mi hermano puso por segunda vez el periódico en la bandeja, y yo volví a hacer saltar una chispa, que resultó ya más débil. Decenas de veces puso él el periódico sobre la bandeja y volvió a retirarlo de ella (sin frotarlo aplicándolo a la estufa), y cada una hice yo que saltara otra chispa, cada vez más débil.

—Las chispas durarían todavía más, si en vez de coger el periódico con las manos, lo cogiera por unos hilos a cintas de seda. Cuando estudies física comprenderás la esencia de lo que aquí ocurre. Mientras tanto,

tienes que mirar estos experimentos sólo con los ojos, y no con toda la cabeza. Hagamos ahora otro experimento con un chorro de agua. Lo haremos en la cocina, en el grifo del agua. El periódico se quedará en la estufa hasta que haga falta.

Dejamos salir del grifo un chorrito fino de agua, que, al caer, chocaba sonoramente con el fondo de la pila.

—Ahora voy a hacer que este chorrito, sin tocarlo, corra de otro modo. ¿Hacia dónde quieres que se desvíe, hacia la derecha, hacia la izquierda o hacia adelante?

—Hacia la izquierda —respondí yo sin reflexionar.

—Está bien. No toques el grifo que ahora traigo el periódico.

¡Regresó mi hermano con el periódico, procurando sujetarlo con los brazos extendidos, lo más lejos posible

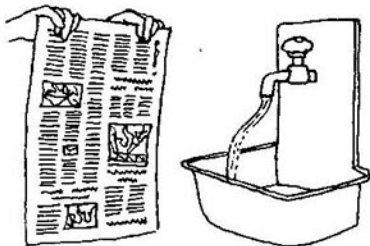


Figura 73

de su cuerpo, para que perdiera menos electricidad. Acercó el periódico al chorro, por la parte izquierda, y vi claramente como el hilo de agua se torcía a la izquierda. Trasladando el papel al lado contrario, hizo que el chorro se desviara hacia la derecha. Finalmente, le obligó a torcerse tanto hacia adelante, que el agua pasó por encima del borde de la pila.

—¿Ves con qué fuerza influye aquí la acción atractiva de la electricidad? Este experimento puede hacerse también fácilmente sin estufa ni plancha, si se utiliza un peine de caucho, como éste —dijo mi hermano, sacando un peine del bolsillo lateral y pasándolo por sus tupidos cabellos—. De este modo ya lo he electrizado.

—¡Pero si tus pelos no son eléctricos!

—Claro que no. Son pelos ordinarios, como los tuyos y los de otro cualquiera. Pero si el caucho se frota con los cabellos, se electrizo, lo mismo que el periódico con las cerdas del cepillo de la ropa. ¡Miral

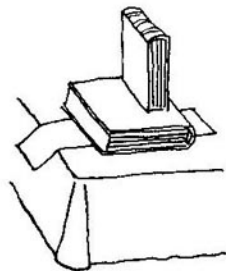


Figura 74

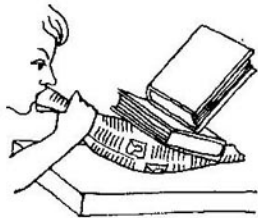


Figura 75

Aproximó el peine al chorro y éste se desvió sensiblemente hacia un lado.

—Para los otros experimentos no sirve el peine: en él se obtiene demasiada poca electricidad, mucha menos que con la «máquina eléctrica» que, como te habrás convencido, es fácil hacer con una simple hoja de papel de periódico. Y a propósito, quiero hacer con el periódico otro experimento, el último, pero no eléctrico, sino otra vez acerca de la presión del aire, como el que hicimos con la desafortunada robla.

Regresamos a la habitación. Ya en ella, mi hermano se puso a recortar y pegar una hoja de periódico, de modo que resultó una bolsa larga.

—Mientras se seca nuestra bolsa, trae varios libros grandes y pesados.

Yo busqué en el estante tres voluminosos tomos de cierto atlas de anatomía y los puse sobre la mesa.

—¿Puedes inflar esta bolsa con la boca? —me preguntó mi hermano.

—Claro que puedo —repuse yo.

—La cosa es fácil, ¿no es verdad? Pero, ¿y si aplastamos la bolsa con un par de libros de éstos?

—Ah, entonces por mucho que te empeñes no inflarás la bolsa.

Mi hermano, sin decir palabra, puso la bolsa al borde de la mesa, le colocó encima un tomo y, sobre él, puso otro tomo de pie.

—Ahora fíjate. Lo voy a inflar.

—¿No querrás soplar estos libros? —le dije riéndome.

—Pues, sí, eso es lo que pienso hacer.

Mi hermano se puso a inflar la bolsa. ¿Y qué piensa usted? El libro que estaba debajo se inclinó, levantado por la presión del aire en la bolsa, y tiró al que tenía encima. Y, sin embargo, pesarían unos cinco kilos.

Sin esperar a que yo saliera de mi admiración, mi hermano se dispuso a repetir el experimento. Esta vez cargó la bolsa con tres tomos. Sopló y —¡qué soplado de gigante!— volcó los tres tomos.

Lo más asombroso de todo es, que en este insólito experimento no intervenía nada extraordinario. Cuando yo mismo me atreví a hacerlo, conseguí volcar los libros con la misma facilidad que mi hermano. No hay que tener pulmones de elefante ni músculos de gigante: todo ocurre de por sí, casi sin hacer esfuerzo.

Mi hermano me explicó después el quid del fenómeno. Cuando inflamamos la bolsa de papel, introducimos

en ella aire más comprimido que el circundante, porque de lo contrario no se inflaría. La presión del aire exterior es igual aproximadamente a 1000 g por cada centímetro cuadrado. Calculando cuántos centímetros cuadrados de papel hay debajo de los libros, es fácil determinar que aunque el exceso de presión constituya solamente la décima parte, es decir, nada más que un centenar de gramos por cada centímetro cuadrado, la presión total que ejerce el aire, desde dentro, sobre la parte oprimida de la bolsa puede alcanzar casi 10 kg. Esta fuerza, como es natural, es suficiente para volcar los libros.

Con esto se acabaron nuestros experimentos físicos con la hoja de papel de periódico.



OTROS SETENTA Y CINCO PROBLEMAS Y EXPERIMENTOS DE FISICA

¿Cómo pesar bien en balanzas inexactas? ¿Qué es más importante, tener una buena balanza o tener unas buenas pesas? Hay muchos que piensan que lo más importante es la balanza, pero, en realidad, lo esencial son las pesas. Sin pesas buenas es imposible pesar bien; pero si éstas son buenas, hasta en una mala balanza se puede pesar con bastante precisión.

Por ejemplo, tiene usted una balanza de cruz y platillos, pero duda de su exactitud. En este caso, cuando tenga que pesar, haga lo siguiente. No ponga de inmediato el objeto que desea pesar, sino coloque previamente en uno de los platillos otro peso cualquiera más pesado que dicho objeto y en el otro platillo ponga tantas pesas como sean necesarias para establecer el equilibrio.

Hecho esto, coloque usted su objeto en el platillo en que están las pesas. Como es lógico, la balanza se inclinará hacia este lado, y para restablecer el equilibrio habrá que quitar parte de las pesas. Las pesas quitadas indicarán el peso exacto del objeto. La explicación es comprensible: su objeto tira ahora del platillo con la misma fuerza que antes tiraban las pesas, por lo tanto, el peso de éstas es exactamente igual al de aquél.

Este magnífico procedimiento de pesar correctamente en balanzas inexactas fue ideado por el gran químico ruso D. I. Mendeléiev.

En la plataforma de una báscula De pie en la plataforma de una báscula en equilibrio está un hombre, que, de repente, se pone en cuclillas. ¿Hacia dónde se desplazará en este instante la plataforma, hacia abajo o hacia arriba?

La plataforma oscilará hacia arriba. ¿Por qué? Porque, cuando nos ponemos en cuclillas, los músculos que arrastran nuestro tronco hacia abajo, tiran de nuestras piernas hacia arriba; por esto disminuye la presión del cuerpo sobre la plataforma y ésta debe desplazarse hacia arriba.

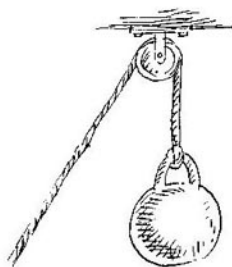


Figura 76

El peso en la polea Supongamos que un hombre puede levantar del suelo un peso de 100 kg. Queriendo levantar un peso todavía mayor, ató a éste una cuerda y la hizo pasar por una polea fija en el techo. Mire la figura 76. ¿Qué peso conseguirá levantar valiéndose de este dispositivo?

El peso máximo que se puede levantar con ayuda de una polea fija no es mayor que el que se levanta directamente con las manos, sino incluso menor. Cuando yo tiro de la cuerda que pasa por una polea fija, puedo levantar un peso que no sea mayor que el de mi propio cuerpo. Si peso menos de 100 kg, me será imposible levantar este peso valiéndome de la polea.

Las dos gradas Con frecuencia se confunde el *peso* con la *presión*. Sin embargo no son una misma cosa. Un objeto puede pesar mucho y ejercer sobre su apoyo una presión insignificante. Contrario, hay objetos que pesan Y, al poco, pero que ejercen sobre su apoyo una gran presión.

El ejemplo que sigue le permitirá comprender bien la diferencia que hay entre peso y presión, y al mismo tiempo aprenderá cómo hay que calcular la presión que ejerce un objeto sobre su apoyo.

En un campo trabajan dos gradas (rastras) cuyas estructuras son iguales: una de ellas tiene 20 dientes y la otra, 60. La primera, junto con la carga, pesa 60 kg, la segunda, 120.

¿Qué grada hace los surcos más profundos?

Es fácil comprender que penetrarán más en la tierra los dientes de aquella grada sobre los cuales presiona una fuerza mayor. En la primera grada la carga total, de 60 kg, se reparte entre 20 dientes; por consiguiente, sobre cada diente actúa una carga de 3 kg. En la segunda grada, sobre cada diente actúan nada más que $\frac{120}{60}$, es decir, 2 kg. Esto quiere decir, que aunque la segunda grada es en total más pesada que la primera, sus dientes deben penetrar menos en el terreno. La presión sobre cada diente es mayor en la primera grada que en la segunda.

La col en salmuera Consideremos otro cálculo fácil de la presión.

Dos tinas llenas de coles en salmuera están tapadas por sendos redondeles de madera, que descansan sobre las coles y tienen encima unas piedras.

En una de las tinas el redondel tiene 24 cm de diámetro y la carga que hay sobre él es de 10 kg; el diámetro del redondel de la otra cuba es de 32 cm y la carga, de 16 kg.

¿En qué tina están sometidas a mayor presión las coles?

La presión será mayor, evidentemente, en la tina en que a cada centímetro cuadrado de superficie le corresponda mayor carga. En la primera tina el peso de 10 kg se reparte sobre una superficie¹⁾ de $3,14 \times 12 \times 12 = 452 \text{ cm}^2$ y, por lo tanto, a 1 cm^2 le corresponden $\frac{10000}{452}$, es decir, cerca de 22 g. En la segunda tina la presión sobre 1 cm^2 constituye $\frac{16000}{304}$, o sea, menos de 20 g. Por consiguiente, en la primera tina las coles están sometidas a mayor presión.

La lezna
y el cincel

¿Por qué penetra más profundo la lezna que el cincel, cuando sobre ambas herramientas se aprieta con la misma fuerza?

La causa es la siguiente. Cuando se aprieta sobre la lezna, toda la fuerza se concentra en el espacio pequeñísimo de su punta. En cambio, cuando se aprieta sobre el cincel, la misma fuerza se reparte sobre una superficie mucho mayor. Supongamos, por ejemplo, que la lezna entra en contacto con el material en una superficie de 1 mm^2 , mientras que el cincel, en una superficie de 1 cm^2 . Si la fuerza que se ejerce sobre cada herramienta es igual a un kilogramo, el material que se halla bajo la cuchilla del cincel experimentará la presión de 1 kg por cm^2 , mientras que el que está debajo de la lezna sufrirá la presión de $1 : 0,001 = 100$, es decir, 100 kg por 1 cm^2 (puesto que $1 \text{ mm}^2 = 0,01 \text{ cm}^2$). La presión debajo de la lezna es un centenar de veces mayor que la que existe debajo del cincel; está claro, pues, por qué la lezna penetra más que el cincel.

¹⁾ La superficie o área del círculo es igual al número 3,14 multiplicado por la longitud del radio de su circunferencia (o por la mitad de su diámetro) y otra vez por la longitud de dicho radio.

Ahora comprenderá que cuando empuja con el dedo a una aguja, al coser, efectúa usted una gran presión, que no es menor que la que ejerce el vapor en algunas calderas. Este es también el secreto de por qué corta la navaja de afeitar: la ligera fuerza que hace la mano, crea en el filo de la navaja la presión de centenares de kilogramos por centímetro cuadrado que corta la barba.

El caballo
y el tractor

Es frecuente que un pesado tractor de orugas se mantenga bien en un suelo tan mullido, que se hundan en él las patas de los caballos y los pies de las personas. Esto lo parece incomprendible a algunos, porque el

tractor pesa mucho más que un caballo y muchísimo más que un hombre. ¿Por qué se hundan las patas del caballo en la tierra mullida y no se hunde el tractor?

Para comprender esto hay que volver a recordar la diferencia entre *peso* y *presión*.

Debo hundirse más no el objeto que más pesa, sino aquél sobre cada centímetro cuadrado de apoyo del cual recae mayor carga. Enorme peso del tractor se reparte por la gran superficie de sus orugas. Por esto, a cada centímetro cuadrado de apoyo del tractor le corresponde solamente alrededor de un centenar de gramos. En cambio, el peso del caballo se distribuye por la pequeña superficie que hay debajo de sus herraduras, por lo que a cada centímetro cuadrado de apoyo le corresponden más de 1000 g, es decir, diez veces más que en el caso del tractor. No es extraño, pues, que las patas del caballo se hincen en la tierra y se hundan más que el pesado tractor de orugas. Algunos lectores habrán tenido ocasión de ver cómo, para pasar por sitios cenagosos, se calzan los caballos con anchos «zapatonos» (raquetas), que aumentan la superficie de apoyo de los cascos y el caballo se hunde mucho menos.

A rastras por
el hielo

Si el hielo que hay sobre un río o lago no ofrece seguridad, los expertos pasan por él no a pie, sino a rastras. ¿Por qué hacen esto?

Cuando una persona se tumba, su peso, como es natural, no disminuye, pero la superficie en que se apoya aumenta y sobre cada centímetro cuadrado recae una carga menor. En otras palabras, la presión que ejerce la persona sobre su apoyo, disminuye.

Ahora está claro por qué, cuando el hielo es delgado, resulta más seguro pasarlo a rastras, porque la presión sobre él disminuye. Con este mismo fin se utiliza una tabla ancha, en la cual se tiende uno cuando tiene que pasar por una capa delgada de hielo.

¿Qué carga puede soportar el hielo sin quebrarse? La cantidad de carga depende, claro está, del espesor del hielo. Una capa de hielo de 4 cm de espesor resiste el peso de una persona andando. Conviene saber qué espesor debe tener el hielo para que pueda hacerse una pista de patinar sobre un río o lago. Para esto es suficiente que el hielo tenga un espesor de 10—12 cm.

¿Por dónde se romperá la cuerda?

Construya usted un artificio como el que se ve en la fig. 77. Ponga un palo sobre las hojas de una puerta abierta, sujete a él una cuerda de cuya parte media penda un libro pesado y atc al extremo inferior de ésta una regla. Si tiramos ahora de la cuerda desde el extremo en que está la regla, ¿por dónde se romperá, por encima del libro o por debajo de él?

La cuerda puede romperse por encima del libro y por debajo de él, según como se tire de ella. De usted depende conseguir lo uno o lo otro. Si se tira con cuidado, se romperá la parte superior de la cuerda; si se da un tirón brusco, se romperá la parte inferior.

¿Por qué ocurre esto? Cuando la cuerda se tensa con cuidado se rompe por la parte superior, porque sobre ella, además de la fuerza de la mano, actúa el peso del libro; mientras que en la parte inferior de la cuerda sólo actúa la fuerza de la mano. Otra cosa es lo que sucede cuando se da un tirón rápido; en el corto intervalo de tiempo que dura el tirón, el libro no tiene tiempo de recibir un movimiento apreciable; por esto la parte superior de la cuerda no se estira, y toda la fuerza recae sobre su parte inferior, que se rompe incluso si es más gruesa que la superior.

Una tira rasgada Una tira de papel de un palmo de longitud y un dedo de anchura puede servir de material para un problema entretenido. Corte o rasgue la tira en dos puntos (fig. 78) y pregúntele a un camarada qué ocurrirá con ella si se tira de sus extremos en sentidos distintos.

—Se romperá en los puntos en que está rasgada —responderá él.

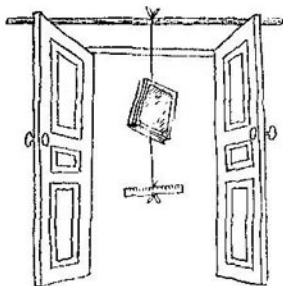


Figura 77



Figura 78

—¿En cuántas partes?

Por lo general contestan que en tres. Después de recibir esta contestación, propóngale a su camarada que haga la prueba. Se convencerá con sorpresa de su error: la tira se rompe en dos partes nada más.

Este experimento puede repetirse tantas veces como se quiera, tomando tiras de distintos tamaños y haciendo rasgaduras de diferente profundidad, pero nunca se conseguirá obtener más de dos trozos. La tira se rompe por donde es más débil, confirmando el refrén: «por lo más delgado se rompe la soga». El secreto está en que en los dos cortes o rasgaduras, por mucho que se procure hacerlos iguales, uno será inevitablemente más profundo que el otro, aunque esto no se note a simple vista. Esta parte de la tira, como es la más débil, comenzará a romperse primero. Y una vez que cada vez se debilita más. Seguramente se sentirá usted satisfecho cuando sepa que al hacer este simple experimento ha entrado en una rama de la ciencia muy seria e importante para la técnica. Esta rama de la ciencia se llama «resistencia de materiales».

Una caja de cerillas fuerte

¿Qué le ocurre a una caja de cerillas vacía, si se le da un puñatazo fuerte? Estoy seguro que de 10 lectores, nueve dirán que la caja se rompe. El décimo —que habrá hecho él mismo este experimento o que habrá

oído hablar de él — pensará de otro modo: la caja quedará intacta.

El experimento debe hacerse de la manera siguiente. Se colocan las dos partes de la caja vacía una sobre otra, como puede verse en la fig. 79. Se da un puñatazo fuerte y seco sobre esta disposición. Y lo que ocurre es sorprendente: las dos partes de la caja salen despedidas hacia los lados, pero cuando las recogemos podemos comprobar que ambas están indemnes. La caja flexiona mucho, y esto la salva: se cimbra, pero no se rompe.

Acercar soplándole

Ponga sobre la mesa una caja de cerillas vacía y propóngale a cualquiera que la aleje de sí soplándole. Esto, como es natural, lo hará sin dificultad. Entonces propóngale hacer lo contrario, es decir, hacer que, soplándole, la caja se acerque al que le sopla. En este caso no se permite echar la cabeza hacia adelante para

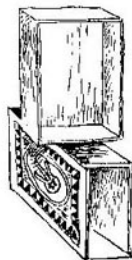


Figura 79

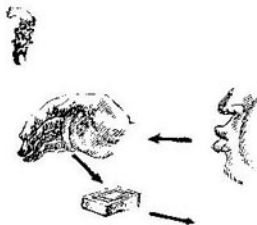


Figura 80

soplarle a la caja por detrás. No es probable que sean muchos los que se den cuenta de lo que hay que hacer. Algunos intentarán mover la caja *absorbiendo* el aire, pero, claro está, que inútilmente. Sin embargo, el secreto es bien sencillo.

¿En qué consiste?

Pídale a alguien que ponga una mano de canto detrás de la caja y sóplele a esta mano. El chorro de aire será rechazado por la mano, chocará con la caja y le empujará en dirección a usted (fig. 80).

Este experimento, como suele decirse, «no falla». Lo único que hay que procurar es hacerlo en una mesa suficientemente lisa (aunque no esté barnizada) y, claro está, sin mantel.

El reloj de péndola

Un reloj de péndola atrasa. ¿Qué hay que hacer con su péndulo para que el reloj marche bien? Y, ¿qué habría que hacer en el caso de que se adelantase?

Cuanto más corto es un péndulo, más de prisa oscila; esto es fácil de comprobar haciendo el correspondiente experimento con un peso atado a una cuerda. De aquí se deduce la solución de nuestro problema: cuando un reloj de péndola *atrasa*, hay que, haciendo subir la lenteja por la varilla del péndulo, *acortar* éste un poco y, de este modo, conseguir que la péndola oscile más de prisa; por el contrario, si el reloj *adelanta*, hay que *alargar* un poco el péndulo.

¿En qué posición se parará la varilla?

En los extremos de una varilla se fijan dos esferas de igual peso (fig. 81). Exactamente en la mitad de esta varilla se ha taladrado un orificio, a través del cual pasa una aguja de hacer punto. Si la varilla se hace girar alrededor de la aguja, da varias vueltas y se para.

¿Puede usted decir de antemano en qué posición se parará la varilla?

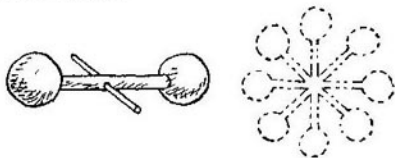


Figura 81

Los que piensan que la varilla se parará siempre en posición horizontal, se equivocan. La varilla puede mantenerse en equilibrio en cualquier posición (véase la fig. 81), horizontal, vertical u oblicuamente, puesto que se apoya en su centro de gravedad. Todo cuerpo que descansa sobre su centro de gravedad o que penda de él, conserva su equilibrio en cualquier posición.

Por esta razón, es imposible decir a priori qué posición tomará la varilla cuando deje de dar vueltas.

El salto en un vagón Un tren marcha a la velocidad de 36 km por hora. Usted va en uno de los vagones y da un salto hacia arriba. Supongamos que logra permanecer en el aire un segundo (suposición bastante optimista, porque para esto tendría que subir más de un metro). ¿Dónde caerá usted al volver al suelo, en el sitio de que saltó o en otro? Si cae en otro sitio, ¿de qué pared del vagón resultará estar más próximo este sitio que el inicial, de la delantera o de la trasera?

Caerá usted en el mismo sitio de que saltó. No hay que pensar que, mientras usted estuvo en el aire, el suelo, junto con el vagón, al avanzar rápidamente le adelantó. El vagón claro está corrió hacia adelante, pero usted también avanzó por inercia y con la misma velocidad, es decir, mientras usted estuvo en el aire se encontró todo el tiempo sobre el punto de que saltó.

En el barco Dos jóvenes juegan a la pelota en la cubierta de un barco en marcha (fig. 82). Uno de ellos está más cerca de la popa y el otro, más cerca de la proa. ¿A cuál le es más fácil hacer que la pelota llegue hasta su compañero, al primero o al segundo?

Si el barco navega a velocidad uniforme y en línea

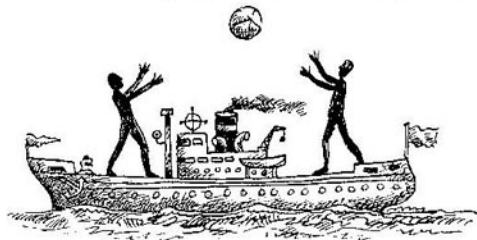


Figura 82

recta, a los dos jóvenes les es igual de fácil hacer que la pelota llegue hasta su compañero —lo mismo que si el barco no se moviera. No debe pensarse que el joven que está más cerca de la proa se aleja de la pelota lanzada, mientras que el que se halla más cerca de la popa se mueve al encuentro de dicha pelota. La pelota, por inercia, tiene la velocidad con que se mueve el barco; la velocidad del barco se comunica en igual medida a los jugadores y a la pelota en el aire. Por esto el movimiento del barco (uniforme y rectilíneo) no le da ventaja a ninguno de los jugadores frente al otro.

Las banderas Un globo es arrastrado por el viento en dirección norte. ¿Hacia qué lado tenderán las banderas que hay en su barquilla?

El globo arrastrado por la corriente de aire se halla en reposo con respecto al aire que lo rodea, por lo tanto, las banderas no serán extendidas por el viento hacia ningún lado y penderán lo mismo que cuando el aire está en calma.

En un aeróstato Un globo aerostático se mantiene libre e inmóvil en el aire. De su barquilla sale un hombre y empieza a subir por un cable. ¿Hacia dónde se desplazará en este caso el globo, hacia arriba o hacia abajo?

El aeróstato deberá desplazarse hacia *abajo*, porque el hombre, al subir por el cable, le empuja a éste, y al globo, en sentido contrario. Aquí ocurre lo mismo que cuando una persona anda por el fondo de una barca: la barca se mueve en este caso hacia atrás.

Andar y correr ¿En qué se diferencia el andar del correr?

Antes de responder a esta pregunta conviene recordar que se puede correr más despacio que se anda e incluso sin moverse del sitio.

El correr se distingue del andar no por la velocidad del movimiento. Al andar, nuestro cuerpo tiene siempre en contacto con la tierra algún punto de los pies. Al correr hay instantes en que nuestro cuerpo se separa completamente de la tierra y no tiene en contacto con ella ni un solo punto.

Un palo que se autoequilibra

Sobre los dedos índices de ambas manos, separadas, ponga un palo liso del modo que indica la fig. 83. Hecho esto, vaya acercando entre sí dichos dedos hasta que se junten.

¡Qué cosa más rara! Resulta que en esta posición final el palo no se cae, sino que conserva el equilibrio. Repita este experimento muchas veces variando la posición inicial de los dedos y verá que el resultado es siempre el mismo: el palo está en equilibrio. Si se sustituye el palo por una regla de dibujo, un bastón, un taco de billar o un cepillo de barrer, observará la misma peculiaridad.

¿En qué consiste el secreto de este resultado tan inesperado?

En primer lugar está claro lo siguiente: como quiera que el palo se encuentra en equilibrio cuando los dedos están juntos, quiere decir que éstos se juntan debajo del centro de gravedad del palo (puesto que un cuerpo permanece en equilibrio si la vertical trazada por su centro queda dentro de los límites de su apoyo).

Cuando los dedos están separados soporta mayor carga el dedo que está más próximo al centro de gravedad del palo. Pero al aumentar la presión aumenta también el rozamiento; por lo tanto, el dedo que se encuentra más cerca del centro de gravedad experimenta mayor rozamiento que el que está más lejos. Por esto, el dedo más cercano al centro de gravedad no se desliza por debajo del palo; el único que se mueve siempre es el dedo que está más lejos de este punto. En cuanto el dedo que se mueve resulta más próximo al centro de gravedad que el otro, los dedos cambian entre sí de papeles; estos cambios se suceden varias veces, hasta que los dedos se juntan. Y como cada vez sólo se mueve uno de los dedos (el que está más lejos del centro de gravedad) es natural que en la posición final se encuentren ambos debajo de dicho centro.

Antes de dar por terminado este experimento, repítalo usted con un cepillo de barrer (fig. 84, a la izquierda) y plantéese la siguiente pregunta: si cortara el palo del cepillo por el sitio en que se apoya en los dedos y colocara las dos partes en los platillos de una balanza (fig. 84, a la derecha), ¿cuál de los platillos bajaría, el del palo o el del cepillo?

Al parecer, como las partes del cepillo se equilibraban entre sí cuando descansaban sobre los dedos, deberán equilibrarse también cuando estén en los platillos

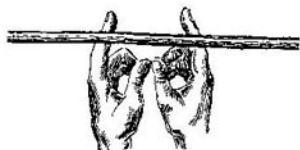


Figura 83

de la balanza. Pero en realidad baja el platillo en que está el cepillo. La causa de que esto ocurra no es difícil de comprender, si se tiene en cuenta que, cuando el cepillo estaba en equilibrio sobre los dedos, las fuerzas (pesos) correspondientes a sus dos partes estaban aplicadas a brazos de palanca diferentes, mientras que en el

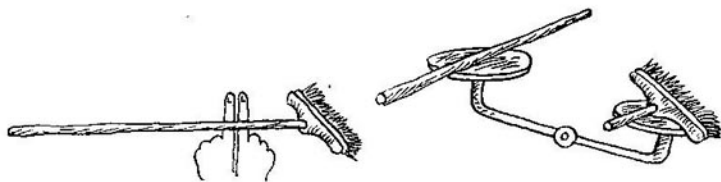


Figura 84

caso de la balanza estas mismas fuerzas (pesos) están aplicadas a los extremos de una palanca de brazos iguales.

Por encargo mío, para el «Pabellón de Ciencia Recreativa» del parque de Leningrado, se fabricó un juego de palos cuyos centros de gravedad se encontraban en diferentes sitios. Estos palos podían dividirse en dos partes (desiguales por lo general) precisamente por el lugar en que estaba el centro de gravedad.

Al poner estas partes en la balanza, los visitantes se convencían asombrados de que la parte corta pesaba más que la larga.

El remero en el río

Por un río navega una barca de remos y junto a ella, una astilla. ¿Qué le será más fácil al remero, adelantar 10 m a la astilla o rezagarse de ella la misma distancia?

Hasta aquellos que practican el deporte del remo suelen dar a esta pregunta una respuesta errónea: les parece que remar contra la corriente es más difícil que a favor de ella; por consiguiente, según ellos, es más fácil adelantar a la astilla que quedarse rezagado de ella.

Es verdad, indudablemente, que atracar a cualquier punto de la margen remando contra la corriente es más difícil que hacerlo remando a favor de ella. Pero si el punto a que desea llegar navega al mismo tiempo que usted, como la astilla por el río, el problema cambia esencialmente.

Hay que tener en cuenta que la barca, movida por la corriente, se halla *en reposo* con respecto al agua que

la lleva. Sentado en esta barca el barquero rema exactamente lo mismo que en las tranquilas aguas de un lago. En un lago es igual de fácil remar en cualquier dirección; lo mismo ocurrirá en el agua corriente en nuestras condiciones.

Así, pues, el trabajo que tendrá que hacer el remero será el mismo si quiere adelantar a la astilla flotante como si quiere rezagarse de ella a la misma distancia.

Las
circunferencias
en el agua

Una piedra lanzada a un agua quieta origina ondas, es decir, circunferencias que se dispersan.

¿Qué forma toman las ondas producidas por una piedra lanzada al agua corriente de un río?

Si no se sabe abordar correctamente este problema, es fácil perderse en los razonamientos y llegar a la conclusión de que, en el agua corriente, las ondas deben alargarse y tomar la forma de elipse o de óvalo, achatado al encuentro de la corriente. Sin embargo, si se observan atentamente las ondas producidas por una piedra lanzada a un río, no se nota ninguna alteración de la forma circular por muy rápida que sea la corriente.

Aquí no hay nada inesperado. Un simple razonamiento nos lleva a la conclusión de que las ondas producidas por la piedra lanzada deben ser circulares tanto en el agua quieta como en la corriente. Vamos a considerar el movimiento de las partículas del agua agitada como resultado de dos movimientos: uno radial, que parte del centro de oscilación, y otro de traslación, en la dirección de la corriente del río. Un cuerpo que participa en varios movimientos se traslada, en fin de cuentas, hacia el punto en que se encontraría si efectuara sucesivamente todos los movimientos componentes, uno después de otro.

Por esto, supongamos primeramente que la piedra ha sido lanzada en un agua quieta. En este caso está claro que las ondas que se producen son circulares.

Figurémonos ahora que el agua se mueve, sin prestar atención a la velocidad y al carácter uniforme o variado de dicho movimiento, siempre que sea de traslación. ¿Qué ocurrirá con las ondas circulares? Se desplazarán por traslación paralela sin experimentar deformación alguna, es decir, seguirán siendo circulares.



La desviación de la llama de la vela

Al trasladar una vela encendida de un sitio a otro de una habitación notamos que, al empezar a moverla, su llama se desvía hacia atrás. ¿Hacia dónde se desviará si la vela que se traslada está dentro de un farol cerrado? ¿Hacia dónde se desviará la llama, dentro del farol, si hacemos que éste dé vueltas alrededor nuestro teniéndolo sujeto con el brazo extendido?

Los que piensen que la llama de una vela, que esté dentro de un farol cerrado, no se desviará en absoluto al mover el farol, se equivocan. Haga usted el experimento con una cerilla encendida y se convencerá de que si se traslada protegiéndola con la mano, la llama se desviará no hacia atrás, sino hacia adelante. La causa de que se desvíe hacia adelante es, que la llama posee menos densidad que el aire que la rodea. Una misma fuerza le comunica más velocidad a un cuerpo de masa menor que a otro de mayor masa. Por esto, como la llama que se mueve dentro del farol se mueve más de prisa que el aire, se desvía hacia adelante.

Esta misma razón —la menor densidad de la llama que la del aire circundante— explica el inesperado comportamiento de la llama cuando el farol se mueve circularmente. En este caso la llama se desvía *hacia dentro*, y no hacia fuera como sería de esperar. Este fenómeno se comprende claramente recordando cómo se sitúan el mercurio y el agua dentro de una esfera sometida a rotación en una máquina centrifugadora: el mercurio se sitúa más lejos del eje de rotación que el agua; esta última parece emerger del mercurio, si se considera «hacia abajo» el sentido que se aleja del eje de rotación (es decir, la dirección en que caen los cuerpos sometidos a la acción del efecto centrífugo). Como la llama es más liviana que el aire que la rodea, emerge del aire, es decir, se dirige hacia el eje de rotación.

La cuerda com- bada

¿Con qué fuerza hay que tensar una cuerda tendida para que no se combe?

Por mucho que se tense la cuerda, se combará inevitablemente. La fuerza de la gravedad que produce la comba está dirigida verticalmente, mientras que la tensión de la cuerda no tiene dirección vertical. Estas dos fuerzas no pueden equilibrarse nunca, es decir, su resultante nunca puede ser nula. Esta resultante es la que hace que se combe la cuerda.

Por muy grande que sea el esfuerzo que se haga, será imposible tensar la cuerda de modo que quede completamente recta (excepto en los casos en que su dirección sea vertical). La comba es inevitable; su magnitud puede disminuirse hasta cierto grado, pero no puede anularse. Así, pues, toda cuerda tendida no verticalmente, lo mismo que toda correa de transmisión, debe combarse.

Por el mismo motivo es imposible atirantar una hamaca de modo que sus cuerdas queden horizontales. La tela metálica fuertemente atirantada del somier de una cama se comba bajo el peso de la persona que en él descansa. Pero la hamaca, cuyas cuerdas se tensan con mucha menos fuerza, al acostarse una persona en ella se convierte en un saco colgante.

¿Hacia dónde hay que tirar la botella?

¿Hacia dónde hay que tirar la botella desde un vagón en marcha para que sea menor el peligro de que se rompa al chocar con la tierra?

Como cuando se salta de un vagón en marcha es más seguro hacerlo hacia adelante, en el sentido del movimiento, puede parecer que la botella chocará con el suelo más suavemente si se la tira hacia adelante. Pero esto es un error: las cosas hay que tirarlas *hacia atrás*, en sentido contrario al movimiento del tren. En este caso la velocidad que se le comunica a la botella al tirarla será *negativa* con respecto a la que dicha botella posee por inercia; como resultado de esto, la botella llegará a tierra con menos velocidad. Si se tirase hacia adelante ocurriría lo contrario: las velocidades se sumarían y el golpe sería más fuerte.

El hecho de que para las personas sea menos peligroso saltar hacia adelante, y no hacia atrás, se explica con otras razones: si caemos hacia adelante nos hacemos menos daño que si caemos de espaldas.

El corcho

En una botella con agua ha caído un trocito de corcho. Este trocito es lo suficientemente pequeño para poder pasar libremente por el cuello de la botella. Pero por mucho que usted incline la botella o la invierta, el agua que sale no saca al trozo de corcho. Sólo cuando la botella se vacía por completo, el corcho sale con la última porción de agua. ¿Por qué ocurre esto? El agua no hace salir al corcho por la sencilla razón de que

éste es más liviano que ella y, por lo tanto, se mantiene siempre en su superficie. El corcho solamente puede encontrarse abajo, es decir, junto al orificio de la botella, cuando ya haya salido casi toda el agua. Por esto sale de la botella con la última porción de agua.

Durante las crecidas

Durante las crecidas vernales las superficies de los ríos se hacen convexas, es decir, el nivel del agua es más alto en el centro que en las márgenes. Si por un río «hinchado» de este modo va flotando leña suelta,

los maderos se deslizan hacia las orillas del río, su parte central queda, en cambio, libre (fig. 85, a la izquierda). En el estiaje, es decir, cuando el nivel del agua es más bajo, la superficie del río se hace cóncava, siendo más baja en el centro que en las márgenes; y entonces los maderos flotantes se concentran en medio del río (fig. 85, a la derecha).



Figura 85

¿Cómo se explica esto?

¿Por qué durante las crecidas se hace el río convexo y durante el estiaje, cóncavo?

La causa de que esto ocurra es, que por el centro del río el agua corre siempre más de prisa que junto a las márgenes, porque el rozamiento del agua con estas últimas retarda la corriente. Durante las crecidas, el agua viene del curso superior y con mayor rapidez a lo largo del centro del río que cerca de las orillas, puesto que la velocidad de la corriente es mayor en el centro. Está claro que si a lo largo de la línea media del río llega más agua, el río tendrá que «hincharse» en este sitio. Durante el estiaje, cuando el agua disminuye, como la corriente es más rápida en el centro del río, la cantidad de agua que sale por él es mayor que la que pasa por las orillas, y el río se hace cóncavo.

Los líquidos
empujan . . .
hacia arriba

El hecho de que los líquidos presionen hacia abajo, sobre el fondo de la vasija que los contiene, y hacia los lados, sobre las paredes de la misma, es conocido hasta por aquellos que nunca han estudiado física. Pero

son muchos los que ni sospechan que los líquidos empujan también hacia arriba. El tubo de vidrio de una lámpara de petróleo le ayudará a convencerse de que este empuje hacia arriba existe en realidad. Recorte un redondel de cartón fuerte cuyas dimensiones permitan tapar el orificio del tubo. Aplique este redondel a los bordes del tubo y sumérjalo en agua. Para evitar que el redondel se desprenda al meter el tubo en el agua, puede sujetarse con un hilo que pase por su centro o simplemente con un dedo. Una vez introducido el tubo hasta una determinada profundidad, verá usted que el redondel se sostiene perfectamente solo, sin que lo sujete la presión del dedo ni la tensión del hilo. Es el agua, que empuja de abajo a arriba, lo que lo aprieta contra el tubo.

Usted puede incluso medir el valor de esta presión ejercida hacia arriba. Para esto, eche con precaución agua en el tubo: en cuanto el nivel de aquella dentro de éste se aproxima al del agua en la vasija, se desprende el redondel. Esto quiere decir, que la presión que el agua ejerce, desde abajo, se equilibra con la presión que ejerce por arriba una columna de agua cuya altura es igual a la profundidad a que se halla sumergido el redondel en el agua. Esta es la ley de la presión de los líquidos sobre cualquier cuerpo sumergido en ellos. De aquí se deduce la «pérdida» de peso que experimentan los cuerpos sumergidos en líquidos, de que nos habla el célebre principio de Arquímedes.

Si dispone de varios tubos de lámparas de petróleo de diferentes formas, pero con los orificios iguales, puede comprobar otro de los principios relativos a los líquidos, que dice: la presión del líquido sobre el fondo de la vasija que lo contiene depende exclusivamente del área de la base y de la altura del nivel del líquido, sin que la forma de la vasija influya en absoluto. La comprobación consistirá en hacer, con los diferentes tubos, el experimento que hemos descrito antes, introduciéndolos sucesivamente en el agua a una misma profundidad (para esto hay que pegar previamente en cada tubo una tirita de papel, de modo que quede a la misma altura). Verá usted que el redondel de cartón

se desprenderá cada vez cuando el nivel del líquido dentro de los tubos llegue a la misma altura (fig. 86). Por consiguiente, la presión que ejercen columnas de agua de formas distintas es la misma, siempre que sean iguales sus bases y sus alturas. Preste atención

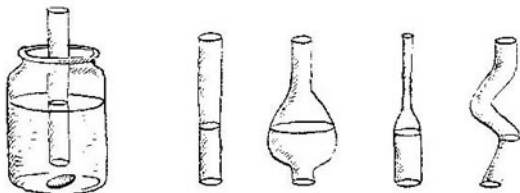


Figura 86

a que, en este caso, lo importante es la *altura* y no la *longitud*, porque la presión que ejerce una columna larga pero *oblicua*, es exactamente igual que la ejercida por una columna vertical corta, que tenga la misma *altura* que aquélla (siempre que sea igual el área de sus bases).

¿Qué pesa más?

En uno de los platillos de una balanza hay un cubo lleno de agua hasta los bordes. En el otro, un cubo exactamente igual, también *lleno hasta los bordes*, pero en él flota un trozo de madera (fig. 87).

¿Qué cubo pesa más?

He hecho esta pregunta a diferentes personas y he recibido de ellas respuestas contradictorias. Unas respondían que debe pesar más el cubo en que flota la madera, porque en él, «además del agua, está la madera». Otras, por el contrario, mantenían que pesa más el primer cubo, ya que «el agua es más pesada que la madera».

Pero ni unas ni otras tenían razón: los dos cubos pesan *lo mismo*. Es verdad que en el segundo cubo hay menos agua que en el primero, porque el trozo de madera que flota desaloja cierto volumen de la misma. Pero según el principio de la flotación, cualquier cuerpo *flotante* desaloja, con su parte sumergida, una cantidad de líquido *exactamente igual* (en peso) a su peso total. He aquí por qué la balanza deberá mantenerse en equilibrio.

Resuelva usted ahora otro problema. Yo coloco en la balanza un vaso con agua y junto a él pongo una pesa. Después de *nivelar* la balanza, colocando pesas

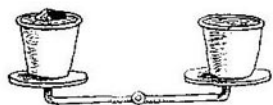


Figura 87

en el otro platillo, cojo la antedicha pesa y la echo en el vaso con agua. ¿Qué ocurrirá con la balanza?

Por el principio de Arquímedes, la pesa dentro del agua pesa menos que fuera de ella. Al parecer, podría esperarse que subiera el platillo de la balanza en que está el vaso. Pero la balanza continúa en equilibrio. ¿Cómo se explica esto?

La pesa, al hundirse en el vaso, desaloja parte del agua, la cual pasa a ocupar un nivel más alto que el que antes tenía. Como resultado de esto, la presión sobre el fondo del vaso aumenta, de manera que dicho fondo experimenta una fuerza adicional, igual al peso que pierde la pesa.

Agua en una criba Resulta que no sólo en los cuentos es posible llevar agua en una criba. Los conocimientos de física ayudan a realizar esto que clásicamente se considera imposible. Para ello no hay más que coger una criba de alambre, de unos 15 centímetros de diámetro, cuyas mallas no sean demasiado finas (cerca de 1 mm), e introducir la rejilla en un baño de parafina derretida. Cuando se saca la criba del baño, sus alambres están revestidos de una tenue capa de parafina, casi imperceptible a simple vista.

La criba sigue siendo criba y teniendo orificios a través de los cuales puede pasar libremente un alfiler, pero ahora puede usted llevar agua en ella, en el sentido literal de la expresión. En esta criba puede mantenerse una capa de agua bastante alta, sin que se derrame a través de las mallas. No obstante, el agua debe echarse con cuidado y evitar que la criba sufra sacudidas.

¿Por qué no se derrama el agua? Porque como no moja a la parafina, forma en las mallas de la criba unas películas delgadas, cuya convexidad mira hacia abajo, que sostienen el agua (fig. 88).

Esta criba parafinada puede ponerse sobre el agua y flotará en ella. Es decir, que la criba puede servir no sólo para llevar agua, sino también para navegar en ella.

Este paradójico experimento explica una serie de fenómenos ordinarios a los cuales estamos tan acostumbrados, que no nos paramos a pensar en sus causas. El objetivo que se persigue al embrear los toneles y las barcas, al engrasar los tapones y los casquillos, al pintar con pinturas al aceite y, en general, al recubrir con sustancias oleaginosas todos los objetos que deseamos hacer impermeables al agua, así como al cau-



Figura 88

chotar los tejidos, no es otro que el convertirlos en una especie de criba como la que acabamos de describir. La esencia de estos fenómenos en uno y otro caso es la misma, aunque en el de la criba ofrece un aspecto al cual no estamos acostumbrados.

Pompas de jabón ¿Sabe usted hacer pompas de jabón? Esto no es tan fácil como parece. A mí también me pareció que para esto no hacía falta ningún entrenamiento, hasta que me convencí en la práctica de que saber hacer pompas de jabón grandes y bonitas es, en cierto modo, un arte que requiere habilidad.

Pero, ¿vale la pena dedicarse a algo tan inútil como hacer pompas de jabón?

En la vida ordinaria estas pompas no gozan de buena fama; por lo menos, en la conversación las recordamos para hacer comparaciones poco halagüeñas. Pero los físicos las miran con mejores ojos. «Haced una pompa de jabón —escribía el gran físico inglés Kelvin— y miradla: aunque dediquéis toda vuestra vida a su estudio, no dejaréis de sacar de ella nuevas enseñanzas de física».

Efectivamente, los mágicos reflejos policromos de la superficie de las tenues películas de jabón dan a los físicos la posibilidad de medir la longitud de las ondas luminosas, y el estudio de la tensión de estas delicadas películas ayuda a conocer las leyes que rigen la acción de las fuerzas que actúan entre las partículas, es decir, de la cohesión, sin la cual en el mundo no existiría nada más que polvo finísimo.

Los pocos experimentos que se describen a continuación no persiguen objetivos tan serios. Son simplemente pasatiempos interesantes que sólo sirven para aprender el arte de hacer pompas de jabón. El físico inglés Ch. Boyce, en su libro «Pompas de Jabón», describe detalladamente una larga serie de experiencias que pueden hacerse con ellas. Recomendamos este magnífico libro a todos los que se interesen por esta materia, ya que aquí nos limitamos a describir los experimentos más simples.

Estas experiencias pueden hacerse con una solución de jabón de lavar ordinario¹⁾, para los que lo deseen, aconsejamos el llamado jabón de Marsella, el

¹⁾ Los jabones de tocador no sirven para este fin.

de aceite puro de oliva o el de almendra, que son los más a propósito para obtener pompas grandes y bonitas. Un trozo de este jabón se deslíe cuidadosamente en agua fría pura, hasta que se obtiene una solución bastante espesa. Lo mejor es utilizar agua limpia de lluvia o de nieve o, en su defecto, agua hervida fría. Para que las pompas duren mucho, Plateau aconseja añadir a la solución jabonosa $1/3$ (en volumen) de glicerina. La espuma y las burbujas que se forman se quitan con una cucharilla y después se introduce en la solución un tubito de arcilla delgado, cuyo extremo se unta previamente de jabón por dentro y por fuera. También se consiguen buenos resultados con pajas de unos diez centímetros de longitud, con su extremo inferior abierto en forma de cruz.

Las pompas se hacen del modo siguiente: después de mojar el tubo en la solución jabonosa, y manteniéndolo verticalmente para que en su extremo se forme la película de líquido, se sopla en él con cuidado. Como al hacer esto la pompa se llena con el aire caliente que sale de nuestros pulmones, que es más ligero que el que lo rodea en la habitación, la pompa inflada se eleva inmediatamente.

Si se consigue que la primera pompa que se hace tenga 10 cm de diámetro, la solución jabonosa es buena; en el caso contrario hay que añadirle jabón al líquido, hasta que se puedan hacer pompas del diámetro indicado. Pero esta prueba no es suficiente. Después de hacer la pompa, se moja un dedo en la solución jabonosa y se intenta introducirlo en aquélla; si la pompa no revienta, pueden comenzarse los experimentos, y si no resiste, hay que agregarle a la solución un poco más de jabón.

Los experimentos deben hacerse despacio, con cuidado y tranquilamente. La iluminación debe ser lo más clara posible: de lo contrario las pompas no mostrarán sus policromos reflejos.

He aquí experimentos recreativos con pompas.

Una flor dentro de una pompa de jabón. En un plato o en una fuente se echa agua jabonosa hasta que su fondo se cubra de una capa de 2 ó 3 mm de altura. En medio del plato se pone una flor o un florerito y se cubre con un embudo de vidrio. Después se va levantando despacito el embudo, al mismo tiempo que se sopla por su parte estrecha. Se forma una pompa de jabón. Cuando esta pompa es suficientemente grande, se inclina el embudo, como muestra la fig. 89, y se

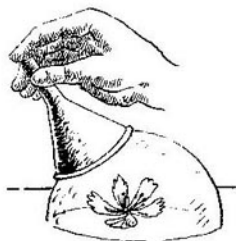


Figura 89

libera la pompa de debajo de él. La flor queda cubierta por un fanal hemisférico transparente, formado por la película jabonosa, que reflejará todos los colores del iris.

En lugar de la flor puede colocarse una estatuilla, coronando su cabeza con otra pompa de jabón. Para esto hay que echar previamente una gota de solución jabonosa en la cabeza de la estatuilla y, después, cuando ya esté hecha la pompa grande, traspasarla con un tubo y soplar dentro de ella la pompa pequeña.

Varias pompas, unas dentro de otras. Con el embudo que se utilizó para la experiencia anterior, se hace una pompa grande. Luego se toma una pajita, se introduce totalmente en la solución jabonosa, de modo que sólo quede seco el extremo que se ha de coger con los labios, y con ella se atraviesa cuidadosamente la pared de la primera pompa, hasta llegar al centro. Tirando despacio de la pajita hacia atrás y teniendo cuidado de no sacar el extremo, se infla la segunda pompa dentro de la primera. Repitiendo la operación se hace la tercera, dentro de la segunda, después, la cuarta, y así sucesivamente.

Un cilindro de película jabonosa (fig. 90) puede obtenerse entre dos anillos de alambre. Para esto, sobre el anillo inferior se deja caer una pompa esférica ordinaria, después, por la parte superior, se aplica a esta pompa un segundo anillo mojado y tirando de él hacia arriba, se va estirando la pompa hasta que se hace cilíndrica. Es interesante que si se sube el anillo superior a una altura mayor que la longitud de su circunferencia, una mitad del cilindro se estrecha y la otra se ensancha, y luego se divide en dos pompas.

La película de la pompa de jabón está siempre tensa y presiona sobre el aire contenido en ella. Dirigiendo el embudo a la llama de una vela, podrá usted convencerse de que la fuerza de estas delgadísimas películas no es tan insignificante como pudiera parecer; la llama se desvía sensiblemente hacia un lado (fig. 90).

También es interesante observar una pompa cuando pasa de un local templado a otro frío: se ve cómo su volumen disminuye; en cambio, cuando pasa de una habitación fría a otra caliente, se hincha. La causa de que esto ocurra es, claro está, la compresión y dilatación del aire que hay dentro de la pompa. Si, por ejemplo, una pompa a -15°C tiene 1000 centímetros cúbicos de volumen y se traslada a un local en que la temperatura es de $+15^{\circ}\text{C}$, su volumen deberá aumentar

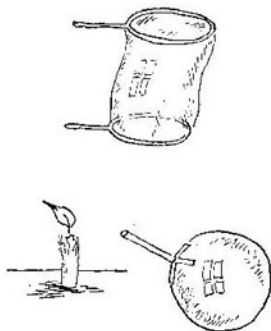


Figura 90

aproximadamente en $1000 \times 30 \times 1/273$, es decir, en cerca de 110 centímetros cúbicos.

Conviene señalar también que la idea ordinaria de que las pompas de jabón son poco duraderas, no es cierta: teniendo cuidado con ellas se consigue conservarlas décadas enteras. El físico inglés Dewar (célebre por sus trabajos de licuación del aire) guardaba las pompas de jabón en unas botellas especiales, que las protegían contra el polvo y las sacudidas del aire e impedían que se secasen; en estas condiciones logró conservar algunas pompas más de un mes. Lawrence, en Norteamérica, consiguió conservar pompas de jabón, debajo de un fanal, durante años.

Un embudo perfeccionado

Todo el que haya tenido que echar líquido en una botella sirviéndose de un embudo, sabe que de tiempo en tiempo hay que levantar el embudo, porque de lo contrario el líquido no pasa. El aire que hay en la botella, al no encontrar salida, mantiene con su presión el líquido que se halla en el embudo. Es verdad que una pequeña cantidad de líquido escurre hacia abajo, de manera que el aire que hay en la botella es comprimido por la presión del agua. Pero el aire oprimido en el volumen reducido tendrá una elasticidad mayor, suficiente para equilibrar con su presión el peso del líquido que hay en el embudo. Está claro que, levantando un poco el embudo, dejamos salir al exterior el aire comprimido y, entonces, el líquido empieza otra vez a entrar en la botella.

Por esto, resultará muy práctico hacer los embudos de tal modo, que su parte estrecha tenga unos salientes longitudinales, en la superficie exterior, que impidan que el embudo entre ajustado en el gollete.

¿Cuánto pesa el agua que hay en un vaso boca abajo?

—No pesará nada —dirá usted—, porque el agua se derramará.

— ¿Y si no se derrama? En efecto, el agua se puede retener en el vaso invertido, de modo que no se derrame (fig. 91). Como puede verse, una

copa de vidrio invertida, sujeta por el pie al brazo de una balanza, está llena de agua, la cual no se derrama porque los bordes de la copa están sumergidos en el agua que hay en otra vasija. Al otro brazo de la balanza está sujeta una copa vacía, exactamente igual que la primera.

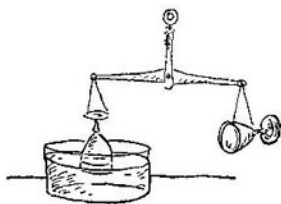


Figura 91

¿Hacia qué lado se inclinará la balanza?

Hacia el lado en que está sujeta la copa invertida llena de agua. Esta copa está sometida por arriba a la presión atmosférica total, mientras que por abajo, la presión atmosférica está debilitada por el peso del agua contenida en la copa. Para restablecer el equilibrio sería necesario llenar de agua la copa atada al otro brazo. Por lo tanto, en las condiciones indicadas, el agua contenida en un vaso boca abajo pesa lo mismo que la contenida en dicho vaso en posición normal.

¿Cuánto pesa el aire que hay en una habitación?

¿Puede usted decir, aunque sea aproximadamente, qué carga representa el aire que llena una habitación pequeña? ¿Varios gramos o varios kilogramos? ¿Podría usted levantar esta carga con un dedo, o la soportaría con dificultad en el hombro?

Ya no es fácil encontrar personas que crean que el aire no pesa nada, como pensaban en la antigüedad. Pero aún hay muchos que no pueden decir cuánto pesa.

Acuérdese de que un litro de aire estival templado, junto a la Tierra (pero no en las montañas), pesa $1\frac{1}{5}$ g. Un metro cúbico tiene 1000 litros; por lo tanto, un metro cúbico de aire pesará 1000 veces más que $1\frac{1}{5}$ g, es decir, $1\frac{1}{5}$ kg.

Ahora no le será difícil calcular cuánto pesa el aire que hay en una habitación cualquiera. Para esto no hay más que saber cuántos metros cúbicos tiene la habitación. Si el área de su suelo es de 15 m^2 y su altura de 3 m, habrá en ella $15 \times 3 = 45\text{ m}^3$. Este aire pesa 45 kg y $\frac{1}{5}$ de 45, es decir, 9 kg más, o sea, 54 kg en total. Esta carga no se levanta con un dedo, y tampoco es fácil de llevar en el hombro.

Un tapón rebelde

Este experimento le demostrará que el aire comprimido tiene fuerza y que ésta es considerable.

Para hacerlo no necesita más que una botella ordinaria y un tapón que sea algo más pequeño que el orificio de la botella.

Ponga la botella horizontal, colóquela el tapón en el gollote y propóngale a alguien que meta el tapón en la botella soplándole.

Al parecer no hay nada más fácil. Pero pruebe, sólo lele al tapón con fuerza, y quedará usted sorprendido

del resultado. El tapón no sólo no entrará en la botella, sino que... saldrá despedido hacia su cara.

Cuanto más fuerte sople usted, tanto más rápidamente saldrá despedido el tapón en sentido contrario.

Para lograr que el tapón penetre en la botella hay que hacer lo contrario, es decir, no soplarle al tapón, sino aspirar el aire a través del intersticio que hay sobre él.

Estos extraños fenómenos se explican así. Cuando se le sopla al gollete de la botella, se insufla aire en ella a través del intersticio que hay entre el tapón y la pared del gollete. Con esto aumenta la presión del aire dentro de la botella y aquél lanza con fuerza el tapón hacia fuera. En cambio, cuando usted aspira el aire, éste se enrarece dentro de la botella y el tapón es empujado hacia dentro por la presión del aire exterior. La experiencia sólo sale bien cuando el gollete de la botella está completamente seco, porque si el tapón se humedece, roza con la pared y se atasca.

La suerte del globo de goma

Los globos de goma que se sueltan salen volando. ¿Adónde van a parar? ¿Hasta qué altura pueden llegar?

Cuando un globo de goma se escapa de las manos no va a parar a los límites superiores de la atmósfera, sino nada más que hasta su «techo», es decir, hasta la altura en que, debido al gran enrarecimiento del aire, el peso del globo es igual al del aire que desaloja. Pero no siempre llega al «techo». Como el globo se va hinchando a medida que se eleva (a causa de la disminución de la presión exterior), antes de llegar al «techo», revienta.

¿Cómo hay que soplar para apagar una vela?

Parece que no hay cosa más sencilla que apagar una vela soplándole, pero no siempre se consigue esto. Intente usted apagar una vela no directamente, sino soplándole a través de un embudo, comprobará que esto

requiere cierto entretenimiento. Coloque el embudo delante de la vela y soplo por él teniendo en los labios su parte estrecha. La llama ni se moverá, a pesar de que el chorro de aire que sale del embudo parece que debe dirigirse directamente a la vela.

Si cree que el embudo está demasiado lejos de la llama, aproxímelo y vuelva a soplar. El resultado que obtiene es inesperado: la llama se inclina no alejándose,

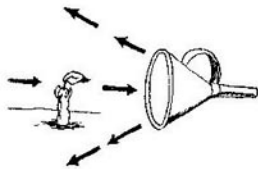


Figura 92



sino acercándose a usted, es decir, al encuentro del chorro de aire que sale del embudo.

¿Qué debe hacer usted, si quiero apagar la vela? Debe poner el embudo de tal forma, que la llama se encuentre no en la línea de su eje, sino en la prolongación de su pabellón. Si sopla por el embudo en estas condiciones, apagará la vela sin dificultad.

Esto se explica porque el chorro de aire, al salir de la parte estrecha del embudo, no sigue su eje, sino que se extiende a lo largo de las paredes del pabellón formando aquí una especie de torbellino de aire. En cambio, a lo largo del eje del embudo, el aire se enrarece, por lo que cerca del punto medio se origina una corriente de aire inversa. Ahora está claro por qué la llama situada frente a la mitad del embudo se inclina a su encuentro, mientras que cuando se halla frente a su borde, se inclina hacia adelante y se apaga.

La rueda del automóvil

La rueda de un automóvil da vueltas hacia la derecha, es decir, su llanta gira en el sentido de las agujas del reloj. Se plantea la siguiente pregunta: ¿en qué dirección se desplaza el aire que hay dentro del neumático,

al encuentro del movimiento de la rueda o en su misma dirección? El aire que hay dentro del neumático se mueve, desde el punto en que se comprime éste, en ambos sentidos, hacia delante y hacia atrás.

¿Para qué se dejan huecos entre los raíles?

Entre las juntas a tope de los raíles se dejan siempre intervalos u holguras. Esto se hace adrede. Si no se dejan estas holguras y los raíles se colocan en contacto directo unos con otros, el ferrocarril se averiará pronto.

Es el caso, que todos los objetos se dilatan en todos los sentidos cuando se calientan. También se dilata (alarga) el raíl de acero en verano, cuando lo calienta el sol. Si no se deja espacio para que los raíles puedan alargarse, éstos, apoyando sus extremos unos en otros con gran fuerza, se torcerán hacia un lado, arrancarán las escarpas que los sujetan y estropearán toda la vía.

Las holguras se dejan teniendo en cuenta el invierno. Cuando hace frío se contraen los raíles y se hacen más cortos, por lo que las holguras pueden aumentar todavía más. Por esto se calculan adaptándose al clima del lugar por donde pasa la vía férrea.

De ejemplo de cómo se aprovecha la propiedad de los cuerpos de contraerse al enfriarse puede servir el procedimiento que se emplea generalmente para montar las bandas de hierro en las ruedas de los carros. La banda se calienta previamente, se monta, y cuando se enfría, se contrae y abraza fuertemente la llanta de la rueda.

Los vasos para té y para refrescos Usted habrá notado probablemente que los vasos que se utilizan para las bebidas frías suelen tener grueso el fondo. El porqué de esto está claro: estos vasos son muy estables y no es fácil volcarlos. ¿Por qué no se usan estos mismos vasos para el té? En este caso tampoco estaría mal que no se volcasen los vasos.

Los vasos de fondo grueso no se utilizan para las bebidas calientes porque sus paredes se calientan y dilatan más con el calor del líquido que el fondo grueso. Estos recipientes no son prácticos para el té: saltan. Cuanto más fino es el recipiente y menor la diferencia de espesor entre las paredes y el fondo, tanto más uniforme es su calentamiento y tanto menor es su propensión a resquebrajarse.

El agujerito de la tapa de la tetera La tapadera de las teteras metálicas tienen un agujerito. ¿Para qué sirve? Para que pueda salir el vapor, sino éste despedirá la tapa de la tetera. Pero, al calentarse, el material de la tapa se dilata en todos los sentidos.

¿Qué ocurre en este caso con el agujerito, aumenta o disminuye? Cuando se calienta la tapadera de la tetera, el agujerito aumenta de tamaño. En general, los orificios y las cavidades aumentan de volumen al calentarse, exactamente lo mismo que un trozo igual del material que lo rodea. Por esta razón la capacidad de las vasijas aumenta al calentarse éstas, y no disminuye, como piensan algunos.

El humo ¿Por qué, cuando no hace viento, sube el humo de las chimeneas? El humo sube porque lo saca el aire caliente, dilatado y, por lo tanto, más ligero que el que rodea a la chimenea. Cuando el aire que mantiene a las partículas de humo se enfría, el humo baja y se esparce por la tierra.



Un papel que no se quema

Puede hacerse un experimento en el cual una tira de papel no se quema en la llama de una vela.

Para esto hay que arrollar fuertemente, como si fuera una venda, una tira estrecha de papel a una barra de hierro. Si esta barra, con su tira de papel, se somete a la llama de una vela, el papel no arde. El fuego lame-rá el papel y lo tiznará, pero no lo quemará mientras la barra no se caldee.

¿Por qué no se quema el papel? Porque el hierro, como todo metal, conduce bien el calor y retira rápidamente del papel el calor que éste recibe de la llama. Si la barra metálica se sustituye por una de madera, el papel se quemará, porque la madera es mal conductor del calor. El experimento sale mejor aún si la barra es de cobre.

Arrollando fuertemente un hilo a una llave, puede usted hacer el experimento del hilo incombustible.

¿Cómo se enmasillan las ventanas para el invierno?

Una ventana bien enmasillada ahorra calor. Pero para enmasillar bien una ventana hay que comprender claramente por qué «calientan» la habitación las contraventanas.

Hay muchos que creen que las contraventanas se ponen en invierno porque dos ventanas valen más que una. Pero esto no es así. La cuestión no está en la contraventana, sino en el aire que queda encerrado entre la ventana y la contraventana.

El aire conduce muy mal el calor. Por esto, el aire bien cerrado, para que no pueda escapar y llevarse calor, protege a la habitación no dejando que se enfríe.

Para esto el aire tiene que estar perfectamente cerrado. Algunos piensan que cuando se enmasilla una ventana hay que dejar una rendija en la parte superior de su hoja exterior. Esto es un gran error. Si se hace esto, el aire que hay entre la ventana y la contraventana será obligado a salir por el aire frío exterior, con lo cual se enfriará la habitación. Hay que hacer lo contrario, enmasillar tanto la ventana como la contraventana lo mejor que se pueda, sin dejar ni la menor rendija.

Si no se dispone de masilla, en vez de enmasillar se pueden pegar tiras de papel fuerte. Sólo las ventanas bien enmasilladas o con las rendijas bien tapadas con papel pegado ahorran calefacción.

¿Por qué sopla el viento cuando la ventana está cerrada?

Solemos extrañarnos de que, cuando hace frío, sopla con frecuencia el viento de una ventana que está bien cerrada, cuidadosamente enmascillada y que no tiene ni la más pequeña rendija. Sin embargo, esto no tiene nada de extraño.

El aire de una habitación casi nunca está en reposo: en ella existen corrientes invisibles que se originan por el calentamiento y enfriamiento del aire. Al calentarse, el aire se enrarece y, por consiguiente, se hace más liviano; al enfriarse, por el contrario, el aire se densifica y se hace más pesado. El aire ligero, calentado por una lámpara o por una estufa, es desplazado hacia arriba, hacia el techo, por el aire frío, porque el aire más pesado, enfriado junto a las ventanas o paredes frías, baja hacia el suelo.

Estas corrientes del aire de la habitación se pueden descubrir fácilmente valiéndose de un globo de goma lleno de gas, si se le ata un pequeño contrapeso para que no se pegue al techo, sino que pueda volar libremente en el aire. Este globo, si lo soltamos junto a la estufa, irá de una parte a otra de la habitación arrastrado por las corrientes de aire invisibles: 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 la habitación. Esta es la causa de que en invierno sentimos cómo el aire sopla de la ventana, sobre todo por abajo, aunque esté tan bien cerrada que el aire exterior no pueda penetrar por las rendijas.

¿Cómo hay que enfriar con hielo?

Cuando quiere usted enfriar una bebida, ¿dónde pone la jarra, sobre el hielo o debajo de él? Muchos no lo piensan y ponen la jarra sobre el hielo, lo mismo que se pone un puchero sobre el fuego. Pero así no se debe enfriar. Cuando hay que calentar, debe hacerse efectivamente, por abajo, pero si se quiere enfriar, hay que hacerlo por arriba.

Procure comprender por qué es más conveniente enfriar por arriba que por abajo. Usted sabe que una substancia fría es más densa que cuando está caliente; una bebida fría es más densa que antes de enfriarla. Cuando coloca el hielo encima de la jarra con la bebida, las capas superiores de ésta (que están junto al hielo)



se enfrían, se hacen más densas y descienden; su puesto es ocupado por otras porciones de líquido más templadas, las cuales son enfriadas por el hielo y descienden a su vez. Al cabo de un corto espacio de tiempo toda la bebida que hay en la jarra habrá pasado junto al hielo y se habrá enfriado. Por el contrario, si pone usted la jarra sobre el hielo, la primera que se enfría es la más inferior de las capas de la bebida; esta capa se hace más densa, permanece en el fondo y no cede su puesto a las demás capas, que siguen estando templadas. En este caso no se produce ninguna remoción del líquido, por lo que éste se enfría muy lentamente.

Conviene enfriar por arriba no sólo las bebidas, sino también la carne, las verduras y el pescado, porque estos alimentos se enfrían no tanto por el propio hielo como por el aire enfriado por él, que se mueve hacia abajo, y no hacia arriba. Y si alguna vez tiene usted que refrigerar la habitación de un enfermo, por ejemplo, no ponga el hielo debajo de la cama, sino en cualquier lugar alto, en un anaqueño o colgado del techo.

El color del vapor de agua ¿Ha visto usted alguna vez vapor de agua? ¿Puede decir qué color tiene?

En el sentido estricto de la palabra, el vapor de agua es completamente transparente e incoloro. No se puede ver, como no puede verse el aire. Esa niebla blanca que llamamos de ordinario «vapor», es una concentración de gotitas de agua pequeñísimas; es agua pulverizada y no vapor.

¿Por qué «canta» el samovar? ¿A qué se debe ese sonido armonioso que emite el samovar poco antes de que el agua empiece a hervir? El

agua que se encuentra en contacto directo con el tubo del samovar, se transforma en vapor, el cual forma en el agua pequeñas burbujas. Como son más ligeras, estas burbujas son desplazadas hacia arriba por el agua que las rodea. Aquí se encuentran con agua cuya temperatura es menor de 100° C. El vapor se enfría, se contrae y las paredes de las burbujas, presionadas por el agua, se juntan. Cuando poco antes de comenzar la ebullición, las burbujas, cada vez más numerosas, ascienden, no llegan hasta el nivel del agua, sino que,

con un tenue chasquido, revientan por el camino. De estos innumerables chasquidos procede el ruido que escuchamos antes de la ebullición.

Cuando toda el agua que hay en el samovar o en la cafetera se calienta hasta la temperatura de ebullición, las burbujas dejan de reventar al pasar a través del espesor de agua y el «canto» cesa. Pero en cuanto el samovar empieza a enfriarse, vuelven a crearse las condiciones para que suene, y el «canto» se reanuda.

Esta es la razón por la cual los samovares y las cafeteras sólo «cantan» antes de empezar a hervir el agua y cuando empieza a enfriarse, pero cuando el agua está hirviendo, el samovar no emite nunca este sonido armonioso.

Un molinete
misterioso

Coja un papel de fumar, dóblelo por sus líneas medias y ábralo: así sabrá donde está su centro de gravedad. Deposite ahora este papel sobre la punta de una aguja clavada verticalmente, de forma que su centro

de gravedad se apoye en dicha punta.

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

Hasta ahora este artificio no tiene nada de misterioso. Pero acérquela una mano, como indica la fig. 93; acérquela con cuidado, para que el papel no sea barrido por la corriente de aire. Verá usted una cosa rara: el papel empezará a dar vueltas, primero despacio y luego cada vez más de prisa. Separe la mano, y el papel dejará de girar. Acérquela otra vez, y volverá a girar.

Esta rotación misteriosa hizo pensar a muchos, allá por los años 70 del siglo pasado, que nuestro cuerpo posee ciertas propiedades sobrenaturales. Los aficionados a la mística hallaban en este experimento la confirmación de sus confusas doctrinas acerca de una fuerza misteriosa que emana del cuerpo humano. Sin embargo, la causa de este fenómeno es completamente natural y muy sencilla: el aire que nuestra mano calienta abajo, al elevarse, presiona sobre el papel y le hace girar, de un modo semejante a como lo hace la conocida «serpiente» de papel sobre la lámpara, porque al doblar el papel le dio usted una pequeña inclinación a sus diversas partes.

Un observador atento puede darse cuenta de que el molinete descrito gira en una dirección determinada,



Figura 93

es decir, desde la muñeca, siguiendo la palma de la mano, hacia los dedos. Esto puede explicarse 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, cerca de la palma se origina una corriente de aire ascendente más intensa, que empuja el papel con más fuerza que la corriente debida al calor de los dedos.

¿Calienta
el abrigo?

¿Qué diría usted si le asegurasen que su abrigo *no calienta* nada? Pensaría, como es natural, que querían gastarle una broma. Pero, ¿y si empezaran a demostrarle esta afirmación con una serie de experimentos?

Haga por ejemplo el siguiente.

Mire cuantos grados marca un termómetro y envuélvalo en su abrigo. Al cabo de varias horas, sáquelo. Se convencerá de que no se ha calentado ni en cuarto de grado: lo que antes marcaba, marca ahora. Ahí tiene una prueba de que el abrigo no calienta. Usted incluso podría sospechar que el abrigo *enfria*. Coja si no dos frasquitos con hielo; envuelva uno de ellos en el abrigo y deje el otro sin tapar en la habitación. Cuando se haya derretido el hielo en este último, abra el abrigo: verá que el hielo que había en él apenas si ha comenzado a fundirse. Por lo tanto, el abrigo no sólo no ha calentado el hielo, sino que al parecer incluso lo ha enfriado, retardando su licuación.

¿Qué puede objetarse a esto? ¿Cómo desmentir estas conclusiones?

De ningún modo. El abrigo realmente no calienta, si se entiende por «calentar» *dar calor*. La lámpara caliente, la estufa caliente, el cuerpo humano caliente, porque todos estos cuerpos son fuentes de calor. Pero el abrigo, en este sentido de la palabra, no calienta nada. *El abrigo no da calor, sino que se limita a impedir que el calor de nuestro cuerpo salga de él.* He aquí por qué los animales de sangre caliente (homotermos), cuyo cuerpo es fuente de calor, se sentirán más calientes con el abrigo que sin él. Pero el termómetro no genera calor propio y, por eso, su temperatura no varía aunque lo envolvamos en el abrigo. El hielo envuelto en el abrigo conserva más tiempo 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 siendo, como todos los cuerpos pulverizados, mala conductora del calor, impide la salida del que tiene la tierra que ella cubre. En las tierras protegidas por una capa de nieve, el termómetro marca frecuentemente diez grados más que en las tierras desnudas de nieve. Esta acción calefactora de la capa de nieve es bien conocida por los campesinos.

Así, pues, a la pregunta de que si calienta un abrigo, debe responder que el abrigo sólo sirve para que nos calentemos nosotros mismos. Lo más exacto sería decir, que nosotros calentamos el abrigo, y no él a nosotros.

¿Cómo hay que ventilar la habitación en invierno?

El mejor procedimiento de ventilar una habitación en invierno consiste en abrir el ventanillo de la ventana mientras se calienta la estufa. El aire exterior, fresco y puro, le empujará al más templado y ligero, que hay en la habitación, hacia la estufa, de donde, a través de la chimenea, comenzará a salir al exterior.

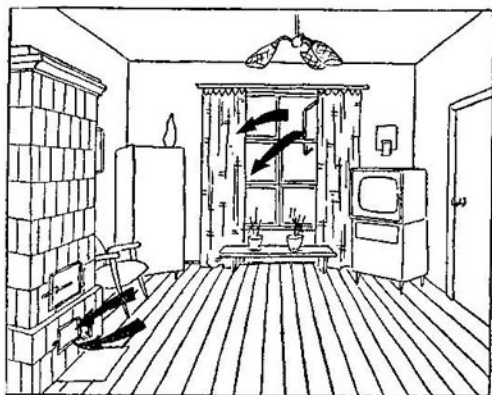


Figura 94

No debe pensarse que lo mismo ocurriría si el ventanillo estuviera cerrado, ya que, en este caso, el aire exterior penetraría en la habitación a través de las rendijas en las paredes. En efecto, el aire se infiltra



en la habitación, pero en cantidad insuficiente para mantener la combustión en la estufa. Por esto, además del aire de la calle, en la habitación penetra también, a través de las rendijas que hay en el suelo y en los tabiques, aire procedente de los locales donde éste no puede ser ni puro ni fresco.

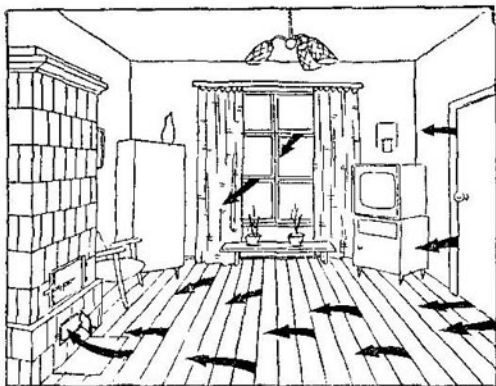


Figura 95

La diferencia entre las corrientes de aire en uno y otro caso se ve claramente en nuestras figuras; las corrientes de aire se representan en ellas por medio de flechas.

¿Dónde se debe hacer el ventanillo?

¿Dónde debe hacerse el ventanillo, arriba o abajo? Hay apartamentos en los cuales el ventanillo está en la parte baja de la ventana. Esto es cómodo: para abrirlo y cerrarlo no hay que subirse a una silla. Pero

los ventanillos bajos cumplen mal su función de ventilar la habitación. En efecto, ¿por qué se produce el intercambio de aire exterior e interior de la habitación a través del ventanillo? Porque el aire exterior está más frío que el de dentro de la habitación, y, como es más denso, lo desaloja. Pero el aire frío ocupa solamente la parte del local que está por debajo del ventanillo. Todo el aire que hay en la habitación por encima del ventanillo no participa en el intercambio, es decir, no se ventila.

Una cacerola de papel

Fíjese en la fig. 96: ¡un huevo se cuece en el agua que hay en un cucurucho de papel!

—Pero el papel se quemará inmediatamente y el agua apagará la llama —dirá usted.

Haga usted el experimento con papel apergaminado fuerte, bien sujeto a un mango de alambre. Se vencerá de que el papel no se deteriora nada con el fuego. La causa de que esto ocurra es que, en un recipiente abierto, el agua sólo puede calentarse hasta la temperatura de ebullición, o sea, hasta 100°C . Por esto, el agua que se calienta, que posee 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. (Resultará más práctico utilizar una pequeña cajita de papel, como la que representa la fig. 99, a la derecha). El papel no se quema aunque lo rocen las llamas.

A este mismo tipo de fenómenos pertenecen también el triste experimento que, inconscientemente, hacen las personas distraídas que ponen a calentar el samovar sin echarle agua. El samovar se desuelda. La causa es comprensible: el metal de la soldadura se funde con relativa facilidad, y solamente su estrecho contacto con el agua lo protege de las peligrosas elevaciones de temperatura. Tampoco se pueden poner a calentar sin agua las cacerolas soldadas.

Usted puede también fundir un precinto de plomo, por ejemplo, en una cajita hecha con un naípe. Lo único que hace falta es tener la precaución de que la llama caliente precisamente el sitio del naípe que se encuentra en contacto directo con el plomo. Este metal, como es relativamente buen conductor del calor, absorbe rápidamente el calor de la cartulina y no deja que se caliente a una temperatura sensiblemente mayor que la de su fusión, es decir, de 335°C (para el plomo), que es insuficiente para que se inflame el papel.

¿Para qué sirve el tubo de la lámpara?

Pocos son los que conocen el largo camino recorrido por el tubo de vidrio de las lámparas de petróleo hasta adquirir la forma que ahora tiene.

Una larga serie de milenios el hombre se alumbró con la llama, sin recurrir al vidrio. Fue necesario el genio de Leonardo de Vinci (1452—1519) para realizar este importante

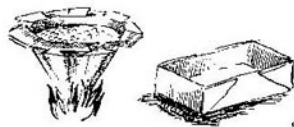


Figura 96

perfeccionamiento de las lámparas. Pero el tubo con que Leonardo rodeó la llama no era de vidrio, sino de metal. Pasaron tres siglos más, hasta que fue concebida la idea de sustituir el tubo metálico por un cilindro transparente de vidrio. Como ve, el tubo de vidrio de las lámparas es un invento en el que participaron decenas de generaciones.

¿Para qué sirve este tubo?

Lo más probable es que no todo el mundo pueda dar una respuesta acertada a esta pregunta tan natural.

La protección de la llama contra el viento no es más que una función secundaria del tubo.

Su objetivo fundamental es aumentar el *brillo* de la llama acelerando la combustión. El papel del tubo de la lámpara es el mismo que desempeñan las chimeneas de la estufa o de una fábrica: intensificar el flujo de aire que llega a la llama, es decir, el «tiro».

Analícemos esto. La llama calienta la columna de aire que hay dentro del tubo mucho más de prisa que al aire que rodea la lámpara. El aire del tubo, una vez calentado, con lo que se hace más ligero, es desplazado hacia arriba por el aire frío, más pesado, que entra por abajo a través de los orificios del mechero. De este modo se establece una corriente continua de aire, de abajo a arriba, que se lleva los residuos de la combustión y trae aire fresco. Cuanto más alto sea el tubo, mayor será la diferencia de peso entre las columnas de aire caliente y fría y más intensa será la corriente de aire fresco y, por consiguiente, se acelerará la combustión. Aquí pasa lo mismo que en las altas chimeneas de las fábricas. Por esto dichas chimeneas se hacen tan altas.

Leonardo de Vinci comprendió ya claramente este fenómeno. En sus manuscritos hay una nota que dice: «Donde se produce fuego se forma a su alrededor una corriente de aire que lo mantiene e intensifica».

¿Por qué la llama no se apaga a sí misma?

Si se recapacita acerca del proceso de la combustión se plantea forzosamente la pregunta: ¿por qué la llama no se apaga a sí misma? Los productos de la combustión son el anhídrido carbónico y el vapor de agua, ambos *incombustibles* e incapaces de mantener la combustión. Por consiguiente, desde el primer ins-

tante de la combustión, la llama debe estar rodeada de sustancias incombustibles que impiden la llegada de aire, y como sin aire no puede continuar la combustión, la llama debería apagarse.

¿Por qué no ocurre esto? ¿Por qué la combustión continúa mientras queda materia combustible? Únicamente porque los gases se dilatan al calentarse y, por lo tanto, *se hacen más ligeros*. Sólo a esto se debe el que los productos calientes de la combustión no se queden en el lugar en que se originan, en contacto directo con la llama, sino que sean desplazados inmediatamente hacia arriba por el aire fresco. Si el principio de Arquímedes no se extendiera a los gases (o si no existiera la gravedad), toda llama, después de arder un poco, se apagarían de por sí.

Del efecto tan funesto que producen en la llama los productos de su combustión, es bastante fácil convencerse. Usted mismo se sirve de este efecto, sin sospecharlo, cuando apaga la lámpara. ¿Qué hace para esto? Le sopla por arriba, es decir, lanza hacia abajo, hacia la llama, los productos incombustibles que ella produce al arder, con lo cual queda privada de la entrada libre de aire y se apaga.

¿Por qué el agua apaga el fuego? A esta pregunta tan fácil no todos saben responder bien. Esperamos que el lector no se quejará si explicamos escuetamente en qué consiste en esencia la acción del agua sobre el fuego.

En primer lugar, al ponerse en contacto con el objeto que arde, el agua se convierte en vapor, con lo que le quita mucho calor a dicho objeto; para que el agua hirviendo se transforme en vapor hace falta una cantidad de calor cinco veces y pico mayor que la que se necesita para calentar hasta 100°C una cantidad igual de agua fría.

En segundo lugar, el vapor que se forma ocupa un volumen centenares de veces mayor que el que tenía el agua que lo engendró; este vapor rodea al cuerpo que arde y desplaza el aire, y sin aire es imposible la combustión.

A veces, para aumentar el poder extintor del agua, se mezcla con... ¡pólvora! Esto puede parecer raro, pero es completamente lógico: la pólvora arde muy de prisa y produce una gran cantidad de gases incombustibles, los cuales rodean al objeto que se quema y dificultan su combustión.

El calentamiento con hielo y con agua hirviendo ¿Se puede calentar con un trozo de hielo otro trozo de hielo?
¿Se puede enfriar con un trozo de hielo otro trozo de hielo?
¿Se puede calentar con una porción de agua hirviendo otra porción de agua hirviendo?

Si un trozo de hielo a baja temperatura, por ejemplo, a -20°C , se pone en contacto con otro trozo cuya temperatura sea mayor, por ejemplo, -5°C , el primer trozo de hielo se calentará (se pondrá menos frío) y el segundo se enfriará.

Por esto es completamente posible enfriar o calentar hielo con hielo.

Pero calentar agua hirviendo con otra porción de agua hirviendo (a la misma presión) es imposible, ya que, a una presión determinada, la temperatura del agua hirviendo es siempre la misma.

¿Se puede hervir agua en agua hirviendo? Coja una botella pequeña (un tarro o un frasquito), eche agua en ella y métala en una cacerola que contenga agua pura, y que esté puesta a la lumbre, de modo que la botella no toque el fondo de la cacerola.

Para esto tendrá que colgar la botella con un alambre. Cuando el agua de la cacerola comienza a hervir parece que, acto seguido, también hervirá el agua de la botella. Pero puede esperar cuanto quiera, el agua de la botella se calentará, se pondrá muy caliente, pero hervir, no hervirá. El agua hirviendo está poco caliente para hacer que hierva el agua de la botella.

Este resultado parece sorprendente, pero, sin embargo, era previsible. Para hacer que el agua hierva no basta calentarla hasta 100°C , hay que comunicarle además una reserva considerable de calor que se llama calor latente. El agua pura hierve a 100°C ; en condiciones normales, por mucho que se caliente, su temperatura no sube de este punto. Por lo tanto, la fuente de calor que utilizamos para calentar el agua de la botella tiene la temperatura de 100°C y sólo puede calentarla hasta 100°C . En cuanto se establece este equilibrio de temperaturas, *el agua de la cacerola deja de ceder calor a la de la botella*. Así, pues, calentando de este modo el agua de la botella es imposible darle la cantidad de calor latente que necesita para que pase de agua a vapor (cada gramo de agua calentado hasta

100° C requiere más de 500 calorías¹⁾ más para pasar al estado de vapor). Esta es la causa de que el agua de la botella, aunque se caliente, no llegue a hervir.

Puede plantearse la pregunta: ¿en qué se distingue el agua de la botella del agua de la cacerola? ¿No es acaso el agua de la botella lo mismo que la otra, sólo que separada de masa restante por la pared de vidrio? ¿Por qué, entonces, no ocurre con ella lo mismo que con el agua restante?

Porque la pared de vidrio impide que el agua que hay dentro de la botella participe en las corrientes que remueven toda el agua en la cacerola. Cada partícula del agua que hay en la cacerola puede entrar en contacto directo con su fondo caldeado, en cambio, el agua de la botella sólo está en contacto con el agua hirviendo.

De esto se deduce que con agua pura hirviendo no se puede hacer que hierva el agua. Pero en cuanto se echa en la cacerola un puñado de sal, las circunstancias cambian. El agua salada no hierve a 100° C, sino a una temperatura un poco mayor y, por lo tanto, puede a su vez hacer que hierva el agua pura que hay en la botella.

¿Puede hacerse hervir agua con hielo?

«Si el agua hirviendo no sirve para este fin, para qué hablar de la nieve» —dirá algún lector. Pero no se apresure a responder, haga antes el experimento siguiente, aunque sea con la misma botella que utilizó

en la experiencia anterior.

Eche en ella agua hasta la mitad y sumérjala en agua salada hirviendo. Cuando el agua de la botella empiece a hervir, sáquela de la cacerola y tápela rápidamente con un tapón bien ajustado, que debe preparar previamente. Ahora invierta la botella y espere a que cese la ebullición dentro de ella. Cuando llegue este instante, eche sobre la botella agua hirviendo: el agua no hervirá. Pero si pone sobre su fondo un poco de nieve o, simplemente, vierte sobre él agua fría, como muestra la fig. 97, verá que el agua empieza a hervir...



Figura 97

¹⁾ Caloría es la unidad de cantidad de calor. Caloría pequeña es la cantidad de calor necesaria para elevar la temperatura de 1 g de agua en 1°.



Figura 98

La nieve hace lo que para el agua hirviendo era imposible. Esto es tanto más misterioso, por cuanto, si se toca la botella, no está muy caliente, sino más bien templada. Y sin embargo, ve usted con sus propios ojos que el agua hierve dentro de ella.

El secreto consiste en que la nieve enfría las paredes de la botella y, como resultado de esto, el vapor se condensa dentro de ella y forma gotas de agua. Pero como el aire que había dentro de la botella fue expulsado durante la ebullición, el agua está ahora sometida a una presión mucho menor. Por otra parte, sabemos que, cuando disminuye la presión que actúa sobre un líquido, éste hierve a temperatura más baja. Así, pues, aunque lo que tenemos en la botella es agua hirviendo, *no está caliente*.

Si las paredes de la botella (o frasco) son muy delgadas, la condensación instantánea del vapor puede provocar una especie de estallido, porque la presión del aire exterior, al no encontrar resistencia dentro de la botella, puede aplastarla (por esto la palabra «estallido» no es la más apropiada en este caso). Para evitar esto es preferible usar un frasco esférico (un matraz de fondo convexo, por ejemplo), en este caso el aire presionará sobre una «bóveda».

No obstante, lo más seguro es hacer este experimento con una lata de las que sirven de envase al petróleo, aceite, etc. Después de hervir en una de estas latas un poco de agua, atorníllele bien el tapón y vierta sobre ella agua fría. La lata llena de vapor será aplastada inmediatamente por la presión del aire exterior, ya que al enfriarse el vapor que hay dentro de ella, se transforma en agua.

La lata quedará abollada por la presión del aire lo mismo que si le hubiesen dado un fuerte martillazo (fig. 98).

El huevo
caliente
en la mano

¿Por qué no quema la mano un huevo recién sacado del agua hirviendo? El huevo recién sacado del agua hirviendo está húmedo y caliente. El agua, al evaporarse de la superficie caliente del huevo, enfría su

cáscara y la mano no siente el calor. Pero esto ocurre solamente en el primer instante, hasta que el huevo se seca, después de lo cual se deja sentir su alta temperatura.

Cómo se quitan las manchas con la plancha

¿En qué se funda el quitar de los tejidos las manchas de grasa con una plancha?

El quitar de los vestidos las manchas de grasa calentándolas se basa en que la tensión superficial de los líquidos disminuye al elevarse la temperatura. «Por esto, si la temperatura es distinta en las diversas partes de la mancha, la grasa tiende a desplazarse de las partes calientes hacia las frías. Si a una de las caras de la tela aplicamos un hierro caliente, y a la otra un papel de algodón, la grasa pasará a dicho papel» (Maxwell, «Teoría del calor»).

Por consiguiente, el material que ha de absorber la grasa debe colocarse en la parte opuesta a la que se aplica la plancha.

¿Hasta qué distancia se ve desde los puntos altos?

Cuando estamos de pie en un sitio llano vemos la tierra hasta un límite determinado. Este límite se llama «línea del horizonte». Los árboles, las casas y demás objetos altos situados más del horizonte no se ven enteros, sino sólo sus partes superiores; sus partes bajas

la tapa la convexidad de la tierra. Porque las tierras llanas y el mar liso, aunque parecen completamente planas, son en realidad convexas y sustituyen una parte de la superficie curva de la esfera terrestre.

¿Hasta qué distancia ve la tierra un hombre de estatura media que esté de pie en un sitio llano?

Puede ver solamente hasta 5 km de distancia en todas las direcciones. Para ver hasta más lejos hay que subir más alto. Un jinete puede ver en un llano hasta 6 km de distancia. Un marinero, subido a un mástil a 20 m de altura, ve el mar hasta 16 km alrededor suyo. Desde lo alto de un faro que se eleve sobre el agua a 60 m, se verá el mar hasta casi 30 km de distancia.

Los que pueden observar la tierra y el mar hasta más lejos son, claro está, los aviadores. Desde 1 km de altura se abre una perspectiva, en todas las direcciones, de casi 120 km, si no estorban las nubes o la niebla. Elevándose a una altura dos veces mayor, el aviador verá a su alrededor, con unos buenos gemelos, hasta 160 km. Y desde 10 km de altura se ve hasta 380 km.

Para los aeronautas soviéticos que se elevaron en el globo estratosférico «Osoaviajim-1» hasta 22 km, la tierra se extendía en todas las direcciones hasta 560 km.

¿Dónde chirría el grillo?

Siente usted a alguien en medio de una habitación, véndele los ojos y pídale que se esté tranquilo y no vuelva la cabeza. Después, coja dos monedas y hágalas sonar en distintos sitios de la habitación, pero que se encuentren aproximadamente a la misma distancia de los dos oídos de su camarada. Que pruebe a acertar el sitio donde sonaron las monedas. No lo conseguirá: si las monedas sonaron en un rincón de la habitación, su amigo señalará un punto completamente opuesto.

Si se aparta usted hacia un lado, el error no será ya tan grande: ahora su camarada percibirá el sonido con más fuerza por el oído que está más cerca, y gracias a esto podrá determinar de dónde procede el sonido.

Este experimento explica por qué es tan difícil encontrar un grillo que chirría entre la hierba. Su agudo sonido se oye a dos pasos de usted, por la derecha. Mira usted hacia allá, pero no ve nada; el sonido se oye ya claramente por la izquierda. Vuelve usted la cabeza hacia allí, pero, no bien lo hubo hecho, cuando el sonido le llega desde un tercer punto cualquiera. La extraordinaria agilidad del grillo puede dejarle perplejo, y cuanto más de prisa vuelva la cabeza hacia el lado del chirrido, tanto más rápidos serán estos saltos del músico invisible. En realidad el insecto está tranquilamente en su sitio, y sus saltos son consecuencia de una ilusión acústica. Su error consiste en que, al volver la cabeza, la coloca precisamente de manera, que el grillo se encuentra a igual distancia de sus oídos. En estas condiciones (como ya lo sabe por el experimento que hemos descrito antes) es fácil equivocarse, porque si el chirrido del grillo suena delante de usted, le parecerá, erróneamente, que suena por el lado contrario.

Por consiguiente, si quiere usted saber de dónde procede el chirrido de un grillo, el cucú del cuculillo u otros sonidos lejanos, no vuelva los ojos hacia el lado del sonido, sino al contrario, mire en otra dirección. Esto es precisamente lo que hacemos cuando, como suelo decirse, «aguzamos el oído».

El eco Cuando un sonido emitido por nosotros se refleja en una pared u otro obstáculo, retorna y llega de nuevo a nuestro oído, percibimos el *eco*. Este sólo puede ser claro si entre la emisión del sonido y su retorno media un intervalo de tiempo que no sea demasiado corto. De lo contrario el sonido reflejado se confunde con el inicial y lo intensifica; en este caso se dice que el sonido «resuena» como, por ejemplo, en las habitaciones grandes que están vacías.

Figúrese que está usted en un sitio abierto y que enfrente exactamente, a 33 m, hay una casa. Dé una palmada: el sonido recorrerá los 33 m, se reflejará en la pared y retornará. ¿Cuánto tardará en esto? Como recorrió 33 m de ida y otro tanto de vuelta, o sea, 66 m en total, regresará al cabo de $66 : 330$, es decir, de $1/5$ de segundo. El ruido emitido fue tan corto, que duró menos de $1/5$ de segundo, es decir, antes de que llegara el eco, por lo que ambos sonidos no se confundieron y pudieron oírse separadamente. Cada palabra monosílaba, como «sí» o «no», tarda en pronunciarse, aproximadamente, $1/5$ de segundo; por esto el eco *monosílabo* lo percibimos si nos hallamos del obstáculo a 33 m. El de las palabras *bisílabas* se confunde a esta distancia con el sonido de la palabra, reforzándola, pero haciendo que pierda claridad; este eco no se oye separado.

¿A qué distancia debe estar el obstáculo para que pueda oírse claramente el eco de palabras *bisílabas* como, por ejemplo, «hurra» u «olé»? La pronunciación de estas palabras dura $2/5$ de segundo. En este tiempo el sonido tiene que llegar hasta el obstáculo y retornar, es decir, tiene que recorrer el doble de la distancia que hay hasta el obstáculo. Pero en $2/5$ de segundo, el sonido recorre $330 \times 2/5$, o sea, cerca de 132 m.

La mitad de esta cantidad (66 m) es la distancia mínima hasta el obstáculo capaz de originar el eco bisílabo.

Ahora usted mismo puede calcular que para el eco trisílabo se necesita una distancia de cien metros.

Las botellas musicales

Si usted tiene oído musical no le será difícil construir con botellas ordinarias una especie de xilófono, en el que podrá tocar melodías sencillas. La fig. 99 muestra lo que hay que hacer. De una pértiga, sujeta horizontalmente en dos sillas, se cuelgan 7 botellas



con agua. La primera botella está llena casi por completo; las siguientes van teniendo cada vez menos agua que la anterior, y la última está casi vacía.

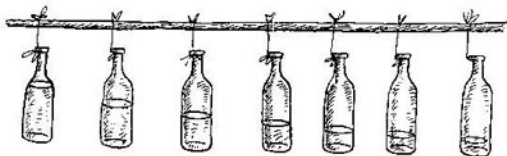


Figura 99

Golpeando estas botellas con un palo seco, podrá hacer que emitan tonos de distinta altura. Cuanto menos agua haya en la botella, tanto más alto será el tono. Por esto, añadiendo o quitando agua, podrá conseguir que los tonos constituyan una gama musical. Contando con una octava, en este instrumento de botellas pueden interpretarse algunas melodías sencillas.

El ruido de las conchas

¿Por qué suena una taza o una concha grande cuando nos la aplicamos al oído?

El ruido que se oye cuando aplicamos al oído una taza o una concha grande se debe a que la concha es un

resonador que refuerza los numerosos ruidos del medio que nos rodea, que de ordinario no percibimos a causa de su debilidad. Este ruido compuesto recuerda el rumor del mar, lo que ha dado origen a muchas leyendas acerca del zumbido de las conchas.

¿Cómo se ve a través de la palma de la mano?

Coja con la mano izquierda un tubo hecho de papel enrollado, manténgalo delante del ojo izquierdo y mire a través de él algún objeto lejano. Al mismo tiempo mantenga la palma de la mano derecha delante

del ojo derecho, de modo que casi toque al tubo. Las dos manos deben estar a unos 15—20 cm de los ojos. En estas condiciones podrá usted comprobar que su ojo derecho ve perfectamente a través de la palma de la mano, como si en ella se hubiera recortado un agujero redondo.

¿A qué se debe este fenómeno?

La causa de este inesperado efecto es la siguiente. Su ojo izquierdo se dispuso a ver a través del tubo

el objeto lejano y, en concordancia con esto, su cristalino se adaptó para mirar una cosa lejana (o, como suele decirse, el ojo se fijó). Los ojos están estructurados y funcionan de tal forma, que siempre actúan de común acuerdo, tanto el uno como el otro.

En el experimento que explicamos, el ojo derecho también se adapta a la visión lejana, por lo que la palma de la mano, como está cerca, no la ve claramente. Concretamente, el ojo izquierdo ve claramente el objeto lejano y el derecho no distingue la palma de la mano. Y como resultado, a usted le parece que ve el objeto lejano a través de la mano que lo tapa.

Con los gemelos Usted está en la costa y mira con los gemelos cómo una barquilla se acerca en línea recta a la costa. Sus gemelos son de tres aumentos. ¿En cuántas veces le parecerá a usted que aumenta la velocidad con que se aproxima la barca?

Para aclarar el problema, supondremos que la barca fue vista cuando se hallaba a 600 m de distancia y que se mueve con una velocidad de 5 m por segundo. Con los gemelos, de tres aumentos se verá la barca a 600 m del mismo tamaño que si estuviera a 200 m. Al cabo de un minuto se habrá aproximado $5 \times 60 = 300$ m y estará a 300 m del observador, y con los gemelos se verá del mismo tamaño que si estuviera a 100 m. Por lo tanto, para el observador con gemelos, la barca habrá recorrido $200 - 100 = 100$ m, mientras que en realidad recorrió 300 m. De aquí se deduce claramente que la velocidad con que se aproxima la barca vista con los gemelos no sólo no se triplica, sino que, al contrario disminuye en tres veces.

El lector puede comprobar que a esta misma conclusión se llega con otros datos, es decir, con otra distancia inicial, otra velocidad de la barca y otro intervalo de tiempo.

Así, pues, la velocidad con que se aproxima la barca, observada con los gemelos, disminuye tantas veces como estos aumentan los objetos.

¿Delante
o detrás?

Hay muchos objetos de uso doméstico que suelen emplearse mal. Ya hemos dichos antes que algunos no saben utilizar el hielo y ponen las bebidas a enfriar sobre él en vez de colocarlas *debajo*. Pero resulta que tampoco

todos saben emplear un simple espejo. A menudo, queriendo verse mejor en el espejo, colocan la lámpara *detrás*, para «alumbrar su imagen», en vez de alumbrarse a sí mismos. El 99 por ciento de las mujeres proceden así.

Nuestra lectora será, indudablemente, la centésima, que comprende que la lámpara debe ponerla *delante* de ella.

El dibujo delante del espejo La falta de identidad entre la imagen reflejada en el espejo y el original, se pone aún más de manifiesto en el siguiente experimento.

Ponga verticalmente sobre la mesa un espejo, coloque delante de él un papel e intente dibujar cualquier figura, por ejemplo, un rectángulo con sus diagonales. Pero no lo haga mirando directamente a su mano, sino a los movimientos de la imagen reflejada en el espejo.

Se vencerá de que esto que parece tan sencillo es una tarea casi imposible de realizar. Al cabo de muchos años, nuestras impresiones visuales y nuestro sentido de los movimientos han llegado a una coordinación determinada. El espejo altera esta relación, ya que ante nuestros ojos hace aparecer invertidos los movimientos de la mano. Nuestras antiquísimas costumbres se revelarán *contra* cada uno de estos movimientos: si usted quiere trazar una raya hacia la derecha, su mano tirará hacia la izquierda, y así ocurrirá siempre.

Todavía serán más las cosas raras que note si, en vez de un dibujo sencillito, quiere trazar una figura más compleja o escribir algo mirando los renglones en el espejo. La confusión que resulta es francamente cómica.

Las impresiones que quedan en el papel secante también son imágenes simétricas. Fijese en ellas e intente leerlas, no entenderá ni una palabra, aunque la letra sea clara: las letras tienen una rara inclinación hacia la izquierda y; sobre todo, los trazos se suceden de un modo distinto a como estamos acostumbrados. Pero acérquelo al papel un espejo, de modo que forme con él un ángulo recto, y verá en él todas las letras escritas tal como estamos acostumbrados a verlas. El espejo da una imagen simétrica de lo que de por sí es una impresión, también simétrica, de un escrito ordinario.

El terciopelo negro y la nieve blanca ¿Qué es más claro, el terciopelo negro un día de sol o la nieve pura una noche de luna?

Al parecer no hay nada más negro que el terciopelo negro ni nada tan blanco como la nieve. Sin embargo,

estos antiguos ejemplos clásicos de negro y blanco, de obscuro y claro, se manifiestan completamente distintos cuando se someten a un aparato físico imparcial, el fotómetro. Entonces resulta, por ejemplo, que el terciopelo más negro a los rayos del sol es *más claro* que la nieve más pura en una noche de luna.

Esto se debe a que una superficie negra, por muy oscura que parezca, no absorbe totalmente todos los rayos de luz visible que inciden sobre ella. Incluso el negro de humo y el de platino, que son las pinturas más negras que se conocen, dispersan cerca del 1-2% de la luz que sobre ellas incide. Admitamos la cifra 1% y consideremos que la nieve dispersa el 100% de la luz incidente (lo que, indudablemente, supone una exageración¹⁾). Se sabe que la iluminación que da el sol es 400 000 veces más intensa que la que da la luna. Por lo tanto, el 1% de luz solar que dispersa el terciopelo negro es mil veces más intensa que el 100% de luz de la luna dispersado por la nieve. En otras palabras, el terciopelo negro a la luz del sol es mucho más claro que la nieve iluminada por la luna.

Lo dicho se refiere, claro está, no sólo a la nieve, sino también a las mejores pinturas blancas (la más clara de las cuales, el *litopón*, dispersa el 91% de la luz incidente). Y como ninguna superficie, si no está incandescente, puede reflejar más luz que la que sobre ella incide, y la luna nos envía 400 000 veces menos luz que el sol, es inconcebible que exista una pintura blanca que a luz de la luna sea objetivamente más clara que la pintura más negra un día de sol.

¿Por qué es blanca la nieve? ¿Por qué es blanca la nieve a pesar de que está formada de cristallitos de hielo transparentes?

La nieve tiene color blanco por la misma razón que parece blanco el vidrio molido y, en general, todas las sustancias transparentes trituradas. Machaque usted hielo en un mortero o rásquelo con un cachillo y obten-

¹⁾ La nieve reciente sólo dispersa cerca del 80% de la luz que incide sobre ella.

drá polvo de color blanco. Este color se debe a que los rayos de luz, al penetrar en los diminutos trocitos de hielo transparente, no pasan a través de ellos, sino que se reflejan dentro, en los límites de las partículas de hielo con el aire (reflexión interna total). Y la superficie que dispersa desordenadamente en todos los sentidos los rayos de luz que inciden sobre ella, es percibida por el ojo como blanca.

Por consiguiente, la causa del color blanco de la nieve es su fraccionamiento. Si los intervalos entre las partículas de nieve se llenan de agua, ésta pierde su color blanco y se hace transparente. Este experimento no es difícil de hacer: si echa usted nieve en un tarro y añade agua, ante sus ojos, la nieve blanca se convertirá en incolora, es decir, en transparente.

El brillo de una ¿Por qué brilla una bota limpia?
bota limpia Ni el betún negro ni el cepillo tienen nada que pueda crear brillo. Por esto, este fenómeno es para muchos una especie de incógnita.

Para descubrir el secreto hay que comprender en qué se diferencia una superficie brillante de otra mate. Se piensa generalmente que la superficie pulida es lisa, mientras que la mate es rugosa. Esto no es cierto: rugosas son tanto la una como la otra. Superficies absolutamente lisas no existen. Si pudiéramos observar al microscopio una superficie pulimentada veríamos un cuadro semejante al que ofrece al microscopio el filo de una cuchilla de afeitar; a un hombre achicado 10 millones de veces, la superficie lisamente pulida de una lámina le parecería un lugar montuoso. Desigualdades, ahondamientos y arañazos existen en cualquier superficie, sea mate o pulimentada. Lo importante es la *magnitud* de estas desigualdades. Si son menores que la longitud de onda de la luz incidente, los rayos se reflejan correctamente, es decir, conservando los ángulos de inclinación mutua que tenían antes de la reflexión. Esta superficie produce imágenes especulares, brilla y recibe el nombre de pulida. En cambio, si las desigualdades son mayores que la longitud de onda de la luz incidente, la superficie dispersa mal los rayos, es decir, sin que se conserven los ángulos iniciales de inclinación mutua; esta dispersión de la luz no da imágenes especulares ni reflejos, y la superficie se llama mate.

De aquí se deduce que una superficie puede ser pulida para unos rayos y mate para otros. Para los

rayos de la luz visible, cuya longitud media de onda es igual a media micra (0,0005 mm), una superficie con irregularidades menores que la medida indicada será pulimentada; y para los rayos infrarrojos, cuya longitud de onda es mayor, también será pulimentada; pero para los ultravioletas, que tienen una longitud de onda menor, será mate.

Volvamos ahora al prosaico tema de nuestro problema: ¿por qué brilla una bota limpia? La superficie del cuero no recubierta de betún tiene estructura rugosa con desigualdades del mayor tamaño que la longitud de onda de la luz visible, por lo tanto es mate. La substancia fluida del betún, que se unta formando una capa delgada sobre la superficie rugosa del cuero, alisa sus desigualdades y aplaca las asperezas. El cepillado elimina de los salientes el betún sobrante y rellena los huecos que hay entre ellos; con esto disminuyen las desigualdades hasta unas dimensiones menores que la longitud de onda de los rayos visibles y la superficie mate se transforma en brillante.

A través
de vidrios
de colores

¿Qué color tienen las flores rojas cuando se miran a través de un vidrio verde? Y las azules, ¿qué color tienen?

El vidrio verde sólo deja pasar los rayos verdes, y detiene todos los demás; las flores rojas despiden casi exclusivamente rayos rojos. Al mirarlas a través de un vidrio verde no percibimos de sus pétalos ningún rayo de luz, ya que los únicos rayos que emiten son detenidos por este vidrio. Por esto el color parecerá negro a través de éste. También se verá negro, como es fácil comprender, el color azul mirado a través del vidrio verde.

El profesor M. Piotrovski, físico, pintor y observador fino de la naturaleza, hace a propósito de esto una serie de indicaciones en su libro «La física en las excursiones estivales»:

«Observando un macizo de flores a través de un vidrio rojo, se nota fácilmente que las flores puramente rojas, como, por ejemplo, el geranio, se manifiestan con tanta claridad como si fueran puramente blancas; las hojas verdes parecen completamente negras con brillo metálico; las flores azules (el acónito, por ejemplo) se ven negras hasta tal punto, que apenas se distinguen sobre el fondo negro de las hojas; las flores de color amarillo, rosa y lila aparecen más o menos pálidas.

Si cogemos un vidrio *verde*, vemos las hojas verdes extraordinariamente claras; aún más claras destacan las flores blancas; algo más pálidas se ven las amarillas y las celestes; las rojas parecen de un negro denso; las de color lila y rosa pálido aparecen desvaídas, grises, de modo que, por ejemplo, los pétalos de color rosa claro del escaramujo resultan más oscuros que sus hojas.

Finalmente, a través de un vidrio *azul*, las flores rojas vuelven a parecer negras; las blancas, claras; las amarillas, completamente negras; las celestes y azules, casi tan claras como las blancas.

De aquí se infiere sin dificultad que las flores rojas nos envían en realidad muchos más rayos rojos que todas las demás, las amarillas, aproximadamente la misma cantidad de rayos rojos y verdes, pero muy pocos azules; las de color rosa y púrpura, muchos rayos rojos y azules, pero poco verdes, y así sucesivamente.»

La señal roja ¿Por qué en la práctica de los ferrocarriles se ha elegido la luz roja como señal de alto?

Los rayos rojos, como rayos de mayor longitud de onda, se dispersan menos en las partículas suspendidas en el aire que los de otros colores. Por esta razón los rayos de luz roja penetran hasta más lejos que otros cualesquiera. Y la posibilidad de que la señal de alto sea visible desde más lejos, es una circunstancia de capital importancia para el transporte, porque para tener tiempo de parar el tren, el maquinista tiene que empezar a frenar a una distancia considerable del obstáculo.

En la mayor transparencia de la atmósfera a los rayos de onda larga se basa también la utilización por los astrónomos del filtro infrarrojo para fotografiar los planetas (sobre todo Marte). Los detalles inapreciables en una fotografía ordinaria, se manifiestan claramente en la fotografía sacada a través de un vidrio que sólo deja pasar los rayos infrarrojos; en este último caso se logra fotografiar la propia superficie del planeta, mientras que en el primer procedimiento sólo se fotografía su capa atmosférica.

Otra causa de que se elija el color rojo para la señal de alto consiste en que nuestro ojo es más sensible a este color que al azul o al verde.



Ilusiones ópticas Las ilusiones ópticas a que se dedica este apartado no son concomitancias casuales de nuestra vista, sino que la acompañan en condiciones rigurosamente determinadas, con la constancia invariable de un fenómeno regular y se extienden a todo ojo humano normal. El hecho de que al hombre le sea propio, en determinadas condiciones, caer en ilusiones ópticas, es decir, en engaños acerca de la fuente de sus impresiones visuales, no debe considerarse en general como un inconveniente siempre indeseable, como un defecto indiscutible de nuestro organismo cuya eliminación sería conveniente en todos los sentidos. Un pintor no aceptaría esta visión «impecable». Para él, nuestra capacidad para ver, en determinadas condiciones, no lo que hay en realidad, es una circunstancia propicia que enriquece considerablemente los medios representativos del arte.

«Los pintores son los que con más frecuencia saben convertir en provechosa esta percepción ilusoria general y afín a todos —escribía en el siglo XVIII el insigne matemático Euler, y más adelante explicaba—: En ella se basa todo el arte pictórico. Si estuviéramos acostumbrados a juzgar las cosas por la propia verdad, este arte no podría existir, lo mismo que si fuéramos ciegos. En vano consumiría el pintor todo su arte en mezclar colores; nosotros diríamos: en esta tabla hay una mancha roja, una azul, aquí una negra y allí varias líneas blanquecinas; todo estaría en un plano, no se vería en él ninguna diferencia en las distancias y no sería posible representar ni un solo objeto. Cualquier cosa representada en un cuadro nos produciría la misma sensación que una carta escrita en un papel, y puede ser que hasta procurásemos comprender la *significación* de todas las manchas policromas. *Con toda nuestra perfección, ¿no seríamos dignos de lástima al privarnos de la satisfacción que diariamente nos produce un arte tan útil y agradable?»*

Sin embargo, a pesar del vivo interés que representan las ilusiones ópticas para el pintor, el físico, el fisiólogo, el médico, el psicólogo, el filósofo y para toda mente curiosa, hasta ahora no había ninguna



publicación que contuviera una colección más o menos completa de ejemplares de ilusiones ópticas¹⁾.

Este capítulo, dedicado ante todo a un amplio círculo de lectores no especialistas, es un intento de ofrecer una colección de los tipos más importantes de las ilusiones ópticas que pueden observarse a simple vista, sin ninguna clase de dispositivos como el estereoscopio, la tarjeta perforada, etc.

En cuanto a las causas que determinan una u otra ilusión óptica, sólo para muy pocas de ellas existe una explicación indiscutible y sólidamente establecida; a este pequeño grupo pertenecen las debidas a la estructura del ojo: la irradiación, la ilusión de Mariotte (punto ciego), las ilusiones que genera el astigmatismo, etc. Con respecto a la mayoría de las demás ilusiones ópticas podría escribirse mucho —en Occidente existe mucha literatura acerca de ellas— pero nada positivo puede decirse (a excepción de la del retrato).

En calidad de ejemplo aleccionador consideremos la ilusión de los dibujos representados en la fig. 141: los círculos blancos, distribuidos de un modo determinado sobre el fondo negro, parecen desde lejos hexágonos. Por lo visto, se acepta el considerar establecido que esta ilusión se debe totalmente a la llamada irradiación, es decir, a la aparente expansión de las partes blancas (que tiene una explicación física sencilla y clara). «Los círculos blancos, al aumentar de superficie por irradiación, hacen que disminuyan los intervalos negros que hay entre ellos» —escribe el profesor Paul Bert en sus «Lecciones de zoología», teniendo en cuenta que «como cada círculo está rodeado por otros seis, al extenderse, topa con los vecinos y se encuentra encerrado en un hexágono».

Sin embargo, basta fijarse en el dibujo de al lado (véase la fig. 141), donde se observa el mismo efecto con círculos *negros* sobre fondo *blanco*, para renunciar a esta explicación, porque en este caso la irradiación sólo podría disminuir las dimensiones de las manchas

¹⁾ Yo sólo conozco un folleto publicado en Rusia en 1911: P. M. Oljin, «La vida y sus ilusiones»; en él se mencionan dos decenas de ilusiones ópticas. (Nota del autor).

En la actualidad, sobre este tema se publican sistemáticamente libros de autores soviéticos y extranjeros. Véase H. B. Маковецкий, «Смотри в корень», «Наяра», 1968 (P. V. Makovetski, «Mire a fondo»), S. Tolansky, Optical Illusions, Paris, 1964. (Nota de la Editorial.)

negras, pero de ningún modo variar su forma circular por la hexagonal. Para abarcar con un mismo principio estos casos podría proponerse esta explicación: al mirar desde una distancia determinada, el ángulo óptico, según el cual se observan los estrechos intervalos entre los círculos se hace menor que el límite que permite la diferenciación de sus formas, por lo que cada uno de los seis intervalos adyacentes al círculo debe parecer un trazo recto de igual espesor y, por consiguiente, los círculos quedan encuadrados en hexágonos. Con esta explicación también concuerda bien el hecho paradójico de que, a cierta distancia, las partes blancas siguen pareciendo circulares, mientras que la orla negra que hay a su alrededor ha adquirido ya la forma hexagonal; solamente cuando la distancia es todavía mayor, la forma hexagonal de las orlas se transfiere a las manchas blancas. No obstante, esta explicación mía sólo es una suposición verosímil de las varias que seguramente pueden imaginarse. Es necesario demostrar además que la causa *posible* en este caso es la *verdadera*.

Este mismo carácter dudoso y no obligatorio tienen la mayoría de los intentos de hallar una explicación a algunas de las ilusiones ópticas (a excepción de las poquísimas que hemos señalado antes). Para ciertas ilusiones ópticas aún no se ha propuesto ninguna explicación. Para otras, al contrario, hay demasiadas explicaciones, de las cuales cada una por separado podría ser suficiente, si no existieran las demás, que debilitan su carácter convincente. Recordaremos una ilusión óptica muy célebre, discutida ya en los tiempos de Tolomeo, la del aumento de las dimensiones de los astros al pasar por el horizonte. Para explicarla creo que se han propuesto por lo menos seis teorías acertadas, cada una de las cuales no tiene más que un defecto, la existencia de las otras cinco ... tan buenas como ella. Es evidente que casi todo el campo de las ilusiones ópticas se encuentra aún en el estado precientífico de su elaboración y requiere el establecimiento de los principios metódicos fundamentales para su investigación.

Teniendo en cuenta esta carencia de algo sólido y positivo en el campo de las teorías relativas al tema que tratamos, he preferido limitarme solamente a mostrar el indiscutible material de los hechos, absteniéndome de explicar sus causas, pero preocupándome de que en este libro estén representados todos

los tipos principales de ilusiones ópticas¹). Solamente se dan, al final del capítulo, las explicaciones acerca de las ilusiones relacionadas con los retratos, ya que, en este caso, son suficientemente claras e indiscutibles para que se les puedan oponer las ideas supersticiosas que desde muy antiguo se forjaron en torno a esta peculiar ilusión óptica.

La serie de ilustraciones se abre con ejemplos de ilusiones cuya causa se encuentra indudablemente en las particularidades anatómicas y fisiológicas del ojo. Son ilusiones que dependen del punto ciego, la irradiación, el astigmatismo, la persistencia de las imágenes y el cansancio de la retina (véanse las figs. 100-107). En el experimento con el punto ciego, la desaparición de una parte del campo visual puede describirse también por otro procedimiento, como hizo la primera vez Mariotte en el siglo XVIII. En este caso el efecto resulta aún más sorprendente. «Colgué —dice Mariotte— sobre un fondo negro, y a la altura de mis ojos aproximadamente, un pequeño redondel de papel blanco y al mismo tiempo pedí que sostuvieran otro redondel al lado del primero, a la derecha, a unos 2 pies de distancia y un poco más abajo, de modo que su imagen fuera a caer sobre el nervio óptico de mi ojo derecho, mientras entornaba el izquierdo. Me coloqué frente al primer redondel y me fui alejando sin dejar de mirarlo con el ojo derecho. Cuando me encontraba a una distancia de cerca de 9 pies, desapareció por completo del campo visual el segundo redondel, que tenía cerca de 4 pulgadas de diámetro.

Yo no podía atribuir esto a su posición lateral, puesto que veía otros objetos que estaban más apartados que él. Podría pensar que lo habían quitado, si no volviera a encontrarlo en cuanto movía un poco el ojo ...»

A estas ilusiones ópticas «fisiológicas» les sigue una clase más numerosa de ilusiones debidas a causas psicológicas que, en la mayoría de los casos, no están aún suficientemente estudiadas. Por lo visto, sólo puede considerarse establecido que las ilusiones de este tipo son consecuencia de falsos juicios preconcebidos de un modo involuntario e inconsciente. El origen de la ilusión es aquí el entendimiento y no los senti-

¹) Esta selección de ejemplos de ilusiones ópticas la he compuesto como resultado de muchos años de coleccionarlas. Pero he excluido todas las publicadas cuyo efecto no atañe a todo ojo o no se manifiesta con suficiente claridad.

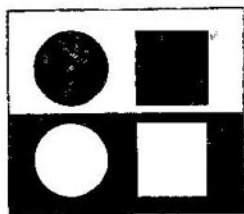


Figura 100



Figura 101

dos. A estos últimos puede aplicárseles la acertada observación de Kant:

«Nuestros sentidos no nos engañan, no porque siempre juzguen bien, sino porque nunca juzgan». La irradiación. Si se mira desde lejos este dibujo, las figuras de abajo (el círculo y el cuadrado) parecen más grandes que las negras, aunque unas y otras son iguales. Cuanto mayor es la distancia desde la cual se miran, tanto mayor es la ilusión. Este fenómeno se llama *irradiación* (véase más adelante).

La irradiación. Cuando se mira desde lejos la figura de la izquierda, con la cruz negra, los lados del cuadrado, debido a la irradiación, parece que tienen un rebajo en el centro, como muestra la figura contigua de la derecha. La irradiación se debe a que cada punto claro de un objeto produce en la retina de nuestro ojo no un punto, sino un pequeño circulito (en virtud de la llamada aberración esférica); por esto la superficie blanca resulta cercada en la retina por una franja clara que *aumenta* el sitio ocupado por aquélla. Las superficies negras, en cambio, producen una imagen *disminuida* a espensas del cerco claro que rodea al fondo.

La experiencia de Mariotte. Cierre el ojo derecho y mire con el izquierdo la crucecita *superior* desde una distancia de 20 a 25 centímetros. Notará que el



Figura 102

gran círculo blanco que hay en medio desaparece por completo, aunque los dos círculos menores que tiene a los lados se ven bien. Si, no cambiando la posición del dibujo, mira usted la crucecita *inferior*, el círculo sólo desaparecerá parcialmente.

Este fenómeno se debe a que, en la posición indicada del ojo con respecto a la figura, la imagen del círculo coincide con el llamado punto ciego, es decir, con el lugar por donde entra el nervio óptico, que es insensible a las excitaciones luminosas.

El punto ciego. Este experimento es una variante del anterior. Mirando con el ojo izquierdo la cruz que hay en la parte derecha de la fig., 103 a cierta distancia

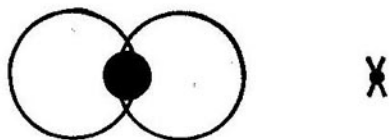


Figura 103

no veremos en absoluto el círculo negro, aunque distinguiremos las dos circunferencias.

El atigmatismo. Mire estas letras con un ojo. ¿Son todas iguales de negras? Por lo general una de ellas parece más negra que las demás. Pero no hay más



Figura 104

que hacer girar 45 ó 90° la figura, para que sea otra letra la que parece más negra.

La causa de este fenómeno es el astigmatismo, es decir, la desigual convexidad de la córnea del ojo en distintas direcciones (vertical, horizontal). Raro es el ojo que está exento totalmente de esta imperfección.

El astigmatismo. La figura 105 ofrece otro procedimiento (véase la ilusión anterior) de descubrir el astigmatismo de un ojo. Aproximándola al ojo que se reconoce (teniendo cerrado el otro), a cierta distancia bastante cercana nos damos cuenta que dos de los sectores contrapuestos parecen más negros que los otros dos, que resultarán grises.

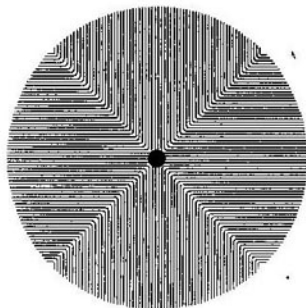


Figura 105

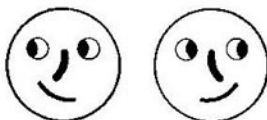


Figura 106

Mire la figura 106 y muévala a derecha e izquierda. Le parecerá que los ojos del dibujo corren de un lado para el otro.

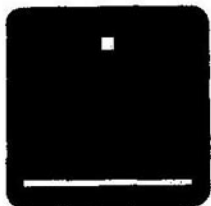


Figura 107

Esta ilusión se explica por la propiedad que tiene el ojo de conservar la impresión óptica durante un corto espacio de tiempo, una vez que desaparece el objeto que la produce, es decir, por la persistencia de las imágenes en la retina (en esto se basa la acción del cinematógrafo).

Concentrando la vista en el cuadradito blanco que hay arriba en la fig. 107, al cabo de *medio minuto* aproximadamente, notará que desaparece la franja blanca que hay abajo (debido al cansancio de la retina).

La ilusión de Müller-Lier. El segmento *bc* parece más largo que el *ab*, aunque en realidad son iguales.

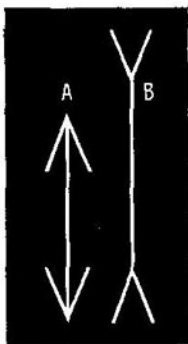


Figura 109

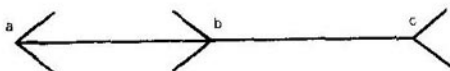
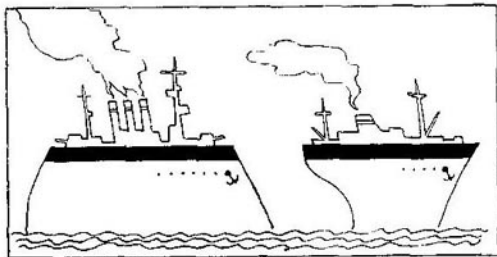


Figura 108

Una variante de la ilusión anterior: la recta vertical *A* parece más corta que la recta igual que ella *B*.

La cubierta del barco de la derecha parece más corta que la del de la izquierda. No obstante, están representadas por líneas rectas iguales.

Figura 110



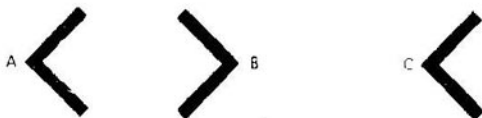


Figura 111



La distancia AB parece mucho menor que la BC , que es igual que ella.



La distancia AB parece mayor que la igual a ella CD (fig. 112).

Figura 112

El óvalo de abajo (fig. 113) parece mayor que el interior de arriba, aunque son iguales (influencia de las condiciones).

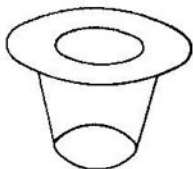


Figura 113

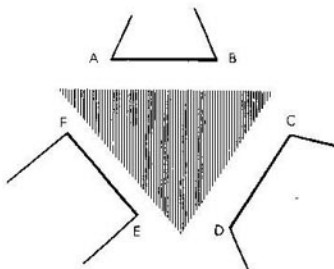


Figura 114

Las distancias iguales AB , CD y EF parecen desiguales (influencia de las condiciones).

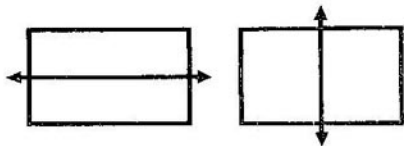


Figura 115

El rectángulo cruzado a lo largo (a la izquierda) parece más largo y más estrecho que su igual cruzado transversalmente.

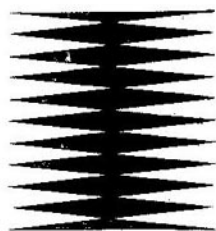


Figura 117



Figura 118

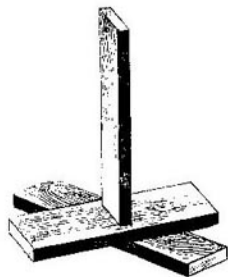


Figura 121



Figura 116

Las figuras *A* y *B* son dos cuadrados iguales, aunque la primera parece más alta y estrecha que la segunda.

La altura de la figura 117 parece mayor que su anchura, aunque son iguales.

La altura del sombrero de copa parece mayor que su anchura, a pesar de que son iguales.

Las distancias *AB* y *AC* son iguales, sin embargo, la primera parece más larga.

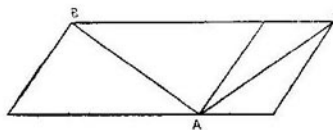


Figura 119

Las distancias *BA* y *BC* son iguales, pero la primera parece más larga.

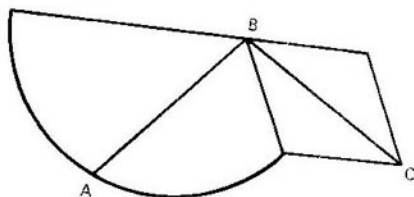


Figura 120

El listón vertical, estrecho, parece más largo que los que hay debajo, más anchos; en realidad son iguales (fig. 121).

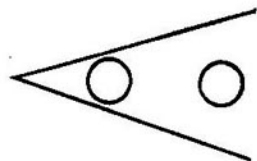


Figura 123

La distancia MN parece menor que la igual que ella AB .

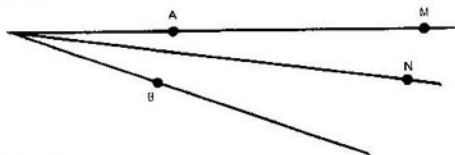


Figura 122

El círculo de la derecha de la figura 123 parece menor que el de la izquierda, que es igual que él.

La distancia AB (fig. 124) parece menor que la igual que ella CD . La ilusión aumenta cuando la figura se mira desde lejos.



Figura 124



Figura 125

El espacio vacío entre el círculo de abajo y cada uno de los de arriba (fig. 125) parece mayor que la distancia que hay entre las partes exteriores de los bordes de los círculos de arriba. En realidad son iguales. La ilusión de la «pipa». Las rayas de la derecha parecen más cortas que las de la izquierda, aunque todas son iguales.



Figura 126

La ilusión de los tipos de imprenta. Las mitades superior e inferior de cada una de estas letras pa-

Figura 127

X 3 8 S

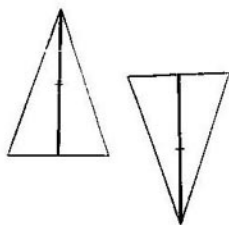


Figura 128

recen ser iguales. Pero, dándole la vuelta a la figura, se nota fácilmente que las mitades superiores son menores.

Las alturas de los triángulos de la fig. 128 están cortadas por la mitad, aunque parece que la parte próxima al vértice es más corta.

La ilusión de Poggendorf. La línea recta *oblicua* que corta las franjas negras y blancas, desde lejos parece quebrada.

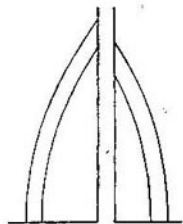


Figura 130

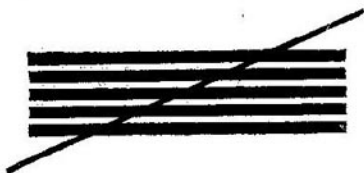


Figura 129

Si se prolongan los arcos de la derecha (fig. 130), se encontrarán con los extremos superiores de los arcos de la izquierda, a pesar de que parece que pasarán más abajo.

El punto *c* (fig. 131), que se halla en la prolongación de la recta *ab* parece que está situado más abajo.

Estas dos figuras son completamente iguales, aunque la de arriba parece más corta y más ancha que la de abajo.

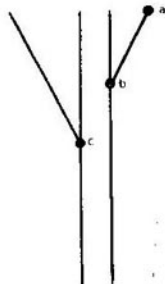


Figura 131

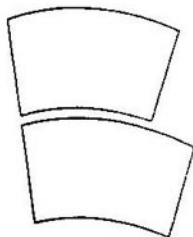


Figura 132

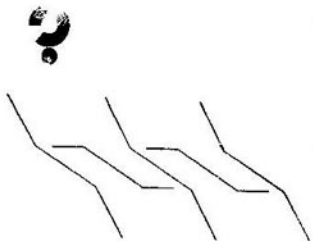


Figura 133

Las partes medias de estas líneas son rigurosamente paralelas, aunque no lo parezca.

La ilusión de Zollner. Las líneas largas y oblicuas de la figura 134 son paralelas, aunque parece que son divergentes.

La ilusión de Hering. Las dos líneas de en medio, que van de derecha a izquierda, son rectas paralelas, a pesar de que parecen arcos con sus partes convexas enfrentadas.

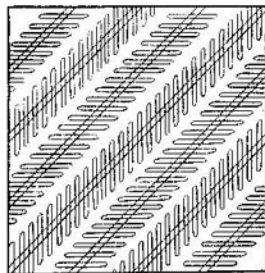


Figura 134

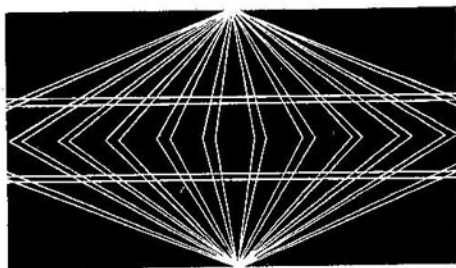


Figura 135

La ilusión desaparece: 1) si se coloca la figura a la altura de los ojos y se mira de tal modo, que la vista resbale a lo largo de las líneas; 2) si se pone la punta de un lapicero en un punto cualquiera de la figura y se fija la vista en este punto.



Figura 136

El arco de abajo parece más convexo y corto que el de arriba. No obstante, ambos son iguales.

Los lados del triángulo parecen cóncavos; en realidad son rectos.

Estas letras están derechas.

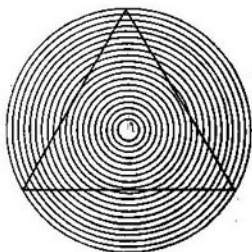


Figura 137

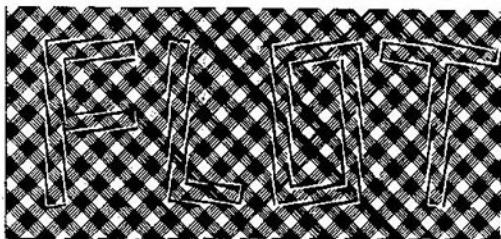


Figura 138

Las curvas de la fig. 139 parecen espirales, pero son circunferencias. De esto es fácil convencerse pasando a lo largo de ellas un palito afilado.

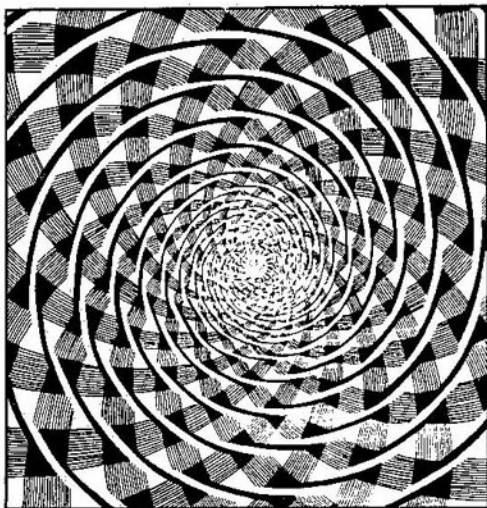


Figura 139

Las curvas de esta figura parecen ovaladas; en realidad son circunferencias, como puede comprobarse con un compás.

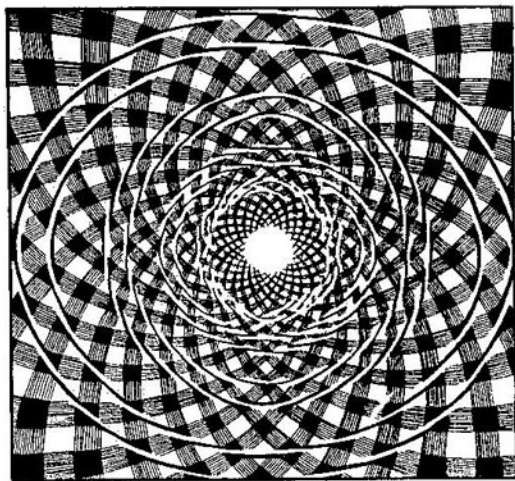


Figura 140

A cierta distancia los círculos de estas figuras (tanto los blancos como los negros) parecen hexágonos.

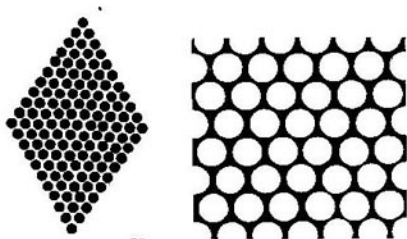


Figura 141

La ilusión de la autotipia. Cuando esta retícula se mira desde lejos, se distingue en ella fácilmente el ojo y parte de la nariz de un rostro femenino.

La figura es parte de una autotipia (ilustración ordinaria de un libro) aumentada 10 veces.

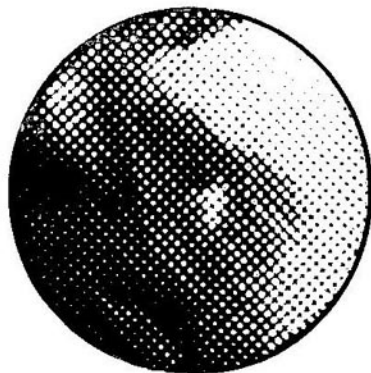


Figura 142

La silueta superior parece más larga que la inferior, aunque sus longitudes son idénticas.



Figura 143

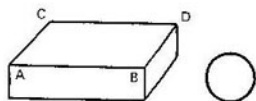


Figura 144

¿Cabe entre las rectas AB y CD el círculo aquí representado? A simple vista parece que sí. En realidad el círculo es más ancho que la distancia entre dichas líneas.

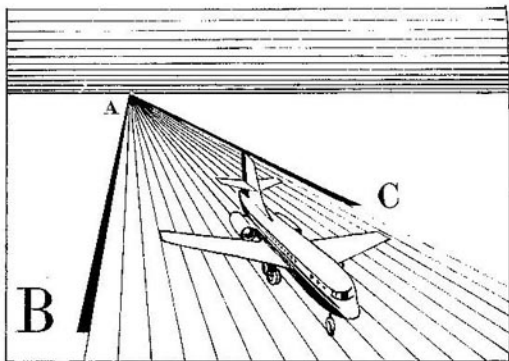


Figura 145

La distancia AB parece mayor que la igual a ella AC .

Si el dibujo de arriba (fig. 146) se coloca al nivel del ojo y se mira de modo que la vista resbale a lo largo de ella, se ve el dibujo representado alajo.

Coloque usted un ojo (después de cerrar el otro) aproximadamente en el punto de intersección de las prolongaciones de las líneas de la fig. 147. Verá



Figura 146

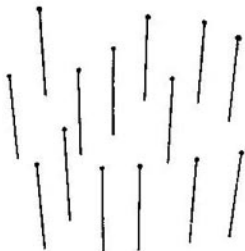


Figura 147

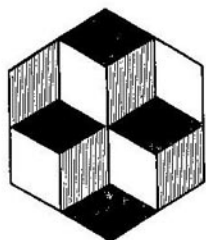


Figura 148

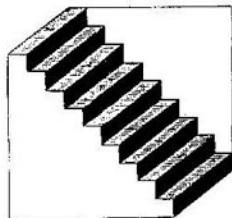


Figura 149

una serie de alfileres hincados en el papel. Si mueve el dibujo de un lado para otro, parece que los alfileres se balancean.

Mirando durante cierto tiempo la figura 148, le parecerá a usted que sobresalen sucesivamente ya dos cubos hacia arriba, ya dos cubos hacia abajo. Haciendo un esfuerzo mental podrá provocar una u otra imagen a voluntad.

La escalera de Schroeder. Esta figura puede interpretarla de tres modos: 1) como una escalera, 2) como un hueco o rebajo en una pared, y 3) como una tira de papel plegada como un acordeón y extendida diagonalmente. Estas imágenes pueden sustituirse unas a otras arbitrariamente o según su voluntad.

Esta figura puede representar, según su deseo, un tarugo de madera con un rebajo (la pared posterior del rebajo es *AB*), un tarugo con una espiga saliente (la cara delantera de la espiga es *AB*), o parte de una caja vacía, abierta por abajo, a cuyas paredes está pegada por dentro una tablilla.

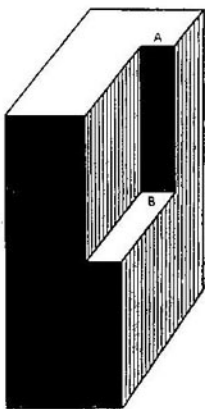


Figura 150

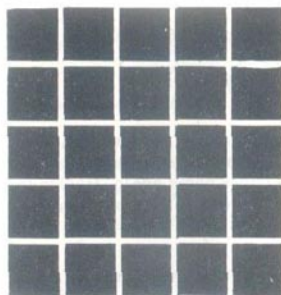


Figura 151

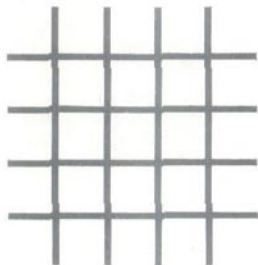


Figura 152



Figura 154

En las intersecciones de las franjas blancas de la figura 151 aparecen y desaparecen, como si centelleasen, unas manchitas grisáceas. En realidad las franjas son completamente blancas en toda su longitud, de lo cual es fácil convencerse tapando con papel las filas contiguas de cuadrados negros. Esto se debe al contraste.

La figura 152 es una variante de la ilusión de la figura anterior, pero aquí, en los cruces de las franjas negras, aparecen manchitas blancas.

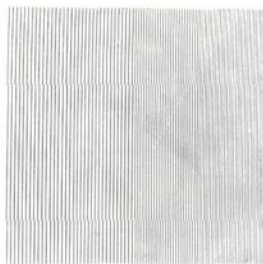


Figura 153

Cuando esta figura se mira de lejos, sus cuatro franjas parecen canales cóncavos; estas franjas se nos figuran más claras junto al borde contiguo a la franja vecina más oscura. Pero tapando las franjas adyacentes, y evitando de este modo la influencia del contraste, puede comprobarse que cada una de las franjas está rayada uniformemente.

Mire fijamente, durante un minuto, a cualquier punto de este retrato «negativo» (de Newton) sin mover los ojos; después pase rápidamente la vista a un papel en blanco o al fondo gris claro de la pared o del techo y verá usted durante un instante ese mismo retrato, pero con sus manchas negras convertidas en blancas y viceversa.

La ilusión de Silvanus Thompson. Si esta figura se hace girar (dándole vueltas al libro), todos los círculos y la blanca rueda dentada parecerá que giran, cada uno alrededor de su centro, en el mismo sentido y a la misma velocidad.

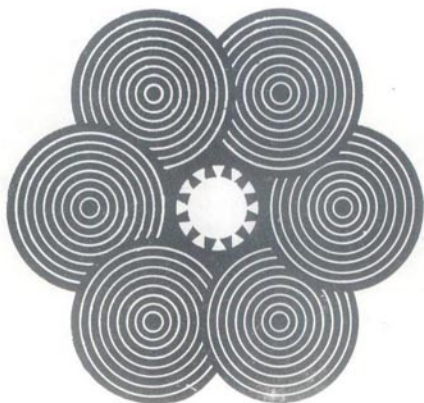


Figura 155

A la izquierda ve usted una cruz convexa, a la derecha otra ahuecada. Pero ponga la figura al revés, y las cruces permutarán sus puestos. En realidad los dos dibujos son idénticos, pero han sido sometidos a giros distintos.

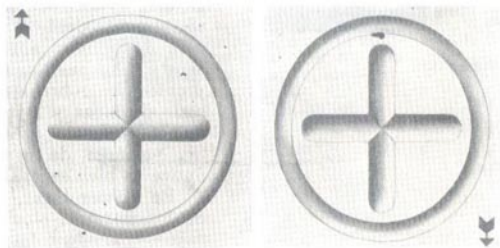


Figura 156



Figura 157



Figura 158

Mire esta fotografía con un ojo, colocándolo frente a su centro y a 14—16 cm de distancia.

Cuando el ojo está en la posición indicada, ve la imagen desde el mismo punto que el objetivo de la cámara fotográfica «vio» al original. El paisaje adquiere profundidad y el agua, brillo.

Los ojos y el dedo parecen que se dirigen directamente a usted y que le siguen cuando se desvía del dibujo hacia la derecha o hacia la izquierda.

La curiosa peculiaridad de algunos retratos que parece que siguen con los ojos al que los mira y que hasta vuelven toda la cara hacia él, cualquiera que sea el punto desde el cual observa el retrato, es conocida desde muy antiguo. A esta peculiaridad, que asusta a los pusilánimes, le atribuyen algunos ciertas propiedades sobrenaturales y ha originado toda una serie de ideas y leyendas supersticiosas y de narraciones fantásticas (véase «El Retrato» de N. V. Gógol). Sin embargo, la causa de esta interesante ilusión óptica es bien sencilla.

En primer lugar, esta ilusión no sólo es peculiar de los retratos, sino también de otros cuadros. Un cañón dibujado o fotografiado de manera que apunte

al que lo mire¹⁾, volverá su boca hacia él cuando se retire hacia la derecha o hacia la izquierda. Un coche representado como dirigiéndose al observador, no hay manera de esquivarlo.

Todos estos fenómenos tienen una causa común y extraordinariamente simple. Si en un cuadro vemos la boca de un cañón dibujado de manera que apunta directamente hacia nosotros, al desviarnos hacia un lado lo seguiremos viendo en la misma posición que tenía; esto es completamente natural en las imágenes planas, lo contrario sería absurdo; pero cuando se trata de un cañón de verdad, esto sólo puede ocurrir si gira hacia nuestro lado. Y como quiera que cuando miramos el cuadro pensamos no en él, sino en los objetos reales que él representa, nos parece que dicho objeto cambió de posición.

Esto se refiere también a los retratos. Si la cara está representada de modo que nos mire directamente, y después de apartarnos hacia un lado volvemos a mirar el cuadro, veremos que la posición de aquella con respecto a nosotros no ha cambiado (lo mismo que no ha cambiado nada en el cuadro); en otras palabras, notamos que parece que la cara se ha vuelto hacia nosotros, porque si un rostro vivo se mira desde un lado, lo vemos de otra forma, y sólo podremos verlo como antes si se vuelve hacia nosotros. Cuando el cuadro es bueno, el efecto que produce es sorprendente.

Está claro que no es extraño que los retratos tengan esta propiedad. Lo que sería extraño es que no la tuvieran. En efecto, ¿no sería acaso maravilloso que, al desviarse hacia un lado del retrato, viera usted la parte lateral de la cara? Pues esto, es, en esencia, lo que esperan todos aquellos que consideran sobrenatural el supuesto giro de la cara del retrato.

¹⁾ Este tipo de fotografía se obtiene si, al tomar la vista, la boca del cañón apuntaba al objetivo. Del mismo modo, si el que se retrata mira directamente al objetivo al hacerse la fotografía, sus ojos mirarán después al observador, cualquiera que sea el punto desde donde mire al retrato.



DISTRIBUCIONES Y TRANSPOSICIONES DIFÍCILES

En seis filas Usted conocerá probablemente el cuento de cómo nueve caballos fueron puestos en 10 pesebres y en cada pesebre resultó haber un caballo. El problema que ahora se plantea es semejante por su forma a esta broma célebre, pero tiene una solución¹⁾ completamente real, y no imaginaria como aquélla. El problema es el siguiente: distribuir 24 hombres en seis filas, de modo que en cada fila haya cinco hombres.



En nueve casillas Este es un problema en broma, medio problema, medio truco. Haga con cerillas un cuadrado con nueve casillas y ponga en cada casilla una moneda, de modo que en cada fila y en cada columna haya 6 copeikas (fig. 159).

La figura muestra cómo hay que distribuir las monedas. Sobre una de las monedas ponga una cerilla.

Hecho esto, déle a sus camaradas la siguiente tarea: sin tocar la moneda en que descansa la cerilla, variar la colocación de las demás, de modo que en cada fila y en cada columna siga habiendo, lo mismo que antes, 6 copeikas.

Le dirán que esto es imposible. Pero con un poco de astucia logrará usted este «imposible». ¿Cómo?

Un cambio de monedas

Trace a tamaño mayor el dibujo representado en la fig. 160, y designe cada una de sus casillas con una letra en un ángulo. En las tres casillas de la fila superior ponga monedas de cobre: de 1 copeika, 2 copeikas y 3 copeikas. En las tres casillas de la fila inferior coloque monedas de plata: de 10 copeikas, 15 copeikas y 20 copeikas. Las demás casillas estarán vacías.

Ahora póngase la siguiente tarea: pasando las monedas a las casillas libres, conseguir que las monedas de cobre y las de plata cambien de puestos:

¹⁾ En adelante las soluciones de los problemas se dan al final de cada capítulo.

Figura 159

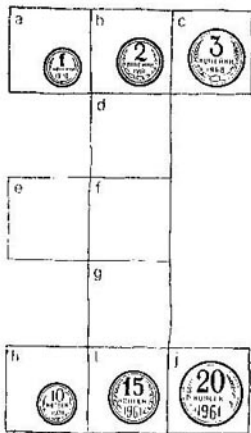


Figura 160

la de 1 copeika, con la de 10 copeikas; la de 2 copeikas, con la 15; y la 3 copeikas, con la de 20. Puede usted ocupar cualquier casilla libre del dibujo, pero no se tolera poner dos monedas en una casilla. Tampoco se puede saltar por encima de una casilla ocupada ni salirse fuera de los límites de la figura.

El problema se resuelve con una larga serie de pasos. ¿Cuáles son?

Nueve ceros Nueve ceros se hallan dispuestos así:
 0 0 0
 0 0 0
 0 0 0

El problema consiste en tachar todos los ceros trazando solamente cuatro líneas rectas.

Para facilitar la resolución del problema añadiré que los nueve ceros se tachan sin levantar la pluma del papel.

0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0

Treinta y seis ceros En las casillas de esta cuadrícula se han distribuido, como puede ver, 36 ceros.

Hay que tachar 12 ceros, pero de tal modo que, después de esto, en cada fila y en cada columna quede el mismo número de ceros sin tachar.

¿Qué ceros hay que tachar?

Dos damas En un tablero de damas vacío hay que colocar dos damas distintas. ¿Cuántas posiciones diferentes pueden ocupar estas dos damas en el tablero?

Las moscas en el visillo En un visillo a cuadros se pasaron nueve moscas. Casualmente se colocaron de tal manera que, en ninguna fila, horizontal, vertical u oblicua, había más de una mosca (fig. 161).

Al cabo de unos minutos tres de las moscas cambiaron de sitio, pasándose a cuadros contiguos que estaban vacíos; las otras seis moscas permanecieron donde estaban antes. Y ocurrió una cosa curiosa: a pesar de que tres moscas pasaron a ocupar otros puestos, las nueve volvieron a encontrarse de

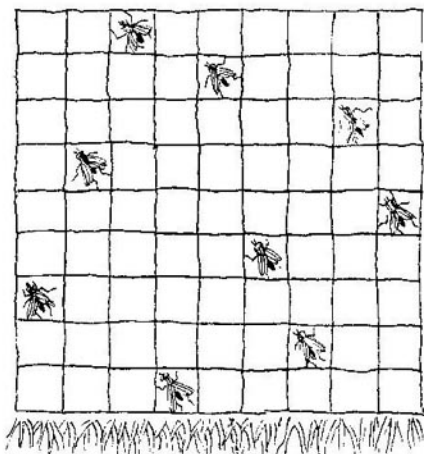


Figura 161

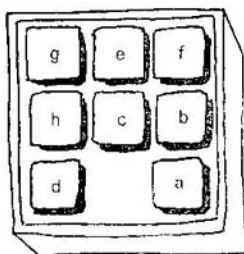


Figura 162

modo que, en ninguna fila, horizontal, vertical u oblicua, había más de una mosca.

¿Puede usted decir qué tres moscas cambiaron de sitio y cuáles fueron los cuadrados que eligieron?

Ocho letras

Las ocho letras colocadas en la casilla del cuadrado representado en la fig. 162 deben ponerse en orden alfabético, desplazándolas sucesivamente hacia la casilla libre. Conseguir esto no es difícil, si no se limita el número de jugadas. Pero el problema consiste en lograr la ordenación indicada en el menor número de jugadas posible. El lector debe deducir cuál es este número mínimo de jugadas.

Las ardillas y los conejos

Ante usted, en la fig. 163, hay ocho tocones numerados. En los tocones 1 y 3 se han sentado unos conejos, en los 6 y 8, unas ardillas. Pero tanto a las ardillas como a los conejos no les gustan los puestos que ocupan; quieren cambiar de tocones: las ardillas quieren pasarse a los sitios de los conejos, y éstos a los de aquéllas.

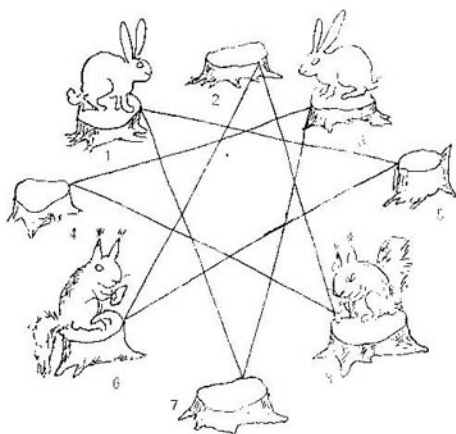


Figura 163

Pueden hacer esto saltando de un tocón a otro, pero únicamente siguiendo las líneas marcadas en el dibujo. ¿Cómo pueden hacerlo?

Recuerde las reglas siguientes:

1) de un tocón a otro sólo puede saltarse siguiendo las líneas indicadas en el dibujo: cada animal puede saltar varias veces seguidas;

2) dos animales no pueden estar en un mismo tocón, es decir, sólo se puede saltar a un tocón que esté libre.

Tenga también en cuenta que los animales quieren intercambiar sus sitios dando el menor número de saltos posible. Sin embargo, en menos de 16 saltos no pueden hacerlo.

Dificultades
de la casa
de campo

El dibujo adjunto representa el plano de una pequeña casa de campo, en cuyas reducidas habitaciones se encuentran los muebles siguientes: una mesa de escritorio, un piano de cola, una cama, un aparador y un armario

de libros. Hasta ahora sólo hay una habitación sin muebles, la número 2.

Al inquilino de la casa de campo le fue necesario cambiar de sitio el piano de cola y el armario de los libros. Esto resultó ser un problema nada fácil: las habitaciones eran tan pequeñas, que dos de las cosas

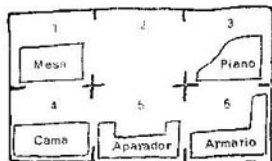


Figura 164

mencionadas no cabían al mismo tiempo en ninguna de ellas. La situación pudo salvarse con ayuda de la habitación 2, que estaba vacía. Pasando los muebles de una habitación a otra se logró al fin la transposición deseada. ¿Cómo puede hacerse el cambio proyectado con el menor número de traslaciones posible?

Los tres caminos Tres hermanos, Pedro, Pablo y Jacovo recibieron tres parcelas de tierra para cultivarlas como huerta. Las parcelas estaban juntas y no lejos de las casas respectivas. En la fig. 165 puede verse la disposición de las casas de Pedro, Pablo y Jacovo y la de sus parcelas de tierra. Se nota en seguida que la situación de las parcelas no es la más cómoda para los que las trabajan, pero los hermanos no pudieron llegar a un acuerdo de cambio.

Cada uno hizo su huerta en su parcela y los caminos más cortos entre las casas y éstas se cortaban entre sí.



Figura 165

Pronto empezaron los altercados entre los hermanos, que al fin acabaron disgustándose. Para evitar posibles encuentros, cada hermano resolvió buscar un camino hasta su huerta que no cortara los caminos de los

otros. Al cabo de largas búsquedas hallaron tres caminos que reunían estas condiciones y ahora van cada día a sus parcelas sin encontrarse.

¿Puede usted indicar estos caminos?

Existe una condición obligatoria: los caminos no deben pasar más allá de la casa de Pedro.

Los ardides
de la guardia

Este problema tiene muchas variantes. Damos una de ellas.

La tienda de campaña del jefe la custodia una guardia alojada en ocho tiendas. Al principio en cada una de estas tiendas había tres soldados. Después se permitió que los soldados de unas tiendas pudieran ir a visitar a los de otras. Y el jefe de la guardia no imponía sanciones cuando al entrar en las tiendas encontraba en unas más de tres soldados y en otras, menos. Se limitaba a comprobar el número de soldados que había *en cada fila* de tiendas: si en las tres tiendas de cada fila había en total nueve soldados, el jefe de la guardia consideraba que todos los soldados estaban presentes.

Los soldados se dieron cuenta de esto y encontraron el modo de burlarse del jefe. Una noche se marcharon cuatro soldados de la guardia y su ausencia no fue

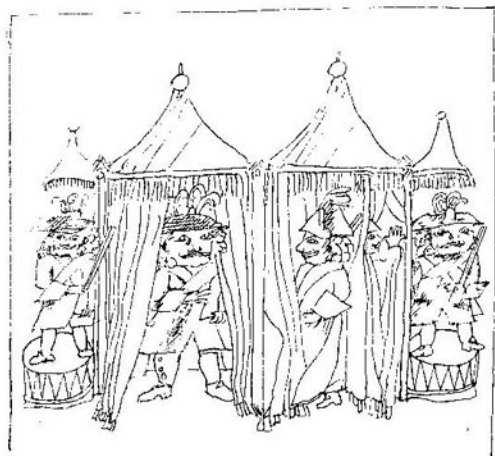


Figura 166

notada. La noche siguiente se fueron seis, que tampoco sufrieron castigo. Más tarde los soldados de la guardia incluso empezaron a invitar a otros a que vinieran a visitarles: en una ocasión invitaron a cuatro, en otra, a ocho, y una tercera vez, a toda una docena. Y todas estas astucias pasaron desapercibidas, ya que en las tres tiendas de cada fila el jefe de la guardia contaba en total nueve soldados. ¿Cómo se las componían los soldados para hacer esto?

Los diez castillos Un regidor de la antigüedad quiso construir diez castillos unidos entre sí por murallas; estas murallas debían extenderse formando cinco líneas rectas con cuatro castillos en cada una.

El constructor que invitó le presentó el plano que puede ver en la fig. 167.

Pero al regidor no le gustó este proyecto, porque con esta disposición se podía llegar desde fuera a cualquiera de los castillos, y él quería que, si no todos, por lo menos uno o dos castillos estuvieran protegidos de las incursiones por la muralla. El constructor objetó que era imposible satisfacer esta condición, puesto

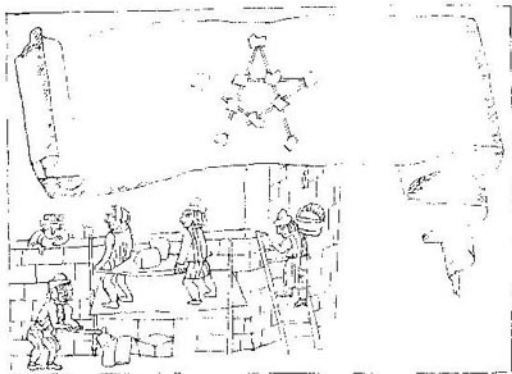


Figura 167

que los diez castillos debían disponerse de modo que en cada una de las cinco murallas hubiera cuatro de ellos. A pesar de esto, el regido insistió en su deseo.

El constructor se rompió la cabeza con este problema, y al cabo de bastante tiempo logró resolverlo.

Intente usted encontrar una disposición tal de los 10 castillos y las cinco murallas rectas que los unen, que satisfaga la condición impuesta.

El huerto frutal En un huerto había 49 árboles. En la fig. 168 puede verse cómo estaban dispuestos. Al hortelano le pareció que había demasiados árboles y quiso despejar el huerto, cortando los árboles que sobraban, para plantar mejor

los cuadros de flores. Llamó a un peón y le ordenó: —Deja nada más que cinco filas de a cuatro árboles cada una. Los demás árboles, córtalos y, en pago de tu trabajo, quédate con la leña.

Cuando terminó la corta, salió el hortelano y miró el trabajo. ¡El huerto estaba casi arrasado! En vez de 20 árboles, el peón sólo había dejado 10, y había cortado 39.

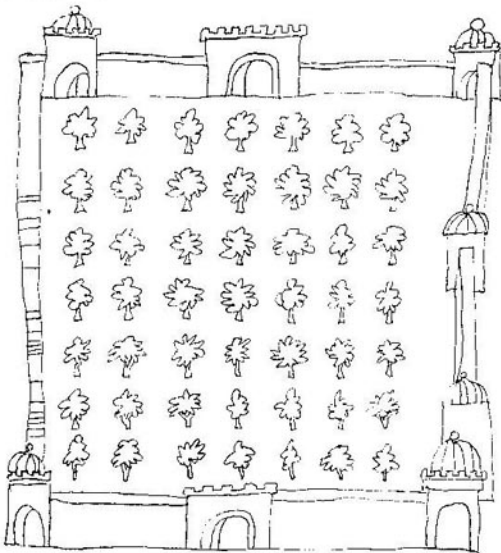


Figura 168

—¿Por qué has cortado tantos? —Le riñó el hortelano— ¡Yo te dije que dejases 20!

—No, señor, usted no me dijo «20»; lo que me ordenó fue que dejara cinco filas de a cuatro árboles. Y así lo he hecho. Mírelo usted.

En efecto, el hortelano comprobó con sorpresa que los 10 árboles que quedaron de pie, formaban cinco filas de a cuatro árboles cada una. La orden había sido cumplida al pie de la letra y, a pesar de esto, en vez de 29 árboles, el peón había cortado 39.

¿Cómo pudo hacer esto?



Figura 169

El ratón blanco Los 13 ratones (fig. 169) que rodean a este gato están condenados a ser devorados por él. Pero el gato se los quiere ir comiendo en un orden determinado, a saber: cada vez cuenta los ratones en el sentido en que miran los roedores y al que hace 13 se lo come.

¿Por qué ratón deberá empezar, para que el último que se coma sea el blanco?

En seis filas

La condición que impone el problema es fácil de satisfacer si los hombres se colocan formando un hexágono, como indica la fig. 170.

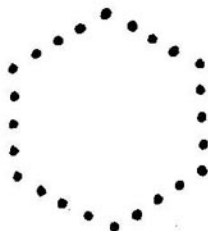


Figura 170

En nueve casillas

No toque la moneda prohibida, pero pase toda la fila inferior de casillas a la parte superior (fig. 171). La disposición habrá cambiado, pero la condición impuesta por el problema queda cumplida: la moneda con la cerilla encima no se ha movido de su sitio.



Figura 171

Un cambio de monedas

He aquí la serie de movimientos que hay que hacer para lograr el objetivo (el número indica la moneda y la letra, la casilla a la cual se traslada):

2 - e	15 - i	2 - d	10 - a
15 - b	3 - g	1 - h	3 - e
10 - d	20 - c	10 - e	15 - b
2 - h	1 - e	2 - j	2 - d
20 - e	3 - a	15 - i	3 - j
10 - j	15 - b	3 - g	2 - i

En menos de 24 transiciones es imposible resolver el problema.



Soluciones

Nueve ceros

El problema se resuelve como muestra la fig. 172.

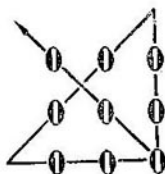


Figura 172

Treinta y seis ceros

Como de los 36 ceros hay que tachar 12, deben quedar $36 - 12$, es decir 24. Por consiguiente, en cada fila o columna deberán quedar cuatro ceros.

La distribución de los ceros no tachados será:

0		0	0	0	
		0	0	0	0
0	0	0			0
0	0		0		0
0	0			0	0
	0	0	0	0	

Dos damas

La primera dama puede colocarse en cualquiera de las 64 casillas del tablero, es decir, de 64 modos. Una vez que la primera dama se ha colocado, la segunda puede ponerse en cualquiera de las 63 casillas restantes. Por consiguiente, a cada una de las 64 posiciones que puede ocupar la primera dama hay que añadir las 63 posiciones que puede ocupar la segunda. De aquí se deduce que el número total de posiciones diferentes que pueden ocupar las dos damas en el tablero será:

$$64 \times 63 = 4032$$

Las moscas en el visillo

Las flechas indican, en la fig. 173, las moscas que cambiaron de sitio y los cuadrados de que partieron.

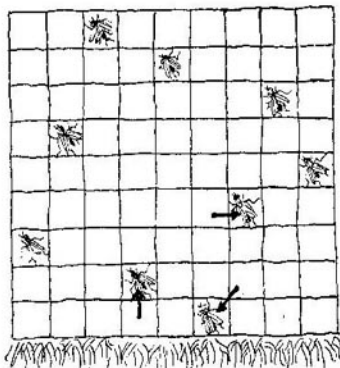


Figura 173

Ocho letras

El número mínimo de jugadas es 23, y son:

A B F E C A B F E C A B D H G A B D H G D E F.

Las ardillas y los conejos

A continuación se indica el procedimiento más corto de cambio. Las cifras indican desde qué tocón a qué tocón hay que saltar (por ejemplo, 1 — 5 significa que la ardilla salta del primer tocón al quinto). El total son necesarios 16, a saber:

1 — 5; 3 — 7; 7 — 1; 5 — 6; 3 — 7; 6 — 2; 8 — 4; 7 — 1;
8 — 4; 4 — 3; 6 — 2; 2 — 8; 1 — 5; 5 — 6; 2 — 8; 4 — 3.

Dificultades de la casa de campo

El cambio consigue hacerse mediante 17 traslaciones como mínimo. Los muebles deben trasladarse en el orden siguiente:

- | | | |
|-----------------|------------------|------------------|
| 1. El piano. | 7. El piano. | 13. La cama. |
| 2. El armario. | 8. El aparador. | 14. El aparador. |
| 3. El aparador. | 9. El armario. | 15. La mesa. |
| 4. El piano. | 10. La mesa. | 16. El armario. |
| 5. La mesa. | 11. El aparador. | 17. El piano. |
| 6. La cama. | 12. El piano. | |



Soluciones

Los tres caminos

Los tres caminos que no se cortan se ven en la fig. 174.

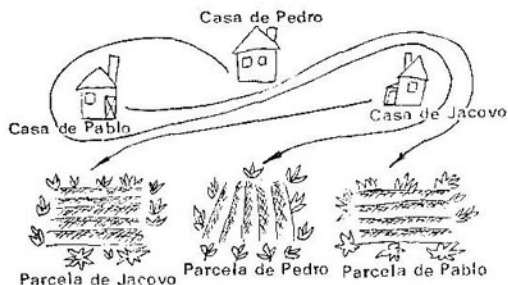


Figura 174

Pedro y Pablo tienen que seguir caminos bastante sinuosos, pero así se evitan los encuentros enojosos entre los hermanos.

Los ardides de la guardia

La solución del problema se halla fácilmente si se razona como sigue. Para que cuatro soldados puedan ausentarse sin que lo note el jefe de la guardia es necesario que en las filas I y III (fig. 175, a) haya nueve soldados en cada una; pero como el número

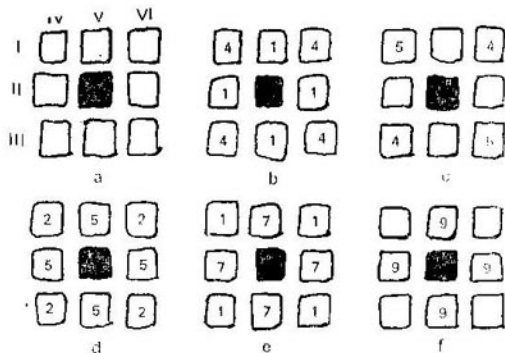


Figura 175

total de soldados será $24 - 4 = 20$, en la fila *II* deberá haber $20 - 18 = 2$, es decir, un soldado en la tienda de la izquierda de esta fila y otro soldado en la de la derecha. Del mismo modo hallamos que en la tienda superior de la columna *V* debe haber un soldado y en la inferior, otro. Ahora está claro que en las tiendas de las esquinas tendrá que haber cuatro soldados en cada una. Por consiguiente, la distribución buscada para el caso en que se asentan cuatro soldados será la que se ve en la fig. 175,b.

Por medio de análogos razonamientos se encuentra la distribución necesaria para que puedan ausentarse seis soldados (fig. 175,c).

Para cuatro invitados (fig. 175,d).

Para ocho invitados (fig. 175,e).

Y, finalmente, en la fig. 175,f se muestra la distribución en el caso de 12 invitados.

Se ve claramente que, en las condiciones indicadas, no pueden ausentarse impunemente más de seis soldados ni pueden venir a la guardia más de 12 invitados.

Los diez castillos

En la fig. 176 (a la izquierda) se ve la disposición con la cual dos castillos quedan protegidos contra una agresión desde fuera.

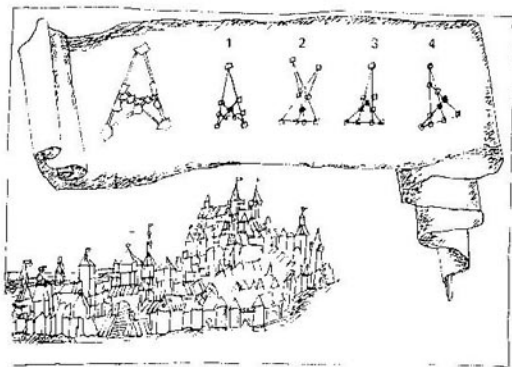


Figura 176

Como puede ver, los 10 castillos están situados aquí como imponían las condiciones del problema: cuatro en cada una de las cinco murallas rectas. La fig. 176 (a la derecha) da cuatro soluciones más a este mismo problema.

El huerto frutal

Los árboles que quedaron sin cortar estaban situados como indica la fig. 177; así forman cinco filas rectas y en cada una de ellas hay cuatro árboles.

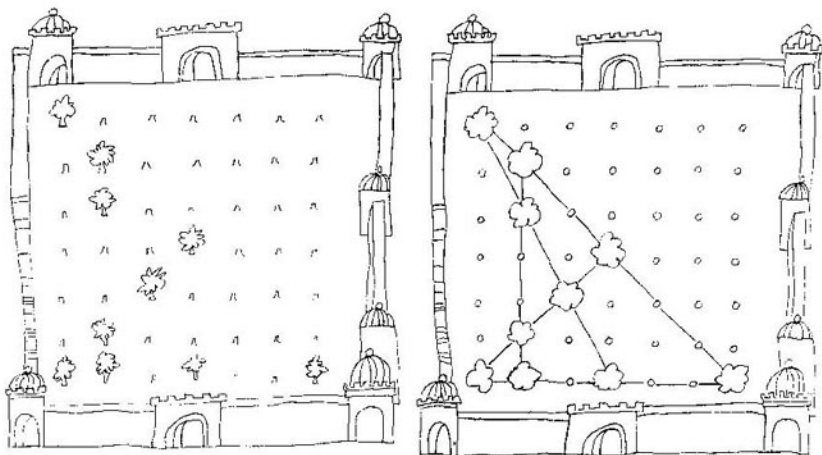


Figura 177

El ratón blanco

El gato debe comerse primero al ratón a que está mirando, es decir, al sexto a partir del blanco.

Empiece a contar desde este ratón, siguiendo la circunferencia, y tache cada decimotercero; se convencerá de que el ratón blanco es el último que tacha.

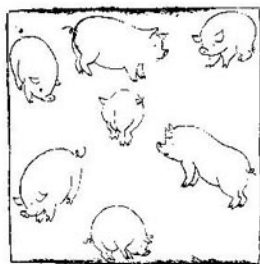


Figura 178

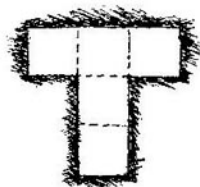


Figura 179

Con tres líneas rectas

La fig. 178 debe cortarse, mediante tres líneas rectas, en siete partes, de manera que en cada parte haya un cerdito entero.

En cuatro partes

Esta parcela de tierra (fig. 179) está formada por cinco parcelas cuadradas de idénticas dimensiones. ¿Puede usted dividirla no en cinco, sino en cuatro parcelas también iguales?

Dibuje usted la parcela en una hoja de papel aparte y busque la solución.

Haga un círculo

A un carpintero le trajeron dos tablas de madera de una especie rara, que tenían sendos agujeros en el centro, y le encargaron que hiciera con ellas un tablero, completamente redondo y continuo, para una mesa, pero de tal modo que no sobrara ni un solo recorte de madera preciosa. Debía aprovechar hasta el último trocito de madera.

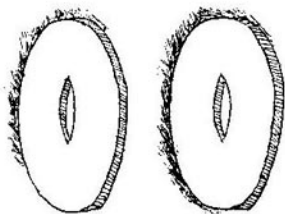


Figura 180

El carpintero era maestro en su oficio, como hay pocos, pero el encargo no era de los fáciles. Pensó mucho el maestro, hizo sus cálculos y, por fin, se dio cuenta de cómo podía cumplir el encargo.

Y usted, ¿no sabría hacerlo? Recorte de un papel dos figuras exactamente iguales que las representadas en la fig. 180 (pero de mayores dimensiones) y pruebe a encontrar con ellas la solución de este problema.



Cortes y cosidos hábiles

La esfera del reloj

La esfera de este reloj (fig. 181) debe cortarse en seis partes de forma cualquiera, de modo que la suma de los números que haya en cada parte sea la misma. Este problema tiene por objeto probar no tanto su ingeniosidad como su vivacidad.

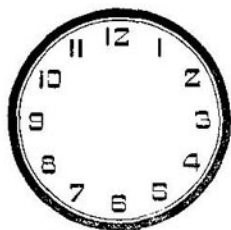


Figura 181

La media luna

Esta media luna (fig. 182) debe dividirse en seis partes trazando solamente dos líneas rectas. ¿Cómo se hace esto?

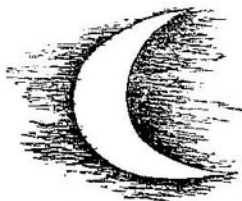


Figura 182

La división de la coma

Esto que ve aquí (fig. 183) es una coma grande. Su trazado es muy fácil: con centro sobre la recta AB se traza una semicircunferencia y, después, sobre cada mitad del segmento AB se describen dos semicircunferencias, una hacia la derecha y otra hacia la izquierda.

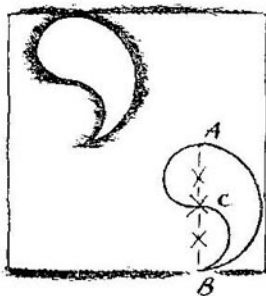


Figura 183

El problema consiste en cortar esta figura en dos partes exactamente iguales por medio de una línea curva.

Esta figura ofrece también interés porque con dos como ella se puede componer un círculo. ¿Cómo?

Desarrolle un cubo

Si corta usted un cubo de cartón siguiendo las aristas, de modo que sea posible desdoblarlo y poner los seis cuadrados sobre la mesa, obtendrá usted una figura parecida a las tres siguientes.

Resulta curioso contar cuántas figuras *distintas* se pueden conseguir por este procedimiento. En otras palabras, ¿cuántas maneras hay de desarrollar un cubo sobre un plano?

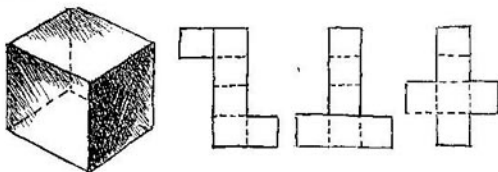


Figura 184

Puedo advertir al lector impaciente que las figuras diferentes no son menos de 10.

Componer un cuadrado

¿Puede usted componer un cuadrado con cinco trozos de papel, cuyas formas sean las que se ven en la fig. 185, *a*?

Si ha comprendido cómo se resuelve este problema, intente componer un cuadrado con cinco triángulos iguales, cuya forma sea la misma que la de los que

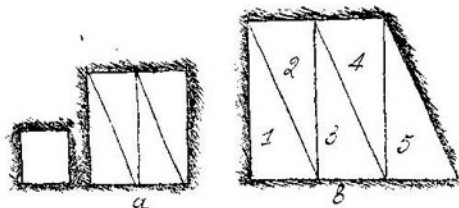


Figura 185

acaba de utilizar (un cateto es doble de largo que el otro). Uno de los triángulos puede cortarlo usted en dos partes, pero los cuatro restantes debe utilizarlos sin cortar (fig. 185, *b*).



SOLUCIONES

Con tres líneas rectas

Solución del problema:

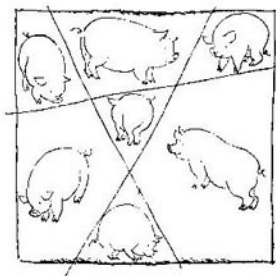


Figura 186

En cuatro partes

Las líneas de trazo punteado indican cómo se puede dividir la parcela de tierra (fig. 187).

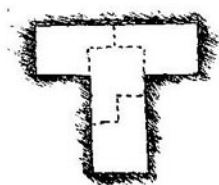


Figura 187

Haga un círculo

El carpintero cortó una de las tablas en cuatro partes, como indica la fig. 188, a la izquierda. De las cuatro partes menores hizo un círculo, a cuyos bordes pegó después los otros cuatro trozos. Resultó un tablero magnífico para una mesita redonda.

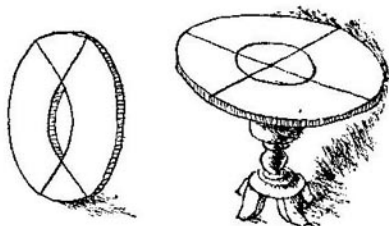


Figura 188

La esfera del reloj

Como la suma de todos los números que figuran en la esfera es igual a 78, los números de cada una de las partes deberán sumar $78 : 6$, es decir, 13. Esto facilita la búsqueda de la solución, la cual se da en la fig. 189.



Figura 189

La media luna

Hay que proceder como indica la fig. 190. Se obtienen seis partes, que, para mayor claridad, se han numerado.

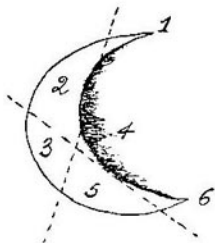


Figura 190

La división de la coma

La solución se ve en la fig. 191. Las dos partes de la coma dividida son iguales entre sí, porque están constituidas de partes iguales.

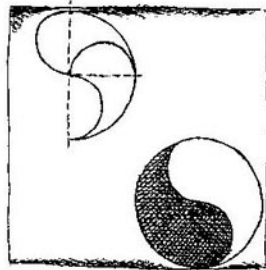


Figura 191



La figura muestra también cómo se forma un círculo con dos comas, una blanca y otra negra.

Desarrolle un cubo

He aquí todos los desarrollos posibles del cubo (fig. 192). Son 10.

Las figuras 1ª y 5ª pueden girarse; esto da dos desarrollos más, con lo que su número total no será 10, sino 12.

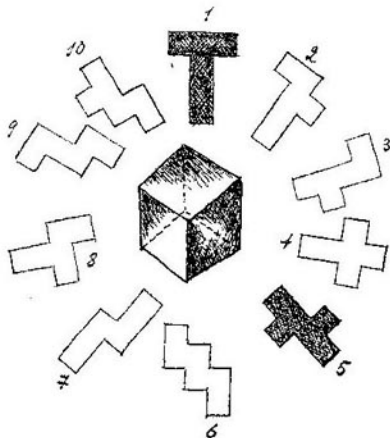


Figura 192

Componer un cuadrado

La solución del primer problema se ve en la fig. 193,a. Y la fig. 193,b muestra cómo se compone el cuadrado con los cinco triángulos. Uno de ellos se corta previamente como indica el dibujo a la derecha.

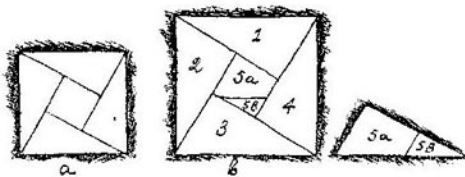


Figura 193



El estanque

Tenemos un estanque cuadrado (fig. 194). En sus ángulos crecen, cerca del agua, cuatro viejos robles. Hay que ensanchar el estanque, haciendo que su superficie sea el doble, conservando su forma cuadrada y sin tocar los viejos robles. ¿Puede agrandarse el

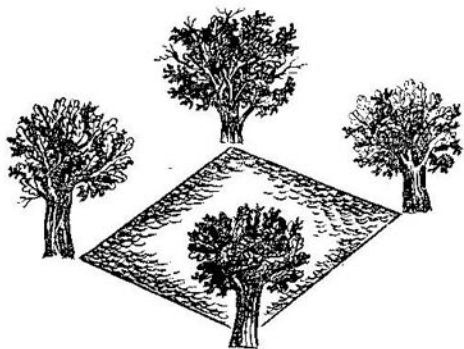


Figura 194

estanque hasta las dimensiones deseadas, quedando los robles fuera del agua, en las orillas del nuevo estanque?

El entarimador

Un entarimador, cuando cortaba los cuadrados de madera los comprobaba así: comparaba las longitudes de los lados, y si los cuatro eran iguales, consideraba que el cuadrado estaba bien cortado.

¿Es segura esta comprobación?

Otro entarimador

Otro entarimador comprobaba su trabajo de un modo distinto: no medía los lados, sino las diagonales de los cuadrados. Si las dos diagonales eran iguales, el entarimador consideraba que el cuadrado estaba bien cortado.

¿Usted piensa lo mismo?

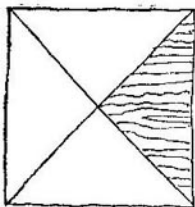


Figura 195

Un tercer entarimador

Un tercer entarimador, al comprobar los cuadrados, se cercioraba de que las cuatro partes en que las diagonales se dividen entre sí (fig. 195) eran iguales. Según él esto demostraba que el cuadrilátero cortado era un cuadrado.

¿Y usted, qué piensa?

La costurera

Una costurera tiene que cortar trozos de lienzo cuadrados. Después de cortar varios trozos, comprueba su trabajo doblando el trozo cuadrangular por una de sus diagonales y viendo si coinciden sus bordes. Si coinciden, quiere decir, según ella, que el trozo cortado tiene exactamente forma cuadrada.

¿Es así en realidad?

Otra costurera

Otra costurera no se contentaba con la comprobación que hacía su amiga. Ella doblaba primero el cuadrilátero cortado por una diagonal, luego desdoblaba el trozo de lienzo y lo doblaba por la otra diagonal. Sólo cuando los bordes de la tela coincidían en ambos casos consideraba ella que el cuadrado estaba bien cortado.

¿Qué dice usted de esta comprobación?

El problema del carpintero

Un joven carpintero tiene una tabla pentagonal como la que representa la fig. 196. Como puede ver, la tabla parece estar formada por un cuadrado y un triángulo aplicado a él e igual a su cuarta parte. Al carpintero le hace falta convertir esta tabla, sin quitarle ni añadirle nada, en un cuadrado. Para esto, claro está, hay que cortarla antes en partes. Nuestro joven carpintero piensa hacer esto, pero no quiere cortar la tabla por más de dos líneas rectas.

¿Es posible, con dos líneas rectas cortar la fig. 196 en partes con las cuales se pueda componer un cuadrado? Si es posible, ¿cómo hay que hacerlo?

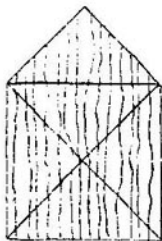


Figura 196



El estanque

La superficie del estanque puede perfectamente duplicarse, conservando su forma cuadrada y sin tocar los robles. En la fig. 197 se muestra como hay que hacerlo: hay que cavar de tal modo que los robles queden frente al punto medio de los lados del nuevo

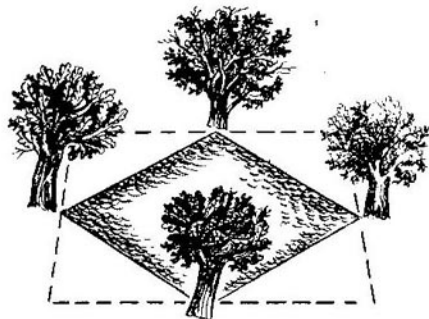


Figura 197

cuadrado. Es fácil convencerse de que el área del nuevo estanque es dos veces mayor que la del antiguo. Para esto no hay más que trazar las diagonales en el estanque viejo y calcular los triángulos que se forman al hacer esto.

El entarimador

Esta comprobación es insuficiente. Un cuadrilátero puede satisfacer esta prueba sin ser cuadrado. En la fig. 198 se dan unos ejemplos de cuadriláteros que tienen todos los lados iguales, pero cuyos ángulos no son rectos (rombos).

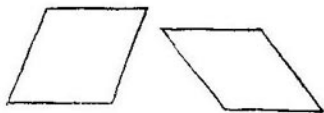


Figura 198

Otro entarimador

Esta comprobación es tan insegura como la primera. El cuadrado, claro está, tiene las diagonales iguales, pero no todo cuadrilátero que tenga las diagonales iguales es un cuadrado. Esto puede verse con toda claridad en los dibujos de la fig. 199.

Los entarimadores debían haber practicado las dos comprobaciones con cada uno de los cuadriláteros que cortaban, con lo cual hubieran podido estar seguros de que el



Soluciones

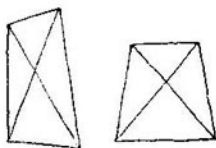


Figura 199

trabajo estaba bien hecho. Todo rombo cuyas diagonales sean iguales será indudablemente un cuadrado.

Un tercer entarimador

Lo único que puede demostrar esta comprobación es que el cuadrilátero que se somete a ella tiene los ángulos rectos, es decir, que es un rectángulo. Pero, en cambio, no prueba que todos sus lados son iguales, como puede verse en la fig. 200.

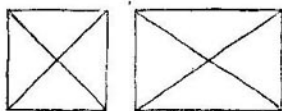


Figura 200

La costurera

La comprobación dista mucho de ser suficiente. En la fig. 201 se han dibujado varios cuadriláteros cuyos bordes coinciden cuando se doblan por una diagonal. Y, sin embargo,

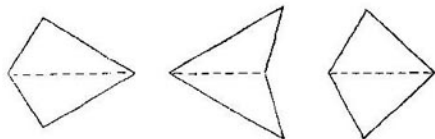


Figura 201

bargo, no son cuadrados. Como puede ver, un cuadrilátero puede diferir mucho de la figura del cuadrado y, a pesar de esto, satisfacer esta comprobación.

Con esta prueba podemos convencernos de que una figura es simétrica, y nada más.

Otra costurera

Esta comprobación no es mejor que la anterior. Usted puede recortar tantos cuadriláteros de papel como quiera, que, aunque no sean cuadrados, satisfarán esta prueba. Los cuadriláteros de la fig. 202 tienen todos los lados iguales (son rombos), pero sus ángulos no son rectos, por consiguiente, no son cuadrados.

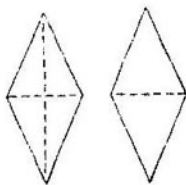


Figura 202

Para cerciorarse de verdad de que el trozo cortado tiene forma cuadrada, además de lo que hacía esta costurera, hay que comprobar si las diagonales (o los ángulos) son iguales.

El problema del carpintero

Una recta debe ir desde el vértice c al punto medio del lado de , y la otra, desde el punto medio hasta el vértice a . Con los trozos obtenidos, 1, 2 y 3, se compone el cuadrado como indica el dibujo (fig. 203).

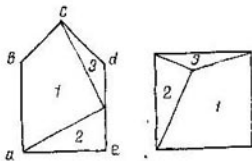


Figura 203