



Indice

Prólogo

Capítulo Primero

¿A qué Velocidad nos Movemos?

En Persecución del Tiempo

Una Milésima de Segundo

La Cámara Lenta

¿Cuándo nos Movemos mas deprisa Alrededor del Sol, de Día o de Noche?

El Enigma de la Rueda del Carro

El Punto de la Rueda que se Mueve más Despacio

Este Problema no es de Broma

¿De Dónde Partió la Barca?

Capítulo Segundo

¡Levántese!

Andar y Correr

¿Cómo hay que Saltar de un Vagón en Marcha?

¡Coger con la Mano una Bala Disparada!

Sandías-Bombas

En la Plataforma de la Báscula

¿Dónde son los Cuerpos más Pesados?

¿Cuánto Pesa un Cuerpo Cuando Cae?

De la Tierra a la Luna

El Viaje a la Luna, Según Julio Verne y tal Como Tendría que Realizarse

¿Cómo Pesar Bien en Balanzas Inexactas?

Mas Fuerte que uno Mismo

¿Por qué Pinchan los Objetos Afilados?

Como Leviatan

Capítulo Tercero

La Bala y el Aire

Tiro de Gran Alcance

¿Por Que se Remontan las Cometas?

Planeadores Vivos

Los Vuelos Sin Motor y las Plantas

El Salto Retardado del Paracaidista

El Boomerang

Capítulo Cuarto

¿Cómo Distinguir un Huevo Cocido de Otro Crudo

La Rueda de la Risa

Remolinos de Tinta

La Planta Engañada

El Movimiento Continuo

Un Atasco

La Fuerza Principal son las Bolas

El Acumulador de Ufimtsev

Un Prodigio que no es
Otros Motores de Movimiento Continuo
Un Motor de Movimiento Continuo del Tiempo de Pedro I

Capítulo Quinto

El Problema de las dos Cafeteras
Lo que no sabían los Antiguos
Los Líquidos Empujan ... ¡Hacia Arriba!
¿Qué Pesa más?
La Forma Natural de los Líquidos
¿Por qué son Redondos los Perdigones?
Una Copa sin Fondo
Una Interesante Peculiaridad del Petróleo
Una Moneda que no se Hunde en el Agua
Agua en una Criba
La Espuma al Servicio de la Técnica
Otro Pseudo Perpetuum Mobile
Pompas de Jabón
¿Qué es más delgado?
¡Del Agua y Seca!
¿Cómo Bebemos?
Un Embudo Mejorado
Una Tonelada de Madera y una Tonelada de Hierro
Un Hombre que no Pesaba Nada
Un Reloj Eterno

Capítulo Sexto

¿Cuándo es más Larga la Línea Férrea de Octubre, en Verano o en Invierno?
Un Robo que no se Castiga
La Altura de la Torre de Eiffel
Del Vaso de té al Tubo de Nivel
La Leyenda de la Bota en el Baño
¿Cómo se Hacían los Milagros?
Relojes sin Cuerda
Un Emboquillado Aleccionador
Un Hielo que no Funde en Agua Hirviendo
¿Encima del Hielo o Debajo de él?
¿Por qué Sopla el Viento Cuando la Ventana Está Cerrada?
Un Molinete Misterioso
¿Calienta el Abrigo?
¿Qué Estación del Año Tenemos Bajo los Pies?
Una Cacerola de Papel
¿Por qué es Resbaladizo el Hielo?
El Problema de los Carámbanos

Capítulo Séptimo

Las Sombras Apresadas

El Pollito en el Huevo
Fotografías Caricaturescas
El Problema de la Salida del Sol

Capítulo Octavo

¿Cómo ver a Través de las Paredes?
La Cabeza Parlante
¿Delante o Detrás?
¿Se puede ver un Espejo?
¿A Quién Vemos Cuando nos Miramos en un Espejo?
El Dibujo Delante del Espejo
Una Precipitación Económica
El Vuelo de la Corneja
Lo Nuevo y lo Viejo del Caleidoscopio
Los Palacios de Ilusiones y de Espejismos
¿Por qué y Cómo se Refracta la Luz?
¿Cuándo se Recorre más Pronto un Camino Largo que Otro Corto?
Los Nuevos Robinsones
¿Cómo Hacer Fuego con el Hielo?
Con Ayuda de los Rayos Solares
Lo Viejo y lo Nuevo del Espejismo
El Rayo Verde

Capítulo Noveno

Antes de que Existiera la Fotografía
Lo que Muchos no Saben
El Arte de Mirar Fotografías
¿Desde qué Distancia Deben Mirarse las Fotografías?
Un Efecto Extraño del Cristal de Aumento
Ampliación de las Fotografías
El Mejor Sitio en el Cine
Un Consejo a los Lectores de Revistas Ilustradas
¿Cómo Mirar los Cuadros?
Representación de Cuerpos en el Plano
¿Qué es el Estereoscopio?
Nuestro Estereoscopio Natural
Con un Ojo y con los dos
Un Procedimiento Fácil Para Descubrir Falsificaciones
Vista de Gigantes
El Universo en el Estereoscopio
La Vista con Tres Ojos
¿Qué es el Brillo?
La Visión con un Movimiento Rápido
Con Gafas de Color
Las Maravillas de las Sombras
Transformaciones Inesperadas de los Colores
La Altura del Libro

Las Dimensiones de los Relojes de las Torres
Blanco y Negro
¿Qué Letra es más Negra?
Retratos Vivos
Las Líneas Hincadas y otras Ilusiones Ópticas
¿Cómo ven los Miopes?

Capítulo Décimo

¿Cómo Encontrar el Eco?
El Sonido en Lugar de la Cinta Métrica.
Espejos Acústicos
Los Sonidos en el Teatro.
El Eco del Fondo del Mar.
El Zumbido de los Insectos
Ilusiones Acústicas
¿Dónde Chirría el Grillo?
Curiosidades del Oído
Las Maravillas de la Ventriloquia.

Cien Preguntas

Del prólogo del autor a la decimotercera edición

Al escribir este libro no me propuse proporcionar al lector nuevos conocimientos, sino más bien ayudarle a «conocer aquello que ya sabe», es decir, a profundizar y animar los conocimientos de Física que ya posee y a estimularle a que los aplique de manera consciente y multifacética. Este propósito se logra examinando toda una serio abigarrada de rompecabezas, preguntas complicadas, cuentos, problemas divertidos, paradojas y comparaciones inesperadas del campo de la Física, relacionadas con fenómenos que observamos cotidianamente o que se toman de los libros de ciencia ficción más populares. Este último tipo de materiales es el que más ha utilizado el autor, por considerar que es el que mejor se presta a los fines de la obra. Entre ellos se mencionan trozos de novelas y cuentos de Julio Verne, Wells, Mark Twain, etc. Los fantásticos experimentos que en estas obras se describen, además de ser interesantes, pueden servir de magníficas y animadas ilustraciones para la enseñanza.

El autor ha procurado, en la medida de lo posible, darle a la exposición una forma interesante y hacer amena esta asignatura. Para ello ha partido del axioma psicológico que presupone, que el interés por una asignatura aumenta la atención, facilita la comprensión y, por consiguiente, hace que su asimilación sea más sólida y consciente.

En la «Física Recreativa» no se sigue el sistema comúnmente empleado en los libros de este tipo. En ella se dedica poco espacio a la descripción de experimentos físicos divertidos y espectaculares. Porque el fin de este libro no es el de proporcionar material para hacer experimentos. El objetivo fundamental de la «Física Recreativa» es el de estimular la fantasía científica, el de enseñar al lector a pensar en la esencia de la ciencia física y el de crear en su memoria numerosas asociaciones de conocimientos físicos relacionados con los fenómenos más diversos de la vida cotidiana y con todo aquello con que mantiene asiduo contacto. Al revisar el libro, el autor ha intentado seguir la orientación dada por V. Lenin en las siguientes palabras: «El escritor popular lleva al lector a un pensamiento profundo, a una doctrina profunda, partiendo de los datos más sencillos y notorios señalando - mediante razonamientos simples o ejemplos escogidos con acierto - las conclusiones principales que se deducen de esos datos y empujando al lector que piensa a plantear nuevas y nuevas cuestiones. El escritor popular no presupone un lector que no piensa, que no desea o no sabe pensar; al contrario, en el lector poco desarrollado presupone el serio propósito de trabajar con la cabeza y le ayuda a efectuar esa seria y difícil labor, le conduce ayudándole a dar los primeros pasos y enseñándole a seguir adelante por su cuenta.»¹

Teniendo en cuenta el interés que han expresado los lectores por la historia de este libro, insertamos algunos de sus datos bibliográficos.

La «Física Recreativa» apareció hace un cuarto de siglo y fue el primero de los libros de la colección publicada por su autor, la cual consta actualmente de varias decenas de títulos.

La «Física Recreativa», según atestiguan las cartas de sus lectores, ha logrado penetrar hasta en los rincones más recónditos de la URSS.

La gran divulgación alcanzada por este libro, que demuestra el vivo interés que los amplios círculos de lectores sienten por los conocimientos de física, hace que sobre el autor recaiga una gran responsabilidad por la calidad del material que en él se expone. Este sentimiento de responsabilidad explica el gran número de modificaciones y complementos que se han ido introduciendo en el texto de la «Física Recreativa» en las sucesivas ediciones. Puede decirse que el presente libro ha sido escrito durante sus 25 años de existencia. En la última edición se ha

¹ V. I. Lenin, Recopilación «Acerca de la prensa», edición en lengua española Moscú á . 59

conservado escasamente la mitad del texto de la primera. Las ilustraciones han sido totalmente renovadas.

Algunos lectores se han dirigido al autor rogándole que no modifique el texto, para evitar de esta forma que «por una decena de páginas nuevas tengan que adquirir cada edición». Semejantes razones no pueden eximir al autor de la obligación de mejorar cuanto pueda su libro. La «Física Recreativa» no es una obra literaria, sino científica, a pesar de su carácter popular, y la materia a que se dedica (la Física), hasta en sus fundamentos más elementales, se enriquece constantemente con nuevos materiales, los cuales no pueden dejar de incluirse periódicamente en el libro.

Por otra parte hay quien nos reprocha que la «Física Recreativa» no dedica cierto espacio a temas tan importantes como son los nuevos adelantos de la radiotécnica, la fisión del núcleo atómico, las nuevas teorías físicas, etc. Estos reproches son resultado de la incompreensión. Porque la «Física Recreativa» tiene un objetivo claro y determinado, que no alcanza a los antedichos temas, cuyo análisis corresponde a obras de otro género.

Con la «Física Recreativa» guardan estrecha relación, además de su libro segundo, otras obras del mismo autor. Una de ellas está dedicada a lectores relativamente poco preparados, es decir, que aún no han comenzado a estudiar Física sistemáticamente, y se titula «La Física a cada paso». Otras dos, por el contrario, se escribieron para aquellos que ya han terminado el curso de Física de la enseñanza secundaria o media. Sus títulos son- «Mecánica Recreativa» y «¿Sabe usted Física?». Esta última es una especie de conclusión de la «Física Recreativa».-

Y. Perelmán
1936

Capítulo Primero

Velocidad, Suma de Movimientos

¿A qué Velocidad nos Movemos?

Un buen corredor puede cubrir la distancia de 1,5 km en 3 min 50 seg aproximadamente. El récord mundial establecido en 1960 es de 3 min 35,6 seg. Para comparar esta velocidad con la ordinaria de un peatón - 1,5 m por seg - basta hacer un, sencillo cálculo, del cual resulta, que el deportista recorre 7 m por seg. No obstante, la comparación de estas velocidades no da una idea exacta de ellas, ya que mientras el peatón puede andar horas enteras, recorriendo 5 km por hora, el deportista sólo puede mantener durante un corto espacio de tiempo la considerable velocidad a que corre. Una unidad de infantería, a paso ligero, marcha tres veces más despacio que el mencionado corredor, es decir, su velocidad será solamente de 2 m por seg o de 7 km y pico por hora, pero tiene sobre él la ventaja de que sus recorridos pueden ser considerablemente mayores.

1 Es interesante comparar la velocidad normal del hombre con la de aquellos animales cuyas lentitudes se han hecho proverbiales, como son las del caracol y de la tortuga. El caracol tiene bien merecida la fama que se le atribuye en los refranes. Su velocidad es de 1,5 mm por seg, o de 5,4 m por h, es decir, exactamente mil veces menor que la del hombre al paso. El otro animal clásicamente lento, la tortuga, no adelanta en mucho al caracol, porque su velocidad ordinaria es de 70 m por h.

El hombre, tan ágil al lado del caracol o de la tortuga, parece distinto cuando comparamos sus movimientos con otros característicos de la naturaleza que nos rodea, aunque éstos no sean muy rápidos. Es verdad que el hombre adelanta con facilidad a la corriente del agua de la mayoría de los ríos de llanura y que no se retrasa mucho con relación a la velocidad del viento bonancible. Pero con una mosca, que vuela a 5 m por seg, el hombre solamente puede competir cuando esquía, y a una liebre o un galgo, no los alcanza ni a caballo. Para competir con la velocidad del águila el hombre necesita un avión.

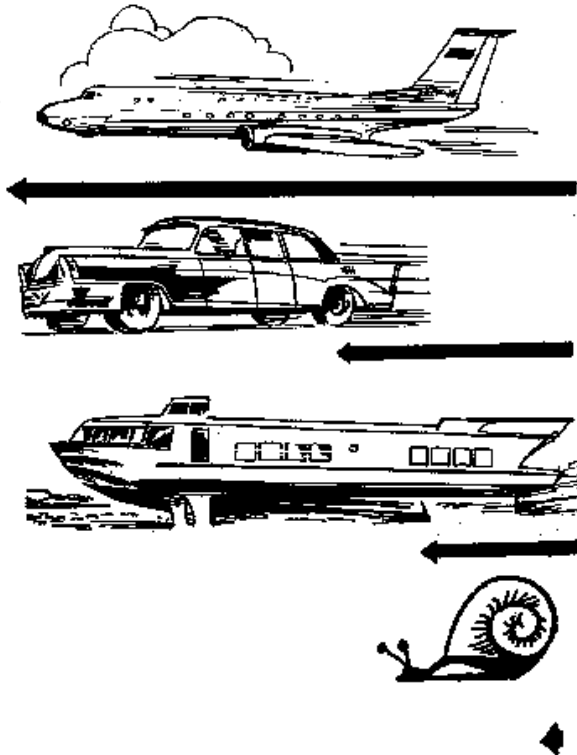
Sin embargo, el hombre ha inventado máquinas que le convierten en el ser más rápido del mundo.

Estos últimos años se han creado en la URSS varios tipos de motonaves de turismo, con alas sumergidas (fig. 3), que alcanzan velocidades de 60-70 km por hora. Por tierra, el hombre puede trasladarse aún más deprisa que por el agua. En muchas líneas férreas de la URSS, los trenes de pasajeros marchan a 140 km/h. El automóvil de siete plazas «Chaika», desarrolla hasta 160 km/h. Estas velocidades han sido muy superadas por la aviación moderna. En muchas líneas aéreas de la URSS y de otros países funcionan los aviones a reacción soviéticos TU-104 (fig. 1), TU-114, IL-18 y otros, cuyas velocidades medias de vuelo son de 800-1000 km/h. No hace mucho, ante los constructores de aviones se planteaba el problema de pasar la «barrera de sonido», es decir, de superar la velocidad del sonido (330 m/seg ó 1.200 km/h). Hoy día, la velocidad de los aviones militares, tanto de caza como de bombardeo, supera dos o tres veces esta velocidad. En los próximos años estas velocidades llegarán a ser también ordinarias para los aviones de pasajeros.

Otros aparatos fabricados por el hombre pueden alcanzar velocidades todavía mayores. El primer satélite artificial soviético (Sputnik) fue lanzado con una velocidad inicial de cerca de 8 km/seg. Los cohetes cósmicos soviéticos sobrepasaron la llamada segunda velocidad cósmica, igual a 11,2 km/seg junto a la superficie de la Tierra, con lo cual consiguieron llegar hasta la Luna y, más tarde, hasta Venus y Marte.

Ofrecemos al lector una tabla de velocidades características

El caracol	1,5	mm/seg	5,4	m/h
La tortuga	20	mm/seg	72	m/h
Los peces	1	m/seg	3,6	km/h
El hombre al paso	1,4	m/seg	5	km/h
La caballería al paso	1,7	m/seg	6	km/h
La caballería al trote	3,5	m/seg	12,6	km/h
Las moscas	5	m/seg	18	km/h
Los esquiadores	5	m/seg	18	km/h
La caballería a la carrera	8,5	m/seg	30	km/h
Las motonaves con alas sumergidas	16	m/seg	58	km/h
Las liebres	18	M/Seg	65	km/h
Las águilas	24	m/seg	86	km/h
Los galgos	25	m/seg	90	km/h
Los trenes	28	m/seg	100	km/h
Los automóviles de carreras	174	m/seg	633	m
El avión TU-104	220	m/seg	800	km/h
El sonido en el aire	330	m/seg	1,200	km/h
Los aviones a reacción ligeros	550	m/seg	2,000	km/h
La Tierras por su órbita	30000	m/seg	108,000	km/h



En la figura adjunta, un avión turborreactor de pasajeros TU-104, un automóvil «Chaika», una motonave de pasajeros rápida con alas sumergidas y un caracol.

Física Recreativa I

Yakov Perelman

En Persecucion Del Tiempo

Patricio Barros

Si salimos de Vladivostok a las 8 de la mañana en avión, ¿podemos llegar a Moscú a las 8 de la mañana del mismo día? Esta pregunta, en primer lugar, no es absurda, y, en segundo, puede contestarse afirmativamente. Para comprender esta respuesta basta recordar que la diferencia entre los husos horarios correspondientes a Vladivostok y a Moscú es de nueve horas. Por consiguiente, si el avión puede recorrer la distancia entre estas dos ciudades en nueve horas, cuando llegue a Moscú, los relojes de esta ciudad marcarán la misma hora que la que indicaban de Vladivostok al emprender el vuelo.

La distancia entre Vladivostok y Moscú es de 9 000 km. Es decir, la velocidad del avión deberá ser igual a 9 000: 9 = 1 000 km/h. Esta velocidad es fácil de conseguir en la actualidad.

Para «adelantar al Sol» (o, mejor dicho, a la Tierra) en las latitudes polares, se necesita una velocidad mucho menor. Así, en el paralelo 77 (Nueva Zembla), un avión que desarrolle 450 km/h puede volar una distancia igual a la que, durante el mismo intervalo de tiempo, recorre un punto de la superficie de la Tierra al girar ésta alrededor de su eje. Para los pasajeros de este avión el Sol estará quieto y parecerá colgado en el cielo, sin aproximarse al ocaso (claro que, para que esto ocurra, el avión tendrá que moverse en la dirección conveniente).

Más fácil aún es «adelantar a la Luna» en su rotación en torno a la Tierra. La Luna se mueve alrededor de la Tierra 29 veces más despacio que ésta alrededor de su eje (comparando, naturalmente, las llamadas velocidades angulares y no las velocidades lineales). Por esto, un barco ordinario, que haga 25 á 30 km/h, puede, incluso en las latitudes medias, «adelantar a la Luna».

Mark Twain menciona este fenómeno en uno de sus ensayos «Innocents Abroad» (Inocentes en el Extranjero). Durante la travesía del Atlántico, desde Nueva York a las Azores «hacía un magnífico tiempo estival, y las noches eran mejores aún que los días. Durante ellas observábamos un fenómeno extraño: la Luna aparecía cada noche a una misma hora y en un mismo lugar del firmamento. La causa de este original comportamiento de la Luna fue para nosotros un misterio al principio, pero después la comprendimos. Era que íbamos avanzando a razón de 20 minutos de longitud geográfica por hora, es decir, a una velocidad suficiente para que no nos adelantase la Luna.»

Una Milésima De Segundo

Para los que estamos acostumbrados a medir el tiempo de la forma usual, una milésima de segundo es igual a cero.



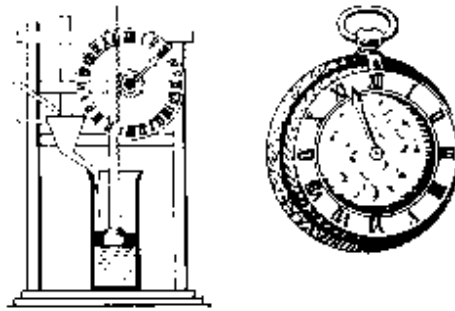
Determinación de la hora por la posición del Sol en el cielo (a la izquierda) y por la longitud de las sombras (a la derecha).

Estos intervalos de tiempo empezaron a utilizarse en la práctica hace poco relativamente. Cuando el tiempo se determinaba por la altura del Sol o por la longitud de las sombras, no podía hablarse ni siquiera de minutos de exactitud.

Se consideraba que un minuto era una magnitud demasiado pequeña para que hubiera necesidad de medirla. En la antigüedad, la vida del hombre no era apresurada y sus relojes, de sol, de agua o de arena, carecían de divisiones especiales para contar los minutos. Hasta principios del siglo XVIII los relojes no tenían minutereros. Pero a comienzos del siglo XIX aparece ya hasta el segundero.

¿Qué puede ocurrir en una milésima de segundo? ¡Muchas cosas! Es verdad que, en este tiempo, un tren solamente puede avanzar unos tres centímetros, pero el sonido recorre ya 33 cm; un avión, cerca de medio metro; la Tierra, en este intervalo de tiempo, recorre 30 m de su órbita alrededor del Sol, y la luz, 300 km.

*Reloj de agua (a la izquierda)
que se utilizó en la antigüedad. A
la derecha un antiguo reloj de
bolsillo. Tanto el uno como el
otro carecen de minuterero*



Los pequeños seres que nos rodean, si pudieran razonar, probablemente no considerarían insignificante el intervalo de tiempo que representa una milésima de segundo. Para los insectos, este espacio de tiempo es perfectamente apreciable. Un mosquito bate sus alas 500-600 veces por segundo, es decir, una milésima de segundo es suficiente para que suba o baje las alas.

El hombre es incapaz de hacer con sus extremidades movimientos tan rápidos. El más rápido de los movimientos humanos es el parpadeo o «abrir y cerrar de ojos», el cual se realiza con tanta rapidez, que ni lo notamos con la vista. No obstante, son pocos los que saben que este movimiento, sinónimo de rapidez «insuperable», si se mide en milésimas de segundo resulta bastante lento. Según los datos aportados por mediciones precisas, un «abrir y cerrar de ojos» dura, aproximadamente, 215 milésimas de segundo, es decir, 400 milésimas de segundo. El parpadeo consta de las siguientes fases: el descenso del párpado (que dura 75-90 milésimas de segundo), el tiempo en que el ojo permanece cerrado (130-170 milésimas de segundo) y la elevación del párpado (cerca de 170 milésimas de segundo). Como puede verse, un «abrir y cerrar de ojos», en el sentido literal de la expresión, es un espacio de tiempo bastante considerable, durante el cual, el párpado puede hasta descansar. Y si pudiéramos percibir aisladamente, impresiones de una milésima de segundo de duración, en un «abrir y cerrar de ojos» distinguiríamos perfectamente los dos suaves movimientos del párpado, separados entre sí por una pausa.

Si nuestro sistema nervioso funcionase en estas condiciones, el mundo que nos rodea nos parecería completamente distinto. El escritor inglés Wells, en su cuento «Un acelerador ultramoderno», describe los cuadros tan extraños que en este caso se ofrecerían a nuestra vista. Los protagonistas de este cuento beben una mixtura fantástica, cuya influencia sobre el sistema nervioso hace que los sentidos puedan percibir, por partes, fenómenos que se realizan con rapidez. He aquí algunos ejemplos tomados de este cuento:

- ¿Ha visto usted alguna vez que una cortina se quede sujeta a su ventana de esta forma?

Me fijé en la cortina y vi que parecía inmóvil, y que uno de sus ángulos, que el viento había levantado, seguía así.

- No, nunca - dije yo -. ¡Qué extraño!

- ¿Y esto? - me dijo él, al mismo tiempo que abría la mano con que sostenía el vaso.

Yo pensé que el vaso caería y se haría añicos, pero ni se movió, se quedó inmóvil, como si estuviera colgado en el aire.

- Usted sabe, naturalmente - dijo Gibbern -, que los objetos al caer recorren 5 m en el primer segundo. El vaso también recorre ahora estos 5 m; pero, comprenda usted, aún no ha transcurrido ni una centésima de segundo¹. Esto le dará idea de la fuerza de mi «acelerador».

El vaso bajaba despacio. Gibbern pasó su mano alrededor de él, por encima y por debajo...

Yo miré por la ventana y vi un ciclista, inmóvil en su sitio, seguido por una nube de polvo, también inmóvil, el cual intentaba alcanzar a una carretela, que tampoco avanzaba ni una pulgada.

... Nos llamó la atención un ómnibus, absolutamente petrificado. La parte superior de las ruedas, las patas, de los caballos, el extremo del látigo y el maxilar inferior del cochero (que en este instante comenzó a bostezar), se movían, aunque muy despacio; mientras que todas las demás partes de este extraño carruaje permanecían inmóviles. Las personas que iban en él parecían estatuas.

... Un hombre se había quedado pasmado en el preciso momento en que se esforzaba por doblar un periódico azotado por el viento. Pero un viento que no existía para nosotros.

... Todo lo que dije, pensé o hice desde que ingerí el «acelerador», se realizó en un «abrir y cerrar de ojos» de las demás personas y de todo el universo».

Al lector quizá le interese saber cuál, es el menor intervalo de tiempo que puede medirse con los medios de que dispone la ciencia moderna. A comienzos de siglo, este intervalo era igual a una diezmilésima de segundo; pero en la actualidad los físicos pueden medir en sus laboratorios hasta cienmilmillonésimas (1/100.000.000.000) de segundo. Aproximadamente, puede decirse, que este espacio de tiempo es menor que un segundo, ¡tantas veces como un segundo es menor que 3.000 años!

La Cámara Lenta

Cuando Wells escribió «Un acelerador ultramoderno», lo más probable es que no pensara que algo semejante podría realizarse jamás. No obstante, vivió lo suficiente para ver con sus propios ojos, aunque solamente en la pantalla, escenas como aquellas que creó su fantasía. La llamada «cámara lenta» muestra en la pantalla, con ritmo retardado, muchos fenómenos que, generalmente, se desarrollan muy de prisa. La «cámara lenta» no es más que un tomavistas que efectúa, no 24 exposiciones por segundo, como los aparatos ordinarios, sino muchas más.

Cuando las escenas tomadas con 61 se proyectan en la pantalla, haciendo pasar la película a la velocidad normal de 24 cuadros por segundo, el observador ve los movimientos «alargados», es decir, realizándose un número proporcional de veces más despacio que lo normal.

El lector habrá tenido, seguramente, ocasión de ver en la pantalla saltos extraordinariamente lentos y otros movimientos retardados. Con aparatos de este tipo, pero más complicados, se consigue retardar aún más los procesos, de forma, que casi puede reproducirse lo descrito por Wells.

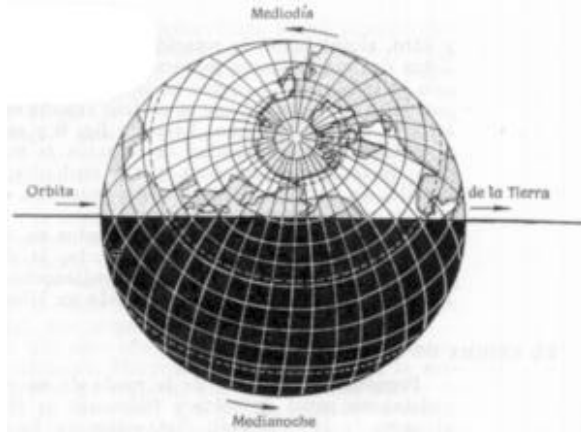
¿Cuándo nos Movemos mas deprisa Alrededor del Sol, de Día o de Noche?

¹ Hay que tener presente que, durante la primera centésima parte del primer segundo, el cuerpo no recorre la centésima parte de los 5 m, sino únicamente la diezmilésima parte de los mismos (según la fórmula $S=1/2gt^2$, es decir, medio milímetro, y durante la primera milésima de segundo, nada más que 1/100 mm

En una ocasión, los periódicos parisinos publicaron un anuncio según el cual, por 25 céntimos, se ofrecía dar a conocer un procedimiento de viajar barato y sin el menor cansancio.

No faltaron crédulos que enviaron sus 25 céntimos. Cada uno de ellos recibió por correo una carta en la que se decía:

«Ciudadano, quédese usted en su casa tranquilamente y recuerde que la Tierra da vueltas. Encontrándose en el paralelo de París, es decir, en el 49, usted recorre cada día 25 000 km. Si gusta disfrutar vistas pintorescas, abra los visillos de su ventana y contemple el cuadro conmovedor del firmamento.»



En el hemisferio de la Tierra en que es de noche, la gente se mueve más deprisa alrededor del Sol que en el que es de día.

El autor del anuncio fue juzgado por estafa, y cuando lo leyeron la sentencia y pagó la multa correspondiente, dicen que adoptó una postura dramática y repitió solemnemente la célebre frase de Galileo:

- Eppur, si muove!²

En cierto sentido, el acusado llevaba razón, ya que cada habitante de la esfera terrestre, no sólo «viaja» al girar ésta alrededor de su eje, sino también, y con mayor, velocidad, al realizar la Tierra su movimiento de traslación alrededor del Sol. Nuestro planeta, con todos sus habitantes, recorre en el espacio 30 km *por segundo*, además de girar alrededor de su eje.

A propósito de esto se puede hacer una pregunta interesante: ¿cuándo nos movemos más deprisa alrededor del Sol, de día o de noche?

Esta pregunta puede parecer extraña, puesto que, en todo momento, mientras en un lado de la Tierra es de día, en el otro es de noche. Entonces, ¿qué sentido puede tener dicha pregunta? Al parecer, ninguno.

Sin embargo, no es así. El quid está en que lo que se pregunta no es cuándo la Tierra en su conjunto se traslada más deprisa, sino cuándo nos trasladamos más deprisa entre las estrellas nosotros, es decir, sus habitantes. Así formulada no se trata de una pregunta sin sentido, porque dentro del sistema solar nosotros tenemos dos movimientos: uno de traslación alrededor del Sol y otro, simultáneo, de rotación alrededor del eje de la Tierra. Estos dos movimientos se combinan, pero cuando nos encontramos en el hemisferio en que es de día, el resultado de esta combinación es diferente del que se obtiene cuando estamos en el hemisferio en que es de noche. Véase la anterior y se comprenderá, que a medianoche, la velocidad de rotación *se suma* a la de traslación de la Tierra, mientras que a mediodía, al revés, *se resta* de ella. Es decir, *a medianoche nos movemos, en el sistema solar, más deprisa que a mediodía.*

² ¡Y sin embargo, se mueve!

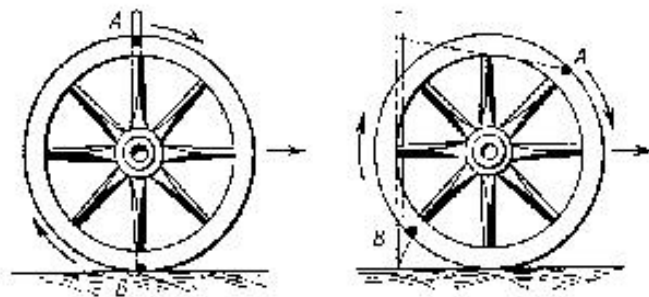
Como quiera que los puntos situados en el ecuador recorren cerca de medio kilómetro por segundo, la diferencia entre las velocidades correspondientes a la medianoche y al mediodía, en la zona ecuatorial, llega a ser de todo un kilómetro por segundo.

El Enigma de la Rueda del Carro

Peguemos a la llanta de la rueda de un carro (o de una bicicleta) un papel de color y fijémosnos en él cuando se mueva el carro (o la bicicleta). Notaremos un fenómeno extraño: al girar la rueda, el papel se ve bastante bien mientras se encuentra en la parte inferior de la misma, pero su paso por la parte superior es tan fugaz, que no da tiempo a distinguirlo.

Da la sensación de que la parte superior de la rueda se mueve más deprisa que la inferior. Este mismo fenómeno se puede observar comparando entre sí los radios superiores o inferiores de las ruedas de cualquier carruaje. Se notará que los radios superiores se corren y confunden, como si formaran uno solo y continuo, mientras que los inferiores se distinguen aisladamente. En este caso también parece que la parte superior de la rueda se mueve más deprisa que la inferior.

¿En qué consiste el secreto de este fenómeno tan extraño? Muy sencillo; en que la parte superior de la rueda *se mueve efectivamente más deprisa que la inferior*. Este hecho parece inverosímil a primera vista, pero bastará un simple razonamiento para convencernos de su realidad. Es el caso, que cada punto de la rueda realiza simultáneamente dos movimientos: uno de rotación, alrededor de su eje, y otro de avance, junto con este mismo eje. Tiene lugar, pues, lo mismo que en el caso de la esfera terrestre, una combinación de dos movimientos, pero el resultado de esta combinación es diferente para las partes inferior y superior de la rueda. En la parte superior, el movimiento de rotación de la rueda *se suma* al de avance, ya que estos dos movimientos van en el mismo sentido. En la parte inferior, al revés, el movimiento de rotación tiene dirección *contraria* al de avance y, por consiguiente, *se resta* de este último. He aquí por qué la parte superior de la rueda se mueve más deprisa, con relación a un observador fijo, que la parte inferior de la misma. Para demostrar que esto efectivamente es así, puede hacerse un sencillo experimento. Hinquemos un palo junto a la rueda de un carro parado, de manera, que quede frente al eje de aquélla.



Demostración de que la parte superior de la rueda se ve más deprisa que la inferior. Compárese la distancia entre los puntos A y B de la rueda móvil (dibujo de la derecha) con respecto al palo fijo

En la parte más alta y más baja de la rueda, hagamos con tiza unas señales de referencia. Estas señales se encontrarán también enfrente del palo. Hecho esto, desplazemos el carro hacia la derecha, hasta que el eje de la rueda se aleje del palo unos 20 ó 30 centímetros, y observemos cómo se han desplazado las señales de referencia. Está claro, que la señal superior A ha experimentado un avance mucho mayor que el de la señal inferior B, la cual apenas si se ha separado del palo.

El Punto De La Rueda Que Se Mueve Mas Despacio

Como hemos visto, no todos los puntos de la rueda se mueven a igual velocidad. Pero, ¿cuál es la parte de la rueda que se mueve más despacio?

Se comprende fácilmente, que los puntos de la rueda que se mueven más despacio son aquellos que en el momento dado están en contacto con el suelo. Hablando con propiedad, en el momento de su contacto con el suelo, los puntos de la rueda se encuentran totalmente inmóviles.

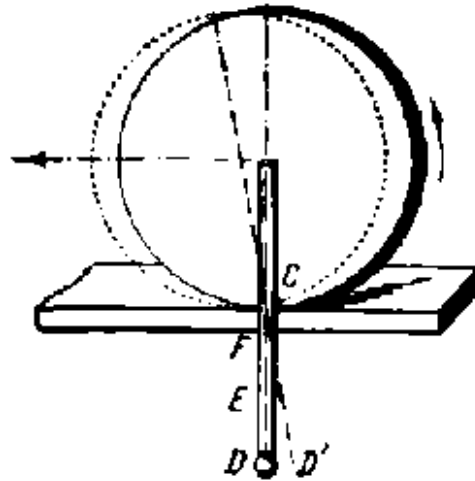
Todo lo que hemos dicho hasta ahora se refiere exclusivamente a las ruedas *que ruedan*, y no a aquellas que solamente giran sobre un eje fijo. Los puntos de la llanta de una rueda volante, por ejemplo, estén en su parte superior o inferior, se mueven a una misma velocidad.

Este Problema no es de Broma

He aquí otro problema no menos curioso:

Un tren va, por ejemplo, de Leningrado a Moscú, ¿puede tener este tren puntos que, con relación a la vía, se muevan al contrario, es decir, de Moscú a Leningrado?

Fig. 8. Experimento con un objeto redondo y una cerilla. Cuando el objeto rueda hacia la izquierda, los puntos F, E y D, de la parte sobresaliente de la cerilla, se mueven en sentido contrario



Resulta que sí, que en cada momento, y en cada una de las ruedas, hay puntos de éstos. Pero, ¿dónde se encuentran?

Todos sabemos que las ruedas de ferrocarril tienen en sus bandajes un reborde saliente. Pues bien, cuando el tren se mueve, el punto inferior de este reborde no se desplaza hacia adelante, sino ¡hacia atrás! Este hecho es fácil de comprobar haciendo el siguiente experimento. Tomemos un objeto redondo cualquiera, por ejemplo, una moneda o un botón, y sujetemos a él, con un poco de cera, un palillo o una cerilla, de tal forma, que, coincidiendo con la dirección de su radio, sobresalga bastante de su borde.

Si apoyamos este objeto redondo (fig. 8) sobre el canto de una regla, en el punto C, y comenzamos a rodarlo de derecha a izquierda, tendremos, que los puntos F, E y D de la parte sobresaliente no se desplazarán hacia adelante, sino hacia atrás. Cuanto más lejos esté el punto del borde del objeto redondo, tanto mejor se notará su desplazamiento hacia atrás al rodar aquél (el punto D ocupará la posición D').

Los puntos de los rebordes de las ruedas de ferrocarril se mueven de igual manera que la parte sobresaliente de la cerilla antedicha. Sabiendo esto, no debe llamarnos la atención, que en un tren haya puntos que se mueven, no hacia adelante, sino hacia atrás.

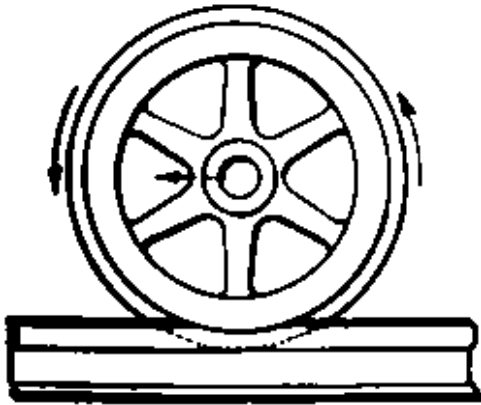
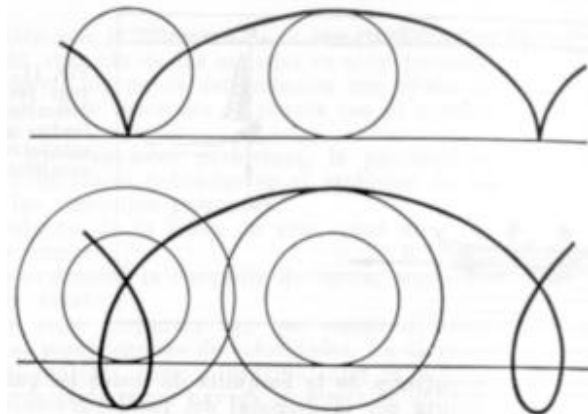


Fig. 10. Arriba se representa la curva («cicloide») que describe al girar cada uno de los puntos de la llanta de una rueda de carro. Abajo, la curva que describe cada punto exterior del reborde de una rueda de ferrocarril.

Fig. 9. Cuando la rueda de ferrocarril avanza hacia la izquierda, la parte inferior de su reborde se mueve hacia la derecha, es decir, en dirección contraria



Es verdad, que este movimiento dura una insignificante fracción de segundo; pero sea como fuere, y en contra de lo que generalmente nos parece, este movimiento, contrario a la dirección del tren, existe.

Todo lo dicho se explica gráficamente en las fig. 9 y 10.

¿De Donde Partió La Barca?

Supongamos que una barquilla de remos navega por un lago y que la flecha a (fig. 11) representa el sentido y la velocidad de su movimiento.

Supongamos también, que, al encuentro de esta barquilla, y perpendicularmente a su rumbo, viene una barca de vela y que la flecha b representa su dirección y velocidad. Si le preguntasen al lector de qué sitio partió la barca de vela, respondería en el acto que del punto M de la costa. Pero si lo hiciéramos esta misma pregunta a los tripulantes de la barca de remos, nos indicarían un punto completamente distinto. ¿Por qué?

Porque para estos tripulantes, la barca de vela no avanza en ángulo recto a la dirección que sigue la suya. Ellos no se dan cuenta de su propio movimiento. Al contrario, a ellos les parece que están fijos en un sitio, mientras que todo lo que hay a su alrededor se mueve, con la velocidad que ellos llevan, y en sentido contrario.



Fig. 11. La barca de vela navega perpendicularmente a la dirección de la de remos. Las flechas a y b indican las velocidades respectivas. ¿Qué ven los pasajeros de la barca de remos

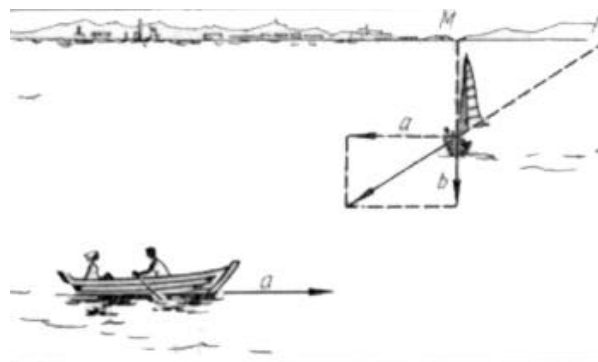


Fig. 12. A los pasajeros de la barca de remos les parece que el avance de la de vela es oblicuo, y no perpendicular a su propia dirección, y que partió del punto N, en vez del M

Por esta razón, para ellos, la barca de vela, además de avanzar en la dirección de la flecha b, lo hace en la dirección que indica la línea de puntos a, contraria a la de la barquilla de remos (fig. 12). Estos dos movimientos de la barca de vela, es decir, el real y el aparente, se combinan de acuerdo con la regla del paralelogramo. Como resultado de esta combinación, a los tripulantes de la barquilla de remos les parece, que la de vela avanza por la diagonal del paralelogramo construido sobre los lados b y a. He aquí por qué estos tripulantes se figuran que dicha barca no partió del punto M de la costa, sino de otro punto de la misma, N, que se encuentra bastante más adelante que el primero, en la dirección que sigue su propia barca (fig. 12).

Al movernos junto con la Tierra, siguiendo su órbita, y encontrarnos con los rayos de luz de las estrellas, juzgamos erróneamente sobre la posición que ocupan los puntos de procedencia de estos rayos, de la misma manera que los tripulantes de la barca de remos se equivocaban al determinar el sitio de partida de la barca de vela. Por esto, nos parece que las estrellas están un poco desplazadas hacia adelante, siguiendo la trayectoria de la Tierra. Claro, que como la

velocidad de traslación de la Tierra es insignificante en comparación con la velocidad de la luz (10 000 veces menor), la desviación aparente de las estrellas es muy pequeña. No obstante, esta desviación puede determinarse con ayuda de aparatos astronómicos. Este fenómeno se conoce con el nombre de aberración de la luz.

Si al lector le interesan estos problemas, le proponemos, que, sin variar las condiciones indicadas en el problema de las barcas, conteste a las siguientes preguntas:

1) Para los tripulantes de la barca de vela, ¿qué dirección seguirá la barca de remos?

2) ¿Hacia dónde se dirigirá la barquilla de remos, según los tripulantes de la de vela? .

Para contestar a estas preguntas hay que construir, sobre la línea a (fig. 12), el paralelogramo de velocidades. La diagonal de este paralelogramo indicará, como a los tripulantes de la barca de vela les parece, que la de remos navega en dirección oblicua, como si quisiera atracar a la costa.

Capítulo Segundo

La Gravedad y el Peso la Palanca, la Presión

¡Levántese!

Si lo dijéramos a alguien: «Ahora se sentará usted en esa silla de tal manera, que, sin estar atado, no podrá levantarse», lo más probable es que lo tomase a broma.

Pero hagamos la prueba. Sentémonos como indica la fig. 13, es decir, con el cuerpo en posición vertical y sin meter las piernas debajo de la silla e intentemos ponernos de pie, sin cambiar la posición de las piernas y sin echar el cuerpo hacia adelante.



Fig. 13 En esta postura es imposible levantarse de la silla.

¿Qué, no hay manera? Por más que tensemos nuestros músculos, no conseguiremos levantarnos de la silla, mientras no pongamos los pies debajo de ella y no inclinemos el cuerpo hacia adelante.

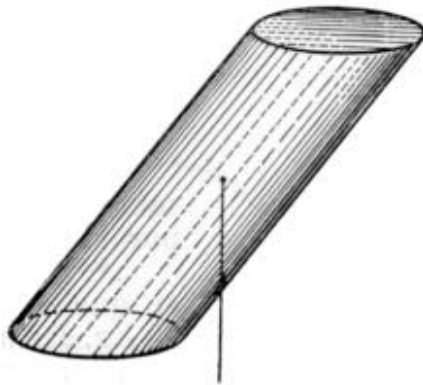
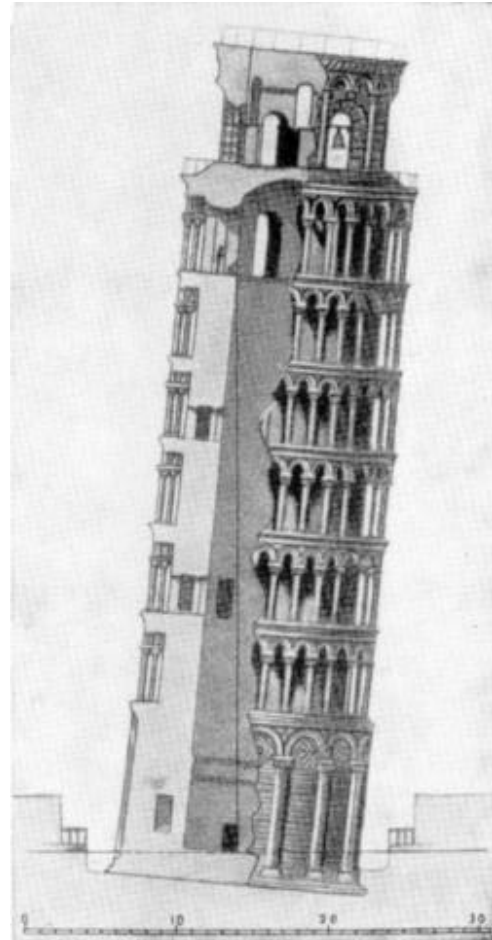


Fig. 14. Este cilindro debe volcarse, puesto que la vertical de su centro de gravedad no pasa por la base.

Para comprender por qué ocurre esto, tendremos que hablar un poco del equilibrio de los cuerpos en general y del equilibrio del cuerpo humano en particular. Para que un objeto cualquiera colocado verticalmente no se vuelque, es necesario que la vertical que pasa por su centro de gravedad no se salga fuera de la base de dicho objeto. Por esta razón, el cilindro inclinado de la fig. 14 tiene que volcarse. Pero si este mismo cilindro fuera tan ancho, que la vertical trazada por su centro de gravedad no se saliera de los límites de su base, no se volcaría.



Figuras 15 a y 15 b

Las llamadas torres inclinadas de Pisa, Bolonia o Arcángel (fig. 15) no se caen, a pesar de su inclinación, porque la vertical de sus centros de gravedad no rebasa los límites de sus bases (otro motivo, pero de segundo orden, es la profundidad a que sus cimientos se hunden en tierra).

Una persona puesta de pie no se cae, mientras la vertical de su centro de gravedad está comprendida dentro de la superficie limitada por los bordes exteriores de las plantas de sus pies (fig. 16). Por esto es tan difícil mantenerse sobre un solo pie y aún más sobre guardar el equilibrio en el alambre, ya que en estas condiciones la base es muy pequeña y la vertical del centro de gravedad puede rebasar sus límites fácilmente. ¿Os habéis fijado en la manera de andar que tienen los "lobos de mar»? Pues se explica, porque toda su vida la pasan en el barco, cuyo suelo se balancea y hace que la vertical de sus centros de gravedad pueda salirse en cualquier momento de los límites del espacio limitado por las plantas de sus pies.

Por esto, los marineros adquieren la costumbre de andar de manera que su cuerpo tenga la mayor base posible, es decir, separando mucho los pies. De esta forma consiguen tener la estabilidad necesaria cuando están en la cubierta de su barco y ésta se balancea, pero, como es natural, esta costumbre de andar la conservan cuando lo hacen por tierra firme.

Podemos citar ejemplos de lo contrario, es decir, de cómo la necesidad de guardar el equilibrio obliga a adoptar bellas posturas. Adviértase el aspecto elegante que tienen las personas que llevan algún peso sobre la cabeza (un cántaro, por ejemplo).

Fig. 16. Cuando una persona está en pie, la vertical de su centro de gravedad pasa por la superficie limitada por las plantas de sus pies.



Para poder llevar este peso hay que mantener la cabeza y el cuerpo derechos, ya que la más pequeña inclinación representa un peligro de que el centro de gravedad (que en estos casos se encuentra más alto que de ordinario) se desplace y se salga del contorno de la base del cuerpo, con lo cual la figura perderá el equilibrio.

Volvamos a ocuparnos ahora del experimento con la persona sentada que no puede ponerse en pie. El centro de gravedad de una persona sentada se encuentra dentro de su cuerpo, cerca de la columna vertebral y a unos 20 centímetros sobre el nivel del ombligo. Si trazamos desde este punto una vertical hacia abajo, esta línea pasará por debajo de la silla y más atrás que las plantas de los pies. Pero para que esta persona pueda levantarse, la línea en cuestión deberá pasar entre dichas plantas.

Es decir, que para levantarnos tenemos que echar nuestro cuerpo hacia adelante, desplazando así nuestro centro de gravedad en esta misma dirección, o correr los pies hacia atrás, para hacer que el punto de apoyo se encuentre debajo del centro de gravedad. Esto es lo que generalmente hacemos cuando nos levantamos de una silla. Pero cuando no se nos permite ni lo uno ni lo otro, como en el caso del experimento anteriormente descrito, es muy difícil levantarse.

Andar y Correr

Lo que hacemos decenas de millares de veces cada día, durante toda la vida, son cosas bien sabidas. Esta es la opinión general, pero no siempre es justa. Un buen ejemplo, que confirma lo dicho, lo tenemos en el andar y el correr. ¿Qué podemos saber mejor que estos dos tipos de movimiento? Sin embargo, ¿son acaso muchas las personas que tienen una idea clara de cómo se desplaza nuestro cuerpo al andar y al correr y de la diferencia que hay entre estos dos tipos de movimiento? Veamos lo que dice sobre el andar y el correr la fisiología¹. Para la mayoría de los lectores esta descripción será algo completamente nuevo.

«Supongamos que un hombre descansa sobre uno de sus pies, por ejemplo, sobre el derecho. Figurémonos ahora que este hombre levanta el talón, al mismo tiempo que inclina el cuerpo hacia

¹ El trozo que citamos a continuación está tomado de las «Conferencias sobre zoología» del profesor Paul Bier; las ilustraciones han sido añadidas por el autor.

adelante². En esta situación, la perpendicular bajada desde su centro de gravedad se sale, lógicamente, de la superficie básica de apoyo y el hombre debe caerse también hacia adelante.



Fig. 17. Así anda el hombre. (Posiciones sucesivas del cuerpo al andar.)

Pero en cuanto se inicia esta caída, la pierna izquierda, que está en el aire, se adelanta rápidamente y va a posarse en el suelo por delante de la perpendicular del centro de gravedad, de forma, que ésta queda dentro de los límites de la superficie comprendida entre las líneas que unen entre sí los puntos de apoyo de ambos pies. De esta manera se restablece el equilibrio y el hombre termina de dar un paso.

El peatón puede pararse en esta posición, aunque es bastante incómoda. Pero si quiero seguir avanzando, inclina aún más su cuerpo hacia adelante, traslada la perpendicular de su centro de gravedad fuera de los límites de la superficie de apoyo y, en el momento en que siente el peligro de caerse, vuelve a lanzar hacia adelante la pierna correspondiente, es decir, la derecha, dando así un nuevo paso, etc.

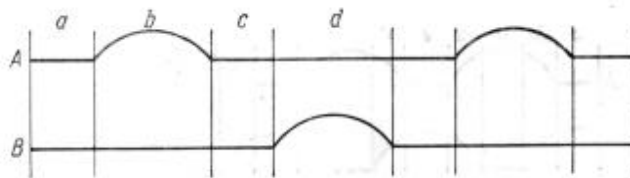


Fig. 18. Representación gráfica del movimiento de los pies al andar. La línea superior (A) corresponde a un pie; la inferior (B), al otro. Las partes rectas representan los momentos en que el pie se apoya en el suelo; los arcos, los momentos en que el pie se mueve sin apoyarse en ninguna parte. En este gráfico puede verse, como durante el período de tiempo a ambos pies se apoyan en el suelo; durante b, el pie A está en el aire, mientras que pie B sigue apoyándose en el suelo; durante c, otra vez se apoyan ambos pies. Cuanto más deprisa se ande, más cortos serán los intervalos a y c (compárese con el gráfico del movimiento de los pies al correr).

Por consiguiente, el andar no es más que una sucesión de caídas hacia adelante, las cuales se evitan a su debido tiempo trasladando la pierna que se había quedado atrás y apoyándose en ella.

² En este momento, el pie del peatón, al desprenderse de la superficie en que se apoya, ejerce sobre ella una presión complementaria de cerca de 20 kg. De aquí se deduce que las personas que andan, presionan más sobre la tierra que las que están paradas. - Y.P.

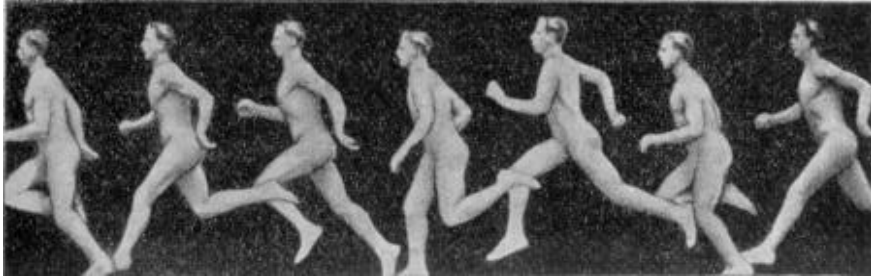


Fig. 19. Así corre el hombre. (Posiciones consecutivas del cuerpo durante la carrera; Obsérvese que en algunos momentos ambos pies están en el aire.)

Examinemos más de cerca este proceso. Supongamos que se ha dado el primer paso. En este momento el pie derecho está aún en contacto con el suelo y el izquierdo acaba de posarse en él. Pero si el paso no ha sido demasiado corto, el talón derecho debe haberse levantado, ya que este levantamiento del talón es el que obliga al cuerpo a inclinarse hacia adelante y a perder el equilibrio. Al dar el paso, lo primero que toca el suelo es el talón del pie izquierdo. Más tarde, cuando toda la planta de este pie se sienta en el suelo, el pie derecho se levanta y queda totalmente en el aire. Al mismo tiempo, la pierna izquierda, que estaba algo doblada por la rodilla, se endereza, al contraerse el músculo anterior del muslo (cuadríceps crural), y momentáneamente toma la posición vertical.

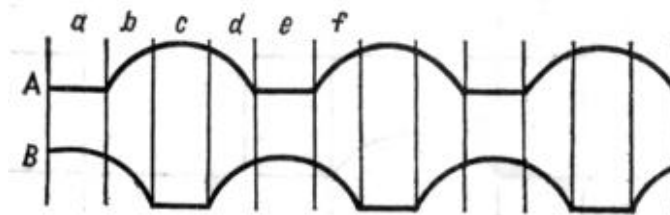


Fig. 20. Representación gráfica del movimiento de los pies al correr (compárese con la Fig. 18). Este gráfico muestra cómo hay algunos momentos (b, d, f) en que la persona que corre tiene ambos pies en el aire. En esto consiste la diferencia entre correr y andar.

Esto permite a la pierna derecha, que está medio doblada, desplazarse hacia adelante sin tocar el suelo, y, siguiendo el movimiento del cuerpo, posar su talón en el preciso momento en que comienza el paso siguiente.

Con esto, comienza una nueva serie de idénticos movimientos con la pierna izquierda, la cual, en este momento, se apoya en tierra solamente con los dedos y poco después tiene que levantarse y quedar suspendida en el aire.

El correr se distingue del andar, en que la pierna que se apoya en el suelo, mediante una contracción instantánea de sus músculos, se extiende con energía y lanza todo el cuerpo hacia adelante, de forma, que este último queda durante un momento totalmente separado de la tierra. Después, vuelve a caer sobre la otra pierna, la cual, mientras el cuerpo se encontraba en el aire, se trasladó rápidamente hacia adelante. Es decir, la carrera consta de una serie de saltos de una pierna a otra».

En cuanto a la energía que emplea el hombre al ir andando por un camino horizontal, no es igual a cero, como piensan algunos, ya que el centro de gravedad del cuerpo del peatón se desplaza hacia arriba en varios centímetros cada vez que éste da un paso. Se puede calcular, que el trabajo que se realiza al andar por un camino horizontal, es igual a cerca de una quinceava parte del que se necesitaría para elevar el cuerpo del peatón a una altura igual al camino recorrido.

¿Cómo hay que Saltar de un Vagón en Marcha?

Si hacemos esta pregunta a cualquier persona, nos contestará, con toda seguridad: "Hacia adelante, en la dirección del movimiento del vagón, de acuerdo con la ley de la inercia". Pero si insistimos en que nos diga más concretamente, qué tiene que ver con esto la ley de la inercia, es fácil adivinar lo que ocurrirá con nuestro interlocutor: empezará a demostrarnos su idea con toda seguridad; pero si no le interrumpimos, no tardará en detenerse perplejo. Resulta, que, a causa de la inercia, hay que saltar ¡hacia atrás!, es decir, contra la dirección que lleva el vagón.

Efectivamente, la ley de la inercia juega en este caso un papel secundario, mientras que el motivo principal es otro. Si nos olvidamos de este motivo principal, llegaremos a la conclusión de que siempre hay que saltar hacia atrás y nunca hacia adelante.

Sin embargo, supongamos que tenemos que saltar en marcha, ¿qué ocurrirá entonces?

Cuando saltamos del vagón en marcha, nuestro cuerpo, al separarse de aquél, tiene su misma velocidad (es decir, se mueve por inercia) y tiende a seguir moviéndose hacia adelante. Si saltamos en esta dirección, en vez de anular la velocidad adquirida, la aumentaremos.

De aquí se deduce que hay que saltar hacia atrás y no hacia adelante. Porque al saltar hacia atrás, la velocidad que recibimos del salto se resta de la velocidad a que nuestro cuerpo se mueve por inercia y, por consiguiente, la fuerza que tiende a tirar nuestro cuerpo cuando éste toca el suelo, será menor.

No obstante, siempre que hay que saltar de algún vehículo en marcha, todo el mundo lo hace hacia adelante, es decir, en la dirección que lleva el vehículo. Indiscutiblemente, éste es el mejor procedimiento y, además, está tan bien comprobado, que aconsejamos seriamente a nuestros lectores, que no intenten probar los inconvenientes del salto hacia atrás.

¿Cómo se explica esto?

Esto se explica por la sencilla razón, de que la aclaración anterior no era ni justa ni completa. Porque tanto si saltamos hacia adelante, como si lo hacemos hacia atrás, nos amenaza el peligro de caernos, ya que la parte superior de nuestro cuerpo continuará moviéndose, mientras que nuestros pies, al tocar la tierra, se paran³. La velocidad con que sigue moviéndose nuestro cuerpo será mayor cuando saltamos hacia adelante. Pero lo esencial es, que caer hacia adelante es mucho menos peligroso que caer hacia atrás. En el primer caso, echaremos, como de costumbre, una pierna adelante (o si la velocidad del vehículo es grande, correremos varios pasos) y de esta forma evitaremos la caída. Este es un movimiento corriente, que practicamos constantemente al andar. Porque el andar, desde el punto de vista de la mecánica (como ya dijimos en el artículo anterior), no es más que una serie de caídas de nuestro cuerpo hacia adelante, las cuales se evitan adelantando la pierna correspondiente. Cuando nos caemos hacia atrás, este movimiento de piernas no nos puede salvar y, por lo tanto, el peligro es mayor. En último caso, también tiene importancia el hecho de que, cuando caemos hacia adelante, podemos poner las manos y hacernos menos daño que cuando caemos de espaldas.

³ En este caso, la caída puede explicarse desde otro punto de vista. (Léase «Mecánica Recreativa», cap. III, el artículo «¿Cuándo la línea horizontal no es horizontal?»)

De todo esto se deduce, que la seguridad que ofrece el salto hacia adelante se debe más a nosotros mismos que a la acción de la inercia. Está claro, que esta regla no es aplicable a los objetos inanimados: una botella lanzada de un vagón hacia adelante, es más probable que se rompa al caer que si se lanza hacia atrás.

Por esta razón, si tenéis que saltar alguna vez de un vagón en marcha, tirando previamente vuestro equipaje, deberéis lanzar éste hacia atrás y después saltar hacia adelante.

Las personas que tienen experiencia, como los cobradores y revisores de los tranvías, suelen saltar de espaldas hacia atrás. Con ello consiguen dos ventajas: una, la de disminuir la velocidad, que el cuerpo lleva por inercia, y la otra, la de evitar el peligro de caerse de espaldas, ya que saltan de cara a la dirección de la posible caída.

¡Coger con la Mano una Bala Disparada!

Durante la primera guerra mundial, según información de prensa, a un aviador francés lo ocurrió un caso extraordinario. Cuando iba volando a dos kilómetros de altura, este aviador se dio cuenta que junto a su cara se movía una cosa pequeña. Pensó que sería algún insecto, y, haciendo un ágil movimiento con la mano, lo cogió. Cuál sería su sorpresa cuando comprendió, que lo que acababa de cazar era... ¡una bala de fusil alemana!

¿Verdad que esto recuerda los cuentos del legendario barón Münchhausen, que también aseguró haber cogido una bala de cañón con las manos?

No obstante, esta noticia sobre el piloto que cogió la bala, no tiene nada de imposible.

Las balas no se mueven durante todo el tiempo con la velocidad inicial de 800-900 m por segundo, sino que, debido a la resistencia del aire, van cada vez más despacio y al final de su trayectoria, pero antes de empezar a caer, recorren solamente 40 m por segundo. Esta era una velocidad factible para los aeroplanos de entonces. Por consiguiente, la bala y el aeroplano podían volar a una misma velocidad, en un momento dado, y, en estas condiciones, aquella resultaría inmóvil o casi inmóvil con relación al piloto. Es decir, éste podría cogerla fácilmente con la mano, sobre todo con guante (porque las balas se calientan mucho al rozar con el aire).

Sandías -Bombas

Si en condiciones determinadas una bala puede resultar inofensiva, también se da el caso contrario, es decir, el de un «cuerpo pacífico», que lanzado a poca velocidad puede producir efectos destructores. Esto es lo que ocurrió cuando, durante la carrera automovilística Leningrado-Tiflis (en el año 1924), los campesinos de los pueblos del Cáucaso saludaban a los automovilistas, que junto a ellos pasaban a gran velocidad, arrojándoles sandías, melones y manzanas.



Fig. 21. Las sandías lanzadas al encuentro de los veloces automóviles se convierten en «proyectiles».

El efecto que produjeron estos inesperados obsequios fue bastante desagradable. Las sandías y los melones abollaban, hundían y hasta rompían las carrocerías de los coches, mientras que las

manzanas lesionaban seriamente a los pasajeros. La causa es comprensible. La velocidad que llevaban los automóviles se sumaba a la de las propias sandías o manzanas y convertía a éstas en peligrosos proyectiles destructores. No es difícil calcular, cómo una sandía de 4 kg, lanzada al encuentro de un automóvil que marcha a 120 km por hora, desarrolla la misma energía que una bala de 10 g de peso.

Claro que, en estas condiciones, el efecto de penetración de la sandía no puede compararse con el de la bala, ya que la primera carece de la dureza de la segunda.

Las grandes velocidades alcanzadas por la aviación a reacción han dado lugar a que, en algunos casos, los choques entre aviones y pájaros motiven averías e incluso catástrofes de aviación. Cabe preguntarse, ¿qué peligro puede representar una pajarita para una aeronave capaz de transportar decenas de pasajeros? Sin embargo, cuando el avión desarrolla velocidades de 300-500 m/seg, el cuerpo del pájaro puede perforar la cubierta metálica de aquél o los cristales de la cabina del piloto o, si acierta a entrar por la tobera del motor, inutilizarlo por completo. A causa de un choque de este tipo, en 1964, pereció el cosmonauta norteamericano Theodore Fryman, cuando realizaba un vuelo de entrenamiento en un avión a reacción. El peligro de estos encuentros se agrava por el hecho de que los pájaros no temen a los aviones y no se apartan de ellos.

Cuando dos cuerpos cualesquiera se mueven en una misma dirección y con la misma velocidad, no representan ningún peligro el uno para el otro. Cuando una bala disparada contra un avión lleva la misma velocidad que éste, como ya sabemos, es inofensiva para el piloto. El hecho de que los cuerpos que se mueven casi a la misma velocidad pueden ponerse en contacto sin golpe, fue magistralmente utilizado en 1935 por el maquinista Borshehev, el cual consiguió recibir con su tren un grupo de 36 vagones en marcha, sin que se produjera choque, y evitó así una catástrofe ferroviaria. Este suceso tuvo lugar en el ferrocarril del sur, trayecto Elnikov-Olshanka, en las siguientes condiciones: delante del tren que conducía Borshehev iba otro. Este primer tren tuvo que detenerse por falta de presión del vapor. Su maquinista, desenganchó varios vagones y siguió con ellos hacia la estación inmediata, dejando los restantes 36 vagones parados en la vía. Estos vagones quedaron sin calzar y, como el terreno era algo pendiente, comenzaron a deslizarse hacia atrás con una velocidad de 15 km por hora, amenazando chocar con el tren de Borshehev. Pero este ingenioso maquinista, se dio cuenta del peligro, paró su tren y dio marcha atrás, haciendo que, poco a poco, tomara también la velocidad de 15 km por hora. Gracias a esta maniobra, consiguió recibir los 36 vagones sobre su tren, sin que se produjera ni el menor desperfecto.

Finalmente, queremos dar a conocer un aparato basado en este mismo principio, que sirve para facilitar extraordinariamente la escritura en los trenes.

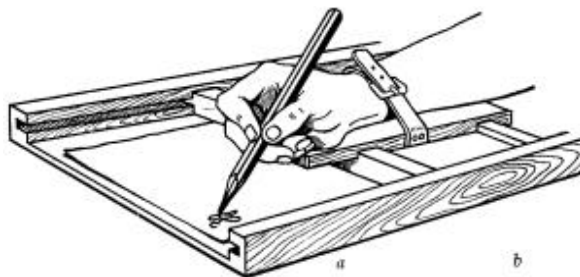


Fig. 22. Dispositivo para escribir cómodamente con el tren en marcha.

Cuando se va en tren es difícil escribir, porque el golpeteo de las ruedas del vagón en las juntas de los raíles no se transmite simultáneamente al papel y a la punta de la pluma. Si hacemos que el

papel y la pluma reciban la sacudida al mismo tiempo, conseguiremos que entre ellos exista un reposo relativo y, por consiguiente, que no sea difícil la escritura con el tren en marcha.

Esto es precisamente lo que se logra con el aparato representado en la fig. 22. La mano con la pluma se sujeta a la tablilla a, la cual puede desplazarse por unas guías sobre los listones b; estos últimos pueden deslizarse a su vez por unas ranuras que tiene la tabla que se apoya en la mesita del vagón. Como puede verse, la mano tiene suficiente libertad de movimiento para poder escribir una letra tras otra y cada renglón debajo del anterior; pero toda sacudida que recibe el papel apoyado en la tabla, se transmite inmediatamente, y con la misma fuerza, a la mano que sostiene la pluma. En estas condiciones, la escritura con el tren en marcha es tan cómoda como si el vagón estuviese parado (la única molestia que se nota, es que la vista recorre el papel a saltos, porque la cabeza no recibe las sacudidas al mismo tiempo que la mano).

En la Plataforma de la Báscula

Las básculas solamente indican con fidelidad el peso de nuestro cuerpo, cuando nos colocamos en su plataforma y permanecemos quietos completamente. Si nos agachamos, en el momento de hacerlo la balanza señala una disminución de peso. ¿Por qué? Porque los músculos que hacen flexionar la parte superior del cuerpo tiran hacia arriba de su parte inferior y disminuyen así la presión que el cuerpo ejerce sobre la superficie en que se apoya. Por el contrario, en el momento en que dejamos de agacharnos, el esfuerzo de los músculos empuja a ambas partes del cuerpo por separado y la báscula acusa un sensible aumento de peso, que corresponde al aumento de la presión que la parte inferior del cuerpo ejerce sobre la plataforma.

Hasta la simple elevación de los brazos debe determinar en las básculas sensibles una variación, la cual corresponderá a un pequeño aumento aparente del peso de nuestro cuerpo. Porque los músculos que levantan nuestros brazos se apoyan en los hombros y, por consiguiente, empujan a éstos, y a todo el cuerpo, hacia abajo, por lo que la presión sobre la plataforma aumenta. Cuando detenemos el brazo que antes levantábamos, hacemos entrar en acción los músculos antagonistas, los cuales tiran del hombro hacia arriba, tendiendo a acercarlo al extremo del brazo, con lo que el peso del cuerpo, o mejor dicho, su presión sobre la superficie de apoyo, disminuye.

Cuando bajamos el brazo ocurre contrario; en el momento; en el momento de hacerlo producimos una disminución del peso de nuestro cuerpo, mientras que en el instante en que paramos el brazo aumenta el peso. Es decir, que poniendo en acción nuestras fuerzas internas, podemos aumentar o disminuir el peso de nuestro cuerpo, siempre que por ello se entienda la presión que éste ejerce sobre la superficie en que se apoya.

¿Dónde son los Cuerpos más Pesados?

La fuerza con que la esfera terrestre atrae los cuerpos disminuye a medida que los alejamos de su superficie. Si levantásemos una pesa de a kilo a una altura de 6 400 km, es decir, si la alejásemos del centro de la Tierra hasta una distancia igual a dos radios de la misma, la fuerza de atracción disminuiría en 2^2 , es decir, en 4 veces, y esta misma pesa, colocada en una balanza de resorte (dinamómetro), sólo comprimiría su muelle hasta 250 g, en lugar de hasta 1 000. Según la ley de la gravitación universal, la esfera terrestre atrae a los cuerpos que se encuentran fuera de ella, de la misma forma que si toda su masa estuviera concentrada en el centro, y la disminución de esta fuerza atractiva es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia. En nuestro caso, la distancia desde la pesa hasta el centro de la Tierra se duplicó y, por consiguiente, la atracción disminuyó en 2^2 , es decir, en cuatro veces. Alejando la pesa hasta 12 800 km de la superficie de

la Tierra, es decir, triplicando su distancia hasta el centro de la Tierra, disminuiríamos la atracción en 3^2 , es decir, en 9 veces, y la pesa de 1 000 g sólo pesaría 111 g, y así sucesivamente. Razonando lógicamente, si hundiéramos esta misma pesa en las entrañas de la Tierra, es decir, si la aproximáramos al centro de nuestro planeta, deberíamos observar un aumento de la atracción. En las profundidades de la Tierra la pesa debería pesar más. Sin embargo, esta suposición es errónea: al profundizar en la Tierra, el peso de los cuerpos no aumenta, sino al contrario, disminuye. Esto se explica, porque, en este caso, las partículas de la Tierra que lo atraen se encuentran ahora, no por un lado del cuerpo, sino por lados distintos. Obsérvese la fig. 23. En ella se ve cómo la pesa que se encuentra en las profundidades de la Tierra es atraída hacia abajo por las partículas que se encuentran debajo de ella, pero al mismo tiempo es atraída también hacia arriba, por las partículas que se encuentran encima.

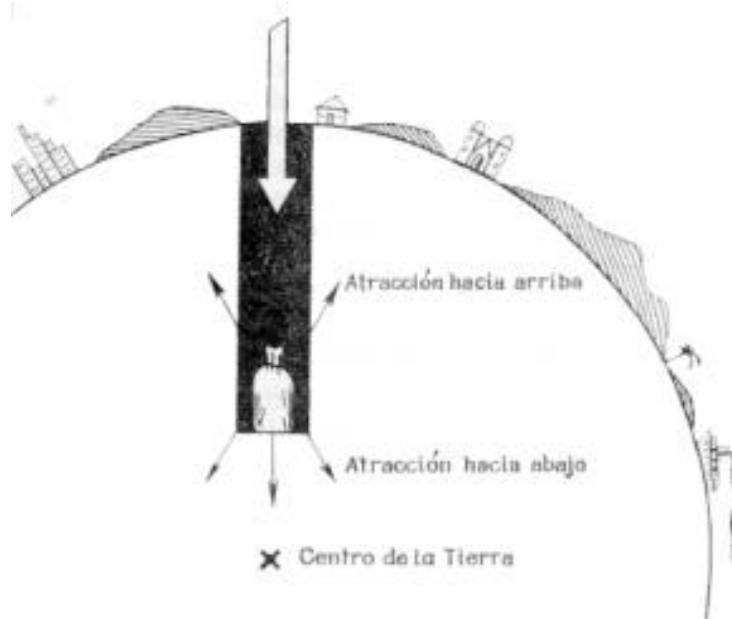


Fig. 23. Explicación de por qué al ir penetrando en la Tierra disminuye la gravedad.

Puede demostrarse, que, en fin de cuentas, solamente tiene importancia la atracción que ejerce la esfera cuyo radio es igual a la distancia que hay desde el centro de la Tierra hasta el sitio en que se encuentra el cuerpo. Por esto, a medida que el cuerpo se va introduciendo a mayor profundidad en la Tierra, su peso va disminuyendo rápidamente. Al llegar al centro de la Tierra, el cuerpo pierde su peso por completo, es decir, se hace ingrávito ya que las partículas que lo rodean lo atraen en todas direcciones con igual fuerza.

De todo lo antedicho se deduce, que donde los cuerpos pesan más, es en la misma superficie de la Tierra, y que a medida que se alejan de ella, sea hacia fuera o hacia dentro, su peso disminuye⁴.

⁴ Así ocurriría efectivamente si la esfera terrestre tuviera una densidad homogénea, pero en realidad, la densidad de la Tierra va aumentando al acercarse a su centro. Por esto, al profundizar en la Tierra, al principio hay un cierto espacio en que la fuerza de la gravedad aumenta, pero después comienza a disminuir.

¿Cuánto Pesa un Cuerpo Cuando Cae?

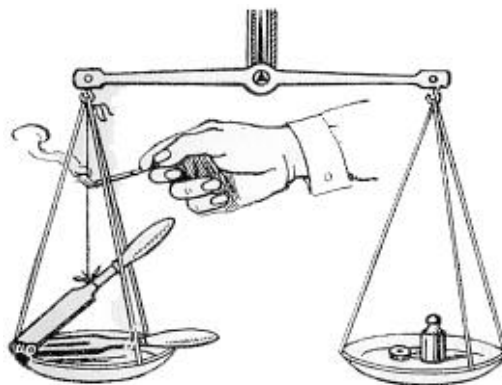
¿Habéis notado la sensación tan extraña que produce el comienzo de la bajada en un ascensor? Es algo así como la ligereza normal que siente una persona que se despeña. Esto no es, ni más ni menos, que la sensación de ingravidez. En el primer instante, cuando el suelo del ascensor comienza a descender, pero nosotros no tenemos aún una velocidad igual a la suya, nuestro cuerpo apenas si presiona sobre él y, por consiguiente, pesa muy poco. En cuanto pasa este instante, desaparece esta extraña sensación, nuestro cuerpo tiende a descender más deprisa que el ascensor (que baja con movimiento uniforme) y presiona sobre su suelo, es decir, vuelve a recobrar por completo su peso ordinario.

Colguemos una pesa del gancho de un dinamómetro y observemos hacia dónde se desvía el índice, si bajamos rápidamente la balanza con la pesa (para mayor comodidad se puede colocar un trocito de corcho en la ranura de la balanza y ver cómo varía su posición). Nos convenceremos de que, durante este rápido movimiento, el índice no marca el peso total de la pesa, sino bastante menos. Si la balanza cayera libremente y tuviésemos la posibilidad de observar el índice en estas condiciones, comprobaríamos que la pesa, durante la caída, no pesa nada en absoluto, es decir, que el índice marcaría cero.

Los cuerpos más pesados se hacen ingravidos durante su caída. No es difícil comprender por qué. Todo se reduce a que, generalmente, llamamos «peso» de un cuerpo a la fuerza con que éste tira del punto en que está colgado o presiona sobre la superficie en que se apoya. Pero cuando el cuerpo cae, no tira del muelle de la balanza, ya que ésta también cae. En estas condiciones, el cuerpo que cae ni estira ni aprieta nada. Por consiguiente, preguntar cuánto pesa un cuerpo cuando cae, es lo mismo que preguntar cuánto pesa un cuerpo ingravido.

Galileo, el fundador de la mecánica, escribía ya en el siglo XVII⁵: «Nosotros sentimos una carga sobre nuestros hombros, cuando procuramos evitar su caída. Pero si comenzamos a movernos hacia abajo con la misma velocidad que lo hace la carga que descansa sobre nuestras espaldas, ¿cómo es posible que ésta nos oprima o moleste? Esto es lo mismo que querer herir con una lanza⁶ a alguien que corriera delante de nosotros y con la misma velocidad».

Fig. 24. Experimento para demostrar la ingravidez de los cuerpos que caen.



El sencillo experimento que describimos a continuación confirma claramente estos razonamientos.

⁵ En sus «Discorsi e dimonstrazioni matematiche interno a due nuove scienze attenenti alla meceanica ed i movimenti locali».

⁶ Sin soltarla de la mano. - Y.P.

Coloquemos un cascanueces en uno de los platillos de una balanza de brazos, de forma, que una de las palancas de aquél descansa en el mismo platillo, mientras que la otra la atamos con un hilo al gancho del brazo (fig. 24). Hecho esto, pongamos en el otro platillo pesas, hasta que la balanza quede equilibrada. Si acercamos entonces una cerilla encendida al hilo, éste arderá y la palanca superior del cascanueces caerá también en el platillo.

Pero, ¿qué ocurrirá en este momento con la balanza? ¿Bajará, subirá o seguirá en equilibrio, el platillo del cascanueces, mientras cae la segunda palanca?

Ahora, cuando ya sabemos que los cuerpos que caen no pesan, podemos dar por anticipado una respuesta acertada a esta pregunta: el platillo subirá durante un momento.

Efectivamente, la palanca superior del cascanueces, al caer, aunque sigue unida a él, presiona menos que cuando estaba sujeta. El peso del cascanueces disminuye durante un instante y, como es natural, el platillo sube.

De la Tierra a la Luna

Allá por los años 1865-1870 apareció en Francia la novela fantástica de Julio Verne «De la Tierra a la Luna», en la cual se expone una idea extraordinaria: la de enviar a la Luna un gigantesco proyectil tripulado, disparándolo con un cañón. Julio Verne describe su proyecto de una forma tan verosímil, que la mayoría de sus lectores se harían seguramente la pregunta: ¿no se podría realizar esta idea? Creemos que será interesante decir unas palabras sobre esto⁷.

Primero, veamos si es posible, siquiera sea teóricamente, disparar un cañón de tal manera, que el proyectil no vuelva a caer en la Tierra. La teoría admite esta posibilidad. En efecto, ¿por qué todo proyectil disparado horizontalmente por un cañón acaba cayendo en la Tierra? Porque la Tierra atrae a dicho proyectil y hace que su trayectoria se tuerza y no siga una línea recta, sino una curva dirigida hacia el suelo, que tarde o temprano acaba encontrándose con él. Es verdad que la superficie de la Tierra también es curva, pero la curvatura de la trayectoria del proyectil es mucho más cerrada. Si disminuyendo la curvatura de la trayectoria del proyectil se consigue igualarla a la curvatura de la superficie de la esfera terrestre, este proyectil no caerá nunca en la Tierra, sino que seguirá una curva concéntrica a su superficie, o dicho en otras palabras, se convertirá en satélite de la Tierra, es decir, en una nueva Luna.

Pero, ¿cómo conseguir que un proyectil, disparado por un cañón, siga una trayectoria cuya curvatura sea menor que la de la superficie terrestre? Para esto no hay más que comunicar suficiente velocidad a dicho proyectil. Prestemos atención a la fig. 25, la cual representa el corte de un sector de la esfera terrestre. El cañón se encuentra en el punto A de una montaña. Un proyectil lanzado horizontalmente por este cañón, se encontraría al cabo de un segundo en el punto B, si la Tierra no ejerciera atracción sobre él. Pero la atracción modifica este cuadro, haciendo, que al segundo de ser disparado, el proyectil se encuentre 5 m más bajo que el punto B, es decir, en el punto C. Cinco metros es el camino, que, durante el primer segundo, recorre en el vacío todo cuerpo que cae libremente cerca de la superficie de la Tierra. Si después de descender esos 5 m, nuestro proyectil se encuentra exactamente a la misma distancia de la superficie de la Tierra que cuando estaba en el punto A, quiere decir, que se mueve siguiendo una curva concéntrica a la superficie de la esfera terrestre.

⁷ Ahora, después de haber sido lanzados los primeros satélites de la Tierra (Sputnik) y los primeros cohetes cósmicos, podemos decir, que para los viajes cósmicos se emplearán cohetes y no proyectiles. No obstante, el movimiento de estos cohetes, después de cesar el impulso de la última etapa, está sometido a las mismas leyes que rigen el movimiento de los proyectiles de artillería. Por esta razón, el texto del autor no ha perdido actualidad (N. de la Edit.).

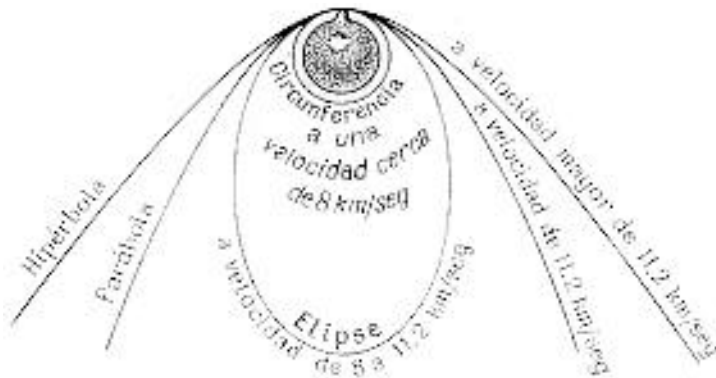
Nos queda calcular el segmento AB (fig. 25), es decir, el camino que recorre el proyectil, en dirección horizontal, durante el primer segundo, con lo cual, conoceremos la velocidad por segundo que hay que comunicarle, cuando sale del cañón, para conseguir nuestro fin. Este cálculo no es difícil si partimos del triángulo AOB, en el que OA es el radio de la esfera terrestre (cerca de 6.370.000 m); OC =OA y BC =5 m; por consiguiente, OB =6 370 005 m. Aplicando el teorema de Pitágoras, tenemos:

$$(AB)^2 = (6\ 370\ 005)^2 - (6\ 370\ 000)^2$$

Haciendo los cálculos hallamos, que AB es aproximadamente igual a 8 km.

Es decir, si no existiera el aire, que opone una gran resistencia a todo movimiento rápido, un proyectil disparado horizontalmente con velocidad inicial de 8 km/seg no caería nunca a la Tierra, sino que eternamente daría vueltas alrededor de ella como un satélite.

Fig. 26. Trayectoria del proyectil disparado con una velocidad inicial de 8 km/seg y con velocidades mayores.



¿Y si el proyectil se disparase con una velocidad todavía mayor, hacia dónde volaría? La mecánica celeste demuestra, que si un proyectil sale disparado con una velocidad de 8, 9 e incluso 10 km/seg, debe describir elipses alrededor de la Tierra, las cuales serán tanto más alargadas cuanto mayor sea la velocidad inicial. Si esta velocidad alcanza 11,2 km/seg, en lugar de elipses, el proyectil describirá una curva abierta, es decir, una parábola, y se alejará para siempre de la Tierra (fig. 26).

Por consiguiente, como acabamos de ver, teóricamente es posible llegar a la Luna en una bala de cañón, siempre que ésta sea disparada con suficiente velocidad⁸.

(Para hacer las reflexiones anteriores partimos de la suposición de que la atmósfera no dificulta el movimiento de los proyectiles. En realidad, la atmósfera ofrece una resistencia que entorpece extraordinariamente la consecución de tan grandes velocidades y que quizá las haga totalmente irrealizables.)

El Viaje a la Luna, Según Julio Verne y tal Como Tendría que Realizarse

Todo el que haya leído la citada obra de Julio Verne recordará un interesante momento del viaje, aquél en que el proyectil atraviesa el punto donde la atracción de la Tierra es igual a la de la

⁸ No obstante, se presentan dificultades de tipo completamente diferente. Este problema se examina más concretamente en el libro segundo de «Física Recreativa» y en mi libro «Viajes Interplanetarios».

Luna. En este momento ocurrió algo verdaderamente fantástico: todos los objetos que había dentro del proyectil perdieron su peso y los propios viajeros, saltaban y quedaban suspendidos en el aire sin apoyarse en ninguna parte.

Todo esto está escrito con absoluta veracidad, pero el novelista no tuvo en cuenta que esto debería ocurrir también antes y después de pasar por el punto de igual atracción. Es fácil demostrar, que tanto los pasajeros, como todos los objetos que había dentro del proyectil, tenían que encontrarse en estado de ingravidez desde el instante en que comenzó el vuelo libre.

Esto parece inverosímil, pero estoy seguro de que cada lector se asombrará ahora de que él mismo no haya descubierto antes este descuido tan importante.

Tomemos un ejemplo de esta misma novela de Julio Verne. El lector recordará cómo los pasajeros tiraron fuera el cadáver del perro y cómo ellos mismos se asombraron al ver que éste no caía a la Tierra, sino que continuaba avanzando en el espacio junto al proyectil. El novelista describe perfectamente este fenómeno y le dio una explicación acertada. Efectivamente, en el vacío, como sabemos, todos los cuerpos caen con la misma velocidad, porque la atracción de la Tierra transmite a todos ellos la misma aceleración. En nuestro caso, tanto el proyectil, como el cadáver del perro, por efecto de la atracción de la Tierra tendrían que alcanzar la misma velocidad de caída (es decir, la misma aceleración), o mejor dicho, la velocidad que adquirieron al ser disparados tendría que ir disminuyendo por igual. Por consiguiente, las velocidades respectivas, del proyectil y del cadáver del perro, tenían que ser iguales entre sí en todos los puntos de la trayectoria que siguieron, por cuya razón, al tirar dicho cadáver, éste siguió tras ellos sin quedarse atrás.

Pero he aquí, precisamente, aquello en que no pensó el novelista: si el cadáver del perro no cae a la Tierra estando fuera del proyectil, ¿por qué tiene que caer estando dentro de él? ¿No actúan acaso las mismas fuerzas en uno y otro caso? Si el cuerpo del perro se sitúa dentro del proyectil, de forma que no se apoye en ninguna parte, tiene que quedarse suspendido en el espacio, ya que tiene exactamente la misma velocidad que el proyectil y, por consiguiente, con relación a él se encuentra en reposo.

Indudablemente, todo lo que es verdad cuando nos referimos al perro, también lo es con respecto a los cuerpos de los pasajeros y, en general, con relación a todos los objetos que se encuentran dentro del proyectil, los cuales, en cada punto de la trayectoria que recorren, tienen la misma velocidad que éste y, por consiguiente, no pueden caerse aunque pierdan su punto de apoyo. Una silla que se encuentre en el suelo del proyectil en vuelo, puede ponerse patas arriba en el techo, sin temor a que caiga <hacia abajo>, ya que continuará avanzando junto con el techo. Cualquier pasajero puede sentarse en esta silla sin sentir ni la más ligera tendencia a caerse al suelo del proyectil. ¿Qué fuerza puede obligarle a caer? Si se cayera, es decir, si se aproximara al suelo, esto significaría que el proyectil avanza en el espacio a más velocidad que sus pasajeros (de lo contrario la silla no se caería). Pero esto es imposible, ya que, como sabemos, todos los objetos que hay dentro del proyectil tienen la misma aceleración que él.

Por lo visto, el novelista no se dio cuenta de esto: él pensó, que dentro del proyectil, en vuelo libre, los objetos seguirían presionando sobre sus puntos de apoyo, de la misma manera que presionan cuando el proyectil está inmóvil. Julio Verne se olvidó de que, todo cuerpo pesado presiona sobre la superficie en que se apoya, mientras esta superficie permanece inmóvil o se mueve uniformemente, pero cuando el cuerpo y su apoyo se mueven en el espacio con igual aceleración, no pueden hacer presión el uno sobre el otro (siempre que esta aceleración sea motivada por fuerzas exteriores, por ejemplo, por el campo de atracción de los planetas, y no por el funcionamiento del motor de un cohete).

Esto quiere decir, que desde el momento en que los gases cesaron de actuar sobre el proyectil, los pasajeros perdieron su peso, hasta poder nadar en el aire dentro de aquél, de la misma manera que todos los objetos que iban en el proyectil parecerían totalmente ingravidos. Este indicio podía haber servido a los pasajeros para determinar con facilidad si iban volando ya por el espacio o si seguían quietos dentro del ánima del cañón. Sin embargo, el novelista nos cuenta cómo durante la primera media hora de viaje sideral, sus pasajeros se rompían inútilmente la cabeza sin poder responderse a sí mismos, ¿volamos o no?

«- Nicholl, ¿nos movemos?»

Nicholl y Ardan se miraron. No sentían las vibraciones del proyectil.

- Efectivamente, ¿nos movemos? - repitió Ardan.

- ¿O estamos tranquilamente en el suelo de la Florida? - preguntó Nicholl.

- ¿O en el fondo del Golfo de México? - añadió Michel».

Estas dudas pueden tenerlas los pasajeros de un barco, pero es absurdo que las tengan los de un proyectil en vuelo libre, ya que los primeros conservan su peso, mientras que los segundos, es imposible que no se den cuenta de que se hacen totalmente ingravidos.

¡Qué fenómeno tan raro debía ser este fantástico proyectil! Un pequeño mundo, donde los cuerpos no pesan, y, una vez que los suelta la mano, siguen tranquilamente en su sitio; donde los objetos conservan su equilibrio en cualquier posición; dónde el agua no se derrama cuando se inclina la botella que la contiene ... El autor de «De la Tierra a la Luna» no tuvo en cuenta todo esto, y sin embargo, ¡qué perspectiva tan amplia ofrecían estas maravillosas posibilidades a la fantasía del novelista!

Los primeros en llegar al extraordinario mundo de la ingravidez, fueron los cosmonautas soviéticos. Millones de personas pudieron seguir sus vuelos por medio de la televisión y ver en sus pantallas cómo quedaban suspendidos en el aire los objetos que ellos soltaban, y cómo flotaban en sus cabinas y hasta fuera de la nave, los propios cosmonautas.

¿Cómo Pesar Bien en Balanzas Inexactas?

¿Qué es más importante para pesar bien, la balanza o las pesas?

El que piense que tan importante es una cosa como la otra, se equivoca. Se puede pesar bien, aun careciendo de balanzas exactas, siempre que se tengan a mano buenas pesas. Existen varios procedimientos de hacerlo. Examinemos dos de ellos.

El primero fue propuesto por el gran químico ruso D. Mendeleiev⁹. Según este Procedimiento, para comenzar la pesada, se coloca en uno de los platillos de la balanza un cuerpo cualquiera, con tal de que pese más que el objeto que se desea pesar. Este cuerpo se equilibra colocando pesas en el otro platillo. Hecho esto, se coloca el objeto que se desea pesar en el platillo donde están las pesas y se quitan de éste cuantas pesas sean necesarias para que se restablezca el equilibrio. El peso total de las pesas quitadas será, evidentemente, igual al peso del objeto en cuestión, ya que este objeto sustituye ahora a dichas pesas, en el mismo platillo en que ellas estaban y, por consiguiente, pesa lo mismo que ellas.

Este procedimiento, que suele denominarse «procedimiento del peso constante», es muy cómodo cuando hay que pesar sucesivamente varios objetos. En este caso el peso inicial se conserva y se emplea para todas las pesadas.

El otro procedimiento es el «de Borda», el cual debe su nombre al científico que lo propuso. Consiste en lo siguiente:

⁹ Algunos escriben equivocadamente Mendeleieff y otros Mendelejev. (N. del T.)

El objeto que se desea pesar se coloca en uno de los platillos de la balanza y se equilibra echando en el otro platillo arena o perdigones. Después, se quita del platillo el objeto (sin tocar la arena) y se colocan en su lugar pesas, hasta restablecer el equilibrio. Está claro, que, en este caso, el peso total de las pesas será igual al del objeto que sustituyen. De aquí proviene la denominación de «pesada por sustitución» que también se da a este procedimiento.

En las balanzas de resorte, que sólo tienen un platillo, también se puede emplear este procedimiento, siempre que se disponga de pesas exactas. En este caso no es necesario tener ni arena ni perdigones. Basta colocar el objeto en el platillo y anotar la división de la escala que marca el índice. Después, se quita el objeto y se colocan en el platillo cuantas pesas sean necesarias para que el índice vuelva a marcar la misma división que antes. El peso total de estas pesas será igual al del objeto que sustituyen.

Mas Fuerte que uno Mismo

¿Qué peso puede usted levantar con una mano? Supongamos que sean 10 kg. ¿Cree usted que estos 10 kg determinan la fuerza de sus músculos? Se equivoca ... ¡sus músculos son mucho más fuertes! Sigamos atentamente, por ejemplo, la acción del músculo llamado bíceps braquial (fig. 27). Este músculo está sujeto cerca del punto de apoyo de la palanca formada por el hueso del antebrazo (es decir, en la tuberosidad bicipital del radio N. del T.), mientras que el peso a levantar actúa sobre el otro extremo de esta misma palanca viva. La distancia que hay desde el peso hasta el punto de apoyo, es decir, hasta la articulación, es casi 8 veces mayor que la que hay desde el extremo del músculo a este mismo punto de apoyo. Por consiguiente, si el peso tiene 10 kg, el músculo tira de él con una fuerza 8 veces mayor. Es decir, que este músculo desarrolla 8 veces más fuerza que la mano, y, por lo tanto, podría levantar directamente, no 10 kg, sino 80 kg.

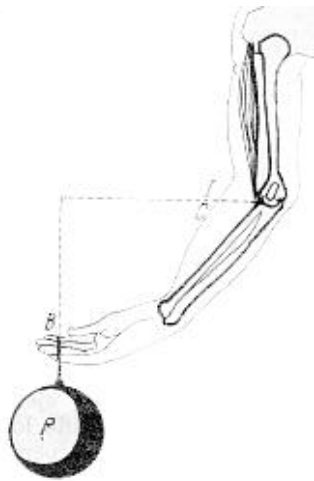


Fig. 27. El antebrazo C del hombre es una palanca de segundo género. La fuerza que actúa se aplica en el punto I; el apoyo de la palanca se encuentra en el punto O de la articulación; la resistencia que se vence (la pesa P) está aplicada en el punto B. La distancia BO es, aproximadamente, 8 veces mayor que la IO.

Puede decirse sin exagerar, que toda persona es mucho más fuerte que ella misma, es decir, que nuestros músculos desarrollan una fuerza considerablemente mayor que aquella que se exterioriza en nuestras acciones.

¿Es conveniente acaso esta estructuración del cuerpo humano? A primera vista, no, porque nos encontramos con una pérdida de fuerzas que no se compensa con nada. No obstante, recordemos que la vieja «ley de oro» de la mecánica dice, que: lo que se pierde en fuerza se gana en velocidad. Esto es precisamente lo que ocurre con nuestros músculos, los cuales hacen a que

nuestros brazos se muevan 8 veces más deprisa que ellos mismos. El procedimiento de sujeción de los músculos que observamos en los animales, hace que sus extremidades se muevan con rapidez, lo cual tiene más importancia para la lucha por la existencia que la propia fuerza. Si nuestros brazos y piernas no estuvieran constituidos así, seríamos unos seres con movimientos extraordinariamente lentos.

¿Por qué Pinchan los Objetos Afilados?

¿Habéis pensado alguna vez por qué una aguja penetra tan fácilmente a través de un cuerpo? ¿Por qué un paño o un cartón se puede atravesar fácilmente con una aguja delgada, mientras que cuesta trabajo hacer lo mismo con un clavo romo? Al parecer, en ambos casos actúa una misma fuerza.

La fuerza, efectivamente, es la misma, pero la presión es diferente. En el primer caso, toda la fuerza se concentra en la punta de la aguja; en el segundo, esta misma fuerza se distribuye por toda la superficie del extremo del clavo. Por lo tanto, la presión que ejerce la aguja es considerablemente mayor que la que ejerce el clavo romo, aunque el esfuerzo que hagamos con la mano sea igual en ambos casos.

Cualquier campesino puede decir, que una grada de 20 dientes desmenuza la tierra más profundamente que otra, de igual peso, pero con 60 dientes. ¿Por qué? Pues, porque la carga sobre cada diente, en el primer caso, es mayor que en el segundo.

Cuando hablamos de presión, siempre hay que tener en cuenta, además de la fuerza, la superficie sobre la cual actúa. Si nos dicen que una persona recibe un sueldo de 100 rublos, seguiremos sin saber si esto es mucho o poco, hasta que no nos aclaren si es al mes o al año. De la misma manera, la acción de una fuerza depende de sí se distribuye sobre un centímetro cuadrado o se concentra en la centésima parte de un milímetro cuadrado.

Un hombre puede andar perfectamente por la nieve blanda cuando lleva esquís, pero sin ellos se hunde. ¿Por qué? Pues, porque, en el primer caso, la presión de su cuerpo se distribuye sobre una superficie considerablemente mayor que en el segundo. Si los esquís tienen, por ejemplo, una superficie 20 veces mayor que la suela de nuestros zapatos, cuando marchamos sobre aquéllos, ejercemos sobre la nieve una presión 20 veces menor que cuando lo hacemos a pie. La nieve blanda resiste la primera presión, pero no la segunda.

Por esta misma razón, a los caballos que trabajan en terrenos pantanosos se les atan unos «zapatones» a los cascos, para aumentar de esta forma la superficie de apoyo de las patas y disminuir la presión sobre el suelo. Así se consigue que los caballos no se hundan en el pantano.

En algunas regiones pantanosas también las personas usan artificios semejantes.

Si alguna circunstancia nos obliga a cruzar en invierno un río, o lago, cuya capa de hielo sea poco profunda, deberemos hacerlo a rastras, para distribuir, así el peso del cuerpo sobre una superficie mayor.

Finalmente, la particularidad característica de los tanques y de los tractores orugas, de no atascarse en los suelos blandos aunque suelen ser muy pesados, también se explica por el hecho de que su peso está distribuido sobre una gran superficie de apoyo. Las orugas de cualquier máquina de este tipo, que pese 8 o más toneladas, ejercen sobre el suelo menos de 600 g de presión por centímetro cuadrado. Desde este punto de vista, también es interesante el camión con orugas para el transporte de cargas por los pantanos. Este camión, con dos toneladas de carga, sólo ejerce sobre el suelo una presión de 160 g/cm², gracias a lo cual, puede atravesar perfectamente turberas y arenales.

En este caso, las grandes superficies de apoyo resultan tan ventajosas, desde el punto de vista técnico, como en el caso de la aguja lo era la superficie pequeña.

De lo dicho se deduce, que la facilidad que tienen los objetos puntiagudos para horadar, se debe, únicamente, a que la fuerza que sobre ellos actúa se reparte sobre una superficie muy pequeña.

Por esta misma causa, los cuchillos afilados cortan mejor que los que están embotados, ya que la fuerza se concentra en ellos sobre un espacio menor.

Es decir, los objetos afilados pinchan y cortan bien, porque en sus puntas y filos se concentra una gran presión.

Como Leviatan

¿Por qué resulta más duro el asiento de un banquillo que el de una silla, aunque los dos sean de madera? ¿Por qué se está blando acostado en una hamaca, aunque sus mallas estén tejidas con cordones bastante duros? ¿Por qué es blandos el somier de alambre?

No es difícil imaginárselo. El asiento del simple banquillo, es plano, y cuando nos sentamos en él, nuestro cuerpo sólo tiene una pequeña superficie de contacto, en la cual se concentra todo su peso. La silla, por el contrario, tiene el asiento cóncavo, lo cual hace que su superficie de contacto con el cuerpo sea mayor y que por toda esta superficie se distribuya el peso. En este caso, cada unidad de superficie soporta menos carga y, por lo tanto, menos presión.

Es decir, todo se reduce a que la presión está distribuida de una forma más regular. Cuando descansamos en una cama blanda, en el colchón se forma un hueco que se adapta a la forma de nuestro cuerpo. La presión se distribuye bastante regularmente por toda la superficie de nuestra mitad inferior, con lo cual, cada centímetro cuadrado soporta solamente unos cuantos gramos. No es de extrañar que, en estas condiciones, estemos cómodos.

Esto puedo' expresarse fácilmente en cifras. La superficie del cuerpo de una persona adulta es igual, aproximadamente, a 2 metros cuadrados ' ó 20 000 centímetros cuadrados. Supongamos que, cuando estamos tendidos en la cama, la parte de nuestro cuerpo que está en contacto con ella, y que siente la presión, es aproximadamente igual a 1/4 de la superficie total del mismo, es decir, a 0,5 metros cuadrados, ó 5 000 centímetros cuadrados. Por término medio, el cuerpo humano pesa unos 60 kg ó 60 000 g, esto quiere decir, que cada centímetro cuadrado soporta solamente 12 g. En cambio, cuando nos tendemos sobre una tabla lisa, nuestro contacto con la superficie de apoyo se reduce a varias partes pequeñas, cuya área suma en total un centenar de centímetros cuadrados. Por consiguiente, sobre cada centímetro cuadrado recae ahora una presión de medio kilogramo, en vez de una decena de gramos. La diferencia es considerable y nuestro cuerpo la siente inmediatamente; por eso decimos que la tabla «está dura».

Pero hasta el lecho más duro puede parecer blando, siempre que la presión; de nuestro cuerpo se distribuya regularmente sobre una gran superficie. Supongamos, por ejemplo, que nos tendemos sobre arcilla blanda y que la huella de nuestro cuerpo queda grabada en ella. Si nos levantamos y dejamos que se seque la arcilla (al secarse, la arcilla se contrae en un 5-10%, pero admitamos que esto no ocurre), hasta ponerse dura como la piedra, y después volvemos a echarnos en el hueco que antes dejamos en este molde pétreo, nos sentiremos en él lo mismo que en un colchón de plumas, a pesar de su dureza. Es decir, nos pareceremos al Leviatán de los versos de Lomonosov:

Para acrecentar su fuerza,
Yace sobre agudas rocas,
Desdeñando su dureza,
Cual si fueran blando limo.

Pero la causa de que no sintamos la dureza de este lecho, no será nuestra «gran fuerza», sino la buena distribución del peso de nuestro cuerpo sobre una gran superficie de apoyo.

Durante el despegue y el aterrizaje de las naves cósmicas. Los cosmonautas soportan grandes sobrecargas. Su peso puede aumentar de 10 a 14 veces. Para que puedan resistir estas sobrecargas sin perjuicio para su salud, sus asientos se fabrican con un plástico especial, al que se le da la forma exacta del cuerpo.

Capítulo Tercero

La Resistencia del Medio

La Bala y el Aire

Todo el mundo sabe que el aire dificulta el vuelo; de las balas, pero son pocos los que tienen una idea clara de lo enorme que es el efecto retardador del aire. La mayoría de las personas piensan, que un medio tan delicado como el aire, cuya resistencia ni sentimos siquiera, no puede dificultar sensiblemente el raudo vuelo de una bala de fusil.



Fig. 28. El vuelo de una bala en el vacío y en el aire. El arco mayor representa la trayectoria que seguiría la bala si no existiera la atmósfera. El arco menor, la trayectoria real de la bala en el aire

Pero fijémonos en la fig. 28 y veremos, que el aire es un obstáculo de extraordinaria importancia para la bala. El arco mayor de esta figura representa la trayectoria que seguiría la bala si no existiese la atmósfera. Después de salir del cañón (con un ángulo de elevación de 45' y una velocidad inicial de 620 m/seg), la bala describiría un enorme arco de 10 km de altura y su alcance sería de cerca de 40 km. Pero en realidad, una bala disparada con el ángulo de elevación y la velocidad inicial antedichos, describe un arco de curva relativamente pequeño y sólo alcanza 4 km. Este arco casi no se nota en la figura al lado del primero. ¡He aquí el resultado de la resistencia del aire! Si no fuera por él, se podría disparar con fusil contra un enemigo que se encontrase a 40 km, lanzando una lluvia de plomo a. . . ¡10 km de altura!

Tiro de Gran Alcance

Al final de la primera guerra mundial (1918), cuando los éxitos de la aviación francesa e inglesa dieron fin a las incursiones aéreas enemigas, la artillería alemana puso en práctica, por primera vez en la historia, el bombardeo de ciudades enemigas situadas a más de cien kilómetros de distancia. El estado mayor alemán decidió emplear este nuevo procedimiento para batir la capital francesa, la cual se encontraba a más de 110 km del frente.

Hasta entonces nadie había probado este procedimiento. Los propios artilleros alemanes lo descubrieron casualmente. Ocurrió esto al disparar un cañón de gran calibre con un gran ángulo de elevación. Inesperadamente, sus proyectiles alcanzaron 40 km, en lugar de los 20 calculados. Resultó, que estos proyectiles, al ser disparados hacia arriba con mucha inclinación y gran velocidad inicial, alcanzaron las altas capas de la atmósfera, en las cuales, debido al enrarecimiento, la resistencia del aire es insignificante. En este medio poco resistente es donde el proyectil recorrió la mayor parte de su trayectoria, después de lo cual cayó casi verticalmente a tierra. La fig. 29 muestra claramente la gran variación que experimentan las trayectorias de los proyectiles al cambiar el ángulo de elevación.

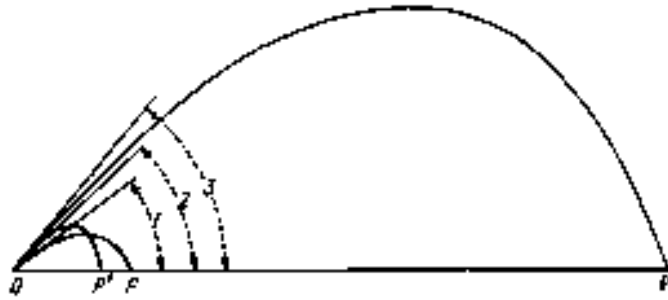


Fig. 29. Variación del alcance de un proyectil al ir variando el ángulo de elevación de un cañón de ultralargo alcance. Con el ángulo 1 el proyectil cae en el punto P; con el ángulo 2, en el P'; con el ángulo 3, el alcance aumenta de golpe en varias veces, puesto que la trayectoria del proyectil pasa por capas rarificadas de la atmósfera.

Esta observación sirvió de base a los alemanes para proyectar un cañón de gran alcance, para bombardear París desde una distancia de 115 km. Este cañón terminó de fabricarse con éxito, y durante el verano de 1918 lanzó sobre París más de trescientos proyectiles. He aquí lo que después se supo de este cañón.



*Fig. 30. El cañón alemán «Gran Bertha».
Aspecto exterior*

Consistía en un enorme tubo de acero de 34 m de largo y un metro de grueso. El espesor de las paredes de la recámara era de 40 cm. Pesaba en total 750 t. Sus proyectiles tenían un metro de

largo y 21 cm de grueso, y pesaban 120 kg. Su carga requería 150 kg de pólvora y desarrollaba una presión de 5 000 atmósferas, la cual disparaba el proyectil con una velocidad inicial de 2 000 m/seg. El fuego se hacía con un ángulo de elevación de 52' y el proyectil describía un enorme arco, cuyo vértice o punto culminante se encontraba a 40 km de altura sobre la tierra, es decir, bien entrado en la estratosfera. Este proyectil tardaba en recorrer los 115 km, que mediaban entre el emplazamiento del cañón y París, 3,5 minutos, de los cuales, 2 minutos volaba por la estratosfera.

Estas eran las características del primer cañón de ultralargo alcance, antecesor de la moderna artillería de este género.

Cuando mayor sea la velocidad inicial de la bala (o del proyectil), tanto mayor será la resistencia del aire. El aumento de esta resistencia no es proporcional al de la velocidad, sino más rápido, es decir, proporcional al cuadrado, al cubo y a potencias aún mayores del aumento de la velocidad, según el valor que ésta alcance.

¿Por Que se Remontan las Cometas?

Las cometas se remontan cuando tiramos de la cuerda hacia adelante, ¿por qué?

Todo aquel que sepa responder a esta pregunta puede explicarse también por qué vuelan los aviones, por qué se trasladan por el aire las semillas de algunas plantas, e incluso, cuales son las causas que determinan los extraños movimientos del bumerang.

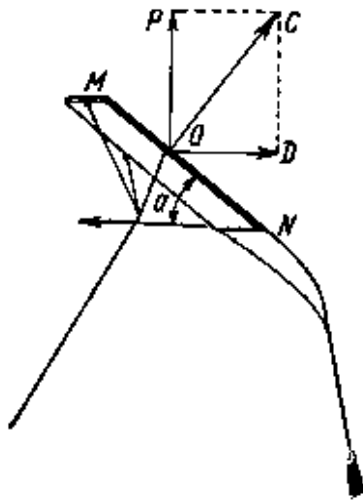


Fig. 31. Fuerzas que actúan sobre la cometa.

Todos estos movimientos son del mismo género. El mismo aire que se opone a que vuelen las balas y los proyectiles, es el que hace posible el vuelo, no sólo de las ligeras semillas y las cometas de papel, sino también de los pesados aviones que transportan decenas de pasajeros.

Para explicar cómo se eleva la cometa, recurriremos al dibujo simplificado de la fig. 31. Supongamos que la línea MN representa el corte de la cometa. Cuando al echar la cometa tiramos de su cuerda, aquélla avanza en posición inclinada, debido al peso de la cola. Convengamos en que este avance se realiza de derecha a izquierda; designemos el ángulo de inclinación del plano de la cometa, respecto al horizonte, con la letra a , y examinemos qué fuerzas actúan sobre la cometa al efectuarse este movimiento. El aire, como es natural, debe entorpecer el avance, ejerciendo cierta presión sobre la cometa. Esta presión está representada en la fig. 31 por medio

de la flecha OC. Como quiera que el aire presiona siempre en dirección perpendicular al plano, la línea OC formará en el dibujo un ángulo recto con la MN. La fuerza OC se puede dividir en dos, construyendo lo que se llama el paralelogramo de fuerzas. Hecho esto, en lugar de la fuerza OC tendremos las dos fuerzas OD y OP. De ellas, la fuerza OD empuja nuestra cometa hacia atrás, y, por consiguiente, disminuye su velocidad inicial. La otra fuerza, es decir, la OP, tira del artefacto hacia arriba, disminuye su peso y, si es suficientemente grande, puede vencer el peso de la cometa y elevarla. Esta es la explicación de por qué se remonta la cometa, cuando tiramos de su cuerda hacia abajo.

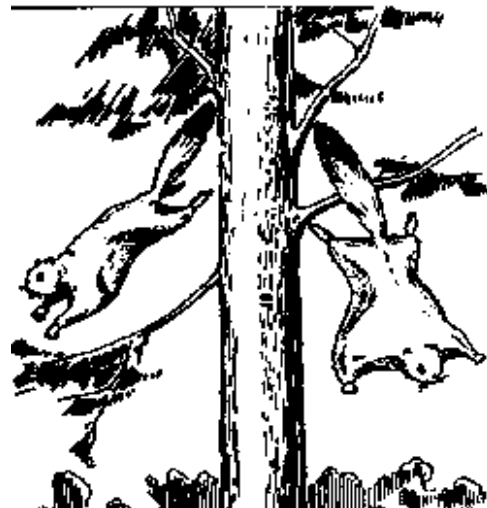
El avión es lo mismo que la cometa, con la única diferencia de que la fuerza motriz que actúa en él no es la de nuestra mano, sino la de una hélice o de un motor a reacción, la cual impulsa hacia adelante el aparato y, por lo tanto, hace que éste se eleve de forma semejante a como lo hace la cometa.

El esquema que acabamos de dar está muy simplificado. Hay otras circunstancias que también influyen en la elevación de los aviones y de las cuales trataremos en otro lugar¹.

Planeadores Vivos

Como hemos visto, el vuelo de los aviones no se parece al de los pájaros, como suele pensarse de ordinario, sino más bien al de las ardillas voladoras, al de los dermópteros y al de los peces voladoras.

Fig. 32. Ardillas voladoras planeando. Estas ardillas saltan desde sitios altos y alcanzan distancias de 20-30 m.



Aunque estos animales no emplean sus membranas alares para remontarse, sino únicamente para dar grandes saltos, es decir, para «descender planeando», como diría un piloto.

La fuerza OP (fig. 31) es insuficiente en este caso para equilibrar totalmente el peso del cuerpo, pero contribuye a aligerar al animal y, de esta forma, le ayuda a dar enormes saltos desde puntos elevados (fig. 32). Las ardillas voladoras cubren distancias de 20-30 m, llegando, desde la cúspide de un árbol, hasta las ramas inferiores de otro. En las Indias Orientales y en Ceilán se cría una especie de ardillas voladoras, llamadas caguán, las cuales llegan a tener el tamaño de un gato ordinario. Cuando el caguán abre su «planeador», alcanza medio metro de anchura. Estas grandiosas membranas alares (patagio) lo permiten realizar vuelos de hasta 50 m, aunque su peso

¹ Véase el artículo «Ondas y remolinos» del libro segundo de «Física Recreativa».

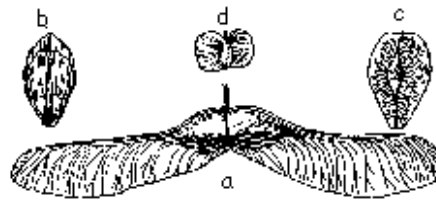
es considerable. Pero los dermópteros de las Islas de la Sonda y de Filipinas alcanzan aún más y llegan hasta los 70 m.

Los Vuelos Sin Motor y las Plantas

Las plantas también recurren con frecuencia a la comodidad que les ofrece el planeador, para propagar sus semillas y frutos. Muchas semillas y frutos están provistos de mechones de pelitos (como los vilanos del diente de león, del tragopogon y del algodón), los cuales actúan de forma semejante a los paracaídas, o de unos planos sustentadores, en forma de retoños, salientes, etc. Estos planeadores vegetales pueden observarse en las coníferas, arces, olmos, abedules, carpe, tilos, en muchas umbelíferas, etc.

En el libro «Vida de las Plantas», de Kerner von Marilaun, leemos sobre esto lo siguiente: «Los días de sol, cuando no hace viento,

Fig. 33. Semillas voladoras: a - sámara del arce; b - semilla del pino; c - del olmo; d - del abedul.



las corrientes verticales de aire elevan a considerable altura multitud de semillas, pero una vez que el sol se pone, éstas vuelven a caer generalmente en lugares próximos. La importancia de estos vuelos reside, en que sirven, no tanto para propagar las plantas a zonas más amplias, como para arraigarlas en las cornisas y en las grietas de las abruptas laderas y en los tajos de las montañas rocosas, sitios a los que las semillas no podrían llegar de otra forma. Las corrientes horizontales e las masas de aire pueden transportar las semillas y los frutos que planean, a distancias considerablemente grandes.

Algunas plantas tienen las semillas unidas a las alas o a los paracaídas únicamente durante el vuelo. Las semillas del onopordon, por ejemplo, vuelan tranquilamente por el aire, pero en cuanto se encuentran con un obstáculo, se desprenden de su paracaídas y caen al suelo. Este hecho explica por qué el onopordon crece con tanta frecuencia a lo largo de paredes y vallas. En otros casos, la semilla permanece unida a su «paracaídas».

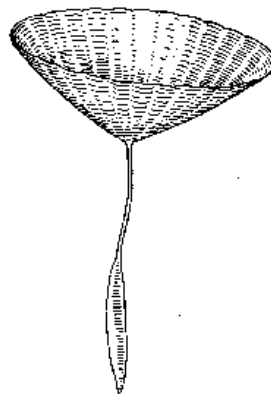


Fig. 34. Fruto del tragopogon

En las fig. 33 y 34 se muestran algunas semillas y frutos provistos de «planeadores».

Los planeadores de las plantas son, en muchos sentidos, más perfectos que los fabricados por el hombre. En comparación con su propio peso, pueden levantar mucho más carga. Además, estos aeroplanos vegetales se caracterizan por su estabilización automática. Si, por ejemplo, se invierte una semilla de jazmín de la India (*Jasminum sambac*), ella misma vuelve a colocarse con su lado convexo hacia abajo, y si esta misma semilla encuentra un obstáculo, no pierde el equilibrio ni se cae, sino que desciende suavemente.

El Salto Retardado del Paracaidista

Al llegar aquí, nos vienen a la memoria los heroicos saltos de los deportistas soviéticos, maestros de paracaidismo, que se lanzaron desde una altura de cerca de 10 km y no abrieron sus paracaídas hasta haber recorrido una parte considerable de su camino. Sólo entonces tiraron de la anilla y bajaron los últimos centenares de metros planeando en sus «sombrillas»².

Muchos piensan, que, al caer como una piedra, sin abrir el paracaídas, el deportista vuela hacia abajo como si fuera en el vacío. Si esto fuera así, es decir, si el cuerpo humano cayese en el aire lo mismo que en el vacío, el salto retardado duraría mucho menos y la velocidad final que desarrollaría el paracaidista sería enorme.

Pero la resistencia del aire evita el incremento de la velocidad. Durante el salto retardado, la velocidad que lleva el cuerpo del paracaidista aumenta únicamente durante los primeros diez segundos, es decir, durante los primeros centenares de metros. Al aumentar la velocidad crece tanto la resistencia del aire, que pronto llega un momento, a partir del cual, la velocidad permanece invariable. El movimiento acelerado pasa a ser uniforme.

Por medio de cálculos se puede trazar, en rasgos generales, el cuadro de un salto retardado, desde el punto de vista de la mecánica. El tiempo que dura la caída acelerada del paracaidista depende de su propio peso y suelo ser de unos 12 segundos o algo menos. Durante esta decena de segundos tiene tiempo de descender unos 400-450 metros y alcanzar una velocidad de cerca de 50 m/seg. El resto del camino, hasta que abre el paracaídas, transcurre ya con movimiento uniforme, a esta misma velocidad.

De igual manera, aproximadamente, caen las gotas de lluvia. La única diferencia consiste en que, el primer período de

Fig. 35. Procedimiento de cazar con bumerang que emplean los australianos para sorprender a sus víctimas desde un escondite. La trayectoria que sigue el bumerang (en caso de fallar el tiro) es la que indica la línea de puntos.



la caída de estas gotas, es decir, cuando su velocidad aumenta aún, dura cerca de un segundo. Por consiguiente, la velocidad final de las gotas de lluvia no es tan grande como la de los

² En 1963 unos paracaidistas soviéticos se lanzaron desde 25 kilómetros de altura. (N. de la Edit.)

paracaidistas que se lanzan en salto retardado. Esta velocidad suele oscilar entre 2 y 7 m/seg, según sean las dimensiones de las gotas³.

El Bumerang

El bumerang es un arma muy original, que puede considerarse como la creación más perfecta de la técnica del hombre primitivo y que durante muchos años fue la admiración de los científicos. Efectivamente, las figuras tan extrañas e intrincadas que describe el bumerang en el aire (fig. 35), pueden preocupar a cualquiera.

En la actualidad, la teoría del vuelo del bumerang ha sido detalladamente elaborada y lo que parecía un prodigio ha dejado de serlo.

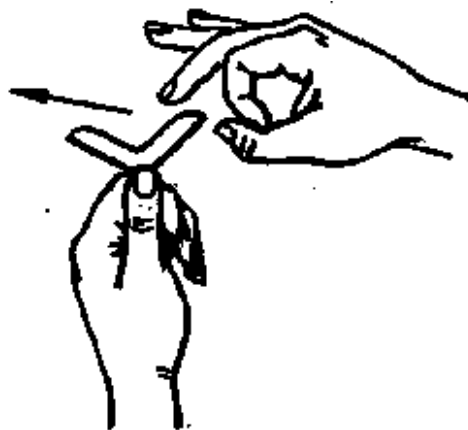


Fig. 36. Bumerang de cartulina y procedimiento de lanzarlo.

Nosotros no vamos a ocuparnos de estos interesantes pormenores. Diremos solamente, que la extraordinaria trayectoria que describe el bumerang es la resultante de la acción mancomunada de tres factores: 1) del impulso inicial con que se lanza, 2) de la rotación del propio bumerang y 3) de la resistencia del aire. Los australianos saben combinar instintivamente estos tres factores y cambian con habilidad el ángulo de inclinación del bumerang, la fuerza y la dirección del impulso con que lo lanzan, para conseguir los resultados apetecidos.

Naturalmente, cualquier persona puede adquirir cierta práctica en este arte.

Para ejercitarse dentro de una habitación hay que contentarse con un bumerang de cartulina, el cual puede recortarse de una tarjeta postal dándole la forma que se indica en la fig. 36. Cada rama debe tener una longitud aproximada de 5 cm y una anchura algo menor de 1 cm. Si sujetamos un bumerang de este tipo, introduciéndolo debajo de la uña del dedo pulgar, y lo damos un papirotazo en el extremo más próximo, de manera que el golpe resulte dirigido hacia adelante y un poco hacia arriba, el bumerang volará unos cinco metros, describirá suavemente una curva, que a veces suelo ser muy complicada, y, si no choca con ningún objeto de la habitación, vendrá a caer a nuestros pies.

El experimento da mejor resultado si se le dan al bumerang la forma y las dimensiones que la fig. 37 muestra en tamaño natural. Es conveniente doblar un poco las ramas del bumerang en forma de hélice (fig. 37, abajo). Después de algún entrenamiento, puede conseguirse que este bumerang describa en el aire curvas complicadas y retorne al sitio de partida.

³ De la velocidad de las gotas de lluvia se habla más detalladamente en mi libro «Mecánica Recreativa» y de los saltos retardados, en «¿Sabe usted Física?»

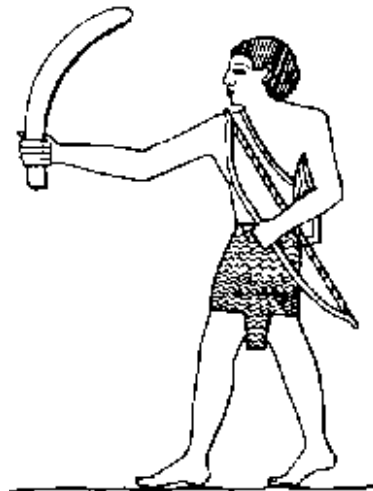
Para terminar, queremos llamar la atención sobre el hecho de que el bumerang, a pesar de lo que generalmente se piensa, no es un arma que poseen exclusivamente los habitantes de Australia. También lo emplean en varios sitios de la India y, a juzgar por los restos de pinturas murales, fue empleado como arma ordinaria por los soldados asirios. En el antiguo Egipto y en Nubia también era conocido el bumerang (fig. 38).

Fig. 37. Otro tipo de bumerang de cartulina



Lo que sí es una cosa exclusiva de Australia es la forma ligeramente helicoidal que tenían sus bumerangs. He aquí por qué los bumerangs australianos describen curvas tan complejas y, cuando se yerra el tiro, retornan a los pies del que los lanzó.

Fig. 38. Figura de antiguo soldado egipcio, lanzando un bumerang.



Capítulo Cuarto

La Rotación.

El "Movimiento Continuo"

¿Como Distinguir un Huevo Cocido de Otro Crudo?

¿Qué hay que hacer cuando se quiere saber si un huevo está crudo o cocido, sin romperle el cascarón? Los conocimientos de mecánica nos ayudan a resolver con éxito esta pequeña dificultad.

Los huevos duros no giran igual que los crudos. Esta diferencia puede aprovecharse para resolver nuestro problema. Para esto, el huevo que se ensaya se coloca sobre un plato llano y, cogiéndolo con dos dedos, se le hace girar (fig. 39). Cuando el huevo está cocido (y sobre todo duro) gira más de prisa y durante más tiempo que cuando está crudo. Si está crudo es difícil hacerlo girar, mientras que cuando está duro, gira tan rápidamente que sus contornos se confunden y vemos un elipsoide blanco, que puede llegar a moverse sobre su extremo más agudo.

Fig. 39 El huevo se hace girar así



Las causas que dan lugar a estos fenómenos son, que el huevo duro gira como si fuera un todo único, mientras que el contenido líquido del huevo crudo, al no recibir en el mismo instante este movimiento giratorio, retarda con su inercia el giro del cascarón y hace las veces de freno.

Los huevos cocidos y crudos se comportan también de diferente manera al cesar de girar. Si un huevo duro en rotación se toca con un dedo, se para inmediatamente. Si el que está girando es un huevo crudo, se parará un instante, pero al retirar el dedo dará todavía varias vueltas. Esto también ocurre a causa de la inercia, ya que la masa líquida interior del huevo, crudo, continúa girando aún después de que el cascarón está en reposo. El contenido del huevo cocido, por el contrario, se para al mismo tiempo que su cascarón.

Experimentos semejantes se pueden realizar también de otras formas. Una de ellas consiste en ceñir un huevo cocido y otro crudo con sendos anillos de goma, de manera que estos coincidan con un «meridiano», y en colgar ambos huevos de dos bramantes iguales (fig. 40). Si torcemos estos dos bramantes un número igual de veces y los soltamos, notaremos inmediatamente la diferencia entre el huevo cocido y el crudo. El huevo cocido, cuando el bramante vuelva a su estado inicial, empezará a torcerlo, por inercia, en dirección contraria, después de lo cual lo destorcerá de nuevo, y así sucesivamente varias veces, disminuyendo paulatinamente el número de vueltas.



Fig. 40. Forma de colgar los huevos para, haciéndolos girar, saber cuál de ellos está crudo y cuál cocido.

El huevo crudo girará a uno y otro lado una o dos veces y se parará mucho antes que el cocido, porque el contenido líquido frena su movimiento.

"La Rueda de la Risa"

Abramos una sombrilla, apoyemos su extremo en el suelo y hagámosla girar por el puño. No será difícil conseguir que se mueva con bastante rapidez. Hecho esto, dejemos caer dentro de la sombrilla una pelotita o una bolilla de papel.

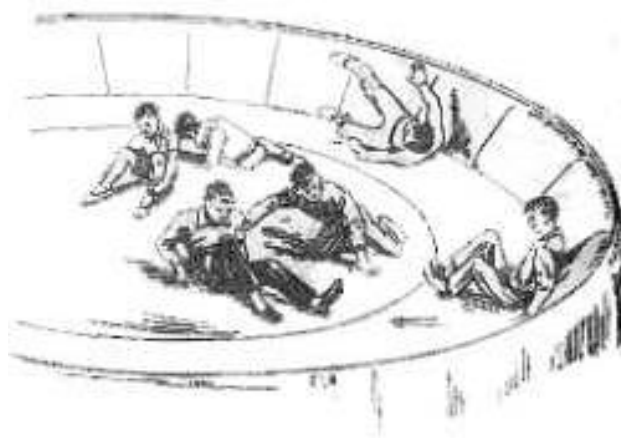


Fig. 41. "La rueda de la risa". Las personas son lanzadas fuera de la plataforma giratoria

Veremos que esta pelotita o bolilla no se queda en la sombrilla, sino que será lanzada fuera de ella por la fuerza que impropriadamente se ha dado en llamar «centrífuga», pero que en realidad no es más que una manifestación de la inercia. La pelotita no saldrá despedida según la dirección del radio de la sombrilla, sino tangencialmente a la trayectoria del movimiento circular.

En este efecto del movimiento giratorio se basan las "ruedas de la risa" (fig. 41), atracción que puede verse con frecuencia en algunos parques. El público tiene en ellas la oportunidad de experimentar en sí mismo la acción de la inercia. Para ello se sitúa como quiere sobre una plataforma redonda (de pie, sentado o tumbado). Un motor, oculto debajo de dicha

plataforma, hace que ésta gire suavemente alrededor de un eje vertical. La plataforma gira al principio despacio, pero después va aumentando paulatinamente su velocidad. Por la acción de la inercia, todos los que se encuentran en la plataforma comienzan a resbalar hacia su periferia. Al principio este movimiento no se nota apenas, pero a medida que los "viajeros" se van alejando del centro y entrando en círculos cuyo radio es cada vez mayor, la velocidad, y, por consiguiente, la inercia, se dejan sentir cada vez más. Todos los esfuerzos para mantenerse en el sitio resultan fallidos y la gente sale despedida de la "rueda de la risa".

La esfera terrestre también es en esencia una "rueda de la risa", pero de dimensiones gigantescas. La Tierra no nos despide de su superficie, pero su rotación disminuye nuestro peso. En el ecuador, donde la velocidad de rotación es mayor, la disminución del peso, por esta causa, alcanza una $1/300$ parte.

Y si se toma conjuntamente con otra causa (es decir, con el achatamiento de la Tierra), el peso de cada cuerpo en el ecuador disminuye, en general, en un medio por ciento (es decir, en $1/200$ veces), de forma, que una persona adulta pesa en el ecuador, aproximadamente, 300 gramos menos que en el polo.

Remolinos de Tinta

Tomemos un redondelito de cartón blanco y liso y atravesemos su centro con un palillo afilado. Obtendremos una peonza como la que se muestra en la fig. 42 (a la izquierda se ve el redondelito de cartón en tamaño natural). Para hacer que esta peonza gire sobre la punta del palillo no se necesita gran habilidad; bastará hacer rodar rápidamente el palillo entre los dedos y dejar caer la peonza sobre una superficie plana.



Fig. 42. Así corren las gotas de tinta por el cartón giratorio.

Con esta peonza se puede hacer un experimento muy demostrativo. Para ello, dejemos caer en el cartón varias gotas de tinta y, antes de que éstas se sequen, hagamos girar la peonza. Cuando se pare, veremos que cada una de las gotas se ha corrido engendrando una línea espiral y que todas estas líneas juntas forman una especie de remolino.

Esta semejanza con el remolino no es casual. ¿Qué nos dicen las espirales de tinta del redondelito de cartón? Estas líneas son las huellas del movimiento de las gotas de tinta. Cada una de estas gotas está sometida a los mismos efectos que sienten las personas en la "rueda de la risa", y al ser apartada del centro por el efecto centrífugo va a parar a un sitio del disco cuya velocidad circular es mayor que la de la propia gota. En estos sitios, el redondel adelanta a la gota deslizándose por debajo de ella. Es decir, ocurre algo así, como si la gota se retrasara con

respecto al redondeo y retrocediera con relación al radio. Por esta razón, el camino que recorre la gota se curva y vemos en el círculo de cartón la huella de un movimiento curvilíneo. Lo mismo ocurre con las corrientes de aire que divergen de un sitio en que la presión de la atmósfera es más alta (en los "anticiclones") o que convergen en un sitio de presión más baja (en los "ciclones"). Los remolinos de tinta pueden considerarse como una muestra en pequeño de estos gigantescos torbellinos de aire.

La Planta Engañada

Cuando el movimiento de rotación es rápido, el efecto centrífugo puede alcanzar una magnitud tal, que supere la acción de la gravedad. He aquí un experimento interesante que demuestra la importancia de la fuerza repulsiva que se desarrolla al girar una rueda ordinaria. Sabemos que toda planta joven orienta su tallo en dirección contraria a la de la fuerza de la gravedad, es decir, hablando claramente, crece hacia arriba. Pero hagamos que una semilla se desarrolle en la llanta de una rueda que gire rápidamente (como lo hizo por primera vez el botánico inglés Knight, hace más de cien años), veremos algo sorprendente.

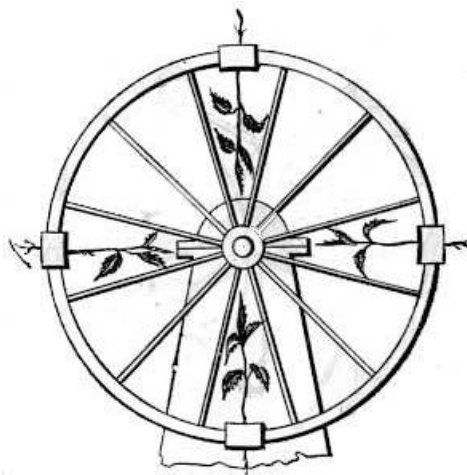


Fig. 43. Semillas de plantas leguminosas germinadas en la llanta de una rueda giratoria. Los tallos se dirigen hacia el eje; las raíces, hacia fuera.

Las raíces de los retoños estarán dirigidas hacia fuera, mientras que los tallos, hacia dentro, es decir, siguiendo la dirección de los radios de la rueda (fig. 43).

Parece que hemos conseguido engañar a la planta, haciendo que, en lugar de la gravedad, actúe sobre ella otra fuerza, cuya acción va dirigida desde el centro de la rueda hacia fuera. Y como quiera que el retoño tiende a salir siempre en dirección contraria a la de la fuerza de la gravedad, en nuestro caso creció hacia dentro de la rueda, es decir, en la dirección que va desde la llanta hasta el centro de aquélla. Nuestra gravedad artificial resultó ser más fuerte que la natural¹, y la nueva planta creció bajo su influencia.

En el futuro, cuando comiencen los vuelos hacia otros planetas del sistema solar, cuya duración será de varios meses, en las naves cósmicas se aprovechará este principio para construir invernaderos que abastezcan la tripulación de alimentos frescos. La idea de crear

¹ Desde el punto de vista moderno sobre la naturaleza de la gravedad, en este caso, no existe una diferencia esencial.

invernaderos cósmicos giratorios fue propuesta en el año 1933, por el gran científico ruso, fundador de la cosmonáutica, K. Tsiolkovski.

El “Movimiento Continuo”

De los motores de “movimiento continuo” y del propio “movimiento continuo” se habla frecuentemente, tanto en sentido directo como figurado, pero no todos comprenden claramente qué es lo que debe entenderse por esta denominación. Un motor de “movimiento continuo” (o movimiento continuo de primera especie) es un mecanismo ideal, el cual, además de moverse a sí mismo ininterrumpidamente, puede efectuar algún trabajo útil (por ejemplo, levantar un peso). Aunque desde hace muchísimo tiempo se intenta construir semejante mecanismo, nadie lo ha conseguido hasta ahora.

La infecundidad de todos estos intentos hizo llegar a la convicción de que el motor de “movimiento continuo” era irrealizable y contribuyó a formular uno de los principios básicos de la ciencia moderna: la ley de la conservación de la energía. En cuanto al propio “movimiento continuo” (o movimiento continuo de segunda especie) se refiere, debe entenderse por él todo movimiento ininterrumpido, que ni realiza trabajo ni consume , energía.

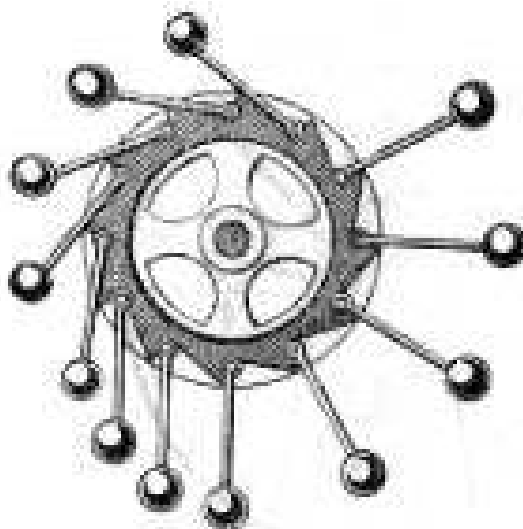


Fig. 44. Rueda pseudoautomotora, inventada en la edad media.

En la fig. 44 está representado un mecanismo pseudoautomotor, uno de los más antiguos proyectos de motor de “movimiento continuo”, que los fracasados fanáticos de esta idea vuelven a hacer renacer incluso en nuestros días. El mecanismo consiste en una rueda, a cuyo perímetro van sujetos unos palos abatibles, los cuales tienen en sus extremos libres unos contrapesos.

Cualquiera que sea la posición que tenga la rueda, los contrapesos del lado derecho se encontrarán más alejados del centro de la rueda que los del lado izquierdo y, por consiguiente, esta mitad deberá pesar siempre más que la izquierda y hará que la rueda gire. Es decir, la rueda deberá girar continuamente, o por lo menos hasta que no se desgaste el eje. Esto era lo que pensaba su inventor. Sin embargo, si se construyera un motor de este tipo, no giraría. ¿Por qué no se confirman los cálculos del inventor?

Pues, no se confirman porque, aunque los contrapesos del lado derecho están siempre efectivamente más alejados del centro, es inevitable que la rueda adopte una posición en la cual, el número de estos contrapesos sea menor que el de los del lado izquierdo. Esta posición

es la que puede verse en la fig. 44, en la cual mientras en el lado derecho hay 4 contrapesos, en el izquierdo hay 8. Es decir, el sistema se equilibra y, como es natural, la rueda no gira, sino que, después de balancearse varias veces, se queda parada en esta posición².

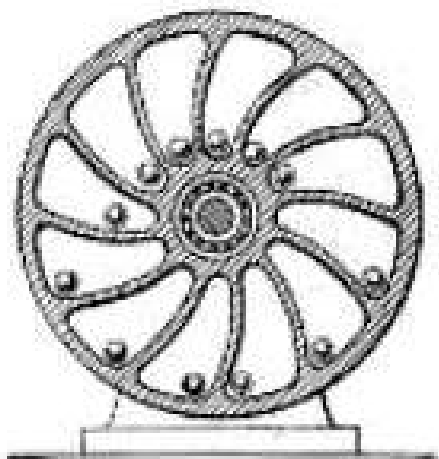


Fig. 45. Motor de "movimiento continuo" con bolas rodantes.

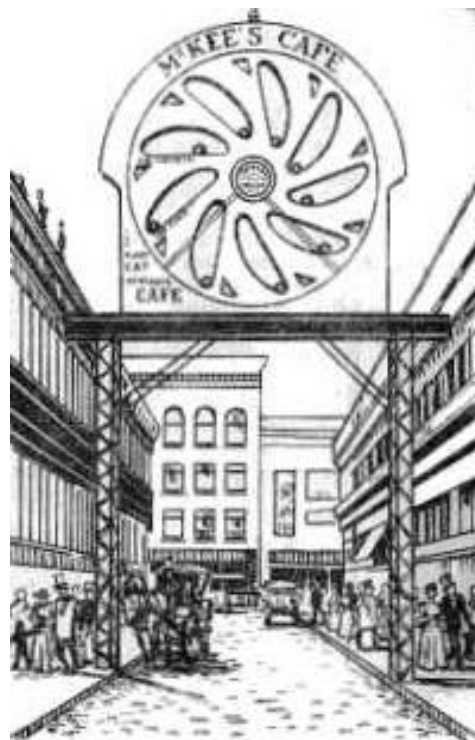


Fig. 46. Un falso "perpetuum mobile" construido en la ciudad de Los Angeles (California) para servir de anuncio.

Ahora está indiscutiblemente demostrado que no es posible construir un mecanismo que, además de moverse a sí mismo, efectúe algún trabajo y que intentar resolver un problema como éste es perder el tiempo. Pero antes, sobre todo en la edad media, eran muchos los que se rompían inútilmente la cabeza intentando resolverlo y perdían lamentablemente el tiempo en inventar el motor de "movimiento continuo" (en latín *perpetuum mobile*). La consecución de un motor de este tipo se consideraba una idea más seductora que el propio arte de obtener oro de metales baratos.

Pushkin, en sus "Escenas de los tiempos caballerescos" describe uno de estos ilusos personificándolo en Bertoldo.

"- ¿Qué es el *perpetuum mobile*? - preguntó Martín.

- El *perpetuum mobile* - le respondió Bertoldo - es el movimiento continuo. Si encuentro el movimiento continuo, no veo los límites que pueda tener el poder creador del hombre ... ¡Comprendes, mi buen Martín! Hacer oro es un problema seductor, un descubrimiento que puede ser interesante y lucrativo, pero hallar el *perpetuum mobile*... ¡Ah!"

Se idearon centenares de motores de "movimiento continuo", pero ninguno de ellos andaba. En cada caso, lo mismo que en el ejemplo anterior, el inventor se olvidaba de alguna circunstancia esencial, que desbarataba todos sus planes.

Examinemos otro ejemplo de seudomotor de "movimiento continuo": la rueda en cuyo interior se mueven bolas pesadas (fig. 45). Su inventor suponía, que las bolas de uno de los lados de la rueda, al encontrarse más próximas al perímetro, harían girar a ésta con su peso.

² El movimiento de este sistema se explica por el llamado teorema de los momentos.

Está claro que no ocurre así, por la misma causa que vimos al examinar la rueda representada en la fig. 44. Sin embargo, en una ciudad norteamericana fue construida una enorme rueda de este tipo, para servir de anuncio en un café (fig. 46). Naturalmente, este “perpetuum mobile” estaba accionado por un simple mecanismo independiente, hábilmente disimulado, aunque al público le parecía que eran las pesadas bolas las que movían la rueda. De forma parecida existieron otros seudomotores de “movimiento continuo”, los cuales hubo un tiempo que se exponían en los escaparates de las relojerías para atraer al público, pero todos ellos estaban accionados invisiblemente por la corriente eléctrica.

En una ocasión, uno de estos “perpetuum mobile” de anuncio, me dio no poco que hacer. Mis alumnos obreros estaban tan entusiasmados con él, que reaccionaban fríamente a mis demostraciones sobre la imposibilidad del “movimiento continuo”. La evidencia de que las bolas al girar movían la rueda, y de que ésta las volvía a elevar a su vez, tenía, para ellos más fuerza persuasiva que mis deducciones. No querían creer que aquella seudomaravilla mecánica estaba movida por la corriente eléctrica de la red urbana. Afortunadamente, en aquellos tiempos, los domingos cortaban la corriente. Como yo sabía esto, aconsejé a mis alumnos que fueran a ver el escaparate en que estaba expuesto el artefacto uno de estos días. Ellos me hicieron caso.

- ¿Qué, vieron ustedes el motor? - les pregunté el lunes.

- No - me respondieron -. No lo hemos podido ver, porque estaba tapado.

Después de esto, la ley de la conservación de la energía volvió a conquistar su confianza para no perderla jamás.

Un “Atasco”

Muchos fueron los inventores autodidactas rusos que se esforzaron por resolver un problema tan seductor como el del “movimiento continuo”. Uno de ellos fue el campesino siberiano Alexandr Sheheglov, al que M. Shehedrín describe en su relato “Idilio Contemporáneo”, bajo el nombre de “pequeño burgués Presentov”. He aquí lo que nos cuenta Shchedrín de su visita al taller de este inventor:

“El pequeñío burgués Presentov era un hombre de unos treinta y cinco años, delgado, pálido, con ojos grandes y pensativos y cabellos largos, los cuales, formando lacios mechones, iban a caer sobre su cuello. Su isba era bastante amplia, pero una gran rueda volante ocupaba completamente la mitad de la misma, por lo que nuestro grupo sólo a duras penas pudo acomodarse en ella. La rueda era calada, con radios. Su llanta, bastante voluminosa, estaba hecha de tablas, como si fuera una caja, y su interior estaba hueco. Dentro de esta especie de caja se encontraba el mecanismo, que el inventor mantenía en secreto. Este -secreto no tenía nada de ingenioso, era algo así como unos sacos llenos de arena, que tenían la misión de equilibrarse entre sí. Por entre dos radios había metido un palo, para que mantuviera la rueda en estado de reposo.

- Hemos oído que ha conseguido usted utilizar en la práctica la ley del movimiento continuo - comencé yo.

- No sé como informarles - respondió él confuso -, creo que, al parecer ...

- ¿Podemos echar una ojeada?

- ¡Por favor! Me honrarán ...

Nos llevó hasta la rueda y nos la enseñó por todas partes. Tanto por delante como por detrás no había nada más que la rueda.

- ¿Gira?

- Creo que debe girar. Pero, parece que tiene caprichos ...

- ¿Se le puede quitar la traba?

Presentov sacó el palo, pero la rueda no se movió.

- ¡Se encaprichó! - dijo --, hay que darle ímpetu.

Cogió con ambas manos la llanta, la balanceó varias veces hacia arriba y hacia abajo y, finalmente la soltó con fuerza. La rueda comenzó a dar vueltas. Dio varias de prisa y con bastante suavidad, aunque se oía cómo los sacos de arena se apretaban unas veces contra los tabiques y otras se separaban de ellos dentro de la llanta. Después comenzó a girar cada vez más despacio; se oyeron crugidos, chirridos y, finalmente, se paró.

- Se atascó, por lo visto - nos explicó confuso el inventor Y volvió a agarrarse a la rueda y a balancearla.

Pero la segunda vez ocurrió lo mismo.

- ¿Es posible que no tuviera usted en cuenta el rozamiento al hacer los cálculos?

- Y el rozamiento se tuvo en cuenta ... ¿Qué tiene que ver el rozamiento? Esto no es cuestión de rozamiento, sino de lo que pasa ... Unas veces parece que quiere alegrarnos, pero otras... se encapricha, se pone testaruda y... nos fastidia. Si la rueda estuviera hecha del material que es debido ..., pero es de recortes”.

Naturalmente que la cuestión no estaba ni en el “atasco” ni en el “material que es debido”, sino en la falsedad que encierra la idea del mecanismo. La rueda dio varias vueltas por el “ímpetu” (impulso) que le comunicó el inventor, pero inevitablemente tenía que pararse en cuanto la energía exterior, que recibió, se gastase en vencer el rozamiento.

“La Fuerza Principal son las Bolas”

El escritor Karonin (N. Petropavlovski) nos da a conocer otro inventor ruso del “movimiento continuo”, el campesino Lavrenti Goldiriov, de Perm (fallecido en el año 1884). En su narración “Perpetuum mobile”, lo presenta bajo el nombre de Pijtin. Como quiera que el literato conocía personalmente al autodidacta, su invento está descrito con bastante minuciosidad.

“Ante nosotros teníamos una máquina rara, de grandes dimensiones, que a primera vista se parecía a un banco de herrar caballos. Tenía unos montantes de madera, mal labrados; unos travesaños y todo un sistema de volantes y ruedas dentadas. Todo esto era pesado, mal acabado y deforme. Debajo de la máquina había unas bolas de hierro colado y a un lado se veía todo un montón de estas mismas bolas.

- ¿Esta es? - preguntó el administrador.

- Esta.

-Y qué, ¿da vueltas?

- Pues, claro que las da.

- ¿Pero la mueve algún caballo?

- ¿Para qué quiero el caballo? Ella misma se mueve - respondió Pijtin y empezó a mostrar cómo estaba hecha su maravilla.

El papel principal lo jugaban las bolas que estaban allí amontonadas.

- La fuerza principal está en las bolas ... Mire usted: primeramente choca en este cazo... de aquí sale silbando como un rayo, por este canalón, y allí la recoge aquel otro cazo, el cual la despide como loca hacia aquella rueda. Esta recibe otro buen empujón, un empujón que hasta le hace zumbir. Mientras esta bola va volando, hace su efecto la otra ... De allí sale volando otra vez, y ¡pom!, aquí. De aquí salta de nuevo lanzada por el canalón... cae en aquel cazo, rebota en aquella rueda y... ¡paff! Y así sucesivamente. Ahí está la cosa. Ahora la pongo en marcha.

Pijtin se apresuró a ir y venir por el cobertizo recogiendo las dispersas bolas. Por fin, después de echarlas todas en un montón junto a él, cogió una de ellas y la tiró con fuerza en el cazo más próximo de la rueda. Después tiró otra rápidamente y luego una tercera. En el cobertizo se armó un estrépito inimaginable. Las bolas rechinaban en los cazos de hierro, la madera de las ruedas crujía, los montantes gemían. Silbidos infernales, zumbidos y rechinamientos, llenaron el lóbrego local ...“

El escritor asegura que la máquina de Goldiriov se movía. Pero está claro que fue un malentendido. Es posible que girara mientras las bolas que estaban arriba descendían, ya que ellas podían mover la rueda lo mismo que las pesas de un reloj de pared, es decir, a costa de la energía acumulada al subirlas. Este movimiento de la máquina no podía durar mucho. En cuanto todas las bolas antes elevadas, se encontraran abajo, después de “chocar” con los cazos, la máquina se pararía (sí no lo había hecho antes, por la reacción que debían oponerle las bolas, que ella misma tenía que elevar de nuevo).

Posteriormente, cuando al presentar su máquina en la exposición de Ekaterinburgo, tuvo ocasión de ver las verdaderas máquinas industriales que allí se mostraban, el mismo inventor se desilusionó de su obra. Cuando le preguntaron allí por la máquina automotora que había ideado, Goldiriov respondió tristemente:

- ¡Al diablo! Manden que la partan y hagan leña de ella.

El Acumulador de Ufimtsev

Una idea de lo fácil que es incurrir en un error, cuando el “movimiento continuo” se juzga de una forma superficial, la da el llamado acumulador de energía mecánica de Ufimtsev. En la ciudad de Kursk, el inventor A. Ufimtsev creó un nuevo tipo de central aeromotora provista de un acumulador “de energía” económico, tipo volante. En 1920, Ufimtsev construyó un modelo de su acumulador, el cual tenía la forma de un disco, que giraba alrededor de un eje vertical, sobre un rodamiento de bolas y dentro de una caja, de la que se había extraído el aire. El disco, una vez embalado hasta una velocidad de 20 000 revoluciones por minuto, conservaba el movimiento giratorio durante 15 días. Contemplando el árbol de este disco, que durante días enteros se movía sin recibir energía exterior alguna, cualquier observador superficial podría llegar a la conclusión de que se trataba de la realización del movimiento continuo.

“Un Prodigio Que no lo es”

La inútil persecución del “movimiento continuo” ha hecho que muchas personas sean muy desgraciadas. Antes de la revolución, conocí a un obrero que se gastaba todo su jornal en hacer modelos de motores de “movimiento continuo”, y llegó por fin a la mayor indignación. El pobre era víctima de su absurda idea. Mal vestido y hambriento, iba pidiendo a todo el mundo medios para construir su “modelo definitivo”, que “andaría sin falta”. Daba pena pensar, que este hombre sufría necesidad a causa de sus escasos conocimientos de los principios elementales de la Física.

Sin embargo, es interesante, que mientras las búsquedas del “movimiento continuo” resultaron siempre infructuosas, el profundo convencimiento de la imposibilidad de su consecución condujo en muchos casos a descubrimientos provechosos.

Un magnífico ejemplo de esto lo tenemos en el procedimiento que utilizó el célebre científico holandés de finales del siglo XVI y principios del XVII, Stevin, para descubrir la ley del equilibrio de fuerzas en el plano inclinado. Este matemático merece mucha más celebridad que la que le ha correspondido, ya que muchos de los grandes descubrimientos que él realizó nos sirven constantemente en la actualidad. Inventó las fracciones decimales, introdujo en el álgebra el empleo de los exponentes y descubrió la ley hidrostática que más tarde redescubrió Pascal.

La ley del equilibrio de las fuerzas en el plano inclinado fue descubierta por él, sin apoyarse en la regla del paralelogramo de fuerzas, utilizando únicamente el dibujo que reproducimos en la fig. 47. En él se representa una cadena compuesta por 14 bolas iguales, colgada de un prisma triangular. ¿Qué ocurrirá con esta cadena? La parte inferior de la misma cuelga como una guirnalda y se equilibra a sí misma.

Pero, ¿y las dos partes restantes de la cadena, se equilibran también mutuamente? O en otras palabras, ¿equilibran las dos bolas de la derecha a las cuatro de la izquierda? Naturalmente que sí, de lo contrario, la cadena se movería constantemente a sí misma, de derecha a izquierda. Porque las bolas que se deslizaran del plano serían inmediatamente sustituidas por otras y el equilibrio no se restablecería nunca. Pero como sabemos que cualquier cadena colgada como hemos dicho no puede moverse a sí misma, es evidente, que las dos bolas de la derecha equilibran a las cuatro de la izquierda. Tenemos, pues, algo que parece un prodigio: dos bolas tiran con la misma fuerza que cuatro.

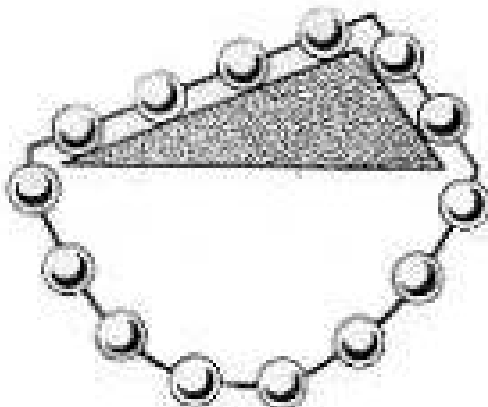


Fig. 47. “Un prodigio que no lo es”.

De este seudoprodigio dedujo Stevin una de las principales leyes de la mecánica. El se hizo la siguiente reflexión: estas dos cadenas, la larga y la corta, no pesan lo mismo, una de ellas es más pesada que la otra, tantas veces como la cara del prisma de sección más larga es mayor que la cara de sección más corta. De aquí se deduce, que dos pesos cualesquiera, unidos entre sí por un cordón, se equilibran entre sí en los planos inclinados siempre que sus respectivos pesos sean proporcionales a las longitudes de dichos planos.

En el caso particular de que el plano más corto está más pendiente, obtenemos la conocida ley de la mecánica, que dice: para sostener un cuerpo en un plano inclinado hay que aplicarle, en la dirección ascendente del plano, una fuerza cuya magnitud sea tantas veces menor que el peso del cuerpo, como la longitud del plano es mayor que su elevación.

De esta forma, partiendo de la idea de la imposibilidad del movimiento continuo, se hizo un importante descubrimiento mecánico.

Otros Motores de “Movimiento Continuo”

En la fig. 48 puede verse una cadena pesada, tendida entre una serie de ruedas de tal forma, que, cualquiera que sea la posición de la cadena, su lado derecho debe pesar más que el izquierdo. Por consiguiente, pensaba su inventor, esta parte de la cadena debe tirar de la otra e ir bajando ininterrumpidamente, con lo cual hará que se mueva todo el mecanismo. ¿Ocurre esto en realidad?

Claro que no. Como hemos visto en el ejemplo anterior, una cadena pesada puede equilibrarse con otra más ligera, siempre que las fuerzas que las arrastran actúen bajo ángulos distintos. En el mecanismo que examinamos, la parte izquierda de la cadena está tendida verticalmente, mientras que la derecha lo está de manera inclinada, por lo cual, aunque esta última pese más, no tirará de la primera. Es decir, en este caso tampoco puede producirse el “movimiento continuo” que se esperaba.

El más ingenioso de todos los inventores del “movimiento continuo” quizá sea uno que mostró su invento en la exposición de París, que tuvo lugar allá por los años sesenta del siglo pasado. Su motor consistía en una gran rueda, dentro de la cual rodaban unas bolas. El

inventor aseguraba que nadie sería capaz de detener el movimiento de su rueda. Los visitantes que intentaban parar la rueda se sucedían unos a otros, pero ésta, en cuanto apartaban sus manos, reanudaba el movimiento giratorio. Y a nadie se le ocurrió pensar, que si la rueda giraba era gracias a los esfuerzos que hacía el público por detenerla; porque, al empujarla hacia atrás, ellos mismos tensaban un muelle bien disimulado que tenía el mecanismo.

Un Motor de “Movimiento Continuo” Del Tiempo de Pedro I

Se ha conservado la correspondencia que durante los años 1715-1722 mantuvo el zar ruso Pedro I con un tal doctor Orfirius, sobre la adquisición de un motor de movimiento continuo ideado por este último. Este inventor que se había hecho muy popular en toda Alemania con su “rueda automotriz”, dijo que estaba de acuerdo en venderle su máquina al zar, pero por una suma enorme. El bibliotecario científico Scumacher, que era a la sazón el enviado de Pedro I en Occidente para adquirir cosas originales, informaba al zar sobre las exigencias de Orfirius, con el cual mantenía las negociaciones, en los términos siguientes:

“La última palabra del inventor fue: pónganme en un lado 100 000 efimoks³ y en el otro pondré yo la máquina”.

Sobre la propia máquina, según palabras del bibliotecario, decía el inventor, que “es segura, y nadie puede difamarla, sino es con mala intención, porque el mundo está lleno de gentes malas, de las cuales no es posible creer nada”.

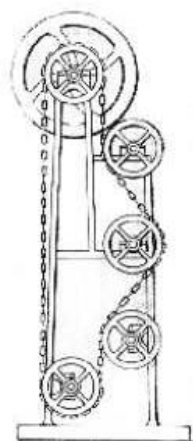


Fig. 48. ¿Puede ser esto un motor de “movimiento continuo”?

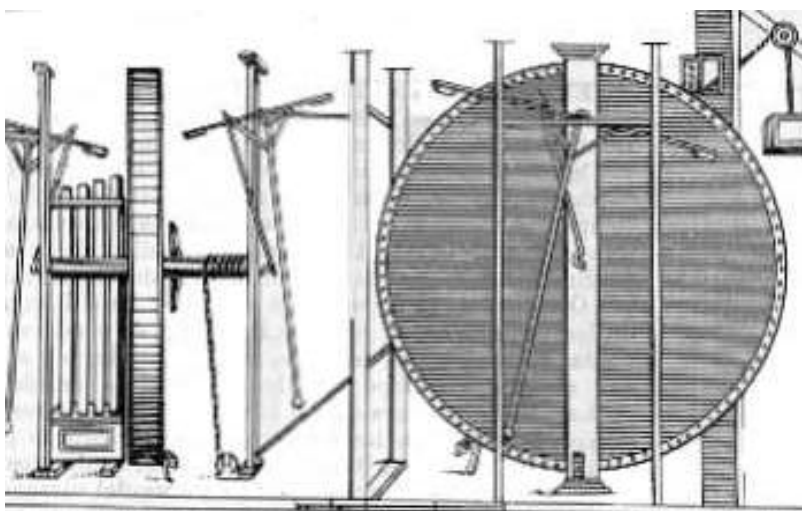


Fig. 49. Rueda automotriz de Orfirius, que estuvo a punto de ser adquirida por Pedro I (reproducción de un antiguo dibujo).

En enero de 1725, Pedro I pensaba ir a Alemania para ver personalmente este motor de “movimiento continuo”, sobre el que tanto se hablaba, pero la muerte impidió que el zar realizase su propósito.

¿Quién era este misterioso doctor Orfirius y en que consistía su “célebre máquina”? Yo he tenido la suerte de encontrar datos sobre el uno y la otra.

El verdadero apellido de Orfirius era Besler. Nació en Alemania, en el año 1680, estudió teología, medicina, pintura y finalmente se dedicó a inventar el “movimiento continuo”. De los muchos millares inventores de este tipo, Orfirius es el más célebre y, quizá, el más afortunado. Hasta el fin de sus días. (murió en 1745) vivió en la abundancia, gracias a los ingresos, que le proporcionaba la exposición pública de su máquina.

³ Efímok (Joachimsthaler) - cerca de un rublo.

En la fig. 49 se muestra un dibujo de la máquina inventada por Orfirius, tal como era en el año 1714. Este dibujo está tomado, de las páginas de un antiguo libro. En él puede verse una gran rueda, la cual, según se decía, no sólo giraba por sí misma, sino que al mismo tiempo elevaba un peso a considerable altura.

La fama del maravilloso invento, que el letrado doctor comenzó a mostrar en las ferias, se extendió pronto por toda Alemania, y Orfirius no tardó en encontrar poderosos protectores. Por él se interesó el rey de Polonia y luego el vizconde de Hessen Cassels. Este último ofreció al inventor su propio castillo e hizo, toda clase de pruebas con la máquina.

Una de estas pruebas se realizó el 12 de noviembre de 1717. La máquina, que se encontraba en una habitación aislada, fue puesta en marcha, después de lo cual se cerró con candado la puerta de la habitación, se precintó y se confió a la vigilancia de dos granaderos. Durante catorce días nadie osó acercarse a la habitación en que giraba la misteriosa rueda. El día 26 de noviembre, se quitaron los precintos, y el vizconde entró en la habitación acompañado de su séquito, y ... ¿qué vió? La rueda seguía girando “sin disminuir su velocidad”. Después de constatar esto, pararon la máquina, la examinaron minuciosamente, y la volvieron a poner en marcha. Durante cuarenta días quedó otra vez cerrada y precintada la habitación, y durante cuarenta días volvieron a hacer guardia ante su puerta los granaderos. El 4 de enero de 1718, fueron levantados los precintos y una comisión de expertos encontró que la rueda continuaba moviéndose.

El vizconde, no contento con esto, decidió someter la máquina a una nueva prueba, dejándola precintada durante dos meses enteros. Y, al final de este plazo... ¡la encontraron moviéndose! Como recompensa, el inventor recibió del vizconde un certificado en el que se decía, que su “perpetuum mobile” daba 50 vueltas por minuto y podía levantar 16 kg a una altura de 1,5 metros, así como poner en movimiento un fuelle de herrero y una máquina de afilar. Con este certificado, Orfirius recorría Europa, y es de suponer que sus ganancias eran considerables, puesto que si dio su conformidad para vender la máquina a Pedro I, lo hizo nada menos que por 100 000 rublos.

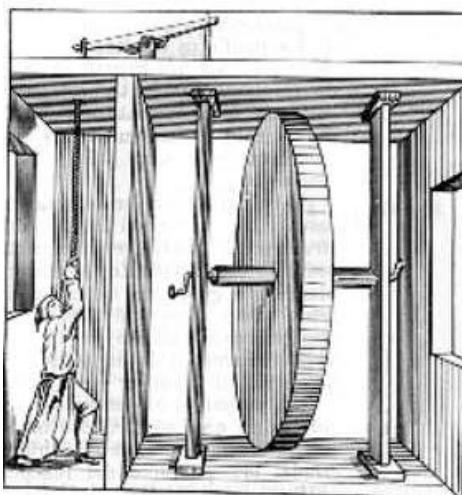


Fig. 50. He aquí el secreto de la rueda de Orfirius (reproducción de un antiguo dibujo).

La nueva sobre el extraordinario invento del doctor Orfirius, se extendió por toda Europa, penetrando hasta en los países más alejados de las fronteras de Alemania. De esta forma llegó a oídos de Pedro I y despertó en este zar, tan entusiasta de las “máquinas ingeniosas”, un extraordinario interés.

Pedro I comenzó a interesarse por la rueda de Orfirius en el año 1715, durante su estancia en el extranjero, y ya entonces encomendó al conocido diplomático A. Osterman, que se enterase más de cerca de lo que de este invento había. El diplomático envió sin demora un detallado informe sobre la máquina, aunque personalmente no logró verla. Pedro I pensaba proponer a Orfirius, como eminente inventor, un cargo a su servicio y, con este motivo, encomendó que solicitasen del célebre filósofo de aquel tiempo (maestro de Lomonosov), Christian Wolff, la opinión que sobre él tenía.

El insigne inventor recibía de todas partes lisonjeras proposiciones. Los grandes de todo el mundo lo colmaron de los más altos favores; los poetas componían odas e himnos en loor de su maravillosa rueda. Pero tampoco faltaron malintencionados, que sospecharon la existencia de algún hábil engaño. Hubo atrevidos que abiertamente acusaron a Orfirius de bribonería. Se ofreció un premio de 1 000 marcos al que descubriera el fraude. En uno de los panfletos escritos con fines de desenmascararlo, encontramos el dibujo que reproduce la fig. 50. El secreto de este motor de “movimiento continuo”, en opinión del autor del panfleto, consistía sencillamente en que, una persona, hábilmente escondida, tiraba de una cuerda, la cual, de forma invisible, se hallaba enrollada en la parte del eje de la rueda que entraba dentro del montante.

Pero esta fina bribonería pudo descubrirse solamente por casualidad, cuando el letrado doctor regañó con su esposa y su sirvienta, las cuales eran copartícipes del secreto. De no haber ocurrido este incidente, lo más probable es que hasta ahora hubiéramos seguido sin entender el “perpetuum mobile” que tanto ruido armó. Como se supo entonces, el dichoso motor estaba efectivamente movido por personas ocultas, las cuales tiraban disimuladamente de un cordón delgado. Estas personas eran, el hermano del inventor y su sirvienta.

Sin embargo, el desenmascarado inventor no se dio por vencido, sino que aseguró obstinadamente hasta su fallecimiento, que la delación de que fue objeto por parte de su mujer y de la criada, era producto del rencor. Pero, pese a todo, perdió la confianza que en él tenían. Por esto es por lo que él aseguraba al embajador de Pedro I, es decir, a Schumacher, que la gente era malintencionada y que “el mundo está lleno de gentes malas, de las cuales no es posible creer nada”.

En la época de Pedro I también se hizo célebre en Alemania el motor de “movimiento continuo” de un tal Gärtner. Sobre esta máquina, Schumacher escribía lo siguiente: “El perpetuum mobile del señor Gärtner, que he visto en Dresden, consta de un lienzo lleno de arena y de una máquina parecida a una rueda de afilar, la cual se mueve a sí misma hacia adelante y hacia atrás, pero según palabras del señor inventor, no se puede hacer en gran tamaño”. Indudablemente, este motor tampoco conseguiría su propósito, y, en el mejor de los casos, no pasaría de ser un mecanismo raro, provisto de un motor viviente, que no sería “eterno” ni mucho menos, y que se encontraría hábilmente disimulado. Schumacher tenía mucha razón al escribirle a Pedro I, que los científicos franceses e ingleses “no creen en estos perpetuum mobile y dicen que están en contradicción con los principios matemáticos”.

Capítulo Quinto

Propiedades de los Líquidos y de los Gases

El Problema de las Dos Cafeteras

En la fig. 51 se muestran dos cafeteras de igual anchura: una de ellas, más alta, y otra, más baja. ¿Cuál de las dos tiene mayor capacidad?

Es posible que sean muchos los que, sin pensarlo, digan que la cafetera más alta es la que tiene mayor capacidad. Sin embargo, si echamos líquido en la cafetera más alta, veremos que sólo puede llenarse hasta el nivel del orificio del pitorro, ya que después comenzará a derramarse el líquido. Y como los orificios de los pitorros de ambas cafeteras se encuentran a una misma altura, la cafetera baja puede contener la misma cantidad de líquido que la alta.

Esto es comprensible. En la cafetera y en el tubo del pitorro, lo mismo que en unos vasos comunicantes cualesquiera, el líquido debe tener el mismo nivel, aunque el peso del líquido que llena el pitorro sea mucho menor que el del resto de la cafetera. Si el pitorro no es suficientemente alto, no habrá manera de llenar la cafetera hasta arriba, porque el agua se derramará. Generalmente, los pitorros se hacen más altos que los bordes de la cafetera, para que sea posible inclinarla un poco sin que se derrame el contenido.

Lo que no Sabían los Antiguos

Los habitantes de la Roma contemporánea siguen utilizando hasta ahora los restos de un acueducto construido por los antiguos romanos. ¡Qué sólidas eran las obras de conducción de aguas que hacían los esclavos romanos!



Fig. 51. ¿En cuál de estas cafeteras se puede echar más agua?

Desgraciadamente no se puede decir lo mismo de los conocimientos de los ingenieros que dirigieron estos trabajos. Está claro que estos debían tener escasos conocimientos de los fundamentos de la Física. Fijémonos si no en la fig. 52, la cual reproduce uno de los cuadros del Museo Alemán de Munich. Como puede verse, la conducción de agua romana no se tendía bajo tierra, sino que pasaba por altos acueductos de piedra. ¿Para qué se hacían estos acueductos? ¿No hubiera sido más fácil tender unos tubos bajo tierra, como se hace ahora?

Claro que hubiera sido más fácil, pero los ingenieros de entonces tenían unos conocimientos muy rudimentarios de las leyes de los vasos comunicantes. Dudaban de que el nivel del agua en dos depósitos, unidos entre sí por largas tuberías, pudiera ser igual. Si los tubos se tienden en tierra, siguiendo el declive del terreno, en ciertos sectores el agua tiene que correr hacia arriba.



Fig. 52. Aspecto original de los acueductos de la antigua Roma.

Los romanos temían precisamente esto, es decir, pensaban que el agua no podía correr hacia arriba. Por esta razón es por la que, generalmente, daban a sus tuberías de conducción de agua un declive uniforme en todos los puntos del trazado (para lo cual se necesitaba frecuentemente hacer que el agua diese un rodeo, o levantar altos acueductos). Una de las tuberías romanas, la Aqua Martia, tiene una longitud de 100 km, a pesar de que la distancia entre sus dos extremos, en línea recta, es dos veces menor.

¡Medio centenar de kilómetros de obras de piedra, construidos por no conocer una ley elemental de la Física!

Los Líquidos Empujan... ¡Hacia Arriba!

El hecho de que los líquidos presionan 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 muchos ni sospechan siquiera que los líquidos empujan también hacia arriba. Un vulgar tubo de cristal, de lámpara de petróleo o de otro tipo, siempre que sea ancho, ayudará a convencernos de que este empuje hacia arriba existe realmente. Recortemos un redondel de cartón fuerte, de forma que su diámetro sea algo mayor que el del tubo antedicho. Tapemos con este redondel la entrada del tubo e introduzcámoslo después en un recipiente con agua, como se muestra en la fig. 53. 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, es fácil comprobar que el redondel de cartón se sostiene perfectamente solo, sin necesidad de que lo sostengamos apretando el dedo o tirando del hilo. Es el agua, que empuja de abajo a arriba, la que lo aprieta.

Esta presión que ejerce el agua hacia arriba se puede medir. Para ello, basta echar con precaución agua en el tubo; en cuanto el nivel dentro de éste se aproxima al del agua de la vasija, se desprende el redondel. Es decir, la presión que el agua ejerce sobre el redondel, desde abajo, se equilibra por arriba con la presión que ejerce la columna de agua (que hay dentro del tubo), cuya altura es igual a la profundidad a que está sumergido el cartón. 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 se dispone de varios tubos de lámparas de petróleo de diferentes formas, pero con orificios iguales, se puede comprobar otro de los principios relativos a los líquidos, según el cual, la presión que los líquidos ejercen sobre el fondo de la vasija que los contiene, depende exclusivamente del área de su base y de la altura a que se encuentra el nivel del líquido, sin que la forma de la vasija influya en absoluto.



Fig. 53. Un procedimiento sencillo para convencerse de que los líquidos empujan de abajo a arriba.

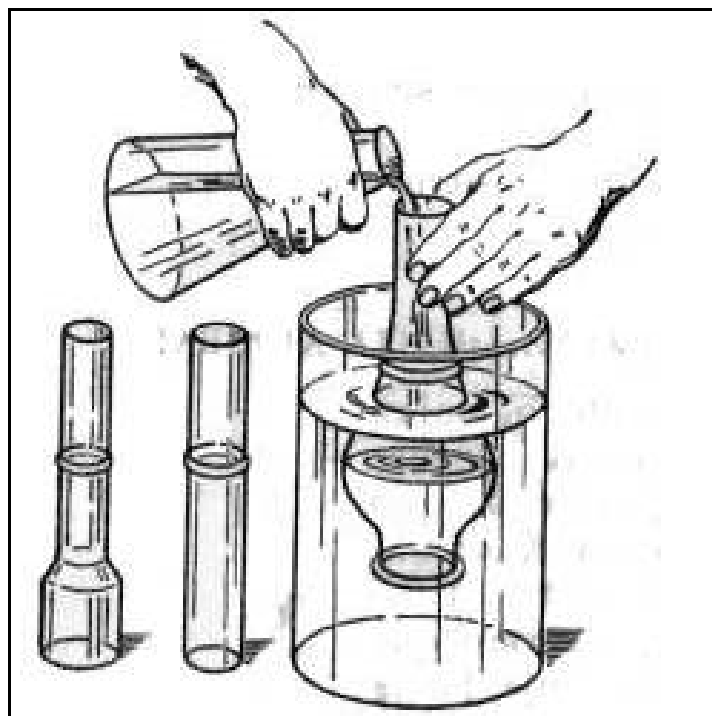


Fig. 54. La presión del líquido sobre el fondo de la vasija depende exclusivamente del área de su base y de la altura a que se encuentra el nivel del líquido. En la figura se muestra un procedimiento para comprobar esta regla.

La comprobación consistirá en hacer con estos tubos diferentes el experimento anteriormente descrito, introduciéndolos sucesivamente en el agua a una misma profundidad (para esto, lo mejor es pegar previamente en cada tubo una tirita de papel, de forma que quede a la misma altura). Podremos observar, que el redondel de cartón se desprenderá en cuanto el nivel del líquido, dentro

de los tubos, llegue a la misma altura (fig. 54). Es decir, que la presión que ejercen las columnas de agua de distintas formas es igual, siempre que sean iguales sus bases y sus alturas. Llamamos la atención sobre el hecho de que, en este caso, lo más 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 corta, vertical, que tenga la misma altura que aquélla (siempre que sea igual el área de sus bases).

¿Qué Pesa Mas?

En uno de los platillos de una balanza hay un cubo lleno de agua hasta los bordes. En el otro platillo, un cubo exactamente igual, también lleno hasta los bordes, pero en él flota un trozo de madera (fig. 55). ¿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, se encuentra la madera”. Otras, por el contrario, mantenían que pesa más el primero, “ya que el agua es más pesada que la madera”.

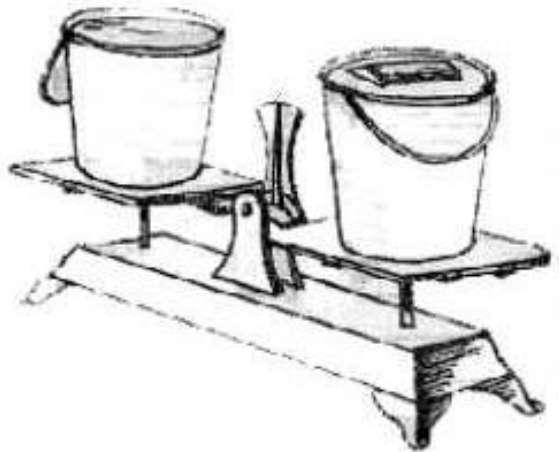


Fig. 55. Estos dos cubos son iguales y están llenos de agua hasta los bordes; pero en uno de ellos flota un trozo de madera. ¿Cuál de los dos pesa más?

Pero ni las unas ni las otras tenían razón. Los dos cubos pesan lo mismo. Es verdad, que el segundo cubo tiene menos agua que el primero, porque el trozo de madera al flotar desaloja un determinado 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.

Resolvamos 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 en el otro platillo, cojo la antedicha pesa y la meto 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. Sin embargo, la balanza sigue en equilibrio. ¿Cómo se explica esto?

La pesa, al hundirse en el vaso, desaloja parte del agua; este agua se desplaza hacia arriba y ocupa un nivel más alto que el que antes tenía. Como resultado de esto, la presión sobre el fondo del vaso aumenta, es decir, este fondo sufre una presión suplementaria, igual al peso que pierde la pesa.

La Forma Natural de los Líquidos

Estamos acostumbrados a pensar, que los líquidos no tienen forma propia. Pero esto no es así. La forma natural de todo líquido es la de una esfera. Generalmente, la gravedad impide que los

líquidos tornen esta forma, y por eso, unas veces se extienden formando una capa delgada, como ocurre cuando se vierten fuera de las vasijas, o toman la forma de éstas cuando se echan en ellas. Pero cuando se encuentran en el seno de otro líquido de la misma densidad, los líquidos, por el principio de Arquímedes, “pierden” su peso, quedándose como si no pesaran nada, es decir, como si la gravedad no influyera sobre ellos, y entonces adoptan su forma natural esférica.

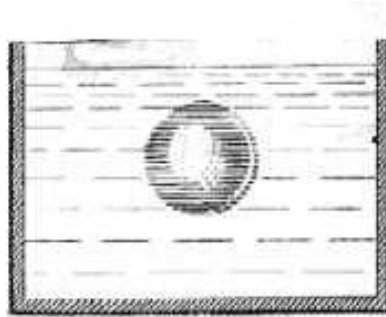


Fig. 56. El aceite que se encuentra en esta vasija llena de alcohol diluido se agrupa formando una esfera, la cual, ni se hunde ni sube a la superficie (experimento de Plateau).

El aceite de oliva flota en el agua, pero se hunde en el alcohol. Por consiguiente, puede prepararse una mezcla de agua y alcohol, en la cual dicho aceite ni flote ni se hunda hasta el fondo. Si en esta mezcla se introduce un poco de aceite, valiéndose de una jeringa, veremos una cosa rara: el aceite se agrupa formando una gran gota esférica, que no sube a la superficie, ni baja al fondo, sino que permanece inmóvil como si estuviera suspendida¹ (fig. 56).

El experimento debe hacerse con calma y precaución, porque, de lo contrario, puede obtenerse, no una gota grande, sino varias esferitas más pequeñas. Pero incluso si ocurre así, el experimento no deja de ser interesante.

Si se atraviesa la esfera de aceite, haciendo pasar por su centro una varilla de madera o un alambre, y se hace que esta última gire, la esfera comenzará también a girar. (Este experimento resulta mejor cuando en la varilla se coloca un redondelito de cartón impregnado en aceite y se introduce este último en la antedicha esfera). Por la acción del movimiento giratorio, la esfera comienza a achatarse y, al cabo de unos segundos, se desprende de ella un anillo (fig. 57). Este anillo se divide posteriormente en varias partes, las cuales no originan trozos deformes, sino nuevas gotas esféricas que siguen girando alrededor del centro de la esfera primitiva.

El primero en practicar este curioso experimento fue el físico belga Plateau. La descripción que acabamos de hacer corresponde a la forma clásica del experimento. Pero resulta más fácil, y no menos instructivo, efectuarlo de la siguiente forma: se toma un vaso pequeño y, después de enjugarlo, se llena de aceite de oliva y se coloca en el fondo de un vaso mayor. En este último se echa, con precaución, la cantidad de alcohol que sea necesaria para que el vaso pequeño quede totalmente sumergido en él.

¹ Para que la esfera no parezca deformada, este experimento debe hacerse en una vasija de paredes planas (o en una de cualquier forma, pero que se encuentre a su vez dentro de otra, llena de agua, que tenga las paredes planas).

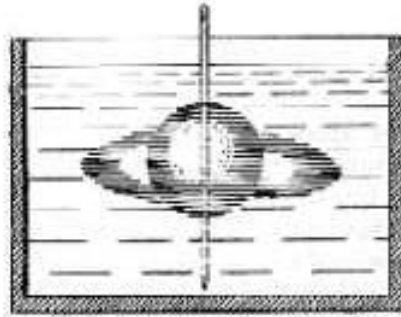


Fig. 57. Si la esfera oleosa que se encuentra en el alcohol diluido se hace girar rápidamente, por medio de una varilla que la atraviese, de esta esfera se separa un anillo.

Luego, con una cucharilla, se va añadiendo, poco a poco, agua (de manera que escurra por la pared del vaso grande). La superficie del aceite del vaso pequeño se irá haciendo cada vez más convexa, hasta que, cuando la cantidad de agua añadida sea suficiente, el aceite se desprenda de dicho vaso y forme una esfera de dimensiones bastante grandes, que quedará suspendida dentro de la mezcla de alcohol y agua (fig. 58).

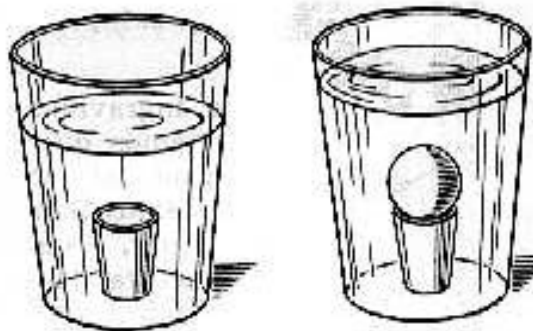


Fig. 58. Simplificación del experimento de Plateau.

Si no se dispone de alcohol, este experimento se puede hacer con anilina, que es un líquido cuya densidad es mayor que la del agua, a temperatura normal, y menor que la de ésta a 75-85°C. Por consiguiente, calentando el agua podemos hacer que la anilina flote sumergida en ella, en cuyo caso tomará la forma de una gran gota esférica. A la temperatura normal, la gota de anilina puede equilibrarse utilizando, en lugar de agua, una disolución de sal común².

En el año 1963, durante el vuelo en grupo de las naves cósmicas “Vostok-3” y “Vostok-4”, los cosmonautas soviéticos Nicoláev y Popóvich hicieron una serie de experimentos para determinar el comportamiento de los líquidos en estado de ingravidez. Algunos de los resultados fueron inesperados, por ejemplo, el líquido contenido en una vasija esférica no se reunió en su centro, formando una esfera, como se esperaba, sino que recubrió las paredes internas del matraz, dejando

² Entre otros líquidos que pueden emplearse también para este experimento, resulta cómoda la ortotoluidina, que tiene color rojo oscuro y que a 24°C tiene la misma densidad que el agua salada en que se sumerge.

en el centro una pompa de aire. Es decir, el aire se comportó lo mismo que el aceite en el experimento de Plateau.

¿Por Que Son Redondos los Perdigones?

Acabamos de decir, que todo líquido, en cuanto se libera de la acción de la gravedad, toma su forma natural, es decir, la de esfera. Si recordamos lo que dijimos anteriormente sobre la ingravidez de los cuerpos cuando caen, y consideramos que la insignificante resistencia que el aire opone al comenzar la caída puede despreciarse³, podemos figurarnos que las porciones de un líquido al caer, también deben tomar la forma de esferas.

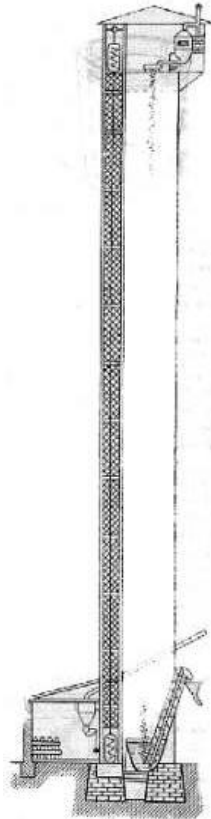


Fig. 59. Torre perdigonera de una fábrica de munición.

Efectivamente, las gotas de lluvia toman esta forma cuando caen. Los perdigones no son más que gotas de plomo fundido, enfriadas. En las fábricas se hace que el plomo fundido tome la forma de gotas, obligándole a caer, desde una gran altura, en un baño de agua fría, en el cual se endurecen aquéllas conservando su perfecta esfericidad.

Los perdigones fundidos por este procedimiento se llaman de “torre”, porque al fabricarlos se hace que el plomo fundido caiga desde la parte superior de una alta torre “perdigonera” (fig. 59). Las torres de las fábricas de munición son metálicas y llegan a tener hasta 45 m de altura. En la parte más alta de estas torres, se encuentra la fundición, con las calderas para fundir el plomo, mientras que en la más baja hay un depósito con agua. Los perdigones, después de fundidos, se clasifican y se someten a operaciones de acabado. La gota de plomo fundido se enfría, formando el perdigón,

³ Las gotas de lluvia bajan aceleradamente sólo al comienzo de su caída; aproximadamente, ya en la segunda mitad del primer segundo esta caída se efectúa con movimiento uniforme. El peso de las gotas se equilibra con la resistencia del aire, la cual aumenta al crecer la velocidad de las gotas.

mientras cae; el depósito de agua sirve únicamente para amortiguar el golpe de aquél cuando llega abajo y evitar que sufra deformaciones su esfericidad. (Los perdigones de más de 6 mm de diámetro, denominados metralla, se hacen por otro procedimiento, el cual consiste en cortar trocitos de alambre y someterlos a rodado).

Una Copa “Sin Fondo”

Llenemos de agua, hasta los bordes, una copa. Estará completamente llena. Pongamos junto a la copa varios alfileres. ¿Es posible que quepan en la copa uno o dos alfileres, sin que rebose? Hagamos la prueba.



Fig. 60. El experimento con la copa de agua y los alfileres es asombroso.

Comencemos a echar alfileres y vayamos contándolos. Hay que echarlos con cuidado, empezando por introducir en el agua la punta y soltando después el alfiler, sin empujarle ni hacer presión, para evitar que cualquier sacudida pueda hacer que se derrame el líquido. Uno, dos, tres alfileres caen al fondo, pero el nivel del agua sigue invariable. Diez, veinte, treinta alfileres el líquido no se derrama. Cincuenta, sesenta, setenta.... todo un centenar de alfileres reposan ya en el fondo, y el agua de la copa sigue sin derramarse (fig. 60).

No sólo no se derrama, sino que ni siquiera sobresale sensiblemente de los bordes de la copa. Continuemos echando alfileres. El segundo, el tercero y el cuarto centenar están ya dentro de la vasija y ni una gota de agua habrá rebosado de sus bordes, aunque ahora se nota cómo la superficie del agua sobresale un poco de aquéllos. Esta prominencia encierra la explicación del fenómeno. El agua moja poco el vidrio, en cuanto éste tiene el menor indicio de grasa, y, por regla general, las copas, lo mismo que toda la vajilla en uso, tienen huellas de grasa, por haberlas tocado con los dedos. Por esta razón, el agua que desalojan los alfileres, al no mojar los bordes de la copa, forma la prominencia. Esta prominencia (menisco) parece insignificante a simple vista, pero si nos tomamos el trabajo de calcular el volumen de un alfiler y de compararlo con el volumen de aquélla, nos convenceremos que el primero de estos volúmenes es centenares de veces menor que el segundo, por lo cual, en la copa “llena” pueden caber aún varios centenares de alfileres. Mientras más ancha sea la vasija, más alfileres se podrán echar en ella, ya que el volumen de la prominencia será mayor.

Para que quede más claro, hagamos un cálculo aproximado. Los alfileres tienen, aproximadamente, 25 mm de largo y medio milímetro de grueso. El volumen de un cilindro como éste es fácil de calcular por la conocida fórmula geométrica

$$V = \frac{p * d^2}{4} * h$$

y es igual a 5 mm^3 . Con cabeza y todo, el volumen de un alfiler no excede de $5,5 \text{ mm}^3$.

Calculemos ahora el volumen de la capa de agua que sobresale de los bordes de la copa. El diámetro de ésta es de $9 \text{ cm} = 90 \text{ mm}$. El área del círculo, cuyo diámetro es 90 mm , es igual a 6.400 mm^2 . Suponiendo que la capa de agua que sobresale tiene solamente 1 mm de espesor, su volumen será de 6.400 mm^3 , es decir, 1.200 veces mayor que el de un alfiler. Dicho de otra forma, una copa “llena” puede alojar, además... ¡más de mil alfileres!

Y, efectivamente, echando los alfileres con precaución, puede añadirse todo un millar de ellos, de manera que, a simple vista, parecerá que ocupan toda la vasija y hasta sobresalen de sus bordes, sin que el agua se derrame.

Una Interesante Peculiaridad del Petróleo

Quien haya tenido que utilizar una lámpara de petróleo conoce perfectamente las desagradables sorpresas que ocasiona una de las peculiaridades de este líquido. Se llena el depósito, se seca por fuera y, al cabo de una hora, está otra vez húmedo. Se debe esto, a que al poner la boquilla, ésta no se atornilla bien, y el petróleo, que tiende a extenderse por el tubo de cristal, escurre por la superficie externa del depósito. El que quiera evitar semejantes “sorpresas” tiene que atornillar la boquilla, apretándola lo más posible⁴.

Esta propiedad de escurrirse que tiene el petróleo, se nota de manera muy desagradable en los barcos cuyas máquinas consumen este tipo de combustible. En estos barcos, si no se toman medidas especiales, es imposible transportar nada que no sea petróleo, porque este líquido se fuga de los depósitos, infiltrándose a través de rendijas imperceptibles, Y no sólo se esparce por la superficie metálica de los propios depósitos, sino que impregna literalmente todo, hasta la ropa de los pasajeros, transmitiendo a todos los objetos su inextinguible olor. Los intentos de combatir esta contrariedad resultan frecuentemente infructuosos.

El humorista inglés Jerome, no exageraba mucho cuando en su narración titulada “Tres en un bote”, decía lo siguiente del petróleo:

“No conozco ningún cuerpo que tenga más facilidad de infiltrarse por todas partes que el petróleo. Lo guardábamos en la proa del bote, pero desde allí se corrió hasta el otro extremo, impregnando con su olor todo cuanto halló a su paso. Infiltrándose a través del revestimiento, goteaba en el agua, estropeaba el aire y el cielo y nos envenenaba la vida. Unas veces el viento petrolífero soplaba de occidente, otras de oriente. En otras ocasiones este viento de petróleo venía del norte o del sur, pero viniera del helado Artico o de las arenas del desierto, siempre llegaba a nosotros saturado del aroma de petróleo. Por las tardes, este perfume destrozaba los encantos de las puestas de Sol, mientras que los rayos de la Luna eran corroídos por el petróleo. Atamos el bote junto a un puente y nos fuimos a pasear por la ciudad, pero el maldito olor nos perseguía. Parecía que estaba impregnada toda la ciudad”. (En realidad, lo único que estaba impregnado era la ropa de los viajeros.)

La facilidad que tiene el petróleo para mojar la superficie exterior de los depósitos en que se encuentra, dio lugar a la falsa idea de que este líquido puede infiltrarse a través de los metales y del vidrio.

Una Moneda que no se Hunde en el Agua

La moneda que no se hunde en el agua, existe, no sólo en los cuentos, sino también en la realidad. Para convencerse de esto bastará hacer varios experimentos. Empecemos por objetos más pequeños, como son las agujas. Al parecer, es imposible que una aguja de acero flote en la

⁴ Cuando la boquilla se aprieta a fondo hay que cerciorarse de que el depósito no está lleno hasta los bordes, ya que el petróleo, cuando se calienta, se dilata bastante (su volumen aumenta en una décima parte al subir la temperatura en 100°C) y hay que dejar sitio suficiente para que esta dilatación no reviente el depósito.

superficie del agua, y sin embargo, no es difícil conseguir que esto ocurra. Pongamos en la superficie del agua un papel de fumar y depositemos sobre él una aguja completamente seca. Ahora no queda más que quitar con cuidado el papel de fumar. Para ello, se puede proceder del modo siguiente: se coge otra aguja o un alfiler y se van hundiendo con él los bordes del papel de fumar, teniendo precaución y avanzando paulatinamente hacia el centro, hasta que todo el papel se moja y se va al fondo, mientras que la aguja continúa flotando (fig. 61). Si acercamos un imán a las paredes del vaso, al nivel del agua, podremos hacer que la aguja se mueva sin dejar de flotar en el agua.

Cuando se tiene cierta habilidad se puede prescindir del papel de fumar. Bastará coger la aguja por su parte media y dejarla caer horizontalmente sobre la superficie del agua, desde poca altura.

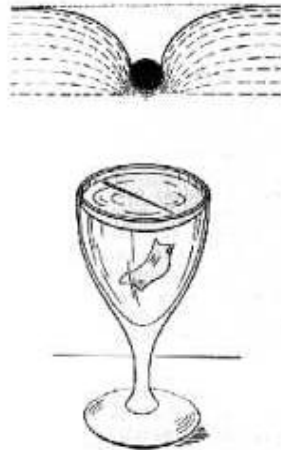


Fig. 61. La aguja flotando en el agua. Arriba corte de la aguja (de 2 mm de diámetro) y forma exacta de la concavidad que se forma en la superficie del agua (aumentada en 2 veces). Abajo, procedimiento para hacer flotar la aguja por medio de un trozo de papel.

En lugar de una aguja podemos hacer que flote un alfiler (tanto la una como el otro no deben tener más de 2 mm de grueso), un botón que sea ligero u otros objetos metálicos que sean planos y pequeños. Después de entrenarnos de esta manera, se puede intentar hacer que flote un copeck.⁵

La causa de que floten estos objetos metálicos es, que el agua moja mal el metal, que por haber estado en nuestras manos, está recubierto de una tenue capa de grasa. Por esto, en la superficie del agua se forma una concavidad alrededor de las agujas que flotan. Esta concavidad se puede notar a simple vista. La película superficial del líquido, al tender a enderezarse, empuja hacia arriba la aguja, con lo cual hace que ésta se mantenga a flote. También contribuye a la flotación de la aguja la fuerza con que empuja el líquido, de acuerdo con la ley de la flotación, es decir, la aguja es empujada desde abajo por una fuerza igual al peso del agua que desaloja.

No hay nada más fácil que hacer que una aguja flote, si antes se la engrasa con aceite. Después de preparada así, cualquier aguja puede depositarse directamente sobre la superficie del agua, sin temor a que se hunda.

Agua en una Criba

Resulta, que llevar agua en una criba no sólo es posible en los cuentos. Los conocimientos de Física ayudan a realizar esto, que clásicamente se consideró imposible. Para ello, no hay más que coger

⁵ Moneda rusa de cobre equivalente a la centésima parte del rublo. Sus dimensiones y peso son aproximadamente iguales a las de un céntimo. (N. del T.)

una criba de alambre, de unos 15 cm de diámetro, cuyas mallas no sean demasiado pequeñas (cerca de 1 mm), e introducir su rejilla en un baño de parafina derretida. Cuando se saca la criba del baño, sus alambres están revestidos de una capa de parafina casi imperceptible a simple vista.

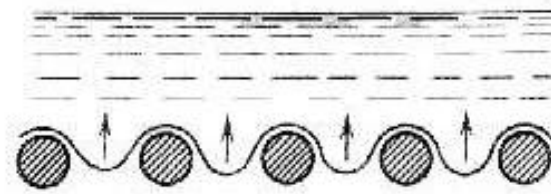


Fig. 62. ¿Por qué no se derrama el agua contenida en una criba parafinada?

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

¿Por qué no se derrama el agua? Porque como ésta no moja la parafina, forma en las mallas de la criba unas películas delgadas, cuya concavidad mira hacia abajo. Estas películas son las que sostienen el agua (fig. 62).

Si una criba como ésta se coloca sobre el agua, flotará en ella. Es decir, que la criba puede servir para llevar agua y para navegar.

Este experimento, tan paradójico al parecer, explica toda 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 se desea hacer impermeables al agua, no es otro que el de convertirlos en una especie de criba como la que acabamos de describir. La esencia de estos dos hechos es la misma, aunque en el caso de la criba presenta un aspecto al cual no estamos acostumbrados.

La Espuma al Servicio de la Técnica

La flotación de agujas de acero y de monedas de cobre en el agua, de que hemos tratado en los experimentos anteriores, tiene gran semejanza con un fenómeno que se utiliza en la industria minero-metalúrgica para el enriquecimiento de los minerales, es decir, para aumentar la cantidad de componentes útiles que contienen. En la técnica se emplean muchos procedimientos para enriquecer los minerales, pero éste de que vamos a hablar ahora, y que se conoce con el nombre de "flotación", es el más efectivo y suele emplearse hasta en aquellos casos en que todos los demás no dan resultado.

La esencia de la flotación consiste en lo siguiente: el mineral, finamente triturado, se echa en una cuba con agua y sustancias oleaginosas, las cuales tienen la propiedad de envolver las partículas de mineral útil, formando una película finísima que no se moja en el agua. Esta mezcla se remueve enérgicamente, para que penetre en ella el aire y se forme una especie de espuma, integrada por multitud de diminutas burbujas. Al ocurrir esto, las partículas de mineral útil, envueltas por la película oleaginosa, se ponen en contacto con la envoltura de las burbujas de aire, se adhieren a ellas y son arrastradas hacia arriba, de la misma manera que un globo eleva en la atmósfera a su barquilla (fig. 63). Mientras tanto, las partículas de ganga, que no son afectadas por la sustancia oleaginosa y que, por consiguiente, son más pesadas, no se adhieren a las burbujas y se quedan en el líquido.

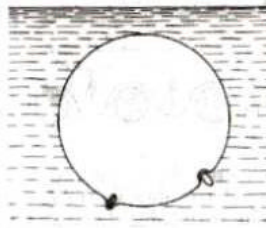


Fig. 63. Así se produce la flotación.

Hay que señalar, que las burbujas de aire que forman la espuma son mucho más voluminosas que las partículas de mineral, por lo que su flotabilidad es suficiente para arrastrar a dichas partículas hacia arriba. Como resultado, casi todas las partículas de mineral útil acaban encontrándose en la espuma que recubre al líquido. Esta espuma se recoge y se elabora convenientemente, para obtener lo que se llama “concentrado”, el cual suele ser decenas de veces más rico en mineral útil que las menas de que gira... ¡ni una sola gota de líquido llega al depósito superior! se extrae.

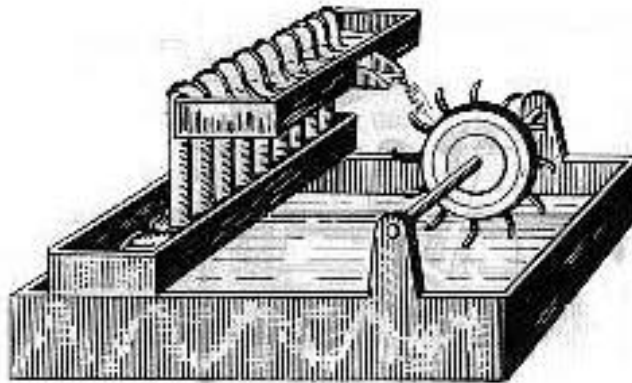


Fig. 64. Un molinete irrealizable.

La técnica de la flotación está tan bien estudiada, que escogiendo debidamente los líquidos a emplear, se puede separar cualquier mineral útil de su ganga, cualquiera que sea la composición de ésta.

La idea del empleo de la flotación para estos fines no fue concebida teóricamente, sino gracias a la atenta observación de un hecho casual. A finales del siglo pasado, una maestra norteamericana (Carrie Everson), mientras lavaba unos sacos grasientos, que habían estado llenos de pirita de cobre, se fijó en que las partículas de pirita emergían junto con la espuma. Este hecho fue el que estimuló el desarrollo del procedimiento antes mencionado.

Otro Seudo – “Perpetuum Mobile”

En algunos libros se describe como verdadero motor de “movimiento continuo” el aparato estructurado de la siguiente forma (fig. 64): en un recipiente hay aceite (o agua) que, por medio de unas mechas, se eleva primeramente a una vasija más alta y luego, por otras mechas, a un depósito superior. Este depósito superior tiene un vertedero por el cual sale el aceite y hace que se mueva una rueda de paletas. El aceite que escurre hacia abajo, vuelve a subir por las mechas hasta el depósito. De esta forma, el chorro de aceite que sale por el vertedero y va a caer en la rueda, no se interrumpe ni un segundo y, por consiguiente, esta última debe estar siempre en movimiento.

Si los autores de este molinete se hubieran tomado la molestia de construirlo, se habrían convencido de que ni la rueda gira... ¡ni una sola gota de líquido llega al depósito superior!

Para comprender esto no hace falta hacer el molinete. Efectivamente, ¿de dónde saca el inventor que el aceite debe escurrir hacia abajo por la parte doblada de la mecha?

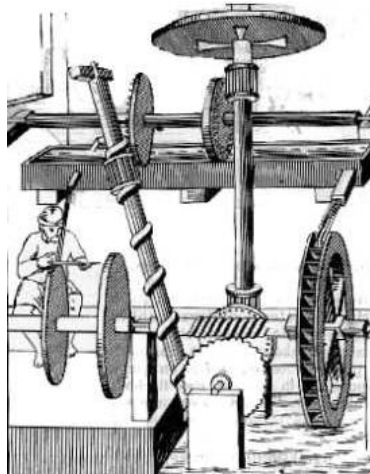


Fig. 65. Un viejo proyecto de motor hidráulico de “movimiento continuo” para accionar una muela de afilar.

La misma capilaridad que hace que el líquido venza la gravedad y se eleve por la mecha, retiene a aquél en los poros de ésta e impide que gotee. Suponiendo que el líquido pudiera llegar al depósito superior del aparato por capilaridad, habría que admitir también que las mismas mechas que lo trajeron hasta aquí, se lo podrían volver a llevar a la vasija de abajo.

Este seudomotor nos recuerda otra máquina hidráulica, también de “movimiento continuo”, ideada en 1575 por el mecánico italiano Strade el Mayor. En la fig. 65 está representado este interesante proyecto. Un tornillo de Arquímedes gira y eleva agua a un depósito superior, desde donde ésta sale en chorro por un vertedero y va a chocar con las paletas de una rueda hidráulica (abajo a la derecha). Esta rueda hidráulica hace que gire una muela de afilar Y, al mismo tiempo mueve, por medio de una serie de ruedas dentadas, el tornillo de Arquímedes que eleva el agua al depósito superior. Es decir, ¡el tornillo mueve la rueda y la rueda mueve al tornillo! Si semejantes mecanismos fueran posibles, lo mejor sería hacer lo siguiente: coger una polea, pasar por ella una cuerda y colgar en cada uno de sus extremos una pesa; cuando una de estas pesas baje, hará que suba la otra, y ésta, a su vez, al descender, hará que se eleve la primera. ¿No sería esto el “movimiento continuo”?

Pompas de Jabón

Hacer pompas de jabón no es tan fácil como parece. Yo también creía que para esto no se necesitaba ningún entrenamiento, hasta que no me convencí prácticamente de que hacer pompas grandes y bonitas es, en cierto modo, un arte que requiere habilidad. Pero, ¿vale la pena entrenarse en algo tan inútil como hacer pompas de jabón?

Es verdad, que en la vida ordinaria estas pompas no gozan de buena fama; por lo menos, en la conversación las empleamos para hacer comparaciones poco halagüeñas. Pero en Física es otra cosa. “Haced una pompa de jabón - escribía el gran científico inglés Kelvin - y miradla: aunque dediquéis toda vuestra vida a su estudio no dejaréis de sacar de ella nuevas enseñanzas de Física”.

Realmente, los mágicos reflejos policromos de la superficie de las tenues películas de jabón, dan al físico la posibilidad de medir la longitud de las ondas luminosas, mientras que el estudio de la tensión de estas delicadas películas contribuye al conocimiento de 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 experimentos que se describen a continuación no persiguen objetivos tan serios. Son simplemente pasatiempos interesantes que 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 experimentos que pueden hacerse con ellas. Recomendamos este magnífico libro a todos aquellos que se interesen por esta materia, ya que aquí nos limitamos a describir los experimentos más simples.

Para estos fines pueden emplearse soluciones de jabón de lavar ordinario⁶, pero aconsejamos como preferibles las de jabones de aceites puros de oliva o de almendra, que son los más a propósito para obtener pompas grandes y bonitas. La solución se hace desliendo un trozo de dicho jabón en agua clara y fría, hasta que la disolución está bastante espesa. Lo mejor es utilizar agua limpia de lluvia o de nieve, o, en su defecto, agua hervida, fría. Para aumentar la duración de las pompas, Plateau recomienda añadir a la solución jabonosa 1/3 (en volumen) de glicerina. La espuma y las burbujas que se forman, deben quitarse con una cucharilla. Hecho esto, se introduce en la solución un tubo delgado de arcilla, cuyo extremo debe untarse previamente de jabón, tanto por su parte interior como exterior. También se consiguen buenos resultados con pajas de unos diez centímetros de longitud, cuyo extremo inferior debe abrirse en forma de cruz.



Fig. 67. Manera de obtener un cilindro con la película jabonosa.

Las pompas se hacen del modo siguiente: después de mojar el tubo en la mezcla, y manteniéndolo verticalmente, para que en su extremo se forme la película de líquido, se empieza a soplar. Como quiera que al hacer esto la pompa se llena con el aire caliente que sale de nuestros pulmones, que es más ligero que el que nos rodea, la pompa inflada se eleva inmediatamente.

Si se consigue que la primera pompa que se hace tenga 10 cm de diámetro, la mezcla (el agua jabonosa) es buena; en el caso contrario hay que añadirle jabón, 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 mezcla jabonosa y se intenta introducirlo en aquélla; si la pompa resiste, pueden comenzarse los experimentos, si revienta hay que agregarle un poco de jabón.

Los experimentos deben hacerse despacito, con cuidado y tranquilamente. La habitación en que se hacen debe estar lo más iluminada posible, porque de no ser así, las pompas no muestran sus policromos reflejos.

A continuación describimos varios entretenidos experimentos de este tipo.

Una flor debajo de una pompa de jabón. En un plato, en una fuente, se echa agua jabonosa hasta que su fondo este cubierto por una capa de 2 ó 3 mm de espesor. En medio del plato se coloca una

⁶ Los jabones de tocador no sirven para este fin.

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 la parte estrecha. Se forma una pompa de jabón. Cuando esta pompa es suficientemente grande, se inclina el embudo, como se muestra en la fig. 66, y se deja libre la pompa. La flor quedará cubierta por un fanal semiesférico transparente, formado por la película de jabón, que reflejará todos los colores del iris.

Fig. 66. Experimentos con pompas de jabón: la pompa posada en la flor; una pompa cubriendo un florerito; unas pompas dentro de otras; una estatuilla coronada por una pompa y cubierta por otra. En lugar de la flor puede ponerse una estatuilla, cuya cabeza puede coronarse con una pompa (fig. 66). Para hacer 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, envolvente, traspasarla con el tubito y soplar dentro de ella la pompa pequeña.

Unas pompas dentro de otras (fig. 66). Con el embudo que se empleó para el experimento anterior, se hace, por el mismo procedimiento que entonces, una gran pompa. Luego, se toma una pajita y se introduce en la solución jabonosa, dejando fuera únicamente el extremo que hay que coger con los labios, y después, con toda precaución, se atraviesa con ella 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 va inflando la segunda pompa dentro de la primera. Repitiendo la operación se hace la tercera, dentro de la segunda, y así sucesivamente.

Un cilindro de película jabonosa (fig. 67) puede obtenerse entre dos anillos de alambre. Para ello, sobre el anillo inferior se deja caer una pompa esférica ordinaria y, luego, en la parte superior de esta pompa se coloca el segundo anillo, previamente mojado, y tirando de él hacia arriba, se va estirando la pompa hasta que adquiera la forma de cilindro. Es interesante el hecho, de que cuando levantamos el anillo superior a una altura mayor que la longitud de su circunferencia, una mitad del cilindro se estrecha, mientras que la otra se ensancha y luego se divide en dos pompas.

La película que forma la pompa de jabón está tensa durante todo el tiempo y presiona sobre el aire que tiene dentro. Si se dirige el embudo hacia la llama de una vela, podemos apreciar que la fuerza de estas sutiles películas no es tan insignificante como pudiera pensarse; la llama se desvía sensiblemente hacia un lado (fig. 68).



Fig. 68. El aire es desalojado por la presión que ejerce sobre él la pared de la pompa de jabón.

También tiene interés observar una pompa cuando se la traslada desde un local caliente a otro frío: se ve cómo su volumen disminuye. Por el contrario, cuando pasa de una habitación fría a otra caliente, se dilata. La causa de este fenómeno es, naturalmente, la compresión y dilatación del aire que hay dentro de la pompa. Si, por ejemplo, una pompa que a la temperatura de -15°C tiene un

volumen de $1\,000\text{ cm}^3$, se traslada a un local en que la temperatura es de $+15^\circ\text{C}$, su volumen deberá aumentar en:

$$1.000 * 30 * 1/273 = 110\text{ cm}^3, \text{ aproximadamente.}$$

Hay que indicar también, que la idea general de que las pompas de jabón son poco duraderas, no es exacta. Cuando se tiene cuidado con ellas, las pompas de jabón pueden conservarse décadas enteras. El físico inglés Dewar (célebre por sus trabajos de licuación del aire) guardaba las pompas de jabón en unas botellas especiales, que impedían que les entrase polvo, que se secasen y que sufrieran las sacudidas del aire. En estas condiciones consiguió conservar algunas pompas más de un mes. En Norteamérica, Lawrence logró conservar pompas de jabón, debajo de un fanal, durante años.

¿Que Es Mas Delgado?

Seguramente son pocos los que saben, que la película que forma las pompas de jabón es una de las cosas más delgadas que pueden apreciarse a simple vista.

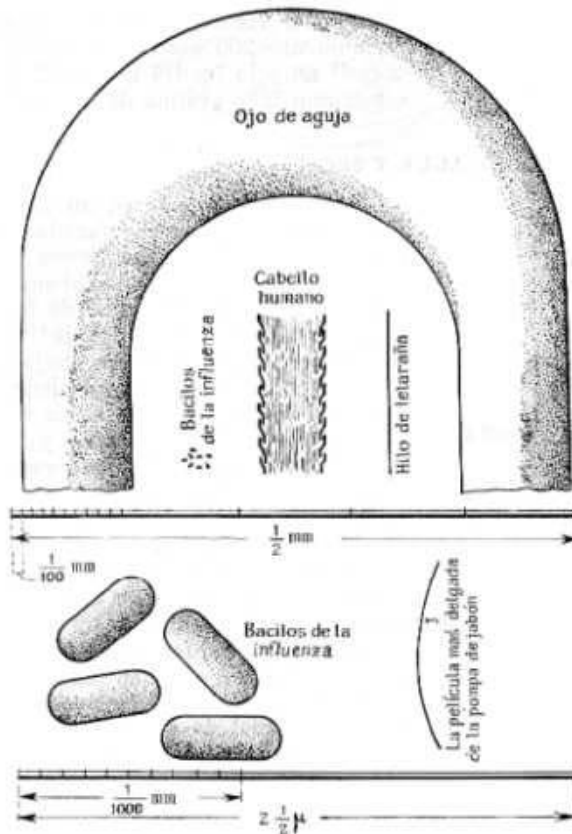


Fig. 69. Arriba, el ojo de una aguja, un cabello humano, unos bacilos y un hilo de telaraña, aumentados en 200 veces. Abajo, unos bacilos y el espesor de una película jabonosa, aumentados en 40 000 veces. $1\mu = 0,0001\text{ cm}$.

Los objetos que generalmente sirven de punto de comparación para expresar la delgadez o la finura, resultan demasiado burdos si se equiparan con dicha película. “Fino, como un pelo”, “delgado, como un papel de fumar”, son expresiones que representan un espesor enorme comparado con el de la pared de una pompa de jabón, la cual es 5 000 veces más delgada que un pelo y que un papel de

fumar. Un cabello humano aumentado en 200 veces, tiene cerca de un centímetro de espesor, mientras que la sección de la película que forma la pompa de jabón, con semejante aumento, sigue siendo invisible.

Para poder ver esta sección como una línea delgada, es necesario un aumento 200 veces mayor. Con este aumento (de... ¡40 000 veces!) un pelo tendrá más de 2 m de grueso. La fig. 69 proporciona una idea gráfica de estas correlaciones.

¡Del Agua y Seca!

Poned una moneda en un plato llano grande, echad agua en él, hasta que cubra la moneda, e invitad a vuestros amigos a que la saquen directamente con la mano, sin mojarse los dedos.

Esto, que parece un problema imposible de resolver, se soluciona fácilmente valiéndose de un vaso y de un papel ardiendo. Para ello, se enciende el papel, se mete dentro del vaso y éste se coloca rápidamente boca abajo en el plato, junto a la moneda. El papel se apaga, el vaso se llena de humo blanco y debajo de él se reúne todo el agua que había en el plato. La moneda se queda, como es natural, en su sitio y, después de esperar un minuto, para que se seque, se puede coger sin mojarse los dedos.

¿Qué fuerza hace que el agua entre en el vaso y se mantenga en él a una altura determinada? La presión atmosférica. Porque al arder el papel, el aire que hay en el vaso se calienta y aumenta la presión dentro de él, esto hace que parte del gas salga hacia fuera. Cuando el papel se apaga, el aire se vuelve a enfriar, pero al ocurrir esto disminuye la presión dentro del vaso y el agua penetra por debajo de sus bordes, impulsada por la presión del aire exterior.

En lugar del papel se pueden emplear unas cerillas hincadas en un redondel de corcho, como se muestra en la fig. 70.

No es raro escuchar y hasta leer la siguiente explicación errónea de este viejo experimento⁷. Según esta explicación, al quemarse el papel, se “consume el oxígeno”, con lo que la cantidad de gas que hay debajo del vaso disminuye. Este razonamiento es totalmente falso. La causa principal y exclusiva está en que el aire se calienta, y no en que la combustión del papel consume parte del oxígeno. Esto se deduce en primer lugar, de la posibilidad de hacer el experimento sin quemar ningún papel, es decir, calentando el vaso enjuagándolo en agua hirviendo.



Fig. 70. Procedimiento para recoger debajo de un vaso invertido todo el agua que hay en un plato

En segundo lugar, si en lugar del papel quemamos un algodón empapado en alcohol, el agua se elevará casi hasta la mitad del vaso; mientras que, como sabemos, el oxígeno constituye solamente 1/5, parte del volumen del aire.

⁷ La primera descripción de este experimento, con su verdadera explicación, nos la dio el físico de la antigüedad Filón de Bizancio, que vivió en el siglo I antes de nuestra era.

Finalmente, hay que tener en cuenta, que en lugar del “oxígeno consumido” se forma anhídrido carbónico y vapor de agua, de los cuales, el primero se disuelve en el agua, pero el vapor subsiste y ocupa parte del sitio que deja el oxígeno.

¿Como Bebemos?

Pero, ¿también hay que pensar en esto? Naturalmente. Cuando queremos beber, acercamos el vaso o la cuchara que contiene el líquido a nuestros labios y “absorbemos” su contenido. Esta sencilla “absorción” del líquido, a que estamos tan acostumbrados, es precisamente lo que hay que explicar. ¿Por qué tiende el líquido a entrar en nuestra boca? ¿Qué es lo que lo arrastra? La explicación es la siguiente: al beber, ensanchamos nuestra capacidad torácica y con ello enrarecemos el aire que tenemos en la boca. Al ocurrir esto, la presión del aire exterior hace que el líquido tienda a ocupar el espacio en que la presión es menor y, por consiguiente, entre en la boca. En este caso sucede lo mismo que ocurriría con el líquido de unos vasos comunicantes, si en uno de estos vasos comenzáramos a hacer el vacío, es decir, bajo la presión de la atmósfera, el líquido se elevaría en este vaso. Y al contrario, si abarcamos con los labios el gollete de una botella, por mucho que nos esforcemos en “absorber” el agua que contiene, no conseguiremos nada, ya que la presión del aire será la misma en la boca que sobre el agua.

Hablando propiamente, no bebemos sólo con la boca, sino también con los pulmones, ya que el ensanchamiento de los pulmones es la causa de que el líquido penetre en nuestra boca.

Un Embudo Mejorado

Todo el que haya tenido ocasión de echar líquido en una botella valiéndose de un embudo, sabe perfectamente que de vez en cuando hay que levantar el embudo, porque, de lo contrario, el líquido no pasa. Esto ocurre, porque el aire que hay en la botella, al no encontrar salida, mantiene con su presión el líquido que se encuentra en el embudo. Es verdad, que una pequeña cantidad de líquido consigue entrar en la botella y hace que el aire de ésta se comprima por la presión que sobre él ejerce. Pero este aire encerrado y comprimido, cobra una elasticidad mayor, suficiente para equilibrar con su presión el peso del líquido que hay en el embudo. Está claro, que, cuando levantamos el embudo, dejamos salir al exterior el aire comprimido y el líquido vuelve a entrar en la botella.

Por esto, resulta muy práctico hacer los embudos de forma, que su parte estrecha tenga unos nervios longitudinales en la superficie exterior, que impidan que el embudo entre ajustado en el gollete.

Una Tonelada De Madera Y Una Tonelada De Hierro

Todos conocemos la pregunta burlesca: ¿qué pesa más, una tonelada de madera o una de hierro? Por lo general, los incautos responden sin pensarlo, que la tonelada de hierro, con lo cual hacen reír a los presentes.

Pero los bromistas se reirían aún más, si les contestasen que pesa más la tonelada de madera. Esta respuesta parece totalmente absurda, y sin embargo, hablando con propiedad, es exacta.

Todo consiste en que el principio de Arquímedes es aplicable, no sólo a los líquidos, sino también a los gases. Es decir, todo cuerpo experimenta en el aire una “pérdida” de peso, igual al peso del volumen de aire que desaloja.

La madera y el hierro también experimentan esta pérdida de peso en el aire. Por consiguiente, para conocer el peso real de estos cuerpos habrá que añadirles esta pérdida. Es decir, el peso real de la madera, en nuestro caso, será igual a 1 tonelada + el peso del volumen de aire que ocupa la madera, y el peso real del hierro será igual a 1 tonelada + el peso del volumen de aire que ocupa el hierro.

Pero una tonelada de madera ocupa un volumen mucho mayor que una tonelada de hierro (15 veces mayor), por lo cual, el peso real de una tonelada de madera es... ¡mayor que el peso real de una tonelada de hierro! Aunque expresándonos más exactamente deberíamos decir, que: el peso real de

la cantidad de madera, que en el aire pesa una tonelada, es mayor que el peso real de la cantidad de hierro, que pesa en el aire una tonelada.

Como quiera que la tonelada de hierro ocupa el volumen de $1/8$ de m^3 , mientras que la de madera ocupa cerca de $2 m^3$ tendremos, que la diferencia entre el peso del aire que desalojan será igual a cerca de 2,5 kg. De aquí se desprende que en realidad, una tonelada de madera pesa 2,5 kg... ¡más que una tonelada de hierro!

Un Hombre Que no Pesaba Nada

Ser ligeros, no como una pluma, sino más que el aire⁸, para que, una vez liberados de las pesadas cadenas de la gravedad, poder elevarse libremente a gran altura sobre la tierra y volar adonde quieras. He aquí la ilusión que atrae a muchos desde la niñez. Pero se olvidan generalmente de que el hombre puede moverse por la superficie de la Tierra por ser más pesado que el aire. En realidad, “vivimos en el fondo de un océano aéreo”, como declaró Torricelli, y si, por cualquier causa, nos hiciéramos de improviso mil veces más ligeros y fuéramos menos pesados que el aire, inevitablemente tendríamos que emerger a la superficie de este océano aéreo.



Fig. 71. - ¡Estoy aquí, viejo! - dijo Pyecraft.

Nos ocurriría lo mismo que al húsar de Pushkin: “Me bebí todo el frasco; puede creerlo o no, pero de repente subí como si fuera una pluma”. Nosotros nos elevaríamos kilómetros enteros, hasta llegar por fin a una región, en la cual la densidad del aire enrarecido sería igual a la de nuestro cuerpo. La ilusión de vivir libres sobre las montañas y los valles, se desmoronaría como un castillo de arena, ya que, al liberarnos de las cadenas de la gravedad, caeríamos prisioneros de otras fuerzas, es decir, de las corrientes atmosféricas.

Una situación semejante le sirvió de tema al escritor Wells para uno de sus cuentos de ciencia ficción.

El tema de este cuento es el siguiente: un hombre muy grueso quería, fuera como fuera, deshacerse de su obesidad. El narrador poseía, al parecer, una receta maravillosa, que tenía la propiedad de aligerar a las personas gruesas de su excesivo peso. El gordinflón le pidió esta receta y comenzó a tomar la medicina. Pasó algún tiempo y el narrador fue a ver a su amigo. Llamó a su puerta y presenció una serie de acontecimientos tan sorprendentes e inesperados como los siguientes:

⁸ Las plumas, a pesar de que hay muchos que piensan lo contrario, no son más ligeras que el aire, sino centenares de veces más pesadas que él. Si flotan en el aire es porque, como tienen una gran superficie, la resistencia que éste opone a sus movimientos es muy grande en comparación con su peso.

“La puerta tardó en abrirse. oí cómo giraba la llave y después cómo la voz de Pyecraft (que así se llamaba el gordinflón) decía:

- Entre.

Le di la vuelta al tirador de la puerta y abrí. Yo, como es natural, esperaba ver a Pyecraft.

Pero... ¡no había nadie! El despacho estaba desordenado: Platos, grandes y chicos, estaban mezclados con los libros y objetos de escritorio; había varias sillas tiradas en el suelo, pero...

Pyecraft no estaba.

- ¡Estoy aquí, viejo! ¡Cierre la puerta! - dijo su voz. Y fue entonces cuando logré encontrarlo.

Estaba en la misma cornisa, en el ángulo que había junto a la puerta, lo mismo que si alguien lo hubiera pegado en el techo. Su cara estaba seria y reflejaba pánico.

- Como ceda algo, Pyecraft, caerá usted y se romperá el pescuezo - dije yo.

- Y me alegraría de ello - respondió él.

- Esta gimnasia no es para un hombre de sus años y de su complexión. Pero, ¿cómo diablos está usted ahí sujeto? - le pregunté.

En este momento me di cuenta de que no estaba sujeto, sino que flotaba allí arriba lo mismo que un globo lleno de gas.

El se esforzaba por separarse del techo y poder arrastrarse por la pared, para acercarse a mí. Se cogió al marco de un cuadro, pero éste cedió y él volvió a volar hacia el techo. Chocó con él, y entonces comprendí por qué tenía manchadas de cal todas las partes sobresalientes de su cuerpo.

Con gran precaución, volvió a intentar el descenso valiéndose de la chimenea.

- Esta medicina - cuchicheó - es demasiado fuerte. He perdido el peso casi por completo.

Todo quedó claro para mí.

- ¡Pyecraft! - le dije -. A usted lo que le hacía falta era una medicina para adelgazar, pero como siempre hablaba de su peso... Espere usted, le ayudaré - dije yo, y cogiendo al desdichado por una mano, tiré hacia abajo.

El empezó a danzar por la habitación, intentando afirmarse en algún sitio. ¡Era un espectáculo curioso! Yo sentía algo así, como si quisiera sujetar una vela en día de viento.

- Esta mesa - dijo el desgraciado Pyecraft, cansado de tanto danzar - es muy fuerte y pesada. Si consiguiera usted meterme debajo de ella...

Lo hice así. Pero y allí debajo se tambaleaba lo mismo que un globo cautivo. No podía estarse quieto ni un minuto.

- Una cosa es evidente - dije yo -. Usted no debe ni pensar en salir a la calle, porque si lo hace, subirá usted cada vez más alto.

Le dije que debería adaptarse a su situación y le insinué, que no le sería difícil acostumbrarse a andar por el techo con las manos.

- Yo no puedo dormir - se quejó él.

Le indiqué, que se le podía sujetar al somier con un colchón blando, atar a éste toda la ropa inferior de la cama con unas cintas y abrocharse por los costados la manta y la sábana.

Pusimos una escalera en la habitación y todos los alimentos se los ponían encima de un armario de la biblioteca. Descubrimos también un ingenioso procedimiento, gracias al cual Pyecraft podía bajar al suelo cuando quisiera. Consistió en colocar la “Enciclopedia Británica” en el anaquel superior de un estante abierto. El gordinflón sacó al instante un par de tomos, y, con ellos en las manos, descendió al suelo.

Pasé en su casa dos días. Barrena y martillo en mano, le construí una serie de ingeniosos dispositivos, le tendí un cable para que pudiera alcanzar el timbre, etc.

Yo estaba sentado junto a la chimenea, mientras él se encontraba en su rincón preferido, al lado de la cornisa, y clavaba una alfombra turca en el techo, cuando se me ocurrió una idea:

- ¡Eh, Pyecraft! - exclamó -. ¡Nada de esto hace falta! ¡Ponle un forro de plomo a tus ropas y todo está resuelto!

Pyecraft casi lloró de alegría.

- Compre usted - le dije - unas chapas de plomo y cósalas dentro del traje. Use usted botas con suelas de plomo; lleve en la mano una maleta de plomo macizo y ¡salvado! Dejará usted de estar aquí preso; podrá ir al extranjero, viajar... sin temor a los naufragios, ya que con quitarse parte de la ropa o toda ella, saldrá usted volando por los aires”.

Todo esto parece, a primera vista, que está en perfecto acuerdo con las leyes físicas. Sin embargo, no podemos dejar de expresar nuestra disconformidad con algunos detalles del cuento. La más seria de nuestras objeciones es que a pesar de que el gordinflón perdiera todo su peso, no podría elevarse hasta el techo.

En efecto, según el principio de Arquímedes, Pyecraft únicamente podría subir al techo, cuando el peso de toda su ropa, con lo que tuviera en los bolsillos, fuera menor que el peso del aire que desalojara su orondo cuerpo. El peso del aire que ocupa el cuerpo humano no es difícil de calcular, sobre todo si recordamos que el peso de nuestro cuerpo es casi igual al de un volumen de agua idéntico. Un hombre suele pesar alrededor de 60 kg., y, por consiguiente, el volumen de agua correspondiente pesará aproximadamente lo mismo. Pero el aire de densidad normal es 770 veces más ligero que el agua, es decir, que el volumen de aire desplazado por nuestro cuerpo pesa unos 80 g. Por muy obeso que fuera mister Pyecraft, no pesaría más de 100 kg; de donde se deduce, que desalojaría unos 130 g como máximo. ¿Es posible que el traje, los zapatos, el reloj, la cartera y todo lo demás que llevaba encima Pyecraft no pesara más de 130 g? Claro que pesaría más. Pero en este caso, el gordinflón tendría que haber seguido apoyándose en el suelo de la habitación, aunque en una situación poco estable, y no emerger hacia el techo “como un globo cautivo”. Pyecraft hubiera podido realmente volar hacia el techo si se hubiera desnudado por completo. Vestido parecería más bien un hombre atado a un globo saltador, el cual, con un pequeño esfuerzo muscular o con un simple salto, se elevaría a gran altura, sobre la superficie de la Tierra y después, si no hacía viento, volvería a descender suavemente⁹.

Un Reloj “Eterno”

En nuestro libro hemos hablado ya de varios pseudo-“perpetuum mobile” y explicado la inutilidad de los intentos de inventarlos. Tratemos ahora del motor “gratuito”, es decir, del motor que puede funcionar un tiempo indefinido, sin necesidad de cuidados, a costa de la energía que le proporcionan las inagotables reservas del medio ambiente.

Todos hemos visto un barómetro de mercurio o metálico. En el primero, el extremo de una columna de mercurio unas veces sube y otras baja, de acuerdo con las variaciones de la presión atmosférica; en el metálico, por esta misma causa siempre está en movimiento la aguja indicadora. En el siglo XVIII, un inventor utilizó estos movimientos del barómetro para darle cuerda a un mecanismo de relojería, con lo cual consiguió construir un reloj que marchaba ininterrumpidamente sin necesidad de que le dieran cuerda. El célebre mecánico y astrónomo inglés Fergusson (en 1774) vio este interesante invento y dijo de él lo siguiente: “Yo he visto el reloj anteriormente descrito, el cual se pone en movimiento continuo por las elevaciones y descensos de la columna de mercurio de un barómetro de construcción especial; no hay motivos para suponer que se pare nunca, ya que la fuerza motriz que en él se acumula sería suficiente para mantener la marcha del reloj durante todo un año, aun después de quitarle el barómetro. Debo decir con toda franqueza, después de examinar detenidamente este reloj, que es el mecanismo más ingenioso de todos los que he tenido ocasión de ver, tanto por su concepción como por su realización”.

Desgraciadamente, este reloj no se ha conservado hasta nuestros días. Fue robado en una ocasión y se desconoce su paradero. Sin embargo, han quedado los dibujos de su estructura que hizo el mencionado astrónomo, con los cuales es posible reconstruirlo.

El mecanismo del reloj consta de un barómetro de mercurio de grandes dimensiones, formado por una vasija de vidrio, colgada de un bastidor, y por un gran matraz invertido, cuyo cuello penetra en aquélla. La vasija y el matraz contienen en total cerca de 150 kg de mercurio. Estas dos vasijas

⁹ Sobre los globos saltadores se dan más detalles en el capítulo IV de mi libro “Mecánica Recreativa”.

están sujetas de tal forma, que la una puede moverse con respecto a la otra; con un ingenioso sistema de palancas se consigue que, cuando aumenta la presión atmosférica, descienda el matraz y ascienda la vasija, mientras que, cuando la presión disminuye, ocurre lo contrario.

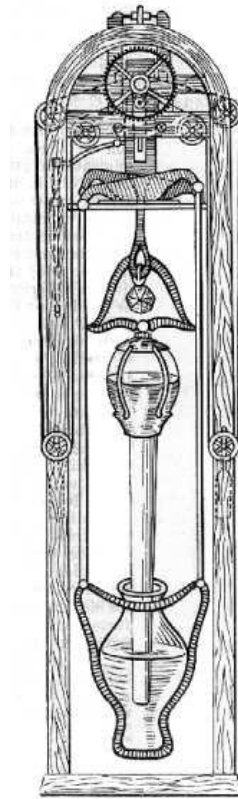


Fig. 72. Estructura de un motor "gratuito" del siglo XVIII.

Estos dos movimientos hacen que gire, siempre en el mismo sentido, una pequeña rueda dentada. Esta rueda se encuentra en reposo solamente cuando la presión atmosférica permanece invariable; pero durante estas pausas el mecanismo del reloj se sigue moviendo, gracias a la energía acumulada con anterioridad, por medio de unas pesas descendentes. No es fácil conseguir que dos pesas se eleven simultáneamente y que al descender muevan un mecanismo. Pero los antiguos relojeros tuvieron suficiente ingenio para resolver este problema. Y resultó, que la energía proporcionada por las variaciones de la presión atmosférica era incluso mayor que la necesaria, es decir, que las pesas se elevaban con más rapidez que descendían. Por este motivo fue introducido un dispositivo especial, para desembragar el mecanismo de las pesas descendentes cuando éstas llegaban a su punto superior.

Fácil es darse cuenta de la gran diferencia de principios que existe entre éste (y los demás motores "gratuitos" semejantes a él) y los motores de "movimiento continuo". En los motores "gratuitos", la energía no se crea de la nada, como querían los inventores del "movimiento continuo"; esta energía se toma del exterior, como en nuestro caso, en que se toma de la atmósfera circundante, en la cual se acumula la de los rayos solares. En la práctica, los motores "gratuitos" podrían ser tan ventajosos como los de "movimiento continuo", siempre que su construcción no fuera demasiado cara con relación a la energía que proporcionan (cosa que sucede en la mayoría de los casos).

Más adelante nos ocuparemos de otros tipos de motores "gratuitos" y demostraremos con ejemplos, por qué el empleo industrial de semejantes mecanismos resulta, por regla general, desventajoso.

Capítulo Sexto

Fenómenos Térmicos

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

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

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

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

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

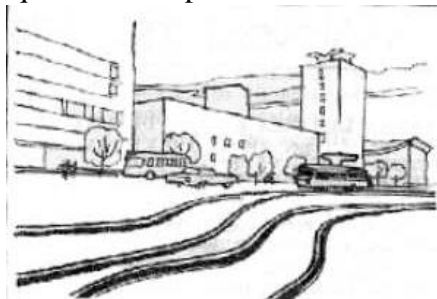


Fig. 73. Raíles del tranvía torcidos por el calor

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

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

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

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

Un Robo que no se Castiga

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

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

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

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

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

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

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

La Altura de la Torre Eiffel

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

- ¿Cuándo hace frío o cuándo hace calor?

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

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

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

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

Vaso de Té al Tubo de Nivel

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

LEYENDA DE LA BOTA EN EL BAÑO⁴

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

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

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

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

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

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

¿Se Hacían los Milagros?

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



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

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

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

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

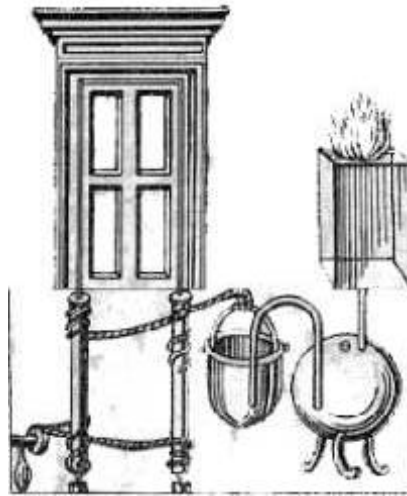


Fig. 75. Esquema del mecanismo de las puertas del templo, que se abrían solas cuando ardía el fuego en el altar

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

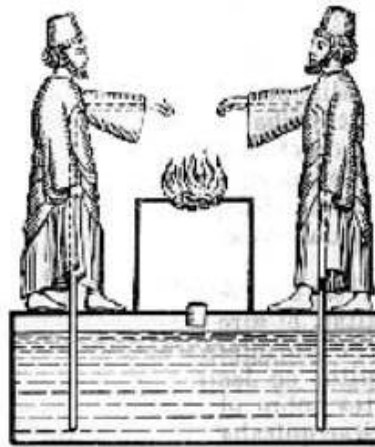


Fig. 76. Otro antiguo seudomilagro: el aceite se vierte por sí mismo en la llama del altar.

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

Relojes Sin Cuerda

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

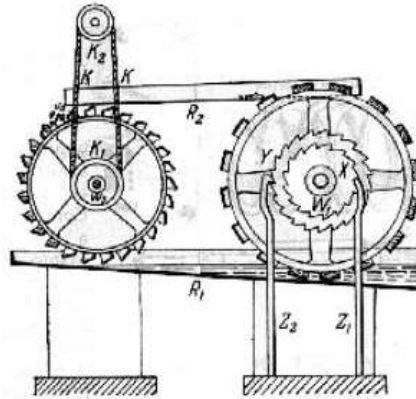


Fig. 77. Mecanismo de un reloj que se da cuerda a sí mismo

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

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

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

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

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

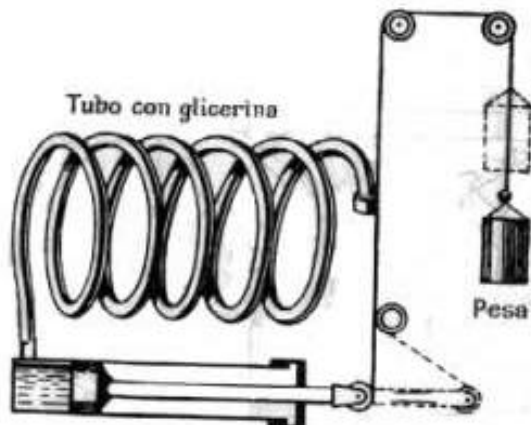


Fig. 78. Esquema del mecanismo de un reloj automático de otro tipo.

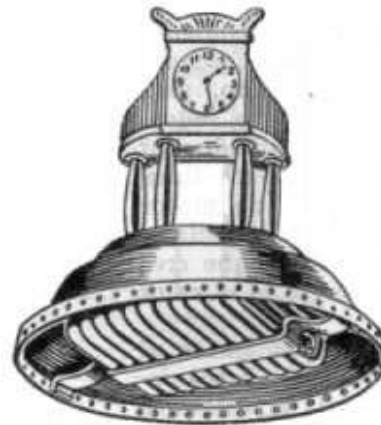


Fig. 79. Reloj automático; en la peana se oculta un tubo con glicerina.

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

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

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

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

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

Un Emboquillado Aleccionador

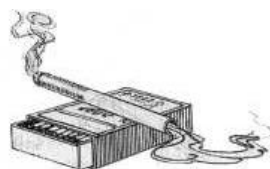


Fig. 80. ¿Por qué el humo que sale por un lado del cigarrillo se eleva, mientras que el que sale por el otro desciende?

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

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

Un Hielo que no se Funde en Agua Hirviendo

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

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

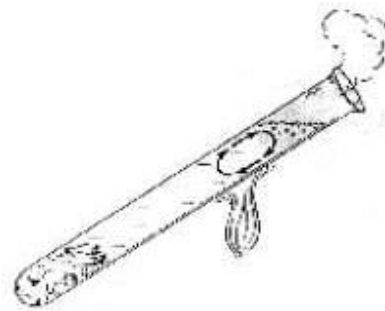


Fig. 81. El agua hierve en la parte superior, pero el hielo no se funde en la inferior.

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

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

¿Encima del Hielo o Debajo de él?

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Un Molinete Misterioso

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

Fig. 82. ¿Por qué gira el papel?



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

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

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

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

¿Calienta el Abrigo?

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

¿Qué podemos decir? ¿Cómo refutar estas conclusiones?

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

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

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

¿Qué Estación del Año Tenemos Debajo de los Pies?

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

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

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

Una Cacerola de Papel

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

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



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

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

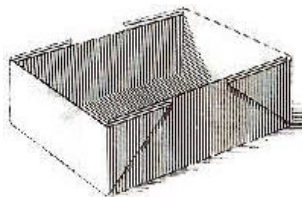


Fig. 84. Cajita de papel para hervir el agua.

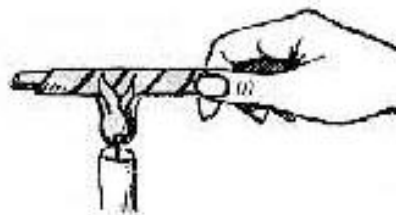


Fig. 85. Este papel no arde

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

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

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

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

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

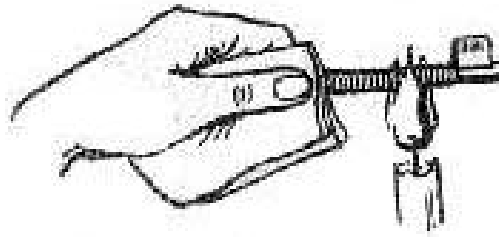


Fig. 86. Un hilo incombustible

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

¿Por qué es Resbaladizo el Hielo?

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

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

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

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

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

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

Problema de los Carámbanos

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

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



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

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

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

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

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

Capítulo Séptimo

Los Rayos de Luz

Las Sombras Apresadas

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

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



Fig. 88. Antigo procedimiento de hacer retratos en silueta

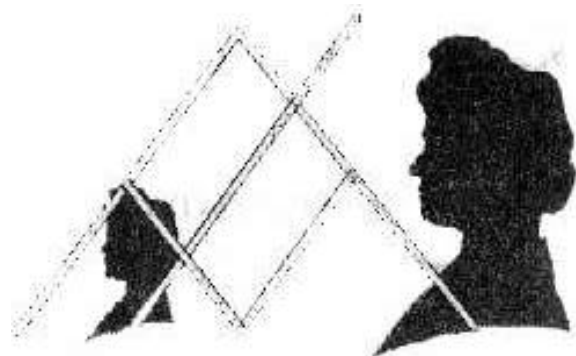


Fig. 89. Reducción de un retrato en silueta.

Hoy día, gracias a la fotografía, todo el mundo puede hacerse un retrato o reproducir los rasgos de las personas queridas. Pero en el siglo XVIII no eran tan felices. Los retratos había que encargárselos a los pintores, costaban mucho y, por lo tanto, estaban al alcance de una pequeña minoría.

Por esto es por lo que estaban tan difundidas las siluetas. Hasta cierto punto, estas sombras apresadas y fijas hacían las veces de fotografías modernas.

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

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

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

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



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

Es curiosa la procedencia de la propia palabra «silueta», que no es otra que el apellido de un ministro francés de finanzas, de mediados del siglo XVIII, que se llamaba Etienne de Silhouette, el cual hizo un llamamiento a los derrochadores de su tiempo, para que fueran razonablemente económicos, y criticó a la aristocracia francesa por sus extraordinarios gastos en cuadros y retratos. La baratura de los retratos de sombra dio pie a los chistosos para denominar estos retratos «a la Silhouette».

El Pollito en el Huevo.

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

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

más clara por los bordes, mientras que en su centro aparece bastante bien definida la silueta del pollito (fig. 91).

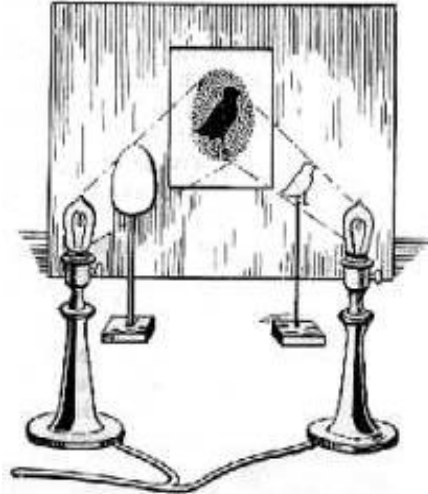


Fig. 91. Seudoradiografía.

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



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



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

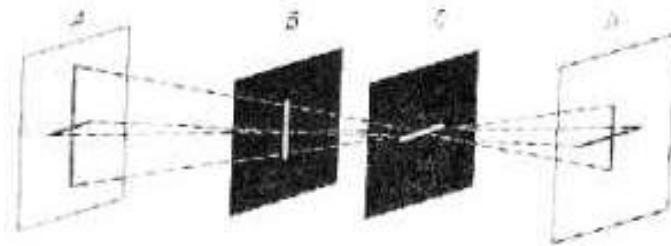


Fig. 94. Explicación gráfica de por qué la cámara de rendija produce imágenes deformadas.

Fotografías Caricaturescas

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

¿Cómo se explica esta deformación?

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

No ocurre lo mismo con la imagen que produce la línea horizontal en el vidrio esmerilado (si las rendijas siguen en la posición antedicha). A través de la primera rendija (horizontal) los rayos pasan sin dificultad y sin deformarse, hasta que se encuentran con la rendija vertical B; pero por esta segunda rendija pasan lo mismo que por un agujero redondo y dan en el vidrio esmerilado A una imagen cuya escala corresponde a la distancia desde este vidrio A hasta la segunda tablilla B. Concretando podemos decir, que cuando las rendijas se encuentran en la posición antedicha, para las líneas verticales de la figura todo ocurre igual que si sólo existiera la rendija delantera, mientras que para las horizontales, al contrario, como si únicamente existiera la rendija trasera. Y como quiera que la rendija delantera se encuentra más lejos del vidrio esmerilado que la trasera, todas las dimensiones verticales deben obtenerse en el vidrio A en una escala mayor que las horizontales, es decir, la imagen parecerá estar alargada en el sentido vertical.

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

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

Las cámaras de este tipo se pueden emplear no sólo para hacer caricaturas. Tienen aplicación en trabajos prácticos más serios, como, por ejemplo, para buscar variantes de motivos decorativos

para la arquitectura, dibujos para alfombras y tapices, etc., es decir, para obtener ornamentos y dibujos alargados o encogidos convenientemente en la dirección que se desee.

El Problema de la Salida del Sol

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

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

A muchos les cogerá de sorpresa saber que esta respuesta es totalmente errónea. Pero es el caso, que la «salida» del Sol se debe a que la esfera terrestre, al girar dentro de un espacio ya iluminado, hace que salgan a la luz nuevos puntos de su superficie. Por consiguiente, si la luz se difundiera instantánea mente, veríamos la salida del Sol a la misma hora que difundiéndose consecutivamente, es decir, a las 5 en punto¹.

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

¹ Si se toma en consideración la denominada «refracción atmosférica», el resultado que se obtiene es aún más sorprendente. La refracción encorva la trayectoria que los rayos siguen en el aire y con ello, hace que veamos la salida del Sol antes de que aparezca «geoméricamente» sobre el horizonte.

Pero si la luz se difundiera instantáneamente, no podría existir la refracción, puesto que ésta depende de la distinta velocidad de aquélla en los distintos medios. La carencia de refracción daría, pues, por resultado, el que el observador viera la salida del Sol más tarde que ahora. Esta diferencia dependería de la latitud del punto de observación, de la temperatura del aire y de otras condiciones y podría variar entre dos minutos y varios días (en las latitudes polares). Resulta una interesante paradoja: ¡Si la luz se difundiera instantáneamente (es decir si su velocidad fuese infinita), veríamos la salida del Sol más tarde que cuando su difusión no es instantánea! Una ampliación de este mismo problema puede verse en el libro «¿Sabe usted Física?»

Capítulo Octavo

Reflexión Y Refracción de la Luz

¿COMO VER A TRAVES DE LAS PAREDES?

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

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

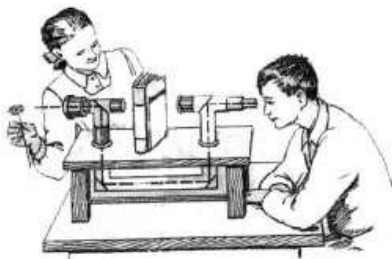


Fig. 95. El “aparato de Roentgen” de juguete



Fig. 96. Periscopio.

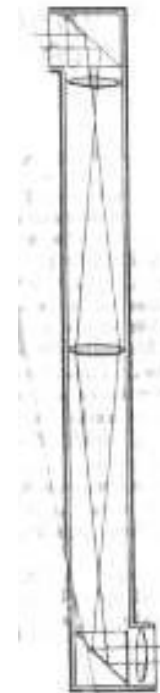


Fig. 97. Esquema del periscopio de los submarinos

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

que se ven empeora. Lo antedicho establece unos límites determinados a la altura del periscopio. Una altura de dos decenas de metros puede considerarse ya como próxima al límite. Los periscopios más altos tienen un campo visual extraordinariamente pequeño y proporcionan imágenes borrosas, sobre todo cuando el tiempo está nublado.

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

La Cabeza Parlante

Esta “maravilla” se mostraba hace aún no muchos años en los “museos” y “panópticos” ambulantes de las ferias provinciales. Era algo que llamaba verdaderamente la atención del profano. Este veía ante sí una mesita, en la que, sobre un plato, se encontraba... ¡una cabeza humana viva, que movía los ojos, hablaba y comía!



Fig. 98. El secreto de la “cabeza parlante”.

Debajo de la mesa no parecía haber sitio para ocultar el cuerpo. Aunque no era posible acercarse a ella, porque lo impedía una barrera, se veía perfectamente que debajo de la mesa no había nada. Si tenéis ocasión de presenciar alguna “maravilla” de éstas, tirad una bolita de papel debajo de la mesa. El secreto se descubrirá en el acto. La bolita de papel rebotará en... ¡un espejo! Incluso si no llega a la mesa, la pelotita descubrirá la existencia del espejo, puesto que se reflejará en él su imagen (fig. 98).

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

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

Este truco se presenta con frecuencia de una forma más espectacular. El prestidigitador enseña primeramente al público una mesa vacía. Tanto debajo, como sobre ella, no hay nada. Acto seguido, traen de dentro de la escena una caja cerrada, en la cual se asegura que está la “cabeza

viva, sin cuerpo”. En realidad, esta caja está vacía. El prestidigitador coloca la caja sobre la mesa, abre su pared delantera y, ante el público asombrado, aparece la “cabeza parlante”. El lector se habrá figurado ya, seguramente, que el tablero de la mesa tiene una parte de quita y pon, que cierra un agujero, por el cual, en cuanto ponen sobre él la caja vacía y sin fondo, saca la cabeza la persona que está sentada debajo de la mesa, oculta detrás de los espejos. Este truco tiene otras muchas variantes, pero no vamos a entretenernos en enumerarlas, puesto que el mismo lector, cuando las vea, podrá explicárselas.

¿Delante o Detrás?

Hay no pocos objetos domésticos que generalmente se utilizan mal. Ya hemos hablado anteriormente de cómo algunos no saben emplear el hielo para enfriar las bebidas, y ponen éstas sobre el hielo, en lugar de colocarlas debajo de él. Pero suele ocurrir también, que no todos saben utilizar un simple espejo. Hay muchas personas que para verse mejor en el espejo, colocan una lámpara a su espalda, con objeto de que “alumbre su reflejo”, en lugar de alumbrarse a sí mismas. Estamos seguros de que nuestros lectores no incurren en este error.

¿Se Puede Ver un Espejo?

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

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

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

¿A Quien Vemos Cuando Nos Miramos al Espejo?

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

No obstante, ¿quiere usted convencerse de este parecido? Pues, si tiene usted un lunar en la mejilla derecha, su gemelo del espejo no lo tendrá en dicha mejilla, mientras que en su mejilla izquierda tendrá una manchita que usted no tiene. Si usted se peina hacia la derecha, su gemelo se peinará hacia la izquierda. Si tiene usted la ceja derecha más alta y poblada que la izquierda, él, al contrario, tendrá esta ceja más baja y despoblada que la izquierda. Si usted lleva el reloj en la mano izquierda y el librito de notas en el bolsillo derecho de la chaqueta, su gemelo del espejo tendrá la costumbre de llevar el reloj en la mano derecha y el librito de notas en el bolsillo izquierdo de la chaqueta. Y fíjese usted en la esfera de su reloj. Nunca tuvo usted uno semejante. La disposición de las cifras en este reloj es muy extraña; por ejemplo, la cifra ocho está representada de una forma que nadie la escribe, IIX, y está situada en lugar de la cifra doce; después de las seis, van las cinco, etc.; además, las manecillas del reloj de su gemelo se mueven en dirección contraria a lo normal.

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



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

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

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

El Dibujo Delante Del Espejo

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

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

Nos convenceremos de cómo, esto que parece tan sencillo, es algo casi imposible de realizar. Durante muchos años, nuestras impresiones visuales y nuestro sentido de los movimientos han llegado a una determinada coordinación. El espejo infringe esta relación, al invertir ante nuestros ojos el movimiento de la mano. Nuestras antiguas costumbres se rebelarán contra cada uno de estos movimientos. Cuando queremos trazar una línea hacia la derecha, la mano tira hacia la izquierda, etc.

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



Fig. 100. Dibujando delante de un espejo.

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

UNA PRECIPITACION ECONOMICA

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

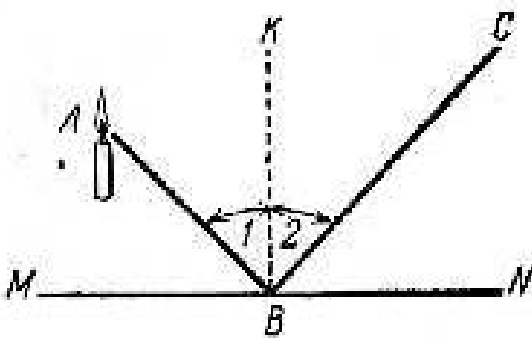


Fig. 101. El ángulo de reflexión 2, es igual al ángulo de incidencia 1

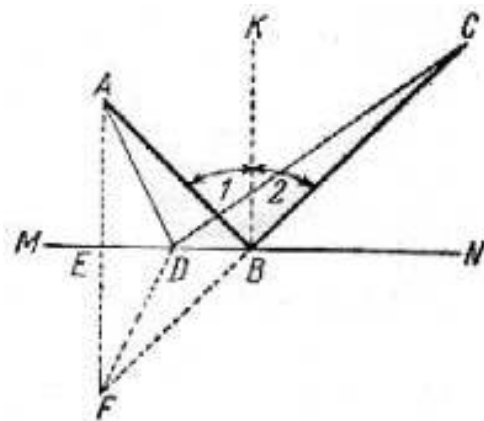


Fig. 102. La luz, al reflejarse, sigue el camino más corto.

Sigamos atentamente este camino. Supongamos que el punto A de la fig. 101 es un foco de luz; la línea MN, un espejo, y la ABC, el camino que recorre un rayo de luz desde el foco A hasta el ojo C. La recta KB es perpendicular a la MN.

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

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

Donde quiera que se encuentre el punto D, el camino ABC será siempre más corto que el ADC, mientras el ángulo de reflexión sea igual al ángulo de incidencia. Es decir, que la luz elige efectivamente el camino más corto, de todos los posibles, entre el foco luminoso, el espejo y el ojo. Este hecho fue señalado por primera vez por Herón de Alejandría.

El Vuelo de la Corneja

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



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

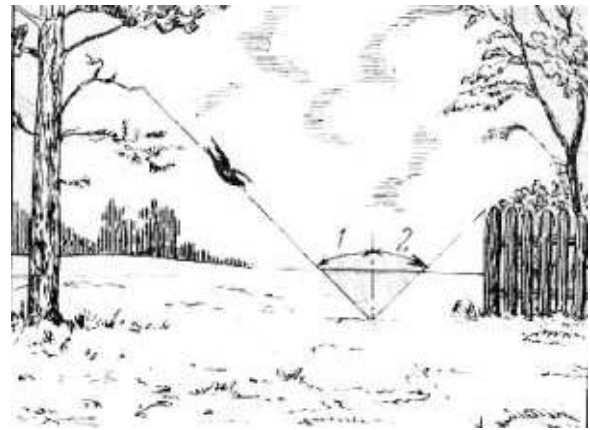


Fig. 104. Solución del problema de la corneja.

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

Este problema es completamente igual al anterior. Por esto, no es difícil dar una respuesta acertada, como la siguiente: la corneja deberá imitar al rayo de luz, es decir, volar de tal manera, que el

ángulo 1 sea igual al ángulo 2 (fig. 104). Como vimos antes, en este caso, el camino será el más corto.

Lo Nuevo y lo Viejo Del Caleidoscopio

Todos conocemos un buen juguete, que se llama caleidoscopio. Un puñado de trocitos multicolores de vidrio se refleja en tres espejos planos, formando figuras de singular belleza, las cuales varían en cuanto el caleidoscopio se hace girar lo más mínimo. Pero aunque el caleidoscopio es muy conocido, son pocos los que sospechan la enorme cantidad de figuras diferentes que pueden obtenerse con este juguete. Supongamos que tenemos un caleidoscopio en el que hay 20 trocitos de vidrio y que lo giramos 10 veces por minuto, para hacer que los trocitos reflejados adopten nuevas posiciones. ¿Cuánto tiempo necesitaríamos para ver todas las figuras que se pueden formar?

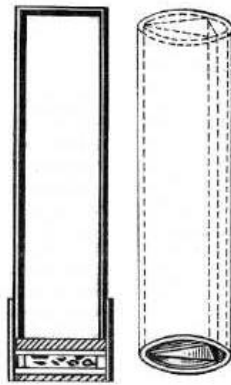


Fig. 105. Caleidoscopio.

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

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

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

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

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

*Miro, y, ¿qué ven mis ojos?
En distintas figuras y estrellas,
Zafiros, rubíes, topacios.
Y esmeraldas, y diamantes,
Y amatistas, y perlas,
Y nácar, y todo, ¡do repente!
Y en cuanto la mano muevo,
Mis ojos ven algo nuevo.*

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

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

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

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

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

Los Palacios de Ilusiones y de Espejismos

¿Qué sensación experimentaríamos si, achicados hasta tener las dimensiones de uno de los trocitos de vidrio, nos encontráramos dentro de un caleidoscopio?

Existe un procedimiento de realizar este experimento. Esta magnífica oportunidad la tuvieron en 1900 todos los visitantes de la Exposición Internacional de París, en la cual tuvo un gran éxito el denominado “Palacio de las ilusiones”. Este palacio era algo parecido a un caleidoscopio, pero fijo. Imaginémonos una sala hexagonal, cada una de cuyas seis paredes es un grandioso espejo idealmente pulido. En los ángulos de esta sala de espejos hay unos adornos arquitectónicos en forma de columnas y cornisas, que armonizan con las molduras del techo. El espectador que se encuentra en esta sala se ve a sí mismo, como si estuviera perdido entre una multitud de personas parecidas a él, dentro de una infinita enfilada de salas y columnas, que lo rodean por todas partes y que se extienden tan lejos como alcanza la vista.

Las salas que en la fig. 106 están rayadas horizontalmente, son las que resultan de la reflexión simple; las rayadas perpendicularmente a las primeras, las producidas por la reflexión doble, que forman en total 12 salas.



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

La triple reflexión añade a las anteriores otras 18 salas (rayadas oblicuamente). De esta forma, las salas se van multiplicando a cada reflexión y su número total depende exclusivamente de la perfección del pulimentado y del paralelismo de los espejos que ocupan las paredes opuestas de la sala prismática. Prácticamente se podían distinguir hasta las salas resultantes de la duodécima reflexión, es decir, que el horizonte abarcado por la vista comprendía 468 salas.

La causa de esta “maravilla” está clara para todo aquel que conozca las leyes de la reflexión de la luz, ya que se reduce a que tenemos tres pares de espejos paralelos y diez pares de espejos colocados en ángulo.

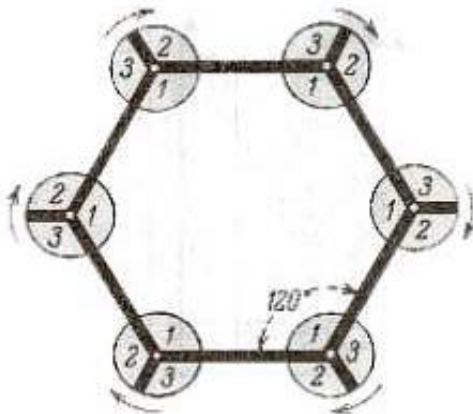


Fig. 107.



Fig. 108. El secreto del “Palacio de los espejismos”

Nada tiene de particular, pues, la gran cantidad de reflexiones que se producen. Más interesantes aún eran los efectos ópticos que se consiguieron en la Exposición de París en el llamado “Palacio de los espejismos”. Los constructores de este “palacio” unieron al infinito número de reflexiones, la mutación instantánea de todo el cuadro. Es decir, hicieron algo parecido a un enorme caleidoscopio móvil, en cuyo interior se situaba el observador.

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

¿Por Qué y Cómo se Refracta la Luz?

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

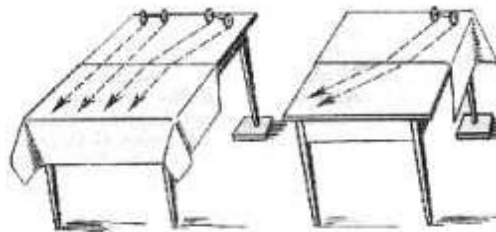


Fig. 109. Experimento para explicar la refracción de la luz.

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

perpendicular al nuevo frente, y en segundo, guardará una relación con el camino que habría recorrido, de no haberse retrasado, igual a la que existe entre la nueva velocidad y la anterior”.

De una forma más reducida, nosotros podemos repetir esta representación gráfica de la refracción de la luz, en nuestra propia mesa. Para ello, una mitad de esta mesa se cubre con un mantel (fig. 109) y, después de inclinarla un poco, se hace que ruede por ella un par de ruedecitas fijas en un eje común (pueden servir las de cualquier juguete roto). Si la dirección en que se mueve este par de ruedas y la del borde del mantel forman entre sí un ángulo recto, el camino no se tuerce. En este caso tenemos una ilustración de la regla óptica que dice: Todo rayo de luz, perpendicular al plano de separación de dos medios diferentes, no se refracta. Pero si la dirección del movimiento de las ruedecitas está inclinada con respecto al borde del mantel, el camino que siguen aquéllas se tuerce al llegar a dicho borde, es decir, en la divisoria entre los dos medios que determinan la diferencia en la velocidad de las ruedecitas. No es difícil darse cuenta de que, al pasar de la parte de la mesa en que la velocidad del movimiento es mayor (la desprovista de mantel), a la parte en que dicha velocidad es menor (la cubierta por el mantel), la dirección del camino (del “rayo”) tiende a aproximarse a la “perpendicular de incidencia”. En el caso contrario, se observa una tendencia a separarse de dicha perpendicular.

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

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

¿Cuándo se Recorre Mas Pronto un Camino Largo Que Otro Corto?

Es posible que una línea quebrada pueda conducir al objetivo más rápidamente que una recta? Sí, en aquellos casos en que la velocidad del movimiento es distinta en las diferentes partes del camino recorrido. Recordemos si no lo que hacen los habitantes de los pueblos, que encontrándose entre dos estaciones de ferrocarril, están más cerca de una de ellas. Cuando necesitan ir a la estación más lejana, van a caballo, en dirección contraria, hasta la estación más próxima, y allí toman el tren y van hasta su punto de destino. El camino más corto sería irse directamente, a caballo, a la estación más lejana, pero ellos prefieren recorrer el más largo, primero a caballo y luego en un vagón de ferrocarril, porque así llegan antes a su objetivo.

Prestemos un minuto de atención a otro ejemplo. Un soldado de caballería debe llevar un parte desde el punto A a la tienda de campaña de su jefe, la cual se encuentra en el punto C (fig. 110). Le separan de dicha tienda dos zonas, una formada por arenas profundas y otra por un prado, divididas entre sí por la línea recta EF. Por la arena, el caballo marcha dos veces más despacio que por el prado. ¿Qué camino deberá seguir el jinete, para llegar cuanto antes a la tienda de su jefe?

A primera vista, parece que el camino más rápido será el que va en línea recta desde el punto A al punto C. Pero esto es totalmente erróneo, y yo creo que ningún jinete elegiría este camino. La lentitud de la marcha por el arenal le hará pensar en la manera de acortar esta parte del camino, atravesando la zona arenosa por la línea menos oblicua. Naturalmente, al proceder así, alargará la segunda parte del recorrido; pero como quiera que por el prado puede marchar dos veces más de

prisa, el tiempo en recorrer el trozo en que se alargue esta parte no excederá del que se economiza acortando la parte arenosa, y en total, se tardará menos tiempo en recorrer todo el camino. En otras palabras, el camino a seguir por el jinete debe desviarse al pasar el límite entre los dos terrenos, y esta desviación se caracterizará, porque el camino a seguir por el prado formará con la perpendicular a la línea divisoria un ángulo mayor que el que forma con ella el camino por el arenal.

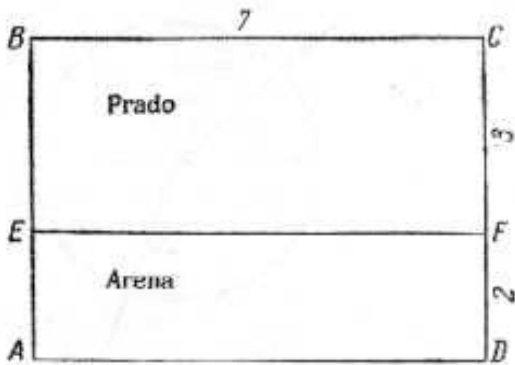


Fig. 110. El problema del jinete. Hallar el camino más rápido desde A a C.

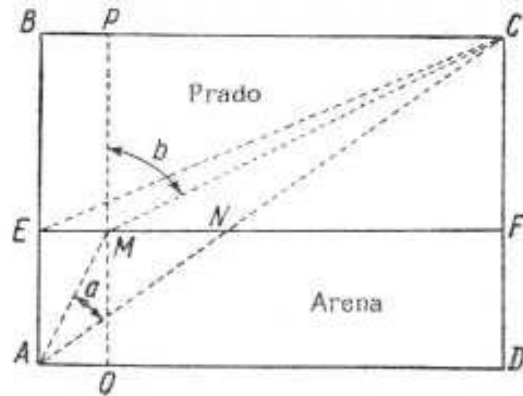


Fig. 111. Solución del problema del jinete. El camino más rápido es AMC.

Todo aquel que sepa geometría, y especialmente el teorema de Pitágoras, puede comprobar, que el camino en línea recta AC no es realmente el más rápido, y que, teniendo en cuenta la anchura de las zonas y las distancias a que aquí nos referimos, se llegará más pronto al objetivo siguiendo, por ejemplo, la línea quebrada AEC (fig. 111).

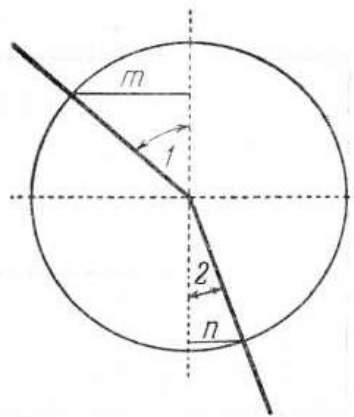


Fig. 112. ¿Qué es el “seno”? La razón de m al radio, es el seno del ángulo 1; la razón de n al radio, es el seno del ángulo 2.

En la fig. 110 puede verse, que la anchura de la zona arenosa es de 2 km, y la del prado, de 3 km. La distancia BC es de 7 km. En este caso, la distancia AC (fig. 111) será igual, por el teorema de Pitágoras, a $\sqrt{5^2+7^2} = \sqrt{74} = 8,60$ km. La parte AN, correspondiente a la zona arenosa de este segmento, será igual, como es fácil de comprender, a $2/5$ de esta magnitud, es decir, a 3,44 km.

Como quiera que la marcha por la arena es dos veces más lenta que por el prado, para recorrer estos 3,44 km se necesitará el mismo tiempo que para recorrer 6,88 km por el prado. Por consiguiente, el camino combinado total, por la línea AC, cuya longitud efectiva es de 8,60 km, corresponde, atendiendo al tiempo que se tarda en recorrerlo, a un camino de 12,04 km por el prado. Hagamos ahora una idéntica “reducción al prado” para el camino en línea quebrada AEC. Su parte AE=2 km, representará 4 km por el prado. La parte EC = $\sqrt{3^2 + 7^2} = \sqrt{58} = 7,6$ km. En total, la línea quebrada AEC corresponderá a $4+7,6=11,6$ km por el prado.

De esta forma, el camino “más corto”, en línea recta, corresponde a 12,0 km de recorrido por el prado, mientras que el “más largo”, en línea quebrada, solamente 11,6 km por este mismo terreno. Como vemos el “camino más largo” da una ventaja de $12,0-11,6=0,4$ km, es decir, de cerca de medio kilómetro. Pero aún no hemos determinado el camino más rápido. Este camino más rápido, según nos enseña la teoría, será aquel, en que (aquí tendremos que recurrir a la trigonometría) la relación entre el seno del ángulo b y el seno del ángulo a sea igual a la relación entre la velocidad por el prado y la velocidad por el arenal, es decir, a 2:1. En otras palabras, hay que elegir una dirección para la cual el sen (b) sea dos veces mayor que el sen a. Para esto, hay que cruzar el límite entre las zonas en un punto M, que se encuentre a un kilómetro de distancia del punto E. Efectivamente,

en este caso $\text{sen } b = 6/\sqrt{3^2+6^2}$, y $\text{sen } a = 1/\sqrt{1+2^2}$, y la relación

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

es decir, igual a la relación entre las velocidades.

Y, ¿cuál será en este caso la longitud total del camino “reducida al prado”?

Calculémosla: $AM = \sqrt{2^2+1^2}$ lo que corresponde a 2,24 km de camino por el prado. $MC = \sqrt{3^2+6^2} = 6,71$ km. Por consiguiente, la longitud total del camino “reducida al prado” será igual a $2,24 + 6,71 = 8,95$, es decir, 3,09 km más corto que el camino en línea recta, el cual, como ya sabemos, corresponde a 12,04 km.

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

Uniendo en una regla las peculiaridades de la reflexión y de la refracción, podemos decir, que el rayo de luz sigue en todos los casos el camino más rápido, o sea, sigue la regla que los físicos llaman “principio de la llegada más rápida” (principio de Fermat).

Si el medio no es homogéneo y su capacidad de refracción varía paulatinamente, como ocurre, por ejemplo, con nuestra atmósfera, también se cumple el “principio de la llegada más rápida”. Esto explica la pequeña desviación que los rayos de los cuerpos celestes experimentan al atravesar la atmósfera, y que en el lenguaje de los astrónomos recibe el nombre de “refracción atmosférica”. En la atmósfera, cuya densidad aumenta paulatinamente hacia abajo, el rayo de luz se desvía de tal manera, que su parte cóncava mira hacia la Tierra. En este caso, el rayo permanece más tiempo en las capas superiores, que retrasan menos su marcha, y menos tiempo en las capas infe-

riores “lentas”, y, en definitiva, llega a su objetivo antes que si siguiera exactamente el camino en línea recta.

El “principio de la llegada más rápida” (principio de Fermat) no se cumple solamente en los fenómenos de la propagación de la luz, sino también en los de propagación del sonido y de todos los movimientos ondulatorios, cualquiera que sea la naturaleza de sus ondas. El lector querrá saber seguramente, cómo se explica esta peculiaridad de los movimientos ondulatorios. Para satisfacer esta curiosidad, incluyo a continuación una idea referente a este particular, expresada por el eminente físico contemporáneo Schrödinger¹. Partía del ejemplo, ya conocido, de los soldados marchando en formación, y consideraba el caso de la propagación de un rayo de luz en un medio cuya densidad cambia paulatinamente.

“Supongamos - escribía - que para conservar rigurosamente la rectitud del frente, los soldados van unidos entre sí por una barra larga, que cada uno sostiene fuertemente en sus manos. La orden dada es la siguiente: ¡Corred todos, 10 más velozmente que podáis! Si el carácter del terreno varía paulatinamente de un punto a otro, veremos, que al principio, por ejemplo, se moverá más de prisa el ala derecha, mientras que después, la izquierda, produciéndose un giro espontáneo del frente. Al ocurrir esto, nos daremos cuenta de que, el camino recorrido no es rectilíneo, sino curvado. Pero, que este camino coincide rigurosamente con el más corto, en el sentido del tiempo de llegada al punto dado, en las condiciones de terreno dadas, está bastante claro, puesto que cada soldado procuró correr lo más velozmente posible”.

Los Nuevos Robinsones

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

“- Pero, ¿quién ha encendido esta lumbre? - preguntó el marino.

- El Sol - respondió Spilett.

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

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

- No, pero lo he hecho.

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

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

No, no puede. El vidrio de reloj está limitado por dos superficies paralelas (concéntricas), una exterior y otra interior, y, como sabemos por la Física, los rayos, al atravesar un medio limitado por superficies de este tipo, no cambian casi de dirección. Tampoco se desvían al pasar por el

¹ En la disertación leída en Estocolmo con motivo de la recepción del premio Nobel (en 1933).

segundo vidrio, y, por lo tanto, no se concentran en el foco. Para que los rayos se concentren en un punto hay que llenar el espacio que queda entre los vidrios de una sustancia transparente cualquiera, que refracte los rayos de luz más que el aire. Esto es lo que hizo el ingeniero de la novela de Julio Verne.

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

Un pequeño matraz esférico, lleno de agua, es suficiente para hacer hervir el agua que cabe en un vidrio de reloj. Para esto basta un matraz de 12 centímetros de diámetro. Cuando el diámetro es de 15 cm, en el foco² se obtiene una temperatura de 120°C. Encender un cigarro, valiéndose de un matraz con agua, es algo tan fácil como hacerlo con la lente de vidrio, de la cual decía Lomonosov en su poesía “A la utilidad del vidrio”:

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

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

Es interesante el hecho de que los antiguos griegos, más de mil años antes de que se inventaran los anteojos y catalejos, sabían ya que las lentes podían producir el fuego. De esto nos habla Aristófanes en su célebre comedia “Las Nubes”. En ella, Sócrates le plantea a Estreptíades el siguiente problema:

Sócrates: “Si alguien escribiese que tienes la obligación de pagar cinco talentos, ¿qué harías para destruir esta escritura?”

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

Sócrates. ¿El cristal encendedor?

Estreptíades. Ese mismo.

Sócrates. ¿Y, qué más?

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

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

² En este caso, el foco se encuentra muy cerca del matraz.

¿Como Hacer Fuego Con el Hielo?

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



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

Estas lentes de hielo prestaron un buen servicio a los protagonistas de la novela de Julio Verne “Aventuras del capitán Hatteras”. En ella, el doctor Clawbonny hace arder la hoguera por este procedimiento, cuando los expedicionarios perdieron el eslabón y se encontraron privados de fuego con un frío de 48 grados bajo cero.

“- Esto es una desgracia - dijo Hatteras al doctor.

- Sí - respondió éste.

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

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

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

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

- ¿Qué piensa usted? - se interesó Hatteras. - Se me ha ocurrido una idea...

- ¿Una idea? - exclamó el contra maestre -. Si se le ha ocurrido a usted una idea, estamos salvados.

- No sé cómo saldrá - dudó el doctor.

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

- No tenemos lente, pero podemos hacerla.

- ¿Cómo? - se interesó el contra maestre.

- La puliremos de un trozo de hielo.

- ¿Es posible qué?...

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

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

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

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

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

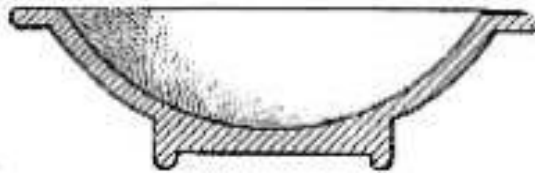


Fig. 114. Vasija para hacer lentes de hielo.

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

Con Ayuda de Los Rayos Solares

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

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

“¿Para qué serviría la teoría si de ella no se pudieran obtener beneficios prácticos? - exclamaba él a este propósito y continuaba -: ¿A caso no podemos deducir de este experimento que los trajes negros son menos apropiados que los blancos para los climas templados y de mucho sol? Naturalmente, puesto que con ellos nuestro cuerpo se calienta más al sol, y si además hacemos movi-

mientos, que de por sí contribuyen a calentarnos, el calor será excesivo. ¿No deberían ser los sombreros de verano de color blanco, para evitar así ese calor que llega a producir la insolación a ciertas personas? Es más, si se pintaran las paredes de negro, ¿no podrían acaso absorber durante el día tanto calor, que por la noche se conservasen, hasta cierto punto, templadas y pudieran evitar que se helasen las frutas? ¿Es que no puede un observador atento tropezarse con otras particularidades más o menos importantes?”

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

Lo Viejo y lo Nuevo del Espejismo

Lo más probable es que todos sepan la causa física del espejismo ordinario. Las arenas del desierto, caldeadas por el calor, adquieren propiedades semejantes a las de un espejo, porque la capa de aire caliente que linda con ellas es menos densa que las superiores.

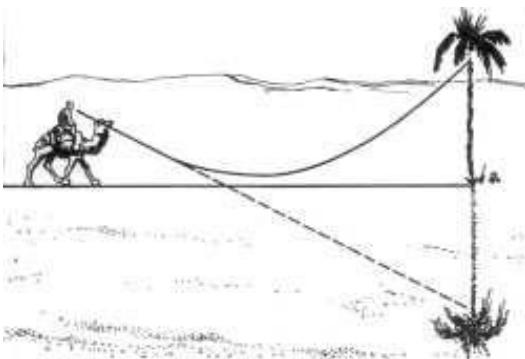


Fig. 115. ¿Cómo se produce el espejismo en el desierto? Este dibujo, que generalmente reproducen los libros de texto, representa el camino que sigue un rayo de luz, cuyo ángulo de inclinación con respecto a la tierra está muy aumentado.

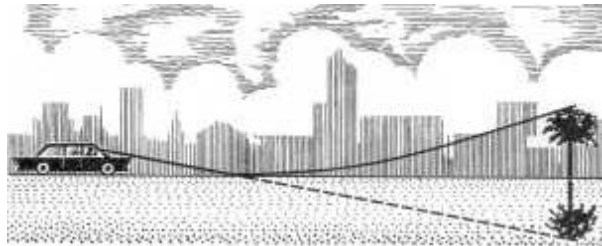


Fig. 116. El espejismo en una carretera alquitranada.

Todo rayo de luz oblicuo, procedente de cualquier objeto bastante alejado, al encontrarse con esta capa de aire se desvía, de forma, que al seguir adelante vuelve a alejarse del suelo y llega a los ojos del observador lo mismo que si se hubiera reflejado en un espejo formando un gran ángulo de incidencia. Esto hace, que el observador sienta la impresión de que ante él se abre en el desierto una extensión de agua, en la cual se reflejan los objetos que hay en sus orillas (fig. 115).

Mejor sería decir, que la capa de aire caliente que linda con el suelo caldeado, refleja los rayos de luz, no como un espejo, sino como lo hace la superficie del agua cuando se mira desde abajo, es

decir, desde dentro del agua. En este caso no se produce una reflexión ordinaria, sino lo que se llama en física una “reflexión interna”. Para que así ocurra, el rayo de luz tiene que entrar en esta capa de aire muy oblicuamente (mucho más de lo que se ve en la reproducción simplificada de la fig. 115); de lo contrario, no superaría el “ángulo máximo” de incidencia del rayo y no se produciría la “reflexión interna”.

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

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

Este tipo de espejismo, que acabamos de examinar, se conoce desde la más remota antigüedad. La meteorología moderna lo designa con el nombre de “espejismo inferior” (para diferenciarlo del “superior”, que es el que produce la reflexión de los rayos de luz en las capas de aire enrarecido de las altas regiones de la atmósfera). La mayoría de las personas están convencidas de que este espejismo clásico se observa exclusivamente en el aire tórrido de los desiertos del sur y de que no puede producirse en otras latitudes más al norte. No obstante, el espejismo inferior puede observarse frecuentemente en nuestras latitudes. Fenómenos semejantes se producen asiduamente en las carreteras asfaltadas o alquitranadas, las cuales, debido a su color oscuro, se calientan mucho al sol. Cuando esto ocurre, desde lejos parece que la superficie mate de estas carreteras está húmeda y que refleja los objetos distantes. El camino que siguen los rayos de luz, en este espejismo, se muestra en la fig. 116. Cuando uno es un poco observador, estos fenómenos se suelen ver más a menudo de lo que en general se piensa.

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

En la fig. 118 se ve (a la izquierda) la pared F del fuerte, primeramente mate, y después brillante (a la derecha) como un espejo (fotografiada desde el punto A'). En la foto de la izquierda se distingue el hormigón gris y ordinario, en el cual no pueden reflejarse las figuras de los dos soldados que junto a la pared se encuentran.

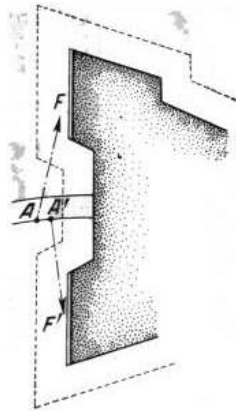


Fig. 117. Plano del fuerte en que se observó el espejismo. La pared F parecía un espejo desde el punto A y la pared F' daba la misma sensación desde el punto A'.

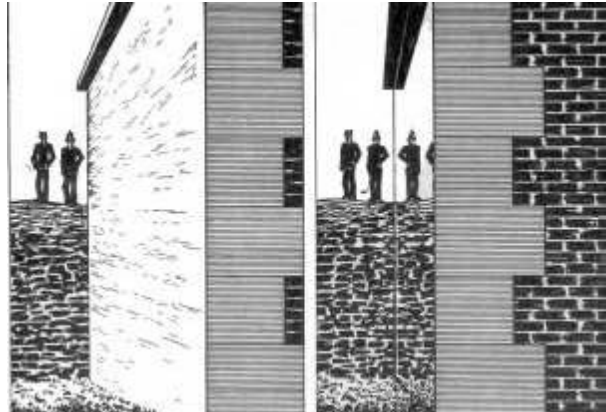


Fig. 118. La pared gris e irregular del fuerte (a la izquierda) se transformaba de repente en una superficie pulida, que reflejaba las imágenes (a la derecha).

En la de la derecha, se ve esta misma pared cuando la mayor parte de ella adquirió propiedades semejantes a las del espejo y reproduce simétricamente la imagen del soldado más próximo a ella. Está claro, que donde se reflejan los rayos de luz no es en la superficie de la pared, sino en la capa de aire caliente contigua a ella.

En los días calurosos de verano deberíamos prestar más atención a las paredes caldeadas de los grandes edificios y procurar descubrir si se produce en ellas el fenómeno del espejismo. Indudablemente, los casos de espejismo se observarían con mucha más frecuencia si prestáramos a ellos más atención.

El “Rayo Verde”

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

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

¿Por qué se produce el rayo verde?

Para comprender la causa de este fenómeno hay que recordar cómo vemos los objetos cuando los miramos a través de un prisma de cristal. Hagamos, por ejemplo, el siguiente experimento: cojamos un prisma de cristal y, teniéndolo delante del ojo horizontalmente, con la parte ancha hacia abajo, miremos a través de él una hoja de papel blanco clavada en la pared. Notaremos, en primer

lugar, que dicha hoja sube a una altura mucho mayor que la que ocupa en realidad, y, en segundo lugar, que tiene en su parte superior un borde violáceo azulado y en la parte inferior otro borde amarillo rojizo. La elevación depende de la refracción de la luz y los bordes coloreados, de la dispersión que produce el cristal, es decir, de la propiedad que tiene éste de refractar distintamente los rayos de colores distintos. Los rayos violeta y azules se refractan más que los restantes, por lo cual, el borde que vemos en la parte superior es violáceo azulado; los rayos rojos, por el contrario, son los que menos se refractan, por cuya razón vemos nuestra hoja de papel con un borde rojo en su parte inferior.

Para en adelante comprender mejor, es conveniente detenernos un poco en el origen de estos bordes coloreados. El prisma descompone la luz blanca, procedente del papel, en todos los colores del espectro, produciendo una multitud de imágenes de dicha hoja de papel, situadas en el orden correspondiente a la refracción de los distintos colores, pero superpuestas parcialmente unas a otras. De la acción simultánea de estas imágenes coloreadas superpuestas, nuestro ojo recibe la sensación del color blanco (suma de los colores del espectro), pero por arriba y por abajo sobresalen los bordes de los colores que no se mezclan. Goethe, el insigne poeta y naturalista alemán del siglo XVIII, que hizo este experimento, pero que no comprendió su sentido, pensó, que acababa de descubrir la falsedad de la teoría de Newton sobre los colores, y escribió su propia “Ciencia de los Colores”, la cual está basada casi totalmente en ideas falsas. Es de suponer que nuestros lectores no repetirán los errores de este gran poeta y no esperarán que el prisma pinte para ellos, con nuevos colores, todos los objetos que les rodean.



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

La atmósfera terrestre viene a ser para nuestros ojos algo así como un enorme prisma de aire, cuya base está dirigida hacia abajo. Cuando miramos al Sol en el horizonte, lo hacemos a través de este prisma gaseoso. El disco toma por su parte superior un borde de color azul y verde, y por la inferior otro, de color rojo y amarillo. Mientras el Sol se encuentra sobre el horizonte, la claridad de la luz del disco es tan intensa, que apaga estas zonas coloreadas e impide que las veamos.

Pero en el momento de la salida y de la puesta del Sol, cuando casi todo el disco está oculto tras el horizonte, podemos ver el borde azul de su parte superior. Este borde es en realidad bicolor: su parte más alta está formada por una franja azul, y la más baja, por una celeste, resultado de la mezcla de rayos azules y verdes. Cuando el aire próximo al horizonte está completamente limpio y transparente, vemos el borde azul, o “rayo azul”. Pero con frecuencia, los rayos azules se dispersan en la atmósfera y queda solamente un borde verde; éste es precisamente el fenómeno del “rayo verde”. En la mayoría de los casos, la atmósfera está turbia, y dispersa, además de los rayos azules, los verdes. En este caso no se observa ningún borde y el Sol, al ponerse, semeja una esfera purpúrea.

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

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

“... En el último minuto precursor de la puesta del Sol, cuando, por consiguiente, aún se veía una parte apreciable de él, su disco, cuyos límites eran ondulados y móviles, pero bien definidos, estaban rodeados de un margen verde. Mientras el Sol no se puso por completo, este margen no se distinguía a simple vista. Solamente se hizo visible en el momento en que el Sol desapareció tras el horizonte. Si un fenómeno como éste se observa con un anteojo de suficiente aumento (aproximadamente de 100 veces), se puede seguir minuciosamente todo el transcurso del mismo: el margen verde comienza a notarse, por lo menos, 10 minutos antes de ponerse el Sol; este margen limita la parte superior del disco, mientras que en la inferior se observa un margen rojo. La anchura de este margen es muy pequeña al principio (de varios segundos de arco en total), pero después va aumentando a medida que se pone el Sol. A veces llega a alcanzar hasta medio minuto de arco. Sobre este margen verde suelen verse unas prominencias del mismo color, las cuales, al ir desapareciendo paulatinamente el Sol, parece que se deslizan por su orilla hasta llegar al punto más alto. Algunas veces, estas prominencias se separan del margen, brillan varios segundos aisladas de él y luego se apagan” (fig. 119).

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

Es muy interesante la observación del “rayo verde” al salir el Sol, cuando su parte superior comienza a surgir de detrás del horizonte. Esto desmiente la versión de que el “rayo verde” no es más que una ilusión óptica, que se produce por cansancio del ojo con el brillo del Sol al ponerse. El Sol no es el único astro que lanza el “rayo verde”. Este fenómeno se ha podido observar también al ponerse Venus.

Capítulo Noveno

La Vista Con Uno y Con Dos Ojos

Antes de Que Existiera La Fotografía

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

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

“- ¡Hasta que saquen mi retrato! – exclamó mister Pickwick.

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

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

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

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

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

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

Lo Que Muchos no Saben

La fotografía llegó hasta nosotros allá por los años cuarenta del siglo pasado. Primeramente estuvo representada por lo que se denominó “daguerrotipia”¹, que reproducía las imágenes en placas metálicas. Este procedimiento de fotografiar era muy incómodo, ya que obligaba a permanecer decenas de minutos delante del aparato.

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

¹ En honor de su inventor, Daguerre

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

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

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

- Pero, ¿qué hace usted? ¿No le dije que se quedase sentado y quieto?
- Sí, señor, y así lo hice. Me levanté cuando se marchó usted.
- Pues, entonces era cuando había que estar sentado.
- ¿Para qué estar sentado inútilmente?”

El lector creerá, que, ahora, ya estamos lejos de todas estas ideas simplistas sobre la fotografía. Sin embargo, en nuestros días, la mayoría de las personas aún no se han acostumbrado por completo a ella, y, dicho sea de paso, son pocos los que saben mirar una fotografía acabada. Se me dirá, que para eso no hay que saber nada, basta coger la foto y mirarla. Pero eso no es tan fácil como parece. Las fotografías forman parte de esos objetos domésticos, que, a pesar de su popularidad, no sabemos aprovechar como es debido. La mayoría de los fotógrafos, tanto de afición como profesionales - sin hablar de todo el público restante - miran las fotografías de forma muy diferente a la que hace falta. Hace un siglo que se conoce el arte fotográfico, pero siguen siendo muchos los que todavía no saben cómo hay que mirar las fotos.

El Arte de Mirar Las Fotografías

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

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

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

idéntica y esta identidad es percibida por nuestra conciencia como indicio de que el objeto es plano en toda su extensión.

Ahora está claro el error en que incurrimos al mirar una fotografía con los dos ojos. Porque al hacerlo, influimos sobre nuestra conciencia, convenciéndola de que lo que tiene delante es un cuadro plano.

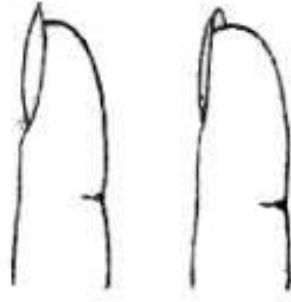


Fig. 120. Un dedo, colocado a poca distancia de la cara, según lo perciben el ojo izquierdo y el derecho respectivamente

Cuando fijamos ambos ojos en una fotografía apta para uno sólo, nosotros mismos impedimos que dicha fotografía nos dé lo que debería darnos, es decir, anulamos con nuestro error la ilusión que de una manera tan perfecta crea la cámara fotográfica.

¿Desde Qué Distancia Deben Mirarse las Fotografías?

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

¿Qué distancia debe ser ésta?



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

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

Teniendo en cuenta que la mayoría de los aparatos para aficionados tienen una longitud focal igual a 12-15 cm², se comprende que nunca miremos estas fotografías desde la distancia que corresponde, ya que la distancia óptima para la vista normal (25 cm) es casi dos veces mayor que la indicada. También parecerán planas las fotografías colgadas en la pared, porque las miramos desde una distancia aún mayor.

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

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

Un Efecto Extraño del Cristal de Aumento

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

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

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

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

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

² Tanto aquí como en lo sucesivo, el autor se refiere a los aparatos más populares del tiempo en que fue escrita esta obra. (N. de la Edit.)

Ampliación de las Fotografías

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

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

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

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

El Mejor Sitio en el Cine

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

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

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

Los tomavistas ordinarios se proveen de objetivos de 35, 50, 75 y 100 mm de longitud focal, según sea el carácter de la escena.

La anchura normalizada de la película es de 24 mm. Para el foco de 75 mm, por ejemplo, tendremos la siguiente relación:

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

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

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

Un Consejo a Los Lectores de Revistas Ilustradas

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

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

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

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

Queremos llamar la atención sobre otro hecho. De la misma manera que las fotografías cobran vitalidad al ser ampliadas, pierden, en este sentido, cuando se reducen. Las fotografías reducidas suelen tener mayor nitidez y contraste, pero son planas, es decir, no dan la sensación de profundidad y relieve. La causa de que ocurra así puede comprenderse fácilmente después de lo dicho, y se reduce a que, al disminuir la fotografía, disminuye proporcionalmente la “distancia de la perspectiva”, la cual es ya de por sí demasiado pequeña.

¿Como Mirar Los Cuadros?

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

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

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

Las fotografías reducidas de cuadros grandes, suelen dar una ilusión más completa del relieve que el propio original. Para comprender esto no hay más que recordar, que al reducir el cuadro disminuye también la distancia, generalmente grande, desde la cual debe mirarse la imagen, y, por consiguiente, la fotografía adquiere relieve desde cerca.

Representación de Cuerpos en el Plano

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

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

Si los planos más alejados se representan menos nítidos y con tonos más claros, esto, junto con la diferencia de tamaño de los objetos que se encuentran a distintas distancias, da la sensación de

profundidad del espacio, independientemente del procedimiento que se emplee para observar el cuadro. El pintor puede crear esta “perspectiva aérea” combinando las tonalidades de luz y de colorido con la correspondiente precisión del dibujo.

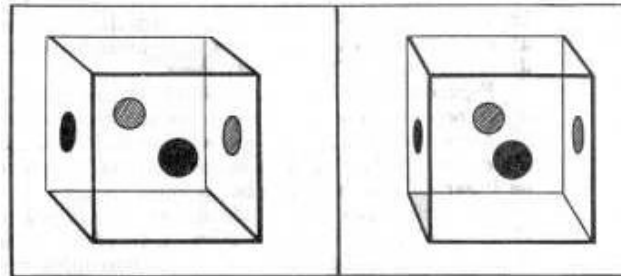


Fig. 122. Un cubo de vidrio con manchas, visto por el ojo izquierdo y por el derecho.

El fotógrafo artístico consigue un efecto análogo eligiendo acertadamente la iluminación y empleando objetivos “blandos” y papel de la calidad más a propósito para obtener suficiente variedad de tonalidades de luz. En la fotografía también tiene gran importancia el enfoque: si el primer plano se representa nítidamente, mientras que los planos más alejados resultan cada vez más “desenfocados”, esto es suficiente, en muchos casos, para dar la sensación de profundidad del espacio; por el contrario, si se utiliza un diafragma pequeño y todos los planos resultan igualmente nítidos, la imagen pierde profundidad y resulta plana.

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

¿Que es el Estereoscopio?

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

En esto influyen varias causas. En primer lugar, el diferente grado de iluminación de las distintas partes de los objetos, nos permite hacernos una idea de su forma. En segundo lugar, juega su papel la tensión que sentimos al adaptar nuestro ojo para que pueda percibir claramente las partes del cuerpo que se encuentran a distintas distancias; porque así como todas las partes de un cuadro plano están a la misma distancia del ojo, las partes de un cuerpo se encuentran a distancias diferentes, y para que el ojo pueda verlas con claridad, tiene que adaptarse de distinta manera. Pero lo que más nos ayuda en este caso es, que las imágenes de un mismo objeto que percibe cada ojo no son iguales entre sí. Para convencerse de esto, basta con mirar cualquier objeto cercano, cerrando primeramente el ojo derecho y después el izquierdo. El ojo derecho no ve los objetos lo mismo que el izquierdo; cada ojo percibe un cuadro diferente, y esta diferencia, al ser interpretada por nuestra conciencia, nos da la sensación de relieve (fig. 120 y 122).

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

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

Nuestro Estereoscopio Natural

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

Aquí ofrecemos una serie de dibujos estereoscópicos, cada vez más complicados, que recomendamos para ser mirados directamente, es decir, sin estereoscopio. El éxito suele conseguirse después de realizar una serie de ejercicios³.

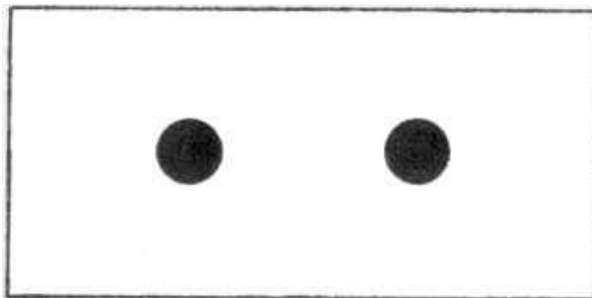


Fig. 123. Estos dos puntos se confundirán en uno solo, si durante varios segundos fijamos nuestra vista en el espacio que hay entre ellos.

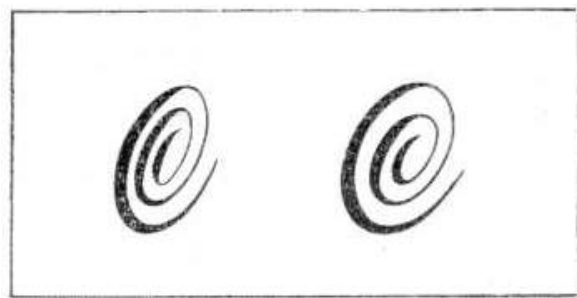


Fig. 124. Intentemos hacer lo mismo con este par de figuras. Después de conseguir su fusión podemos pasar al ejercicio siguiente.

Empecemos por el par de puntos negros de la fig. 123. Mantengámoslos delante de los ojos, durante varios segundos, sin separar la vista del espacio que hay entre ellos; al mismo tiempo hay que hacer un

³ Hay que advertir, que no todas las personas consiguen ver estereoscópicamente, incluso con el estereoscopio; algunos (por ejemplo, los bisojos y los acostumbrados a trabajar con un solo ojo) son totalmente incapaces para ello; otros lo consiguen después de ejercitarse mucho, y finalmente, hay un tercer grupo, formado principalmente por jóvenes, que aprenden muy pronto, en cosa de un cuarto de hora.

esfuerzo, como si quisiéramos ver un objeto situado más lejos, detrás del dibujo. Pronto no serán dos, sino cuatro los puntos que vemos, ya que éstos se duplican. Pero después, los puntos extremos se alejan, mientras que los internos se aproximan y confunden. Si hacemos esto mismo con las figs. 124 y 125, en el último caso, al producirse la coincidencia, veremos ante nosotros algo parecido al interior de un tubo largo, cuyo extremo se distingue a lo lejos.

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

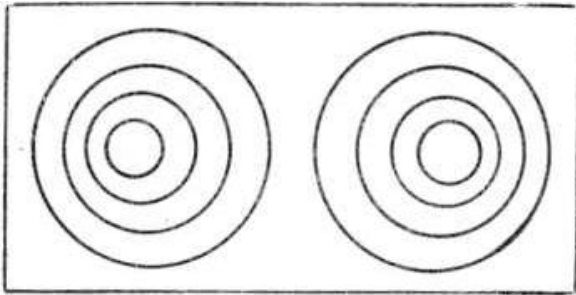


Fig. 125. Cuando estas dos figuras se confundan, veremos algo parecido al interior de un tubo, cuyo extremo se distingue a lo lejos.

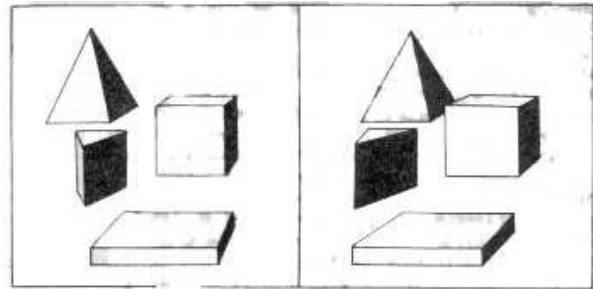


Fig. 126. Parece que estas cuatro figuras geométricas, al fundirse las dos imágenes, flotan en el espacio

Aprender a mirar de esta forma las imágenes apareadas es relativamente fácil. Muchos amigos míos consiguieron dominar este arte en poco tiempo, después de realizar varias pruebas.

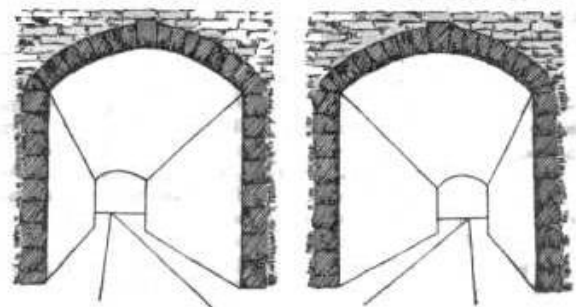


Fig. 127. Un corredor largo, cuyo extremo se divisa a lo lejos.

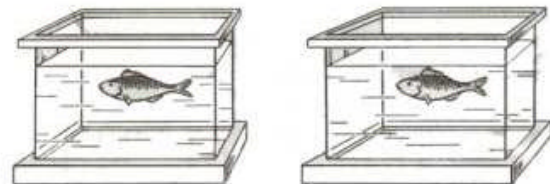


Fig. 128. Un acuario con un pez

Los miopes y las personas con vista cansada que usan lentes, no necesitan quitárselos, sino que pueden mirar las imágenes lo mismo que si se tratara de un cuadro cualquiera.

Es conveniente aproximar las figuras a los ojos, o retirarlas de ellos, hasta conseguir la mejor distancia. Las pruebas deben hacerse siempre con buena iluminación, ya que ésta contribuye considerablemente al éxito.

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

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



Fig. 129. Un paisaje marítimo estereoscópico.

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

Con un Ojo y con los Dos

En la fig. 130, arriba a la izquierda, se reproduce una fotografía que representa tres frascos de farmacia, cuyas dimensiones, al parecer, son iguales. Por muy atentamente que examinemos estas imágenes, no podremos hallar ninguna diferencia de tamaño entre los frascos.

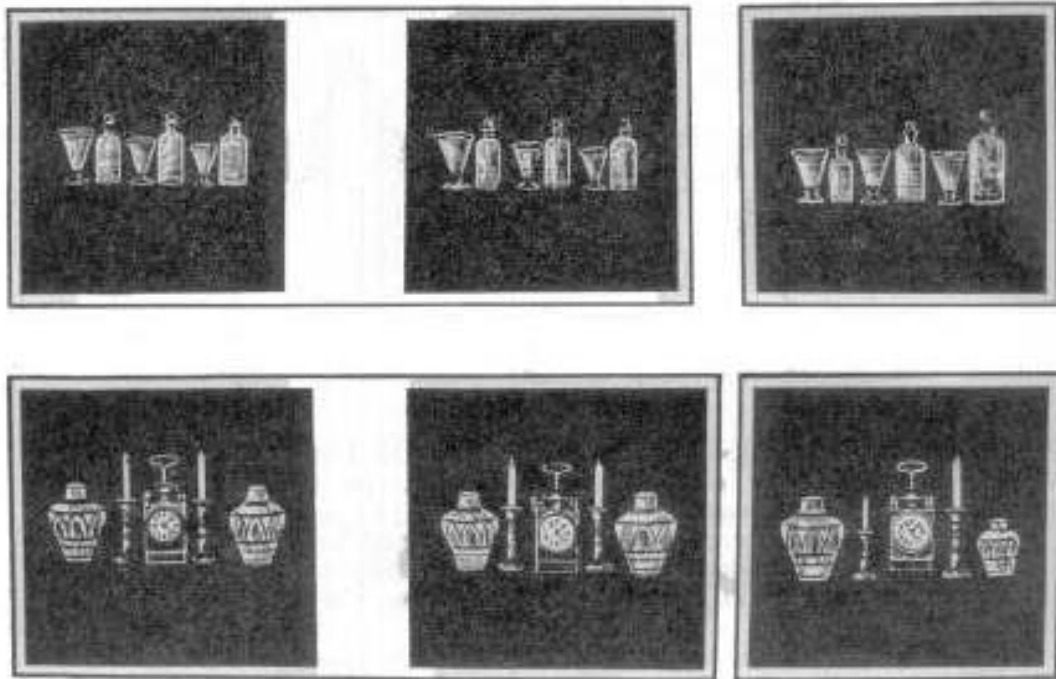


Fig. 130. A simple vista. Con el estereoscopio

Y sin embargo, existe diferencia y bastante considerable. Los frascos solamente parecen iguales porque no se encuentran a una misma distancia del ojo o del aparato fotográfico: el frasco más grande está más lejos y los más pequeños, más cerca. Pero, ¿cuál de los tres frascos representados está más cerca y cuál, más lejos? Esto es imposible de determinar mientras miremos simplemente la figura.

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

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

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

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

Un Procedimiento Fácil de Descubrir Falsificaciones

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

Este hecho proporciona un procedimiento fácil de descubrir falsificaciones en los billetes de banco y en otros documentos. Basta colocar en el estereoscopio el billete sospechoso, junto a otro verdadero, y quedará descubierta la falsificación, por muy hábil que ésta sea. La más insignificante diferencia en una letra o en un trazo, salta inmediatamente a la vista, puesto que esta letra o trazo parecerá encontrarse delante o detrás del fondo restante⁴.

Vista De Gigantes

Cuando un objeto se encuentra muy lejos de nosotros (a más de 450 m), la distancia entre nuestros ojos no puede hacer ya que se produzcan diferentes impresiones visuales. Por esto, los edificios, las montañas y los paisajes lejanos nos parecen planos. Esta es también la causa de que nos parezca que todos los cuerpos celestes están a la misma distancia, a pesar de que la Luna se encuentra mucho más cerca que los planetas y éstos, inconmensurablemente más cerca que las estrellas fijas.

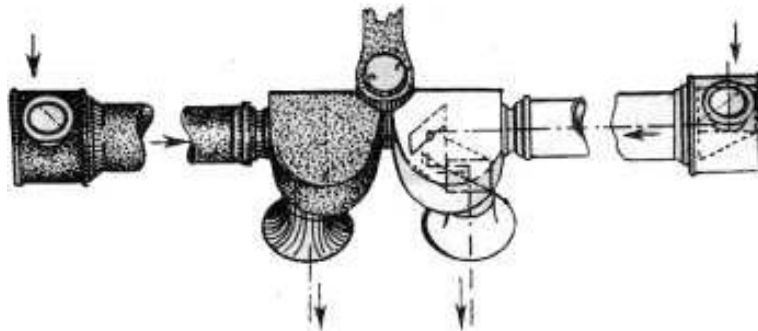


Fig. 131. Anteojo estereoscópico.

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

⁴ Esta idea, expresada por primera vez a mediados del siglo XIX por Dove, no es aplicable a todos los billetes de banco modernos, debido a que las condiciones técnicas de su impresión son tales, que los ejemplares obtenidos no dan en el estereoscopio la sensación de imagen plana, incluso cuando los billetes son buenos. Pero el procedimiento de Dove sirve perfectamente para distinguir dos impresiones hechas con una misma composición tipográfica de otra realizada con una composición de tipos nueva.

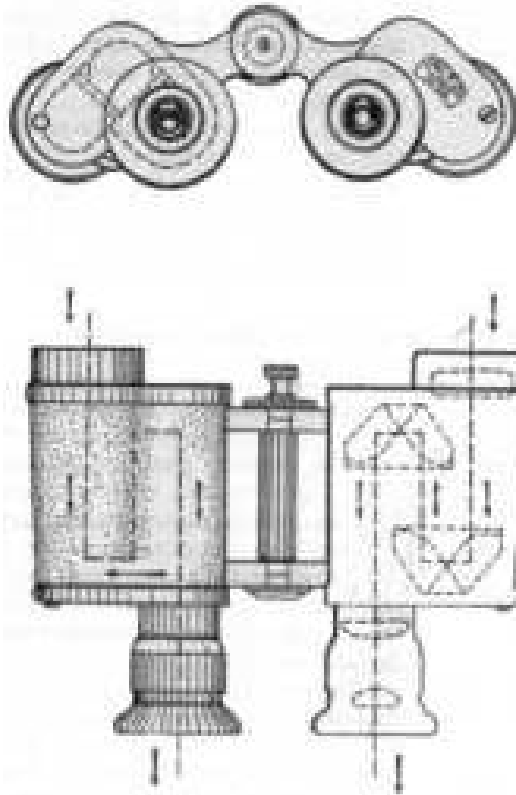


Fig. 132. Prismáticos

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

El lector se habrá dado cuenta, probablemente, de que sería posible construir un sistema de dos anteojos de larga vista, a través de los cuales podríamos ver el relieve de un paisaje cualquiera, a tamaño natural, sin necesidad de hacer fotografías. Estos aparatos, denominados anteojos estereoscópicos, existen. Constan de dos tubos, separados entre sí por una distancia mayor que la que separa normalmente los ojos. Las dos imágenes que percibimos a través de estos aparatos, llegan a los ojos después de refractarse en unos prismas (fig. 131). La sensación que produce mirar por uno de estos anteojos es tan extraordinaria, que no es fácil describirla. Parece que cambia toda la naturaleza. Las lejanas montañas cobran relieve, los árboles, las peñas, los edificios y hasta los barcos que están en el mar, sobresalen, resaltando como si estuvieran situados en un espacio infinito y no en una pantalla plana. Vemos directamente cómo se mueve un barco lejano, que parecería quieto si lo mirásemos con un antejo común. Así verían nuestros paisajes terrenales los gigantes fabulescos.

Si los anteojos proporcionan un aumento de 10 veces y la distancia entre los objetivos es 6 veces mayor que la normal entre las pupilas (es decir, igual a $6,5 \times 6 = 39$ cm), la imagen percibido será $6 \times 10 = 60$

veces más plástica que la que observamos a simple vista. Esto se refleja en que, hasta los objetos que se encuentran a 25 km revelan aún cierto relieve.

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

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

El Universo en el Estereoscopio

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

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

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

Al examinar las fotografías estereoscópicas de la Luna, vemos claramente cómo su imagen se redondea. Parece como si el cincel mágico de un escultor gigantesco, animara los planos y muertos bloques. El relieve se ve tan claro, que hasta se ha conseguido medir la altura de las montañas de la Luna valiéndose de estas fotografías.

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

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

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

La Vista Con Tres Ojos

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

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

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

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

Comencemos diciendo, que una persona que haya perdido un ojo, puede perfectamente mirar fotografías estereoscópicas y recibir de ellas la impresión de relieve que directamente no puede percibir. Para esto hay que proyectar sobre una pantalla, cambiándolas rápidamente, las fotografías destinadas al ojo derecho y al izquierdo. En este caso, lo que una persona con dos ojos ve simultáneamente, la que tiene un ojo solo lo ve de forma sucesiva y rápidamente cambiante. Pero el resultado que se obtiene es el mismo, porque las impresiones visuales, al cambiar rápidamente, se confunden en una sola imagen, de igual manera que ocurre cuando se ven a un mismo tiempo⁵.

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

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

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

¿Que es el Brillo?

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

⁵ Es posible que el asombroso relieve que se nota en algunas películas cinematográficas se explique, además de por las causas indicadas anteriormente, por el efecto a que ahora nos referimos: porque si el tomavistas se balancea acompasadamente (como suele ocurrir al funcionar el mecanismo de arrastre de la película), las fotografías no resultan idénticas, y al sucederse rápidamente en la pantalla, se confunden en nuestra conciencia formando una imagen en relieve.

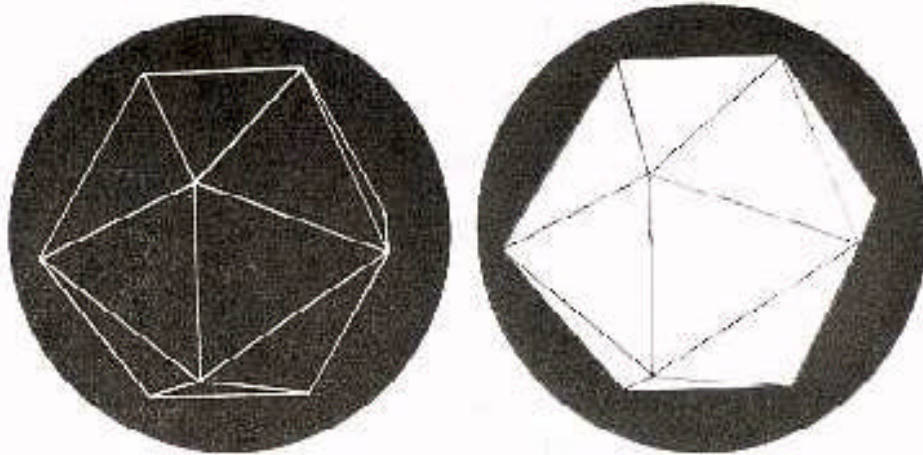


Fig. 133. Brillo estereoscópico. Cuando estos dibujos se miran por el estereoscopio y se confunden, vemos la imagen de un cristal brillante sobre fondo negro.

“Cuando en un cuadro estereoscópico un plano cualquiera se representa en blanco y en el otro en negro, la imagen conjunta parece brillante, incluso si el papel en que está hecho el dibujo es mate. Los dibujos estereoscópicos de los modelos de cristales (hechos de esta forma) dan la impresión de que dichos modelos son de grafito brillante. Gracias a este mismo efecto, en las fotografías estereoscópicas suele salir muy bien el brillo del agua, de las hojas, etc.”

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

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

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

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

La Visión Con Movimiento Rápido

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

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

¿No es ésta la causa de esa agradable impresión que sentimos al contemplar el paisaje desde un tren en marcha rápida? El fondo parece que retrocede, y podemos ver perfectamente el enorme cuadro de la naturaleza que se extiende alrededor nuestro. Cuando pasamos rápidamente por un bosque, en un automóvil, esta misma causa hace que percibamos cada árbol, cada rama, cada hoja, de forma perfectamente delimitada en el espacio, separadamente, sin que se confundan en un todo como el que ve el observador inmóvil. Y cuando viajamos de prisa por la carretera de un país montañoso, todo el relieve del suelo se percibe a simple vista. Las montañas y los valles se ven con una plasticidad tangible. Todo esto está también al alcance de las personas que sólo tienen un ojo, para las cuales todas estas impresiones son completamente nuevas y desconocidas. Ya hemos dicho, que para ver en relieve no es imprescindible, como se piensa generalmente, la percepción simultánea de dos cuadros diferentes por los dos ojos. La visión estereoscópica se consigue también con un solo ojo, cuando los diferentes cuadros se confunden al combinarse con suficiente rapidez⁶.

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

Con Gafas de Color

⁶ Esto explica el sensible efecto estereoscópico de las vistas cinematográficas tomadas desde un tren, cuando éste recorre una curva y los objetos fotografiados se encuentran en la dirección del radio de dicha curva. Este “efecto ferroviario” es bien conocido por los operadores de cine.

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

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

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

Las “Maravillas de las Sombras”

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

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

Como hemos dicho antes, en estas condiciones se produce la sensación de imágenes voluminosas, que sobresalen por delante de la pantalla plana. La ilusión que se consigue con las “maravillas de las sombras” es extraordinariamente interesante. Hay veces, en que un objeto lanzado parece que vuela hacia el público, o que una araña gigantesca anda por los aires sobre aquél, obligándole a gritar involuntariamente o a volverse de espaldas.

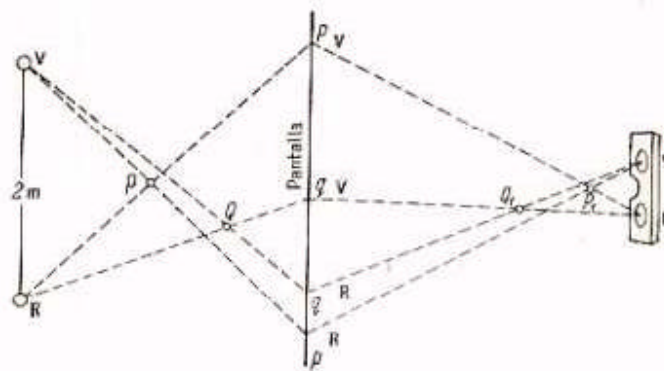


Fig. 134. El secreto de las “maravillas de las sombras”.

Los aparatos que se necesitan para esto son muy simples, y el esquema de su disposición se comprende fácilmente examinando la fig. 134, en la cual, V y R indican las lámparas verde y roja respectivamente (a la izquierda); P y Q son los objetos colocados entre las lámparas y la pantalla; p y q, con los subíndices V y R, son las sombras, coloreadas de verde o de rojo respectivamente, de dichos objetos, proyectadas sobre la pantalla; P₁ y Q₁ son los lugares en que el público ve estos objetos, cuando mira a través de los vidrios (o del celuloide) verde (V) y rojo (R) de sus gafas. Cuando la araña artificial se traslada por detrás de la pantalla desde Q a P, al público le parece que aquélla recorre el espacio que hay entre Q₁ y P₁.

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

Transformaciones Inesperadas de Los Colores

Ahora es el momento oportuno para hablar de una serie de experimentos que tuvieron mucho éxito entre los visitantes del “Pabellón de ciencia recreativa” del parque central de Leningrado, emplazado en las islas de Kirov. Uno de los ángulos de este pabellón estaba amoblado como una sala de recibir. El público veía los muebles cubiertos con fundas de color naranja oscuro, la mesa con un tapete verde y sobre ella, una botella con jugo rojo de klukva⁷ y unas flores, y unos anaqueles con libros, en cuyos lomos podían leerse sus títulos en letras de color. Primeramente, todo esto se mostraba con luz blanca normal. Después, se hacía girar un conmutador, y la iluminación blanca se tornaba roja. Esto provocaba en la sala un cambio inesperado: los muebles tomaban color rosa, el tapete verde se convertía en lila oscuro, el jugo de klukva se hacía incoloro y parecía agua, las flores cambiaban de color y parecían otras y los títulos de los libros desaparecían sin dejar rastro.

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

Todas estas divertidas metamorfosis ilustran muy bien la teoría de Newton sobre la coloración de los cuerpos. La esencia de esta teoría se reduce a que, la superficie de los cuerpos tiene siempre el color, no de los rayos que absorbe, sino de aquellos que dispersa, es decir, de los que van a parar a los ojos

⁷Baya roja del Norte. (N. de la Edit.)

del observador. El célebre físico Tyndall, compatriota de Newton, formula esta tesis de la forma siguiente:

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

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

Esta es, más o menos, la causa de todas las demás metamorfosis aromáticas de nuestra sala. Sólo queda por esclarecer la decoloración del jugo de klukva. ¿Por qué este líquido rojo parece incoloro cuando la iluminación es también roja? La explicación se reduce a que la botella que lo contenía no estaba puesta directamente sobre el tapete verde, sino sobre un pañito blanco que había encima de él. Si se hubiera quitado este pañito de debajo de la botella, se hubiera notado inmediatamente, que, con la luz roja, el líquido que contenía no era incoloro, sino rojo. Parecía incoloro por encontrarse junto al pañito blanco, el cual, con la luz roja tomaba este color, pero que por costumbre y por contraste con el tapete de color oscuro seguíamos considerando blanco. Y como quiera que el color del líquido de la botella era igual que el del pañito supuestamente blanco, inconscientemente, también le atribuíamos al jugo el color blanco; por eso, ante nuestros ojos este jugo se convertía en agua incolora.

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

La Altura Del Libro

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

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

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

Las Dimensiones de Los Relojes de Las Torres

El mismo error en que incurrió su amigo al determinar la altura del libro, lo cometemos toda vez que intentamos determinar las dimensiones de los objetos que se encuentran muy altos.



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

En particular es muy característico el error que cometemos al determinar las dimensiones de los relojes de las torres. Sabemos, naturalmente, que estos relojes son muy grandes, y sin embargo, la idea que nos hacemos de su tamaño difiere mucho de la realidad. En la fig. 135 la esfera del famoso reloj de la Abadía de Westminster de Londres se representa sobre el pavimento de la calle.

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

Blanco y Negro

Fíjese desde lejos en la fig. 136 y diga: ¿cuántos círculos negros se podrán colocar en el espacio libre que queda entre el círculo de la izquierda y cualquiera de los otros dos, cuatro o cinco? Lo más probable es que responda, que cuatro círculos caben fácilmente pero que para el quinto no queda sitio. Pero si le dicen que en este espacio caben exactamente tres círculos nada más, no lo creerá. Si quiere convencerse de su error, coja un papel o un compás y compruébelo.

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

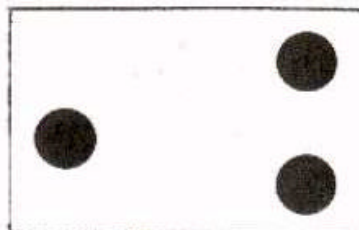


Fig. 136. El espacio libre entre el círculo izquierdo y cualquiera de los otros parece

mayor que la distancia que hay entre los bordes exteriores de los círculos de la derecha. En realidad la distancia es la misma.

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

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

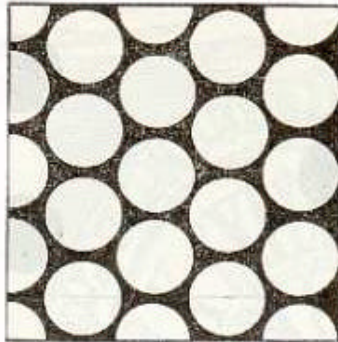


Fig. 137. Desde lejos estos círculos parecen hexágonos.

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

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

Alejemos de nuestros ojos la fig. 136, y veremos que la ilusión antedicha aumenta y se hace más extraordinaria. Esto se explica, porque la anchura del cerco adicional permanece constante, y, por consiguiente, si a corta distancia representaba un aumento de la anchura de todo el círculo igual a un 10%, a larga distancia, cuando la propia imagen disminuye, este mismo cerco adicional no representará ya el 10%, sino un 30% ó un 50% de la anchura del círculo. Esta peculiaridad de nuestro ojo se utiliza

generalmente también para explicar la extraña propiedad de la fig. 137. Esta consiste en que, cuando la miramos, vemos una multitud de círculos blancos sobre fondo negro. Pero cuando nos separamos del libro 2 ó 3 pasos (ó 6-8 pasos los que tengan muy buena vista) y miramos la figura, notaremos que ésta cambia de aspecto y que, en lugar de círculos, vemos hexágonos blancos, parecidos a los que forman los panales de las abejas.

A mí, personalmente, dejó de convencerme la explicación que se da de esta ilusión por medio de la irradiación, desde que me di cuenta de que los círculos negros sobre fondo blanco, desde lejos, también parecen hexágonos (fig. 138), a pesar de que la irradiación, en este caso, no aumenta, sino que disminuye el tamaño de los círculos. Hay que decir, que, en general, las explicaciones existentes sobre las ilusiones ópticas no pueden considerarse definitivas; muchas de estas ilusiones no tienen explicación todavía⁸.

¿Qué Letra es Más Negra?

La fig. 139 da la posibilidad de conocer otro defecto de nuestro ojo, el “astigmatismo”. Si miramos estas letras con un ojo, lo más probable es que no todas nos parezcan igual de negras.

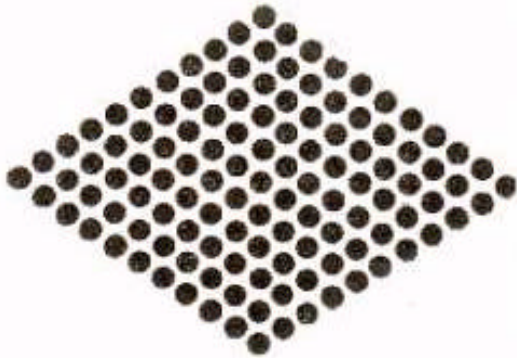


Fig. 138. Estos circulitos negros también parecen hexágonos desde lejos.



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

Fijémonos en cuál es la más negra de todas, y pongamos la figura de lado. Ocurre un cambio inesperado: la letra que era más negra parece ahora gris, mientras que es otra la que parece más negra. En realidad, las cuatro letras son igual de negras. La única diferencia entre ellas es la dirección del rayado. Si nuestro ojo estuviera construido tan perfectamente como los objetivos fotográficos, la dirección del rayado no influiría en la negrura de las letras. Pero nuestro ojo no refracta los rayos de luz exactamente igual en todas direcciones. Esta es la causa de que no podamos ver con la misma claridad las líneas verticales, horizontales y oblicuas.

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

⁸ Mi librito “Ilusiones Ópticas” trata de esto más concretamente.

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

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

Retratos Vivos

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



Fig. 140. La figura tomada del cartel

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

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

Todo se explica por el hecho de que, en todos estos retratos, las pupilas se encuentran en el centro de los ojos. Así es como estamos acostumbrados a ver los ojos de las personas que nos miran fijamente. (Cuando miran a otra parte, aunque la mirada pase cerca de nosotros, nos parece que la pupila, como todo el iris, no se halla en el centro del ojo, sino que está un poco desviada.) Si nos apartamos a un lado del retrato, sus pupilas no cambian de posición, es decir, siguen estando en el centro del ojo. Y como, por otra parte, continuamos viendo que todo su rostro sigue también en la misma posición con respecto a nosotros, como es natural, nos parece que el retrato ha vuelto la cabeza hacia nuestro lado y que nos sigue con los ojos.

De esta misma forma se explican otras particularidades desconcertantes de ciertos cuadros, por ejemplo: un caballo viene directamente hacia nosotros, aunque nos apartemos a uno u otro lado del cuadro; un hombre nos señala con el dedo y su brazo extendido hacia adelante se dirige resueltamente

hacia nosotros, etc. Un ejemplo de estos cuadros puede verse en la fig. 140. Carteles de este tipo se emplean frecuentemente para fines de agitación y publicidad.

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

Las Líneas “Hincadas” y Otras Ilusiones Ópticas

A primera vista, el grupo de alfileres dibujados en la fig. 141 no tiene nada de particular. Pero cerremos un ojo y, levantando el libro hasta ponerlo a la altura del otro, fijémonos en estas líneas de forma, que nuestra mirada pase a lo largo de ellas. (El ojo debe situarse en el punto de intersección de las prolongaciones de las rectas). En estas condiciones, parece que los alfileres no están dibujados en el papel, sino hincados verticalmente en el mismo. Desviando la cabeza un poco hacia un lado, veremos cómo parece que los alfileres se inclinan hacia este mismo lado.

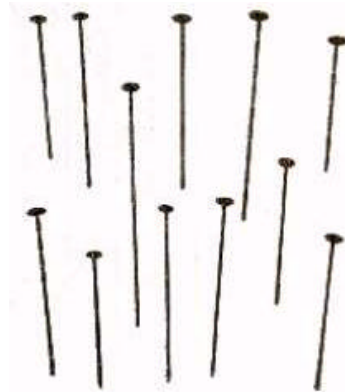


Fig. 141. Colocando un ojo (después de cerrar el otro) en el punto de intersección de las prolongaciones de estas líneas, puede verse una serie de alfileres hincados en el papel. Si movemos el dibujo de un lado para otro, parece que los alfileres se balancean.

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

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

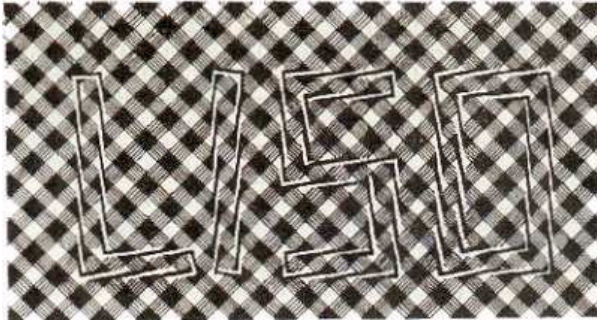


Fig. 142. Estas letras están derechas.

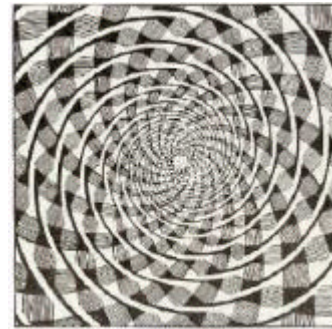


Fig. 143. Las curvas de esta figura parecen espirales, pero son circunferencias. Para convencerse basta seguirlas con un palillo afilado.

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

vernos privados del placer que produce cada día un arte tan útil y agradable?

Existen muchas ilusiones ópticas. Se puede llenar todo un álbum con diferentes ejemplos de estas ilusiones⁹. Muchas de ellas son conocidas por todos, otras no. En las figs. 142-148 se dan varios ejemplos más de ilusiones ópticas poco conocidas. Producen ilusiones de gran efecto las fig. 142 y 143, con líneas sobre fondo cuadrulado.

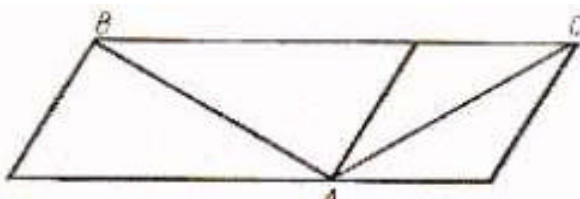


Fig. 144. La distancia AB es igual a la AC, aunque la primera parece mayor.



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

⁹ En mi librito, antes mencionado, “Ilusiones Ópticas” figuran más de 60 tipos diferentes.

Nuestros ojos no pueden creer que las letras de la fig. 142 estén derechas. Aún es más difícil reconocer, que lo que representa la fig. 143 no son espirales.

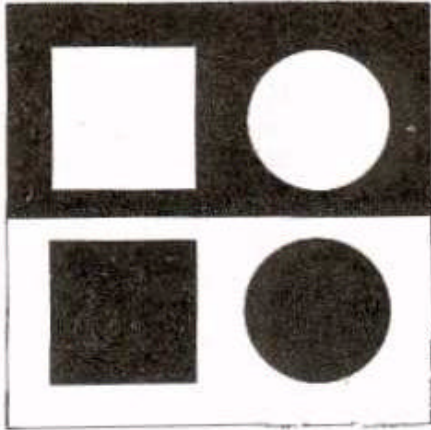


Fig. 146. Estos cuadrados y estos círculos son iguales respectivamente.

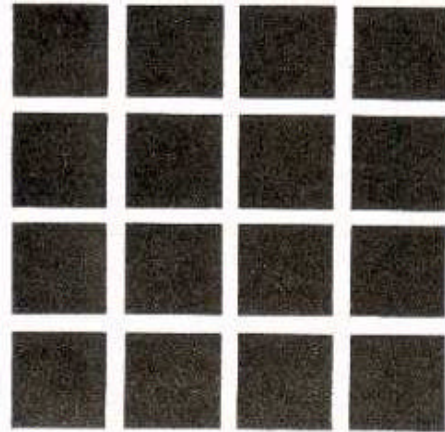


Fig. 147. En los puntos de intersección de las franjas blancas de esta figura aparecen y desaparecen unas manchitas grisáceas cuadradas, aunque en realidad las franjas son completamente blancas en toda su longitud. La comprobación puede hacerse tapando con un papel las filas contiguas de cuadrados negros.

Para convencerse de ello hay que recurrir a la comprobación, es decir, colocar la punta de un lápiz en una de las ramas de la supuesta espiral y seguir la curva sin acercarse ni alejarse del centro. Exactamente lo mismo ocurre con la fig. 144, en la cual, solamente con ayuda de un compás, podemos convcernos de que la recta AC no es más corta que la AB. La esencia de las demás ilusiones, producidas por las fig. 145, 146, 147 y 148, se explica en los pies de las mismas. El caso que referimos a continuación da idea de la fuerza ilusoria de la fig. 147.

El editor de una de las ediciones anteriores de mi libro, cuando recibió de la cincografía la prueba de este cliché, la consideró defectuosa, y ya estaba dispuesto a devolverla al taller, para que eliminaran las manchitas grises de las intersecciones de las franjas blancas, cuando casualmente entré yo en su despacho y le expliqué la causa.

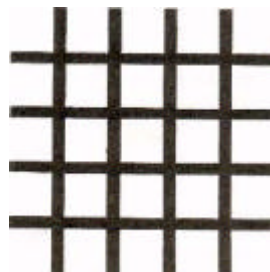


Fig. 148. En los cruces de las franjas negras aparecen manchitas grisáceas.

¿Cómo Ven Los Miopes?

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

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

Para los miopes, los rostros de las personas suelen ser más jóvenes y atractivos que para las personas de vista normal; porque ellos no notan las arrugas ni los demás pequeños defectos de la cara, y el rudo color rojo (natural o artificial) de la piel, les parece suavemente encarnado. A veces nos asombramos de la ingenuidad de algunos conocidos que se equivocan en cerca de 20 años al calcular la edad de ciertas personas, o nos extraña lo raro de sus gustos al apreciar la belleza, o les tachamos de inseguros, cuando nos miran fijamente a la cara y parece que no quieren reconocernos. Todo esto suele deberse a la miopía.

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

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

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

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

Capítulo Décimo

El Sonido y el Oído

¿Cómo Encontrar el Eco?

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

Nekrasow

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

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

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

Enumeraremos algunos de estos ecos célebres. En el castillo de Woodstock, Inglaterra, el eco repite claramente 17 sílabas. Las ruinas del castillo de Derenbourg, cerca de Halberstadt, producían un eco de 27 sílabas, que enmudeció al ser volado uno de sus muros. Las peñas, que formando círculo se encuentran en las inmediaciones de Adersbach, en Checoslovaquia, en un sitio determinado repiten tres veces 7 sílabas; pero a varios pasos de este sitio, ni el ruido de un disparo produce eco. En un castillo de las cercanías de Milán (hoy desaparecido) se escuchaba un eco de muchas repeticiones. Un disparo hecho desde la ventana de una de sus alas, era repetido por el eco 40 ó 50 veces, y una palabra pronunciada en alta voz, 30 veces.

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

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

Ahora explicaremos por qué ocurre así. El eco no es más que el retorno de las ondas sonoras, reflejadas en un obstáculo cualquiera. Lo mismo que cuando se refleja la luz, el ángulo de

incidencia del «rayo sonoro» es igual al ángulo de reflexión. (Llamamos rayo sonoro a la dirección en que se transmiten las ondas sonoras.)

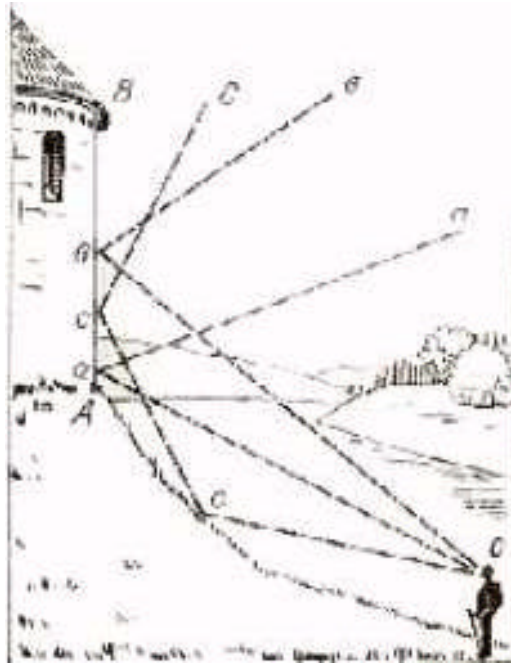


Fig. 149. Aquí no existe eco.

Figurémonos ahora, que nos encontramos al pie de una montaña (fig. 149) y que el obstáculo que debe reflejar el sonido se encuentra más alto que nosotros, por ejemplo, en AB. Se ve fácilmente, que las ondas sonoras, que se propagan según las líneas Ca, Cb y Cc, después de reflejadas no llegan a nuestro oído, porque se dispersan en el espacio siguiendo las direcciones aa, bb y cc.

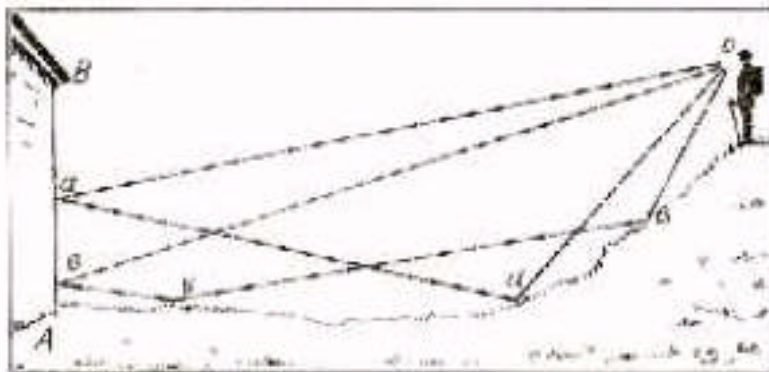


Fig. 150. Aquí el eco es muy claro.

Otra cosa ocurre cuando nos encontramos al nivel del obstáculo o algo más altos que él (fig. 150). El sonido que va hacia abajo, siguiendo la dirección Ca y Cb, regresa a nosotros por las líneas quebradas Ca-aC o Cb-bC, después de reflejarse en el suelo una o dos veces. La profundidad del terreno entre ambos puntos contribuye a que el eco sea más claro, puesto que actúa de una forma análoga al espejo cóncavo. Por el contrario, si el terreno entre los puntos C y B es convexo, el eco

será más débil e incluso puede no llegar a nuestro oído, porque esta superficie dispersa los rayos sonoros, lo mismo que un espejo convexo.

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

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

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

El Sonido en Lugar de la Cinta Métrica.

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

«- ¡Tío! - Grité yo (el narrador es el sobrino).

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

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

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

-¿Conserva usted su cronómetro?

- Sí.

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

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

- Sí.

- ¡Atención! Pronuncie tu nombre.

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

- Cuarenta segundos - dijo mi tío -, por consiguiente, el sonido llegó hasta mí en 20 segundos. Como quiera que el sonido recorre un tercio de kilómetro por segundo, la distancia entre nosotros es de cerca de siete kilómetros»¹

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

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

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

Espejos Acústicos.

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

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

Dos platos hondos dan la posibilidad de realizar un interesante experimento de este tipo. Pongamos uno de los platos en la mesa, y sobre él, a unos centímetros de su fondo, sostengamos con la mano un reloj de bolsillo. Acerquemos al oído el otro plato como indica la fig. 151. Si logramos encontrar la correspondiente disposición mutua entre el reloj, el oído y los platos (lo que se consigue después de una serie de pruebas), oiremos el tictac del reloj como si procediera del plato que tenemos junto al oído. Esta ilusión es mayor aún cuando se cierran los ojos. En estas condiciones es francamente imposible distinguir con el oído, en qué mano tenemos el reloj, en la derecha o en la izquierda.



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

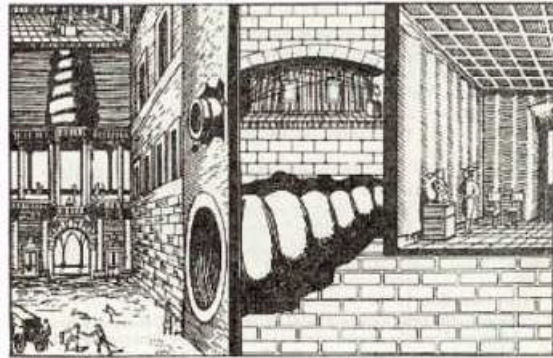


Fig. 152. Curiosidades acústicas de un castillo medieval. Bustos parlantes. (De un libro de Athanasius Kircher, del año 1560).

Los constructores de castillos medievales solían introducir en ellos curiosidades acústicas, para lo cual colocaban bustos en el foco de espejos acústicos cóncavos o al final de tubos especiales, hábilmente disimulados en las paredes.

En la fig. 152 se muestra la reproducción de un grabado tomado de un libro del siglo XVI (de Athanasius Kircher, 1560), en el cual pueden verse estos ingeniosos dispositivos. El techo en forma de bóveda dirige hacia los labios del busto los sonidos, que el tubo acústico conduce desde el exterior. Estos enormes tubos acústicos, emparedados en los edificios, recogían los sonidos de la calle o del patio y los conducían a los bustos de piedra, situados junto a la pared de una de las salas. A los visitantes les parecía que los bustos murmuraban o canturreaban algo.

Los Sonidos en el Teatro.

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

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

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

Hasta hace relativamente poco tiempo, la construcción de un teatro con buenas condiciones acústicas se consideraba cuestión de suerte. En la actualidad se han encontrado procedimientos que permiten combatir eficazmente la duración perniciosa de los sonidos (llamada «reverberación»), es decir, aquella que entorpece la audición. En este libro no podemos entrar en detalles que sólo interesan a los arquitectos, pero sí concretarnos a decir, que la lucha contra las malas condiciones acústicas consiste en crear una serie de superficies que absorben los sonidos superfluos. El mejor absorbente del sonido es una ventana abierta (lo mismo que el mejor absorbente de la luz es un orificio). Tanto es así, que como unidad de medición de la absorción del sonido se ha tomado el metro cuadrado de ventana abierta. También absorbe muy bien el sonido, aunque dos veces peor que la ventana abierta, el público que asiste al teatro. Cada persona equivale en este sentido, aproximadamente, a la mitad de un metro cuadrado de ventana abierta. Y si bien es verdad la indicación de un físico que decía, que «el auditorio absorbe el discurso del orador en el sentido más directo de la palabra», tampoco lo es menos, que una sala vacía es enojosa para el orador, también en el sentido directo de la palabra.

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

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

El Eco del Fondo del Mar.

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

En la fig. 153 vemos el esquema de una instalación de esta clase. En la parte sumergida del barco se encuentra un foco de ondas sonoras. Las ondas producidas por este foco avanzan rápidamente a través de la capa de agua, llegan al fondo, se reflejan en él y regresan conduciendo el eco. Este eco se capta con un aparato especial colocado en la parte inferior del casco. Unos relojes de precisión miden el intervalo de tiempo transcurrido entre la emisión del sonido y la llegada del eco. Conociendo la velocidad del sonido en el agua, es fácil calcular la distancia que hay hasta el obstáculo en que se refleja, es decir, determinar la profundidad del mar o del océano. La sonda de eco, o sonar, que así es como se llamó esta instalación, realizó una verdadera revolución en la práctica de la medición de las profundidades marinas. Los antiguos sistemas de sondeo podían emplearse únicamente con el barco parado y requerían mucho tiempo. La sondaleza tenía que irse soltando bastante despacio (150 m/min) de la rueda en que estaba arrollada y su recogida se efectuaba con la misma lentitud.



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

Para medir una profundidad de 3 km por este procedimiento, se necesitan 3/4 de hora. Con el sonar esta medición puede realizarse en varios segundos, con el barco en plena marcha y obteniendo un resultado incomparablemente más seguro y exacto. El error de este sondeo no suele ser mayor de un cuarto de metro (porque el intervalo de tiempo se mide con una precisión de hasta una tresmilésima parte de segundo).

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

En los sonares modernos no se utilizan sonidos ordinarios, sino que «ultrasonidos» extraordinariamente intensos, imperceptibles para el oído humano, cuya frecuencia es del orden de varios millones de oscilaciones por segundo.

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

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

El Zumbido de los Insectos

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

Ilusiones Acústicas

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

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

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

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

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

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

¿Dónde Chirría el Grillo?

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



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

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

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



Fig. 155. ¿Dónde dispararon?

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

Pero si os apartáis del antedicho plano de simetría de la cabeza, los errores no serán tan grandes. Esto es comprensible, porque en este caso, el sonido llegará antes y con más fuerza al oído que está más cerca, y, gracias a esto, vuestro amigo puede determinar el sitio de donde procede el sonido.

Este experimento explica, entre otras cosas, por qué es tan difícil encontrar un grillo que chirrea entre la hierba. Su agudo sonido se oye a dos pasos de nosotros, a la derecha de la carretera.

Miramos hacia allá, pero no vemos nada; el sonido se oye entonces por la izquierda. Volvemos la cabeza hacia allí, y el sonido nos llega desde un tercer punto. Y cuanto más rápidamente miremos hacia el lado del chirrido, con más agilidad parece que salta este músico invisible. Sin embargo, el insecto está quieto en su sitio; sus maravillosos saltos son fruto de nuestra imaginación y consecuencia de una ilusión acústica. Nuestro error consiste, en que al volvernos, colocamos la cabeza de tal forma, que el grillo se encuentra en el plano de simetría. En estas condiciones, como ya sabemos, no es difícil equivocarse la dirección del sonido. El chirrido del grillo suena delante de nosotros, pero nos parece, erróneamente, que suena por el lado contrario.

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

Curiosidades del Oído.

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

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

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

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

Las Maravillas de la Ventriloquia.

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

«Si alguien anda por el caballete del tejado - escribe el profesor Gampson - su voz, dentro de la casa, da la impresión de ser un leve murmullo. A medida que se va alejando hacia el extremo del edificio, este murmullo se va debilitando más. Si estamos sentados en una habitación de la casa, nuestro oído no puede decirnos nada sobre la dirección del sonido ni de la distancia que nos separa de la persona que habla. Pero nuestra conciencia deduce, que si la voz varía, es porque se aleja de nosotros. Si esta misma voz nos dice, que el que habla se pasea por el tejado, la creemos fácilmente. Si, por fin, otra persona cualquiera comienza a hablar con la anterior (que suponemos fuera) y recibe de ella respuestas comprensibles, la ilusión resulta perfecta.

Estas son las condiciones en que actúan los ventrílocuos. Cuando le llega la hora de hablar al que está en el tejado, el ventrílocuo apenas si susurra las palabras; pero cuando le toca a él mismo, habla con voz plena y clara, para remarcar de esta forma el contraste con la otra voz. El contenido

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

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

Cien Preguntas

- ¿Cuántas veces es menor la velocidad con que se mueve un caracol que la de un peatón?
- ¿Qué velocidades alcanzan los aviones modernos?
- ¿Puede el hombre adelantar al Sol en su movimiento diario por el firmamento?
- ¿Cómo se consigue en la pantalla del cine que los movimientos sean muy lentos?
- ¿Cuándo nos movemos más deprisa alrededor del Sol, a mediodía o a medianoche?
- ¿Por qué los radios superiores de las ruedas en movimiento se suelen confundir a simple vista, mientras que los inferiores se distinguen entre sí?
- ¿Qué puntos de una locomotora en marcha se mueven más despacio?
- ¿Qué partes de la locomotora se mueven en dirección contraria?
- ¿Por qué nos parece que las estrellas están desplazadas hacia adelante en la dirección que sigue la Tierra por su órbita?
- ¿Por qué, al levantarnos de una silla, echamos el cuerpo hacia adelante o metemos los pies debajo de ella?
- ¿Cómo se explica el andar de los viejos marinos?
- ¿En qué se distingue el correr del andar?
- ¿Cómo hay que saltar, en caso de necesidad, de un vagón en marcha? Explicar fundamentadamente la respuesta.
- El fabuloso embustero Munehhausen contaba, que había cogido balas de cañón en pleno vuelo.
- ¿Es totalmente imposible esto?
- Cuando se va en un automóvil a gran velocidad, ¿pueden cogerse impunemente objetos lanzados hacia él?
- Cuándo un cuerpo cae, ¿qué pesa, más o menos que en reposo?
- ¿Es inevitable que todos los cuerpos lanzados hacia arriba vuelvan a caer en la Tierra?
- ¿Está bien descrito en la novela de Julio Verne «De la Tierra a la Luna» lo que sucede dentro del proyectil en vuelo?
- ¿Se puede pesar bien en balanzas inexactas, si se tienen pesas buenas?
- Y en balanzas exactas, ¿se puede pesar bien con pesas malas?
- ¿Es conveniente para nosotros que los huesos de nuestro esqueleto trabajen como palancas, en condiciones en las cuales se emplea mucha fuerza para vencer pequeñas resistencias?
- ¿Por qué los esquadores no se hunden en la nieve blanda?
- ¿Por qué no parecen duras las hamacas de cuerda?
- ¿Cómo se llevó a cabo el tiro de ultralargo alcance?
- ¿Por qué se elevan las cometas?
- Cuando una piedra cae, en el aire, desde una gran altura, ¿todo el tiempo va aumentando su velocidad?
- ¿Cuál es la velocidad máxima que alcanza el cuerpo humano, cuando cae sin abrir el paracaídas?
- ¿Cómo se explica el complicado vuelo del bumerang? ¿Se puede saber si un huevo está crudo o cocido, sin romper su cascarón?
- ¿Dónde pesan más los cuerpos, cerca del ecuador o cerca de los polos?
- Cuando una semilla germina en la llanta de una rueda en rotación, ¿hacia qué lado se dirige la raíz de la planta?
- ¿Qué diferencia hay entre «movimiento continuo» y motor de «movimiento continuo»?
- ¿Ha tenido éxito alguno de los intentos de construir motores de «movimiento continuo»?

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

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

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

¿Por qué son redondas las gotas de la lluvia?

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

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

¿Qué es la flotación?

¿Por qué lava el jabón? ¿Por qué suben las pompas de jabón? ¿En qué locales suben más deprisa, en los fríos o en los calientes?

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

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

¿Por qué sube el agua cuando se absorbe con una paja?

En una balanza se encuentran en equilibrio un trozo de madera y unas pesas. Si ponemos esta balanza debajo de una campana neumática y hacemos el vacío, ¿se conservará el equilibrio?

¿Qué ocurriría con la balanza de la pregunta anterior si la introdujésemos en aire comprimido?

Si nuestro cuerpo perdiera su peso, pero nuestros vestidos conservaran el suyo, ¿seguiríamos apoyándonos en la superficie de la tierra o nos remontaríamos en el aire?

¿Qué diferencia hay entre el motor de «movimiento continuo» y el motor gratuito?

¿Se ha conseguido construir el motor gratuito?

¿Qué desperfectos pueden sufrir las vías del tranvía cuando hace mucho calor? ¿Y cuando hace mucho frío?

¿Por qué son menores estos peligros en las vías de ferrocarril?

¿En qué época del año cuelgan más los cables telefónicos y telegráficos?

¿Qué vasos saltan más fácilmente al echarles agua caliente, los de paredes gruesas o los finos? ¿Y al enfriarse?

¿Por qué se hacen con fondo grueso los vasos para limonada y por qué estos mismos vasos no sirven para el té?

¿Qué material transparente es el mejor para vasijas que no se rompan ni con el calor ni con el frío?

¿Por qué es difícil ponerse las botas cuando se tienen los pies recalentados?

¿Se pueden hacer relojes a los que no haya que darles cuerda?

¿Se puede emplear este mismo principio básico para hacer grandes mecanismos?

¿Por qué sube el humo?

¿Qué debemos hacer si queremos enfriar con hielo una botella de limonada?

¿Se derretirá antes el hielo si lo envolvemos en una piel?

¿Es verdad que la nieve calienta la tierra?

¿Por qué no se hiela el agua en las tuberías subterráneas?

¿En qué sitio de Moscú es invierno en el mes de julio?

¿Por qué se puede hervir agua en una vasija estañada sin que se desuelde?

¿Por qué se deslizan mal los trineos por la nieve cuando hace mucho frío?

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

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

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

¿De dónde procede la palabra «silueta»?

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

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

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

¿Cómo está construido el periscopio?

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

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

¿Se puede obtener alguna utilidad del caleidoscopio?

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

¿Se dan casos de espejismo en nuestras latitudes?

¿Qué es el «rayo verde»? ¿Cómo hay que mirar las fotografías?

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

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

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

¿En qué se basa el funcionamiento del estereoscopio?

¿Puede asemejarse nuestra vista a la de un gigante fabulesco?

¿Qué es un antejo estereoscópico?

¿A qué se debe el brillo? ¿Por qué parece mayor la profundidad del paisaje, cuando lo contemplamos desde la ventanilla de un tren que marcha velozmente?

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

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

¿Qué color tendrá una bandera roja si se alumbra con luz azul?

Explique lo que significan las palabras «irradiación» y «astigmatismo».

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

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

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

¿Existen espejos acústicos? ¿Dónde se propaga el sonido más deprisa, en el aire o en el agua?

Indíquese alguna aplicación técnica del eco.

¿Por qué zumban las abejas?

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

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

¿Cuál es el secreto de la «ventriloquia»?

Prólogo de la redacción

La presente versión española de la "Física Recreativa" de Y.I. Perelman corresponde a la decimoséptima edición rusa.

El éxito obtenido por esta obra entre el público soviético es extraordinario y se debe al gran talento de su autor, que supo captar una serie de hechos y fenómenos de la vida ordinaria, que tienen un profundo sentido físico, y seleccionarlos acertadamente. La forma clara y el carácter ameno que da a la exposición han hecho que este libro sea muy popular.

El propósito del autor al concebir la obra fue claro y concreto: enseñar al lector a pensar con "espíritu científico". Por eso cuando expone conceptos o leyes conocidos parte de los fundamentos en que descansa la Física moderna.

Desde este punto de vista se comprende fácilmente por qué el autor no recoge en su libro los últimos adelantos de la radioelectrónica, de la Física atómica y otros problemas actuales. Aunque este libro hace ya cerca de medio siglo que fue escrito, su autor se preocupó mucho de corregirlo y aumentarlo antes de cada una de sus muchas ediciones. Yakov Perelman falleció en el año 1942 durante el bloqueo de Leningrado por el ejército fascista alemán. Por eso las ediciones posteriores fueron preparadas sin el autor.

Al reeditar "Física Recreativa" no ha sido propósito de la redacción rehacer radicalmente un libro que goza de gran prestigio, sino limitarse o modificar en el texto original las cifras y tesis anticuadas, excluir algunos proyectos faltos de justificación, renovar y corregir parte de las figuras, completar ciertas partes del texto y hacer algunas observaciones.

Prólogo del autor a la decimotercera edición

Este libro no es continuación directa del primero de "Física Recreativa", sino una recopilación absolutamente independiente.

El éxito alcanzado por el primer libro estimuló al autor a elaborar el material que tenía acumulado, con el cual compuso un nuevo libro que abarca las mismas partes de la Física que el primero.

En el presente libro, lo mismo que en el primero, el autor tiende más a remozar y dar vida a los conocimientos elementales de Física, que el lector ya posee, que a ofrecer otros nuevos.

Porque el objeto de este libro es despertar la fantasía científica, enseñar a pensar con espíritu físico y acostumar al lector a aplicar sus conocimientos en todos los sentidos.

He aquí por qué en la "Física Recreativa" se reserva a la descripción de experimentos espectaculares un lugar secundario, mientras que figuran en primer plano rompecabezas físicos, problemas interesantes, paradojas instructivas, preguntas difíciles de responder, comparaciones inesperadas en el campo de los fenómenos físicos, etc.

El autor buscó este material entre los casos que ocurren en la vida ordinaria, en la técnica, en la naturaleza o en las páginas de las novelas de ciencia ficción.

En general, por el carácter del material recogido en él, este libro se destina a un lector algo más preparado que el del primer libro de "Física Recreativa", aunque la diferencia entre ambos es tan pequeña que pueden leerse en cualquier orden.

1936

Y. Perelman

INDICE

PROLOGO

CAPITULO PRIMERO. LEYES FUNDAMENTALES DE LA MECANICA

El Procedimiento mas Barato de Viajar

"¡Detente Tierra!"

Una Carta Desde un Avión

Lanzamiento de Bombas

Un Ferrocarril Sin Paradas

Aceras Móviles

Una Ley Difícil de Comprender

Como Murió el Bogatir Sviatogor

¿Puede Haber Movimiento sin Apoyo?

¿Por qué Vuelan los Cohetes?

¿Como se Mueve la Jibia?

El Cohete Hacia las Estrellas

CAPITULO SEGUNDO. FUERZA. TRABAJO. ROZAMIENTO

El Problema del Cisne, el Cangrejo y el Lucio

A Pesar de lo Que Dice Krilov

¿Es Fácil Romper el Cascaron de un Huevo?

A Vela Contra el Viento

¿Hubiera Podido Arquímedes Levantar la Tierra?

El Atleta de Julio Verne y la Fórmula de Euler

¿De qué Depende la Solidez de los Nudos?

Si no Existiera Rozamiento

Causa Física de la Catástrofe del "Cheliuskin"

Un Palo que se Autoequilibra

CAPITULO TERCERO. MOVIMIENTO CIRCULAR

El Arte de Los Malabaristas

Otra Solución al Problema del Huevo de Colón

La "Anulación" de la Gravedad

En Lugar de Galileo

Mi Discusión con el Lector

Fin de la Discusión

La Esfera "Encantada"

Un Telescopio Líquido

El "Rizo de la Muerte"

Las Matemáticas en el Circo
Falta de Peso

CAPITULO CUARTO. ATRACCION UNIVERSAL

¿Es grande la fuerza de la atracción?
Un cable de acero desde la Tierra al Sol.
¿Es posible ocultarse a la gravitación?
Cómo hicieron el viaje a la Luna los héroes de Wells.
Media hora en la Luna.
Disparos en la Luna.
En un pozo sin fondo.
Un camino ideal.
¿Cómo se hacen los túneles?

CAPITULO QUINTO. VIAJE EN UN PROYECTIL DE CAÑON

El monte de Newton.
El cañón fantástico.
Un sombrero bastante pesado.
¿Cómo se puede debilitar la sacudida?
Para los amigos de las matemáticas.

CAPITULO SEXTO. PROPIEDADES DE LOS LIQUIDOS Y LOS GASES

Un mar en el que no se puede ahogar nadie.
¿Cómo funciona un rompehielos?
¿Dónde están los barcos hundidos?
Cómo se realizaron los sueños de Julio Verne y de Wells.
¿Cómo se izó el "Sadkó"?
Un móvil "perpetuo" hidráulico.
¿Quién ideó la palabra "gas"?
Un problema que parece fácil.
El problema del depósito.
Un recipiente extraordinario.
Una carga de aire.
Nuevas fuentes de Herón.
Vasijas de pega.
¿Cuánto pesa el agua que hay en un vaso boca abajo?
¿Por qué se atraen los barcos?
Teorema de Bernoulli y sus consecuencias.
¿Para qué sirve la vejiga natatoria de los peces?
Ondas y remolinos.
Viaje al centro de la Tierra.
La fantasía y las matemáticas.
En una mina profunda.

A las alturas en un estratostato.

CAPITULO SEPTIMO. FENOMENOS TERMICOS

El abanico.

¿Por qué hace más frío cuando sopla el viento?

El hálito sofocante de los desiertos.

¿Dan calor los velos?

Jarras refrigerantes.

Una "nevera" sin hielo.

¿Qué calor podemos soportar?

¿Termómetro o barómetro?

¿Para qué sirven los tubos de vidrio de las lámparas?

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

El capítulo que le falta a la novela de Julio Verne

El desayuno en la cocina ingrávida.

La alimentación en el cosmos.

¿Por qué el agua apaga el fuego?

El fuego se puede apagar con fuego.

¿Se puede hervir agua en agua hirviendo?

¿Puede la nieve hacer hervir el agua?

"Sopa de barómetro".

¿Está siempre caliente el agua hirviendo?

Hielo caliente.

El carbón produce frío.

CAPITULO OCTAVO. MAGNETISMO. ELECTRICIDAD

"La piedra amante".

El problema de la brújula.

Líneas de fuerza magnéticas.

¿Cómo se imana el acero?

Electroimanes colosales.

Trucos magnéticos.

El imán en la agricultura.

Una máquina voladora magnética.

Como el "féretro de Mahoma".

Transporte electromagnético.

Batalla de los marcianos con los habitantes de la Tierra.

Los relojes y el magnetismo.

Un móvil "perpetuo" magnético.

Un problema de museo.

Otro móvil "perpetuo" imaginario.

Un móvil casi perpetuo.

El ganso insaciable.

¿Cuántos años hace que existe la Tierra?
Los pájaros y los cables de alta tensión.
A la luz de un relámpago.
¿Cuánto cuesta un rayo?
Un chaparrón de tormenta en casa.

CAPITULO NOVENO. REFLEXION Y REFRACCION DE LA LUZ. LA VISTA

Una fotografía quíntupla.
Motores y calentadores solares.
El sueño del gorro maravilloso.
El hombre invisible.
El poder del hombre invisible.
Preparaciones transparentes.
¿Puede ver el hombre invisible?
La coloración prectora.
Enmascaramiento.
El ojo humano debajo del agua.
¿Cómo ven los buzos?
Las lentes debajo del agua.
Lo que debe saber todo bañista.
Un alfiler invisible.
El mundo visto desde debajo del agua.
Los colores en el fondo de las aguas.
El punto ciego de nuestro ojo.
Qué tamaño nos parece que tiene la Luna.
Dimensiones visibles de los astros.
La "esfinge". Narración de Edgar Poe.
¿Por qué aumenta el microscopio?
Sugestiones visuales.
Una ilusión útil para los sastres.
¿Cuál es mayor?
La fuerza de la imaginación.
Otras ilusiones ópticas.
¿Qué es esto?
Unas ruedas extraordinarias.
Un "microscopio de tiempo".
El disco de Nipkow
¿Por qué son bizcas las liebres?
¿Por qué en la oscuridad todos los gatos son pardos?
¿Existen rayos de frío?

CAPITULO DECIMO. SONIDO. MOVIMIENTO ONDULATORIO

El sonido y las ondas de la radio.

El sonido y las balas.
Una explosión imaginaria.
Si la velocidad del sonido disminuyera ...
La conversación más lenta.
De la forma más rápida.
El telégrafo de tambor.
Nubes sonoras y eco aéreo.
Sonidos silenciosos.
El ultrasonido al servicio de la técnica.
Las voces de los liliputienses y la de Gulliver.
¿Para quiénes salen los diarios dos veces al día?
El problema de los silbidos de las locomotoras.
Efecto Doppler.
Historia de una multa.
Con la velocidad del sonido.
Cien preguntas al lector del libro segundo de "Física Recreativa".

CIEN PREGUNTAS

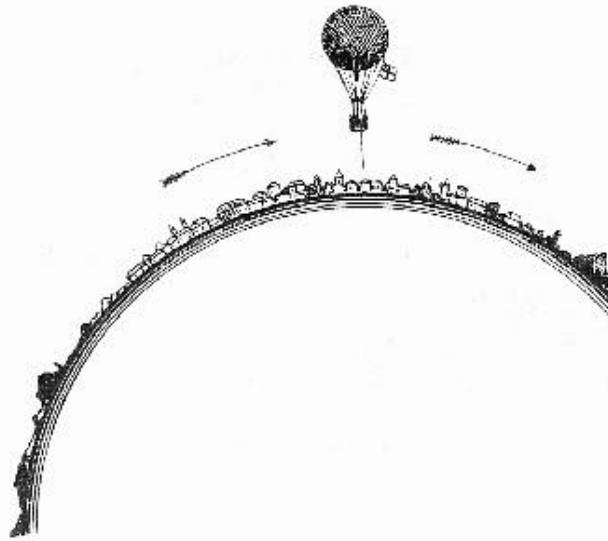
Capítulo 1

LEYES FUNDAMENTALES DE LA MECANICA

El Procedimiento mas Barato de Viajar

El ingenioso escritor francés de; siglo XVII Cyrano de Bergerac cuenta en su "Historia Cómica de los Estados e Imperios de la Luna" (1652), entre otras cosas, un caso sorprendente que, según dice, le ocurrió a él mismo. Un día, cuando estaba haciendo experimentos de Física, fue elevado por el aire de una forma incomprensible con sus frascos y todo. Cuando al cabo de varias horas consiguió volver a tierra quedó sorprendido al ver que no estaba ni en Francia, ni en Europa, sino en América del Norte, ¡en el Canadá!

Fig. 1. ¿Se puede ver desde un aeróstato cómo gira la Tierra? (El dibujo no se atiene a escala)



No obstante, el escritor francés consideró que este vuelo transatlántico era completamente natural. Para explicarlo dice que mientras el "viajero a la fuerza" estuvo separado de la superficie terrestre, nuestro planeta siguió girando, como siempre, hacia oriente, y que por eso al descender sentó sus pies no en Francia, sino en América.

¡Que medio de viajar más fácil y económico! No hay más que elevarse sobre la superficie de la Tierra y mantenerse en el aire unos cuantos minutos para que al descender nos encontremos en otro lugar, lejos hacia occidente. ¿Para qué emprender pesados viajes por tierra o por mar, cuando podemos esperar colgando en el aire hasta que la misma Tierra nos ponga debajo el sitio a donde queremos ir?

Desgraciadamente este magnífico procedimiento es pura fantasía. En primer lugar, porque al elevarnos en el aire seguimos sin separarnos de la esfera terrestre; continuamos ligados a su capa gaseosa, es decir, estaremos como colgados en la atmósfera, la cual también toma parte en el movimiento de rotación de la Tierra alrededor de su eje. El aire (o mejor dicho, su capa inferior y más densa) gira junto con la Tierra y arrastra consigo todo lo que en él se encuentra: las nubes, los aeroplanos, los pájaros en vuelo, los insectos, etc., etc. Si el aire no tomara parte en el movimiento de rotación de la Tierra sentiríamos siempre un viento tan fuerte, que los huracanes más terribles parecerían ligeras brisas comparadas con él (La velocidad del huracán es de 40 m por segundo o 144 km por hora. Pero la Tierra, en una latitud como la de Leningrado, por ejemplo, nos arrastraría a través del aire con una velocidad de 240 m por segundo, es decir, de

828 km por hora, y en la región ecuatorial, por ejemplo, en Ecuador, esta velocidad sería de 465 m por segundo, o de 1.674 km por hora).

Porque lo mismo da que estemos nosotros fijos en un sitio y que el aire pase junto a nosotros o que, por el contrario, sea el aire el que está quieto y nosotros los que nos movemos dentro de él; en ambos casos el viento será igual de fuerte. Por ejemplo, un motociclista que avance a una velocidad de 100 km por hora sentirá un viento fuerte de frente aunque el aire esté en calma. En segundo lugar, aunque pudiéramos remontarnos hasta las capas superiores de la atmósfera o la Tierra no estuviera rodeada de aire, el procedimiento de viajar económicamente ideado por el satírico francés sería también irrealizable. Efectivamente, al separarnos de la superficie de la Tierra en rotación *continuaríamos por inercia moviéndonos con la misma velocidad que antes*, es decir, con la misma velocidad a que se movería la Tierra debajo de nosotros. En estas condiciones, al volver a la Tierra nos encontraríamos en el mismo sitio de donde partimos, de igual manera que cuando damos saltos dentro de un vagón de ferrocarril en marcha caemos en el mismo sitio. Es verdad que por inercia nos moveremos en línea recta (tangencialmente a la superficie terrestre), mientras que la Tierra seguiría un arco debajo de nosotros, pero tratándose de lapsos de tiempo pequeños esta diferencia no se nota.

[Volver al Inicio](#)

"¡Detente Tierra!"

El popular escritor inglés Herbert Wells tiene un relato fantástico sobre cómo un oficinista hacía prodigios. Este era un joven de no mucha inteligencia, pero que por un capricho de la suerte tenía la virtud sorprendente de que en cuanto expresaba cualquier deseo, éste se cumplía en el acto. Sin embargo esta virtud, tan seductora al parecer, no le trajo a su poseedor ni a sus semejantes más que disgustos. Para nosotros es bastante instructivo el final de esta historia.

Después de una prolongada juerga, el oficinista de los prodigios, que temía llegar a su casa de madrugada, pensó aprovechar su poder para alargar la noche. Pero, ¿cómo hacerlo? Había que mandar a los astros que se parasen en el firmamento. El oficinista no se decidió a realizar esta hazaña de golpe. Entonces su amigo le aconsejó detener la Luna. El la miró atentamente, lo pensó y dijo:

- Me parece que está demasiado lejos para esto ... ¿qué piensa?

- Por probar nada se pierde - insistió Mading (que así se llamaba el amigo. Y.P.). - Si no se para, haga usted que deje de girar la Tierra. No creo que esto perjudique a nadie.

-Verdaderamente -dijo Fotheringay (el oficinista. Y.P.) Puedo probar.

Adoptó una postura imperativa, alzó los brazos sobre el mundo y dijo solemnemente:

- ¡Detente, Tierra! ¡Deja de girar!

No llegó a terminar la frase, cuando él y su amigo volaban ya en el espacio a una velocidad de varias docenas de millas por minuto.

Esto no le impedía seguir pensando. En menos de un segundo razonó y se dijo a sí mismo:

- Pase lo que pase, lo que hace falta es que yo salga vivo y sano.

Hay que reconocer que este deseo fue expresado a tiempo, porque unos segundos después cayó sobre tierra recién removida y junto a él, sin causarle daño, pasaban piedras, trozos de casas, objetos metálicos ... ; pasó volando hasta una pobre vaca, que se destrozó después al chocar contra la tierra. - El viento soplaba con una fuerza terrible, él no podía ni levantar la cabeza para mirar a su alrededor.

- No comprendo - exclamó Fotheringay con voz entrecortada -, ¿qué habrá ocurrido? ¿Una tempestad? - Por lo visto he debido hacer algo mal.

Después de mirar lo que el viento y los batientes faldones de su chaqueta le dejaron, continuó:

- En el cielo me parece que todo está en orden. Allí está la Luna. Lo demás también está. Pero, ¿dónde está la ciudad? ¿dónde las calles y las casas?; ¿de dónde viene este viento? Yo no he mandado que haga viento.



Fig. 2. ¿Qué ocurriría si la Tierra dejara de repente de girar alrededor de su eje?

Fotheringay intentó ponerse en pie, pero no pudo: por eso iba andando a gatas, sujetándose a las piedras y a los salientes del terreno. La verdad es que no había a dónde ir, puesto que todo lo que se podía ver por debajo de los faldones de la chaqueta, que el viento la había puesto por montera, era un cuadro de completa desolación.

"En el mundo algo se ha descompuesto, pensó, pero no sé lo que es".

Y efectivamente, algo se había descompuesto. No se veían casas, ni árboles, ni seres vivientes, no se veía nada. Sólo ruinas deformes y restos heterogéneos yacían por doquier y apenas se podían distinguir en medio del huracán de polvo.

El culpable de todo esto no podía comprender lo ocurrido, aunque todo tenía una explicación bien sencilla. Al parar la Tierra de improviso, Fotheringay no pensó en la inercia, que fue precisamente la que al cesar la rotación del planeta lanzó fuera de su superficie todo cuanto sobre ella había. Por eso las casas, la gente, los árboles, los animales y todo aquello que no estaba unido de forma inquebrantable con la masa fundamental de la esfera terrestre, salió volando tangencialmente a su superficie con la velocidad de un proyectil. Después todo volvió a caer sobre la Tierra haciéndose mil pedazos.

Fotheringay comprendió que el prodigio que acababa de hacer le había salido mal. Sintió una profunda repulsión por todo hecho semejante y se prometió a sí mismo no hacer más prodigios en su vida. Pero antes tenía que reparar el mal que había causado, y que no era pequeño. La tempestad seguía desencadenada, nubes de polvo eclipsaban la Luna y se oía ruido de agua que se acercaba. Brilló un relámpago y a su luz pudo ver Fotheringay cómo un muro de agua avanzaba hacia él vertiginosamente.

Cobró valor, y dirigiéndose al agua gritó:

- ¡Alto! ¡Ni un paso más!

Después repitió órdenes semejantes a los truenos, a los relámpagos y al viento.

Por fin se hizo la calma.

Fotheringay se puso en cuclillas y pensó: "Hay que obrar con cuidado, no vayamos a hacer otro desaguisado". Siguió meditando un poco y luego dijo: "Es mi deseo que, en cuanto se realice lo que ahora voy a ordenar, pierda yo el poder de hacer prodigios que hasta ahora he tenido y me

convierta en un hombre como todos los demás. ¡Basta de prodigios! No quiero jugar más con cosas tan peligrosas. Ahora, mi última orden: que todo vuelva a ser como antes, que sean lo mismo las ciudades, las gentes, las casas, todo, y que yo también sea igual que antes".

[Volver al Inicio](#)

Una Carta Desde un Avión

Figurémonos que vamos viajando en un avión que vuela rápido sobre la tierra. Abajo se ven lugares conocidos. Ahora vamos a pasar por encima de la casa de un amigo nuestro. "No estaría mal mandarle un saludo" - pensamos de repente. Escribimos apresuradamente unas cuantas palabras en una hoja de papel, la atamos a cualquier objeto pesado (que en adelante llamaremos "peso") y, en cuanto nos encontramos exactamente encima de la casa, lo dejamos caer.

Fig. 3. Un peso dejado caer desde un avión en vuelo no cae verticalmente, sino siguiendo una curva



¿Caerá la carta en casa de nuestro amigo? No, no caerá, aunque su huerto y su casa estaban exactamente debajo cuando soltamos el peso.

Si hubiéramos podido observar su caída desde el avión hubiésemos visto un fenómeno extraño: el peso cae, pero sigue encontrándose durante todo el tiempo debajo del avión, lo mismo que si fuera resbalando por un hilo invisible. Por eso, cuando el peso llega a tierra, el sitio donde cae está mucho más adelante que el que elegimos al soltarlo.

Aquí volvemos a encontrarnos con la ley de la inercia que nos impidió viajar por el método de Bergerac. Mientras el peso estaba en el avión se movía a la misma velocidad que él. Al soltarlo, comenzó a caer y a separarse del avión, pero como no perdió la velocidad que tenía, siguió avanzando en el aire en la misma dirección que antes. En estas condiciones el peso tenía dos movimientos, uno hacia abajo y otro horizontal hacia adelante. Estos dos movimientos se suman y, como resultado, el peso cae siguiendo una curva y permaneciendo siempre debajo del avión (si este último no cambia de dirección o de velocidad).

El peso se comporta en este caso lo mismo que cualquier objeto lanzado horizontalmente, por ejemplo, como una bala disparada con un fusil en posición horizontal: el objeto describe una trayectoria en forma de arco que acaba en la superficie de la tierra.

Todo lo que acabamos de decir sería completamente justo si no existiera la resistencia del aire. Pero en realidad esta resistencia frena tanto el movimiento vertical del peso como el horizontal, por lo que en vez de encontrarse, durante todo el tiempo que dura la caída debajo del avión, se retrasa un poco con respecto a él.

La desviación de la vertical de lanzamiento puede ser muy considerable, sobre todo si el avión vuela alto y a gran velocidad. Si no hace viento, un peso soltado desde un avión que se halle a 1.000 m de altura y que vuele con una velocidad de 100 km por hora, caerá 400 metros más allá del sitio que se encontraba exactamente debajo del avión cuando se dejó caer (fig. 3). Si se desprecia la resistencia de aire el cálculo no es difícil.

Por la fórmula del camino recorrido con movimiento uniformemente acelerado

$$S = \frac{gt^2}{2}$$

de donde tenemos que el tiempo que tarda en caer el peso

$$t = \sqrt{\frac{2S}{g}}$$

siendo g la aceleración de la gravedad, igual a $9,8 \text{ m/seg}^2$. Por lo tanto, si el objeto cae desde 1.000 m de altura, tardará en llegar al suelo

$$t = \sqrt{\frac{2 \cdot 1000}{9,8}}$$

es decir 14 segundos.

Durante este tiempo avanzará en dirección horizontal

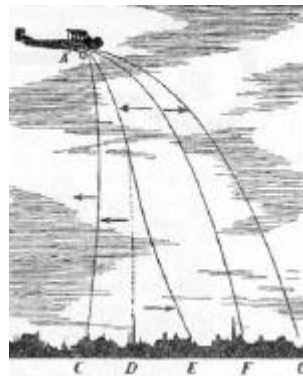
$$\frac{100 \cdot 1000}{3.600} \cdot 14 = 390 \text{ m}$$

[Volver al Inicio](#)

Lanzamiento de Bombas

Después de lo que acabamos de decir está claro que cuando un piloto ha de lanzar una bomba en un sitio determinado, tiene que resolver un problema difícil, puesto que ha de tener en cuenta la velocidad del avión, la resistencia del aire y la velocidad del viento.

Fig. 4. Trayectorias que siguen las bombas lanzadas desde un avión: AF, cuando no hace viento; AG, con viento favorable (de cola); AD, AC, con viento contrario (de proa); EA, con viento contrario arriba y favorable abajo,



cuanta la velocidad del avión, la resistencia del aire y la velocidad del viento.

En la fig. 4 se representan esquemáticamente las trayectorias que describe una bomba según las condiciones en que se realice el lanzamiento. Si no hace viento, la bomba seguirá la curva AF; en el ejemplo anterior dijimos ya por qué esta curva precisamente. Si hace viento favorable (de cola arrastrará la bomba hacia adelante y ésta describirá la curva AG. Si el viento es contrario (de proa) y de poca fuerza, la bomba caerá siguiendo la curva AD (si el viento sopla con la misma fuerza y en la misma dirección en las capas superiores y en las inferiores); si el viento, como suele ocurrir, tiene abajo una dirección y arriba otra (por ejemplo, arriba en contra y abajo a favor), la trayectoria de caída cambiará de forma y tomará el aspecto representado por la curva AE.

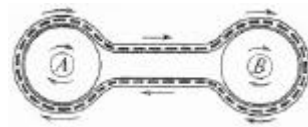
[Volver al Inicio](#)

Un Ferrocarril Sin Paradas

Cuando estamos en el andén de una estación y junto a nosotros pasa un tren expreso, a nadie se le ocurre montarse en uno de sus vagones en marcha. Pero figurémonos que la plataforma del andén se mueve en el mismo sentido y con la misma velocidad que el tren, ¿sería difícil entrar en un vagón en marcha en estas condiciones?

En absoluto; entraríamos en él con la misma tranquilidad que si estuviera parado. Porque si el tren y nosotros nos movemos en el mismo sentido y con la misma velocidad resultará que dicho tren se encontrará en reposo con respecto a nosotros. Es verdad que sus ruedas continuarán girando, pero nos parecerá que lo hacen sin moverse del sitio.

Fig. 5. Esquema de un ferrocarril sin paradas entre dos estaciones A y B. El esquema de las estaciones se muestra en la figura siguiente.



Hablando estrictamente, todos los objetos que generalmente consideramos inmóviles, por ejemplo, un tren parado en la estación, se mueven al mismo tiempo que nosotros alrededor del eje de la Tierra y en torno al Sol; pero podemos considerar que este movimiento no existe prácticamente, puesto que no nos molesta en absoluto.

Por consiguiente, es perfectamente realizable la idea de que los pasajeros tomen el tren y se apeen de él a toda marcha, sin necesidad de que se pare.

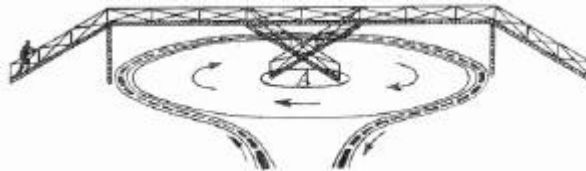
Dispositivos de este género se instalan frecuentemente en las exposiciones, para que el público pueda contemplar cómoda y rápidamente todas las curiosidades que se muestran en sus grandes territorios. Los puntos extremos del territorio de la exposición se unen entre sí por medio de un ferrocarril que tiene la forma de cinta sin fin; los pasajeros pueden entrar y salir de los vagones en cualquier otro sitio y en plena marcha.

Un ingenio de este tipo se muestra esquemáticamente en las figuras que insertamos.

En la fig. 5 las estaciones finales se señalan con las letras A y B. En cada una de estas estaciones existe una plataforma circular fija, alrededor de la cual gira otra en forma de disco. Rodeando los discos giratorios de ambas estaciones pasa el cable a que se enganchen los vagones. Cuando los discos giran, los vagones se mueven en torno a ellos con una velocidad igual a la que tienen los bordes exteriores de las plataformas en rotación; por consiguiente, los pasajeros, sin el menor peligro, pueden pasar desde los discos a los vagones y viceversa. Al bajarse del vagón el pasajero se dirige al centro de la plataforma giratoria. Cuando llega a la plataforma fija que hay en dicho

centro, pasa a ella desde el borde interior de la giratoria sin la menor dificultad, puesto que aquí, como el radio de la circunferencia es pequeño, la velocidad circular también es pequeña (No es difícil comprender que los puntos que se encuentran en el borde interior del disco se mueven mucho más despacio que los del exterior, puesto que en el mismo tiempo recorren un camino circular mucho menor). Una vez que se encuentra en la plataforma interior fija, el pasajero sale del ferrocarril pasando por un puente (fig. 6).

Fig. 6. Estación de un ferrocarril sin paradas



La supresión de las paradas frecuentes reporta una gran economía de tiempo y de energía. En los tranvías urbanos, por ejemplo, una gran parte del tiempo y casi las dos terceras partes de la energía se gastan en la aceleración paulatina del movimiento al salir de las paradas y en retardar dicho movimiento al llegar a ellas (Las pérdidas de energía al frenar pueden evitarse conmutando los motores eléctricos del tranvía de forma que funcionen como dínamos y devuelvan corriente a la red. En Charlottenburg, (distrito de Berlín) por este procedimiento se consiguió reducir en un 30% el gasto de energía en las líneas de tranvías. Este mismo procedimiento se utiliza en los ferrocarriles eléctricos de la URSS entre ellos en la línea electrificada Moscú-Vladivostok). En las estaciones de ferrocarril se podría incluso prescindir de las plataformas móviles especiales para tomar y apearse de los trenes en marcha. Supongamos que por una estación ordinaria pasa un tren expreso y que queremos que sin pararse recoja nuevos pasajeros. Para esto no hay más que hacer que dichos pasajeros se monten en otro tren que se encuentre parado en una vía de reserva paralela y que este tren se ponga en marcha y alcance la misma velocidad que el expreso. Cuando ambos trenes marchen el uno junto al otro estarán en reposo relativo entre sí. Entonces, entre ellos se pueden tender unas pasarelas por las que los viajeros podrán pasar tranquilamente desde el tren auxiliar al expreso. De esta forma se pueden suprimir las paradas.

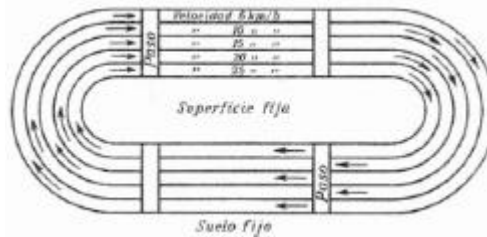
[Volver al Inicio](#)

Aceras Móviles

En el principio del movimiento relativo se basa también otro dispositivo que hasta ahora se utiliza únicamente en las exposiciones; nos referimos a las llamadas "aceras móviles". Por primera vez se emplearon en la exposición de Chicago del año 1893 y después en la Exposición Universal de París del año 1900.

En la fig. 7 se representa un esquema de este dispositivo. En este esquema se pueden ver cinco bandas-aceras cerradas que se mueven unas dentro de otras, a diferentes velocidades, por medio de un mecanismo especial.

Fig. 7. Aceras móviles



La banda exterior se mueve bastante despacio, a 5 km por hora: esta es la velocidad ordinaria de un peatón y, por consiguiente, no es difícil subirse a ella. Junto a ésta se mueve una segunda banda a 10 km por hora. Poner el pie directamente en ella desde el suelo fijo de la calle sería peligroso, pero pasar desde la primera banda no cuesta ningún trabajo. En realidad, con respecto a la primera banda, cuya velocidad es de 5 km, la segunda, que marcha a 10 km por hora, solamente tiene una velocidad relativa de 5 km por hora; por lo tanto, pasar desde la primera a la segunda banda es tan sencillo como pasar desde el suelo fijo a la primera. La tercera banda se mueve a 15 km por hora, pero el paso a ella desde la segunda no presenta dificultad. Con la misma facilidad se puede pasar desde la tercera a la cuarta, cuya velocidad es de 20 km por hora, y desde ésta a la quinta, que se desliza a 25 km por hora. Esta última banda es la que transporta a los viajeros hasta el punto que deseen, donde para salir a tierra firme irán pasando sucesivamente y en sentido contrario de banda en banda.

[Volver al Inicio](#)

Una Ley Difícil de Comprender

Ninguna de las tres leyes fundamentales de la Mecánica da lugar a tantas incomprensiones como la "tercera ley de Newton", es decir, la ley de la acción y reacción. Todo el mundo conoce esta ley y hasta sabe aplicarla en algunos casos, pero son raros los que pueden considerarse exentos de ciertas dudas. Es posible que nuestro lector haya tenido la suerte de comprender perfectamente esta ley desde el primer momento, pero yo tengo que reconocer que sólo llegué a conseguirlo diez años después de estudiarla por vez primera.

En mis conversaciones con diversas personas he podido convencerme de que la mayoría de ellas estaban dispuestas a reconocer esta ley como cierta, pero haciendo algunas objeciones substanciales. Todo el mundo admite que esta ley es justa cuando se trata de cuerpos en reposo, pero, por lo general, no comprende cómo es posible aplicarla a las relaciones entre los cuerpos en movimiento. La acción, dice la ley, es siempre igual y contraria a la reacción. Esto quiere decir, que si un caballo tira de un carro, el carro tira del caballo hacia atrás con la misma fuerza. Pero en este caso, ¿por qué se mueve el carro? Si las fuerzas son iguales, ¿por qué no se equilibran entre sí?

Estas son las dudas que suele despertar la ley a que nos referimos. ¿Quiere esto decir que la ley no es justa? No, la ley es justa indudablemente, lo que ocurre es que la comprendemos mal. Las fuerzas no se equilibran entre sí porque están aplicadas a diferentes cuerpos: una de ellas al caballo y la otra al carro. Las fuerzas son efectivamente iguales, pero, ¿acaso las fuerzas iguales producen siempre los mismos efectos? ¿es que las fuerzas iguales comunican la misma aceleración a todos los cuerpos?; la acción de una fuerza sobre un cuerpo, ¿no depende acaso del propio cuerpo y de la "resistencia" que opone a la fuerza?

Si se recapacita sobre todo esto queda claro por qué el caballo arrastra al carro a pesar de que éste tire de él hacia atrás con la misma fuerza. Las fuerzas que actúan sobre el carro y sobre el caballo son iguales entre sí en cada momento; pero como el carro se mueve libremente sobre sus ruedas,

mientras que el caballo se apoya en el suelo, está claro por qué aquél avanza hacia éste. Si el carro no opusiera reacción a la acción de la fuerza motriz del caballo ... se podría prescindir del caballo, puesto que cualquier fuerza, por pequeña que fuera, bastaría para hacer que el carro se moviese. El caballo hace falta precisamente para eso, para vencer la reacción del carro.

Todo esto se comprendería mucho mejor y daría lugar a menos dudas si la ley se formulara, no de la forma abreviada de costumbre: "la acción es igual a la reacción", sino así, por ejemplo: "siempre que un cuerpo ejerce sobre otro una fuerza. (acción), éste ejerce sobre él otra fuerza igual y directamente opuesta a la primera (reacción)".

Porque las únicas que son iguales son las fuerzas, ya que los efectos que producen (sobre todo si éstos se miden, como de ordinario, por la traslación de un cuerpo) son, por regla general, diferentes, debido a que cada una de las fuerzas está aplicada a un cuerpo distinto.

De la misma forma, cuando los hielos polares presionaban sobre el casco del "Cheliuskin", (el barco soviético "Cheliuskin" fue aprisionado por los hielos árticos en el estrecho de Bering, arrastrado hacia el norte y finalmente aplastado en febrero del año 1934. N. del T.) las bordas de éste presionaban a su vez sobre el hielo con igual fuerza. La catástrofe ocurrió porque el hielo pudo aguantar esta presión sin romperse, mientras que el casco del buque, que aunque de acero no era macizo, cedió a esta fuerza y fue aplastado (en "Causa Física de la Catástrofe del Cheliuskin", más adelante, trataremos más detenidamente las causas que motivaron la catástrofe).

La caída de los cuerpos también cumple la ley de la acción y reacción, aunque no es fácil distinguir las dos fuerzas. Cuando una manzana se cae al suelo es porque la atrae la Tierra, pero esta última es atraída a su vez, con la misma fuerza, por la manzana.

Hablando estrictamente, la manzana cae en la Tierra y la Tierra en la manzana, pero las velocidades con que caen una y otra son distintas. Las fuerzas de atracción, siendo iguales, comunican a la manzana una aceleración de 10 m/seg^2 , mientras que la que le comunican a la Tierra es tantas veces menor como la masa de esta última es mayor que la de la manzana. Y como la masa de la Tierra es enormemente mayor que la de la manzana, la aceleración que recibe es tan insignificante que puede considerarse igual a cero. Por esto decimos que la manzana cae en la Tierra, en lugar de decir que caen mutuamente la una en la otra.

[Volver al Inicio](#)

Como Murió el Bogatir Sviatogor

Entre los cantares épicos rusos existe uno en que se relata la hazaña del bogatir Sviatogor, (personaje dotado de fuerza y valor extraordinarios, héroe de las canciones épicas rusas N. del T.) que quiso levantar la Tierra.

Arquímedes, según cuenta la tradición, también estaba dispuesto a hacer lo mismo si le daban un punto de apoyo para su palanca. Pero Sviatogor era fuerte y sin palanca. A él sólo le hacía falta encontrar un sitio de donde cogerse, algo donde poder aferrar sus manos poderosas. "Si yo encontrara un tirante levantaría la Tierra". Y se presentó el caso: el bogatir encontró en el suelo unas alforjas que "ni se inclinaban, ni se movían, ni se podían levantar".

Sviatogor se bajó del caballo
Y aferrándose con brío a las alforjas
De un tirón las subió hasta las rodillas,
Pero en tierra clavóse hasta las corvas.
No lágrimas bañaron su semblante,
Sino, sangre, intensamente roja.
Y se hundió el bogatir, sin repararlo,

Y acabose su vida valerosa.

Si Sviatogor hubiera conocido la ley de la acción y reacción habría comprendido que su colosal fuerza aplicada a la Tierra tenía que provocar otra fuerza igual y, por lo tanto también colosal, opuesta a la suya, capaz de hundir a él mismo en la tierra.

En todo caso, por la canción épica se ve que el pueblo, con su capacidad para observar y analizar los hechos, había descubierto hacía ya mucho tiempo la reacción que presenta la tierra cuando sobre ella se apoyan. Las gentes aplicaban de manera inconsciente la ley de la reacción millares de años antes de que el gran físico inglés del siglo XVII, Isaac Newton, la enunciara por vez primera en su libro inmortal "Philosophiae Naturalis Principia Mathematica" (Principios matemáticos de la filosofía natural, es decir, Física).

[Volver al Inicio](#)

¿Puede Haber Movimiento sin Apoyo?

Al andar tomamos impulso empujando el suelo con los pies; si este último es demasiado liso o está cubierto de hielo, el pie no encuentra apoyo y no podemos andar. Cuando se mueve una locomotora empuja hacia atrás los raíles con sus ruedas "motrices". Si los raíles se engrasan con aceite, la locomotora "patinará" y no podrá moverse. A veces (cuando hay escarcha) para que los trenes puedan arrancar del sitio en que están parados se echa arena en los raíles, delante de las ruedas motrices, con un dispositivo especial. En los ferrocarriles primitivos las ruedas y los raíles tenían dientes, para que al engranar pudieran empujar las ruedas y recibir a su vez el empuje de los raíles. Los barcos reciben el empuje necesario para avanzar apoyando las palas de sus hélices en el agua. Los aviones hacen lo mismo, pero apoyándolas en el aire. Es decir, cualquiera que sea el medio en que se mueve un objeto, se apoya en él para moverse. Pero, ¿puede un cuerpo moverse si carece de todo apoyo fuera de sí?

Pretender conseguir este movimiento parece algo así como querer levantarse a sí mismo tirándose de los pelos. No obstante, que sepamos, esto último sólo pudo realizarlo el fabuloso barón Münchhausen. Y sin embargo este tipo de movimiento, al parecer imposible, se produce frecuentemente ante nuestros ojos. Es ver dad que un cuerpo, con sólo sus fuerzas internas, no puede ponerse totalmente a sí mismo en movimiento, pero puede hacer que una parte de su materia se mueva en un sentido y la restante en el opuesto. Cuántas veces hemos visto volar cohetes. Pero, ¿por qué vuelan? Los cohetes son un ejemplo gráfico del tipo de movimiento que ahora nos interesa.

[Volver al Inicio](#)

¿Por qué Vuelan los Cohetes?

Incluso entre personas que han estudiado Física es frecuente oír explicaciones completamente falsas del vuelo de los cohetes, como ésta, por ejemplo: vuelan porque los gases que se forman dentro de ellos al quemarse la pólvora empujan al aire.

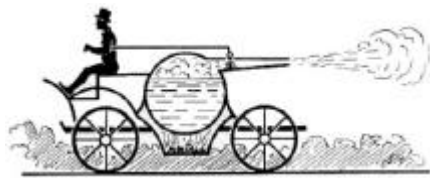
Fig. 8. La máquina (turbina) de vapor más antigua, llamada "eolípila", que se atribuye a Herón de Alejandría.



Así se pensaba antiguamente (los cohetes son un invento antiquísimo) y hasta ahora hay muchos que siguen pensando igual. Pero si un cohete se lanza en el vacío volará aún más de prisa que en el aire. La causa verdadera del movimiento de los cohetes es otra totalmente distinta. El revolucionario ruso Kibalchich describió esta causa con mucha claridad y sencillez en unas notas escritas antes de ser ejecutado, en las cuales daba a conocer una máquina volante inventada por él. He aquí cómo explicaba Kibalchich la forma y manera de funcionar del motor cohete que debía servir de propulsión al aparato, capaz de transportar pasajeros y carga:

"Dentro de un cilindro de hojalata, cerrado por una de sus bases y abierto por la otra, se coloca una carga cilíndrica de pólvora prensada en cuya parte central, a lo largo de su eje, hay un canal hueco. La combustión de la pólvora comienza por la superficie de este canal y se propaga durante un tiempo determinado, hasta que llega a la superficie exterior de la pólvora prensada. Los gases producidos por la combustión presionan en todas las direcciones; pero mientras las presiones laterales de estos gases se equilibran entre sí, la presión sobre el fondo de la envoltura de hojalata en que se encuentra la pólvora no tiene presión contraria que la equilibre (puesto que por este lado los gases pueden salir libremente) y empuja al cohete hacia adelante, en la dirección en que éste se colocó en el banco de lanzamiento antes del encendido".

Fig. 9. Automóvil de vapor, que se atribuye a Newton.



Aquí ocurre lo mismo que cuando dispara un cañón: el proyectil sale disparado hacia adelante, mientras que el cañón sufre un empuje hacia atrás. Este es el conocido retroceso o "culatazo" de las escopetas y de todas las armas de fuego. Si el cañón estuviera colgado en el aire, sin apoyarse en el suelo, después del disparo se movería hacia atrás con cierta velocidad, que sería tantas veces menor que la del proyectil como la masa de este último es menor que la del cañón. Julio Verne, en su novela fantástica "Boca Abajo", cuenta cómo los norteamericanos proyectaron aprovechar la fuerza del retroceso de un cañón colosal para realizar una empresa grandiosa, la de "enderezar el eje de la Tierra".

Un cohete también es un cañón, con la única diferencia de que en vez de proyectiles lanza los gases de la combustión de la pólvora. Este mismo principio es el que se aplica en la "rueda china" o rueda de los fuegos artificiales, en la cual, cuando arde la pólvora contenida en unos tubos sujetos a la rueda, los gases escapan hacia atrás y los tubos (junto con la rueda) se mueven hacia

adelante. En realidad esto no es más que una variante del aparato físico que todos conocen con el nombre de rueda de Segner.

Es interesante señalar que antes de la invención del barco de vapor existió un proyecto de barco mecánico basado en el principio de la reacción. Según este proyecto el barco estaría provisto de una potente bomba impelente que expulsaría el agua por la popa, como resultado de lo cual el barco debería moverse hacia adelante, lo mismo que las latas flotantes que en los gabinetes de Física de las escuelas sirven para demostrar este principio. El proyecto no llegó a realizarse, pero desempeñó un papel importante en la invención del barco de vapor, puesto que sugirió esta idea a Fulton.

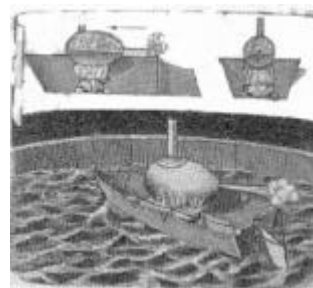
También sabemos que la máquina de vapor más antigua, es decir, la eolípila de Herón de Alejandría, construida en el siglo II, funcionaba por el mismo principio, es decir, el vapor de una caldera (fig. 8) llegaba a una esfera hueca, sujeta a un eje horizontal, y desde ella salía por unos tubos acodados, con lo cual empujaba a estos tubos en sentido contrario y la esfera comenzaba a girar. La turbina de vapor de Herón no sirvió en la antigüedad más que como juguete ingenioso, ya que el trabajo de los esclavos era tan barato que nadie se preocupó de encontrarle una aplicación práctica a la máquina. Pero el principio en que se funda no fue olvidado por la técnica. En nuestros días este principio se utiliza en las turbinas a reacción.

A Newton, autor de la ley de la acción y reacción, se le atribuye uno de los proyectos más antiguos de automóvil de vapor (fig. 9). Este automóvil debía constar de una caldera, montada sobre ruedas, de la que el vapor salía por una tobera posterior, mientras que la propia caldera, debido a la fuerza de retroceso, avanzaba sobre las ruedas en sentido contrario.

Los automóviles cohete son una variante moderna del carro de Newton.

A continuación ofrecemos a los aficionados a construir modelos el dibujo de un barquito de papel muy parecido al carricoche de Newton. En la caldera del barquito, que se hace con un cascarón de huevo vacío, se calienta agua. Para esto se emplea un trozo de algodón empapado en alcohol, que se coloca sobre un dedal. El vapor que se forma sale por el agujero de la base del huevo, hacia atrás, y hace que el barquito se mueva hacia adelante.

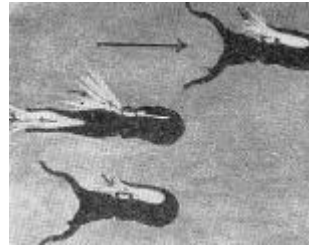
Fig. 10. Barquito de papel con "caldera de vapor". La caldera es el cascarón de un huevo vacío. Para calentarla se emplea un trocito de algodón empapado en alcohol que se coloca en un dedal. El vapor que sale por el orificio de la "caldera" hace que el barquito se mueva en sentido contrario.



[Volver al Inicio](#)

¿Como se Mueve la Jibia?

Quizá parezca extraño oír que hay muchos animales para los que el presunto "levantarse a sí mismos tirándose de los pelos" es el procedimiento ordinario de trasladarse en el agua.

Fig. 11. Así nada la jibia

La jibia, lo mismo que la mayoría de los moluscos cefalópodos, se mueve en el agua de la forma siguiente: el agua entra en su cavidad bronquial, a través de una abertura lateral y de un embudo especial que tienen en la parte delantera del cuerpo, y después es expulsada enérgicamente, en forma de chorro, a través de este mismo embudo (sifón). Al ocurrir esto, debido a la ley de la reacción, el animal recibe un empuje en sentido contrario que es suficiente para que pueda "nadar" bastante de prisa hacia atrás, es decir, con la parte posterior del cuerpo hacia adelante. La jibia puede también dirigir el sifón hacia un lado o hacia atrás, en cuyo caso, al expeler rápidamente el agua, se mueve en cualquier dirección.

En esto mismo se basa el movimiento de las medusas. Estas últimas contraen sus músculos y de esta forma expulsan de su cuerpo acampanado el agua, con lo que reciben el empuje en dirección contraria. Procedimientos análogos emplean para trasladarse las salpas, las larvas de las libélulas (caballitos del diablo) y otros animales acuáticos.

¡Y nosotros dudábamos de que fuera posible moverse así!

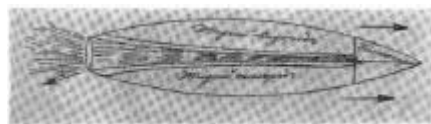
[Volver al Inicio](#)

En Cohete Hacia las Estrellas

¿Qué puede haber más seductor que salir de nuestro planeta y viajar por la inmensidad del universo, desde la Tierra a la Luna, desde un planeta a otro? ¡Cuántas novelas fantásticas se han escrito sobre este tema! ¡Quién de nosotros no ha sentido la atracción de un viaje imaginario por los astros! Voltaire en "Mieromegas", Julio Verne en "De la Tierra a la Luna" y "Hector Servadac", Wells en "Los primeros hombres en la Luna", como muchos de sus imitadores, realizaron viajes interesantísimos por otros planetas, aunque, claro está, en sueños. En realidad, por ahora seguimos siendo prisioneros de la Tierra.

Pero, ¿es verdaderamente imposible llevar a la práctica esta ilusión tan antigua? Todos estos proyectos, tan ingeniosa y seductoramente descritos como si fueran verdaderos, ¿son irrealizables?

Fig. 12 Proyecto de cohete interplanetario. Dibujo de K.E. Tsiolkovski (1903).



Más adelante volveremos a hablar de proyectos fantásticos de viajes interplanetarios; pero ahora queremos dar a conocer al lector un proyecto real de viajes de este tipo, propuesto por vez primera por el fundador de la cosmonáutica (o astronáutica) K.E. Tsiolkovski.

¿Se puede llegar a la Luna en un avión? Claro que no. Los aviones y los dirigibles se mueven porque repelen el aire en que se apoyan, pero entre la Tierra y la Luna no hay aire. El espacio universal carece en general de un medio suficientemente denso en que pueda apoyarse un

"dirigible interplanetario". Por consiguiente, hay que inventar un aparato capaz de moverse y ser dirigido sin apoyarse en nada.

Nosotros ya conocemos proyectiles de este tipo en forma de juguetes, es decir, los clásicos cohetes. ¿Por qué no construir un cohete grandioso, con departamentos especiales para poder transportar pasajeros, reservas de comestibles, balones de aire, etc.? Imaginémosnos que los tripulantes del cohete llevan consigo una gran cantidad de combustible y que pueden dirigir el chorro de los gases de explosión en cualquier sentido. Tendremos una verdadera nave espacial dirigible, capaz de navegar por el inmenso océano del Universo y de llevarnos a la Luna, a los planetas, ... Los tripulantes, controlando las explosiones, podrán aumentar la velocidad de este dirigible interplanetario de manera paulatina, para que este aumento no sea perjudicial para el organismo humano. Si quieren bajar a algún planeta podrán orientar su nave, disminuir poco a poco su velocidad y de esta forma suavizar la caída. Finalmente, los tripulantes podrán por un procedimiento análogo regresar a la Tierra.

Recordemos cómo hace relativamente poco la aviación conseguía sus primeros éxitos. Ahora los aviones cruzan las zonas más altas de la atmósfera y sobrevuelan montañas, desiertos, continentes y océanos.

Es posible que la astronáutica experimente un florecimiento semejante dentro de dos o tres decenas de años. Entonces el hombre romperá las cadenas invisibles que le sujetan a su planeta natal y se lanzará al espacio sin límites del Universo (el 2 de enero de 1959 el primer cohete cósmico soviético abandonó la Tierra. Tras él, en septiembre y octubre de 1959, otras dos naves espaciales se dirigieron a la Luna, la primera "alunizó" felizmente y la segunda fotografió la parte de la Luna invisible desde la Tierra. El camino del cosmos quedó abierto para el hombre. N. de la R.).

[Volver al Inicio](#)

CAPITULO SEGUNDO

FUERZA, TRABAJO, ROZAMIENTO

El Problema del Cisne, el Cangrejo y el Lucio

Una de las fábulas más conocidas de I. A. Krilov es "El cisne, el cangrejo y el lucio"¹. En ella se cuenta como un cisne, un cangrejo y un lucio se pusieron de acuerdo para tirar de un carro cargado. Pero lo más probable es que a nadie se le haya ocurrido estudiar esta fábula desde el punto de vista de la Mecánica. Y sin embargo el resultado que se obtiene no coincide con el que piensa Krilov.

Se nos plantea un problema de Mecánica en el que hay que componer varias fuerzas que actúan formando determinados ángulos entre sí. Las direcciones de estas fuerzas vienen definidas por la propia fábula:

... El cisne tira hacia las nubes,
El cangrejo hacia atrás, y el lucio al agua.

Esto quiere decir (fig. 13) que una fuerza, es decir, la del cisne, está dirigida hacia arriba; otra, la del lucio (OB), hacia un lado, y la tercera, la del cangrejo (OC), hacia atrás. Pero no podemos olvidar que existe otra fuerza, el peso del carro cargado, que está dirigida verticalmente hacia abajo. Según la fábula "el carro hasta ahora está en el mismo sitio", es decir, que la resultante de todas las fuerzas aplicadas a él es igual a cero.

Veamos si esto es así. El cisne, al tirar hacia las nubes, no estorba el trabajo que realizan el cangrejo y el lucio; al contrario, lo hace más fácil, puesto que su fuerza está dirigida en sentido contrario al de la gravedad y, por consiguiente, disminuye el rozamiento de las ruedas con la tierra y con sus ejes y alivia el peso del carro o lo equilibra por completo (puesto que la fábula dice que "para ellos liviana parecía la carga"). Admitiendo, para simplificar, este último caso, vemos que quedan únicamente dos fuerzas: la del cangrejo y la del lucio.

¹ I. A. Krilov, el gran fabulista ruso de finales del siglo XVIII y principios del XIX, plantea en esta fábula que el desacuerdo al realizar una empresa hace que resulten estériles todos los esfuerzos. Esto es lo que ocurre con el cisne el lucio y el cangrejo, que puestos a arrastrar un carro, no pesado para sus fuerzas, no consiguen moverlo del sitio porque cada cual tira para un lado. (N. del T)

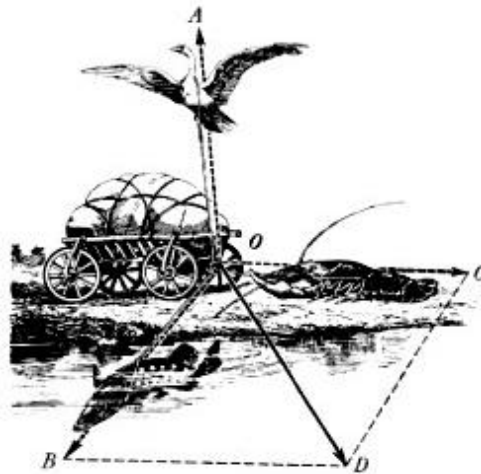


Fig. 13. El problema de] cisne, el cangrejo y el lucio resuelto por las reglas de la Mecánica. La resultante (OD) debe hacer que el carro vaya hacia el río

Sobre las direcciones de estas dos fuerzas sabemos que "el cangrejo tira hacia atrás, y el lucio al agua". Está claro que el agua no puede estar delante del carro, sino a uno de sus lados (puesto que los "trabajadores" de Krilov no se proponían tirarlo al agua). Por lo tanto, las fuerzas del cangrejo y del lucio forman un ángulo entre sí. Pero si dos fuerzas aplicadas a un cuerpo no están en línea recta su resultante no puede ser igual a cero.

Procediendo de acuerdo con las reglas de la Mecánica, construyamos sobre las fuerzas OB y OC el paralelogramo, cuya diagonal OD nos da la dirección y la magnitud de la resultante. Es evidente que esta resultante debe hacer que se mueva el carro,

sobre todo si su peso ha sido equilibrado en todo o en parte por el cisne. Nos queda por determinar hacia dónde se mueve el carro: hacia adelante, hacia atrás o de costado. Esto depende de la relación que exista entre las fuerzas y de las magnitudes que tengan los ángulos que forman entre sí.

Los lectores que tengan cierta práctica en la composición y descomposición de fuerzas pueden analizar fácilmente el caso en que el cisne no equilibra por completo el peso del carro; después de hacerlo quedarán convencidos de que en este caso tampoco puede permanecer inmóvil el carro. Solamente existe un caso en que el carro no se movería al ser solicitado por estas tres fuerzas: cuando el rozamiento de las ruedas con sus ejes o con la carretera es mayor que la resultante de las fuerzas aplicadas. Pero esto se contradice con la afirmación de que "para ellos liviana parecía la carga".

En todo caso Krilov no tenía motivo para asegurar que "el carro sigue sin moverse" y que "... hasta ahora está en el mismo sitio". Sin embargo la moraleja de la fábula sigue siendo cierta.

A Pesar de lo que Dice Krilov

Como acabamos de ver, la regla mundológica de Krilov que dice que "cuando entre amigos no hay acuerdo, sus obras éxito no tienen", no siempre concuerda con la Mecánica, puesto que las fuerzas pueden estar dirigidas en distintas direcciones y a pesar de ello producir cierta resultante. Un ejemplo de esto, que pocas personas sospechan, es el que nos ofrece el trabajo concienzudo de las hormigas (que Krilov alabó como trabajadoras ejemplares). Las hormigas realizan su trabajo colectivo precisamente por el procedimiento que el mismo fabulista como hemos visto criticaba antes. Y a pesar de esto sus esfuerzos dan resultados positivos ... gracias, otra vez, a la ley de la composición de las fuerzas. Si observamos con atención como trabajan las hormigas no tardaremos en darnos cuenta de que la colaboración racional entre ellas es sólo aparente. En realidad cada una trabaja por su cuenta y no se preocupa de ayudar a las demás.

He aquí como describe el trabajo de las hormigas un zoólogo²:

"Cuando diez hormigas arrastran una presa grande por un sitio llano todas actúan por igual y, aparentemente, colaboran entre sí. Pero si la presa (por ejemplo, un gusano) se engancha en cualquier obstáculo, sea un tallo de hierba o una piedrecilla cualquiera, y no se puede seguir arrastrando hacia adelante, sino que hay que rodear dicho obstáculo, se descubre con toda claridad que cada una de las hormigas procura salvar el obstáculo sin ponerse de acuerdo con ninguna de sus compañeras (fig. 14 y 15).



Fig. 14. Esquema de cómo arrastran las hormigas un gusano.

Unas tiran hacia la derecha, otras hacia la izquierda; éstas empujan, aquéllas tiran hacia atrás. Se trasladan de una parte a otra, agarran la presa por otro sitio, pero cada una empuja o tira por su cuenta. Cuando por casualidad las fuerzas de todas las que trabajan se componen de manera que 4 hormigas procuran mover el gusano hacia un lado, mientras que 6 procuran hacerlo en otro sentido, la presa se desplaza hacia el lado de las seis, a pesar de la reacción que oponen las otras cuatro".

² E. Elachich, "Instinto".



Fig. 15. Esquema de cómo arrastran las hormigas un gusano. Las flechas indican las direcciones aproximadas de los esfuerzos que hacen las hormigas.

Veamos otro ejemplo muy instructivo que ilustra perfectamente la aparente colaboración entre las hormigas.

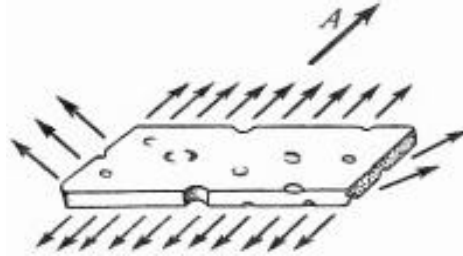


Fig. 16. Esquema de cómo las hormigas intentan arrastrar hasta el hormiguero (que se encuentra en la dirección A) un trocito de queso.

En la fig. 16 se representa un pedacito de queso de forma rectangular al que se agarran 25 hormigas. El queso se desliza despacito en la dirección que indica la flecha A y puede pensarse que la fila delantera de hormigas va tirando de él, la trasera va empujando y las hormigas laterales ayudan a las demás. Pero si cogemos un cuchillo y separamos con él la fila de hormigas trasera veremos que ... ¡el queso se mueve más de prisa! Está claro que las 11 hormigas traseras tiraban hacia atrás. Cada una de ellas procuraba volver la carga de manera que, andando hacia atrás, le fuera posible llevarla hasta el hormiguero. Es decir, las hormigas traseras no sólo no ayudaban a las delanteras, sino que les estorbaban celosamente y anulaban sus esfuerzos. Para arrastrar este pedacito de queso hubiera sido suficiente el esfuerzo de cuatro hormigas, pero el desacuerdo reinante entre ellas hace que sean 25 las que tiran de él.

Esta peculiaridad de las acciones mancomunadas de las hormigas fue observada hace mucho tiempo por el célebre escritor humorista norteamericano Mark Twain, quien cuenta cómo dos hormigas pretendían arrastrar a una pata de grillo: "Cada una coge la carga por uno de sus extremos y tira de ella con todas sus fuerzas en sentido contrario al de la otra. Ambas se dan cuenta de que ocurre algo anormal, pero no comprenden de qué se trata. Comienza un altercado entre ellas: la discusión se transforma en pelea ... Al fin hacen las paces y vuelven a empezar el absurdo trabajo común, con la Particularidad de que la hormiga que resultó herida en la lucha sigue siendo un estorbo. Pero la hormiga sana, haciendo un supremo esfuerzo, arrastra la carga y a su compañera, la cual, en lugar de soltar la presa, sigue colgada a ella". Twain dice en broma y con razón que "las hormigas trabajan bien cuando el naturalista que las observa es poco ducho y saca conclusiones falsas".

¿Es Fácil Romper el Cascaron de un Huevo?

Uno de los "problemas filosóficos" en que solía romperse la cabeza el pensador Kifa Mokiévich de "Almas Muertas"³ era el siguiente: "Si el elefante naciera de un huevo, el cascarón ya tendría que ser gordo; ni con un cañón se podría atravesar. Habría que inventar algún arma de fuego nueva".

Este "filósofo" de Gógol se quedaría asombrado si supiera que tampoco es cosa delicada el cascarón de un huevo ordinario, a pesar de su delgadez. Romper un huevo entre las palmas de las

³ Obra inmortal del escritor ruso Nicolái Vasilievich Gógol. (N. del T.)

manos, apretando sus extremos, no es cosa fácil; el esfuerzo que hay que hacer para romper el cascarón en estas condiciones no es pequeño⁴.

La extraordinaria fortaleza del cascarón del huevo se debe exclusivamente a su forma convexa y tiene la misma explicación que la resistencia de cualquier tipo de bóvedas y arcos.



Fig. 17. Para romper un huevo en estas condiciones hace falta un gran esfuerzo

⁴ Este experimento debe hacerse con precaución, ya que los fragmentos del cascarón pueden hincarse en las manos.

En la fig. 18 se representa un pequeño arco de piedra de una ventana. El peso S (es decir, el peso de la parte de pared que se encuentra más arriba), que presiona sobre la piedra en forma de cuña que hay en la parte central del arco, aprieta hacia abajo con la fuerza que se representa en la figura por medio de la flecha A . Pero esta piedra, como es cuneiforme, no puede desplazarse hacia abajo y lo único que hace es presionar sobre las piedras contiguas. La fuerza A se descompone, de acuerdo con la regla del paralelogramo, en dos fuerzas C y B que se equilibran con la resistencia de las piedras vecinas. Estas últimas quedan sujetas a su vez entre las otras contiguas. De esta forma, cuando una fuerza exterior actúa sobre el arco no puede destruirlo. Pero si la fuerza actúa por la parte interior del arco lo derrumba fácilmente. Esto es comprensible, puesto que la forma de cuña que impide que las piedras puedan descender no es obstáculo para que puedan ser levantadas.

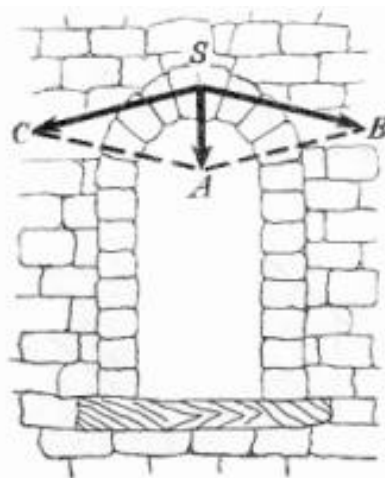


Fig. 18. Explicación de por qué son tan resistentes los arcos.

El cascarón del huevo también es un arco, pero continuo, es decir, una bóveda cerrada. Cuando sobre él actúa una presión exterior no se rompe tan fácilmente como sería de esperar teniendo en cuenta la fragilidad del material. 'Sobre cuatro huevos crudos se puede poner una mesa bastante pesada sin que sus patas los aplasten (para que los huevos se mantengan de pie hay que ensanchar sus extremos con un poco de escayolar esta última se pega muy bien al cascarón).

Ahora comprenderá el lector por qué la clueca no teme aplastar los huevos cuando se echa sobre ellos. No obstante, cuando el débil pollito necesita salir de su prisión natural, rompe desde dentro el cascarón con su pico, sin que esto le cueste gran trabajo.

Al romper el cascarón de un huevo, golpeándolo lateralmente con una cucharilla, no sospechamos lo fuerte que es cuando la presión actúa sobre él en condiciones naturales, ni lo seguro que es el blindaje con que la naturaleza ha protegido al ser que se desarrolla en su interior. El secreto de que sean tan resistentes los globos de las lámparas eléctricas, que parecen tan frágiles y delicados, se explica de la misma manera que la resistencia del cascarón del huevo. Su fortaleza se hace más digna de admiración si recordamos que muchas de ellas (las de vacío, es decir, las que no están llenas de gas) están casi totalmente vacías y, por consiguiente, no tienen nada dentro que pueda ofrecer reacción a la presión del aire exterior. Sin embargo esta presión del aire exterior sobre la lámpara eléctrica no es pequeña. Suponiendo que el diámetro de dicha lámpara mida 10 cm, la presión que soporta por ambos lados será mayor de 75 kg (¡el peso de un hombre!). La experiencia demuestra que las lámparas eléctricas de vacío pueden soportar presiones dos veces y media mayores que ésta.

A Vela Contra el Viento

Una cosa difícil de comprender es cómo pueden los barcos de vela navegar "contra el viento", o como dicen los marineros navegar "ciñendo o de bolina". Es verdad que cualquier marino puede decir que directamente contra el viento no se puede navegar a vela, pero sí se puede avanzar formando un ángulo agudo con su dirección. Este ángulo puede ser pequeño (de cerca de la cuarta parte de un ángulo recto) y, por consiguiente, parece igual de incomprensible navegar directamente contra el viento o hacerlo formando un ángulo de 229 con su dirección.

No obstante, en realidad no es lo mismo. Ahora veremos cómo la fuerza del viento se puede aprovechar para navegar a su encuentro formando un ángulo pequeño. Comencemos por analizar cómo el viento, en general, ejerce su acción sobre la vela, es decir, hacia donde empuja el viento a la vela cuando sopla sobre ella. El lector pensara probablemente que el viento siempre empuja a la vela en el mismo sentido que él sopla. Pero esto no es así; cualquiera que sea la dirección en que sople el viento siempre le empujará a la vela perpendicularmente a su superficie.

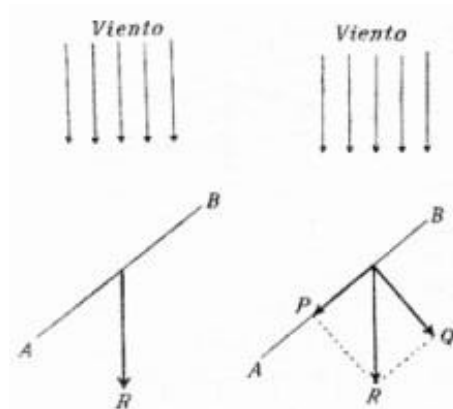


Fig. 19. El viento siempre le empuja a la vela formando un ángulo recto con su plano.

En efecto, supongamos que la dirección del viento es la que indican las flechas de la fig. 19 y que la recta AB representa la vela. Como el viento presiona por igual sobre toda la superficie de esta última, podemos sustituir esta presión por la fuerza R, aplicada al centro de la vela. Esta fuerza se puede descomponer en dos: una, la fuerza Q, perpendicular a la vela, y otra, la fuerza P, dirigida a lo largo de ella (fig. 18, a la derecha).

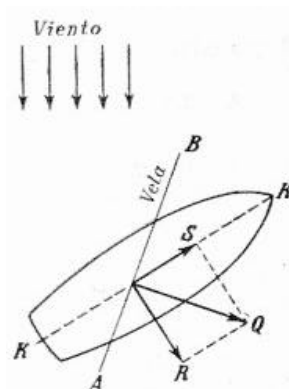


Fig. 20. Así se puede navegar a vela en contra del viento.

Esta última fuerza no le empuja a la vela, puesto que el rozamiento del aire con el lienzo es insignificante. Por lo tanto, queda solamente la fuerza Q, que empuja a la vela formando un ángulo recto con ella.

Una vez sabido esto, podemos comprender sin dificultad cómo puede un barco de vela navegar formando con la dirección del viento en contra un ángulo agudo. Supongamos que la recta KK (fig. 20) representa la línea de la quilla del barco. El viento sopla, formando un ángulo agudo con esta línea, en la dirección

que indica la serie de flechas. La recta AB representa la vela, que se coloca de manera que su superficie divida por la mitad al ángulo que forma la dirección de la quilla con la del viento.



Fig. 21. Voltaje de un barco a vela

Veamos cómo se descomponen las fuerzas en estas condiciones (fig. 19). La presión del viento sobre la vela la representamos por medio de la fuerza Q , que como sabemos tiene que ser perpendicular a dicha vela. Esta fuerza se puede dividir en dos: una, la fuerza R , perpendicular a la quilla, y otra, la fuerza S , dirigida hacia adelante a lo largo de la línea de la quilla del barco. Como el barco no se puede mover en la dirección R , puesto que encuentra una gran resistencia en el agua (la quilla de los barcos de vela suele ser muy profunda), la fuerza R se equilibra casi totalmente con esta resistencia. Queda, pues, una sola fuerza, la S , que como puede verse está dirigida hacia adelante y, por consiguiente, hace que el barco avance formando un ángulo agudo con la dirección del viento, como si fuera en contra de él⁵. Este movimiento se realiza generalmente en forma de zigzag, como se muestra en la fig. 21. En lenguaje marinerío este movimiento se llama "voltajear".

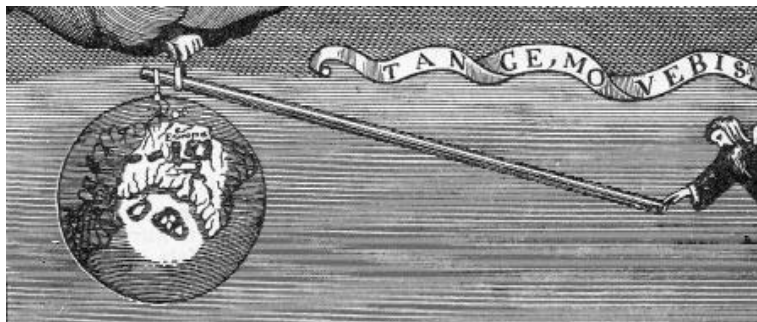


Fig. 22. "Arquímedes levantando la Tierra con la palanca".
Grabado del libro de Varignon (1787) sobre Mecánica.

⁵ Se puede demostrar que la fuerza S tiene su valor máximo cuando la superficie de la vela divide por la mitad el ángulo que forma la dirección de la quilla con la del viento

¿Hubiera Podido Arquímedes Levantar la Tierra?

¡Dadme un punto de apoyo y levantaré la Tierra!, dice la leyenda que exclamó Arquímedes, el genial mecánico de la antigüedad, descubridor de las leyes de la palanca. "En una ocasión Arquímedes - leemos en un libro de Plutarco - escribió a Hierón, tirano de Siracusa, de quien era pariente y amigo, que con una fuerza dada se puede mover cualquier peso. Arrastrado por la fuerza de sus argumentos añadió, que si existiera otra Tierra, y él pudiera trasladarse a ella, haría que la nuestra se moviera de su sitio".

Arquímedes sabía que no existe peso imposible de levantar con la fuerza más débil, si para ello se utiliza una palanca. No hay más que aplicar esta fuerza a un brazo de palanca muy largo, mientras que sobre el peso se hace que actúe el brazo más corto. Por esto pensaba que presionando sobre un brazo de palanca extraordinariamente largo la fuerza de sus manos bastaría para levantar un peso cuya masa fuera igual a la de nuestro planeta⁶.

Pero si este gran mecánico de la antigüedad hubiera sabido lo grandiosa que es la masa de la Tierra, lo más probable es que se hubiera abstenido de hacer su presuntuosa exclamación.

Para convencernos de esto, supongamos por un momento que Arquímedes consiguió la "otra Tierra", es decir, el punto de apoyo que buscaba; supongamos también que logró hacer una palanca de suficiente longitud. Cuánto tiempo tardaría en levantar un peso de masa igual a la de la Tierra un solo centímetro? Por lo menos ... ¡treinta billones de años!

En efecto, los astrónomos saben hoy la masa que tiene la Tierra⁷; un cuerpo que tuviera esta misma masa pesaría en la superficie de nuestro planeta (en números redondos),

6 000 000 000 000 000 000 000 t.

Si un hombre puede levantar directamente 60 kg, para "levantar la Tierra" tendría que aplicar sus manos a un brazo de palanca que fuera...

¡100 000 000 000 000 000 000 000 veces mayor que el brazo menor!

Un cálculo sencillo basta para demostrar que mientras el extremo del brazo corto suba 1 cm, el otro extremo describirá en el espacio interplanetario un enorme arco de

1 000 000 000 000 000 000 km.

Este camino, cuya longitud es casi inconcebible, es el que hubiera tenido que recorrer la mano de Arquímedes que accionara la palanca para poder "levantar la Tierra" un solo centímetro. ¿Cuánto tiempo necesitaría la mano para recorrer este camino? Si suponemos que Arquímedes era capaz de levantar un peso de 60 kg a 1 m de altura en un segundo (es decir, si suponemos que tenía la capacidad de trabajo de un caballo de vapor), para "levantar la Tierra" 1 cm hubiera necesitado 1 000 000 000 000 000 000 000 segundos, es decir, ¡treinta billones de años! Si Arquímedes hubiera empujado la palanca durante toda su larga vida no habría podido "levantar la Tierra" ni siquiera el espesor del más delgado de sus cabellos.

Ningún ardid del genial inventor le hubiera servido para reducir sensiblemente este plazo. Porque la "ley de oro de la Mecánica" dice que, en cualquier máquina, lo que se gana en fuerza se pierde en camino recorrido, es decir, en tiempo. Por eso, aunque Arquímedes hubiera conseguido que su mano alcanzara la máxima velocidad posible en la naturaleza, es decir, la de 300.000 km por

⁶ Para concretar el problema entenderemos que la expresión "levantar la Tierra" quiere decir levantar sobre la superficie de la Tierra un peso cuya masa sea igual a la de nuestro planeta

⁷ En la obra del mismo autor 'Astronomía recreativa' se explica cómo fue determinada la masa de la Tierra. (N. de la R.)

segundo (igual a la de la luz), habría "levantado la Tierra" un centímetro al cabo de diez millones de años de trabajo.

El Atleta de Julio Verne y la Fórmula de Euler

Julio Verne describe, en su novela "Mathias Sandorf", al atleta Matifou de la siguiente manera: "...su cabeza es hermosa, los hombros proporcionados, el pecho como un fuelle de fragua, las piernas como dos vástagos de doce años, los brazos como dos bielas de una máquina, las manos como cizallas." Entre las hazañas que el autor le atribuye a este atleta, la más asombrosa quizá sea la ocurrida con el "Trabacolo", barco cuya botadura fue frenada por las poderosas manos de nuestro gigante.

He aquí como relata el novelista este episodio:

«El "Trabacolo", libre ya de las escoras que le sostenían por los flancos, estaba listo para ser botado ... con el talón de su quilla apoyado sobre la corredera enjabonada, no estaba sujeto más que por el tope. Bastaba levantar este tope para que comenzara el deslizamiento ... Media docena de carpinteros armados de mazos golpeaban unas cuñas introducidas delante de la quilla del "Trabacolo" con el fin de levantarlo un poco y de esta manera producir la sacudida que le hiciera arrastrarse hacia el mar.

Todos los presentes seguían esta operación con el más vivo interés, en medio de, un silencio general.

En este momento, de detrás del cabo apareció un yate de recreo ... La goleta se dirigía al puerto y tenía que pasar por delante de los astilleros en que se preparaba la botadura del "Trabacolo", por eso, en cuanto dio la señal, hubo que suspender la operación para de esta forma evitar cualquier accidente. Los trabajos debían reanudarse cuando el yate hubiera pasado el canal. Un abordaje entre los dos navíos, el uno de costado y el otro avanzando a gran velocidad, hubiera causado sin duda una gran catástrofe a bordo de la goleta.

Los obreros dejaron de golpear las cuñas con sus mazos ... Todas las miradas se concentraron en la graciosa embarcación cuyas blancas velas estaban doradas por los oblicuos rayos del Sol.;

Pronto la goleta ... se encontraba enfrente de los astilleros.

De repente se oye un grito de terror. El "Trabacolo" empieza a moverse, en el preciso momento en que el yate comienza a presentarle su borda de estribor.

Los navíos parecían prontos a chocar. No había tiempo ni 44 posibilidad de evitar el encuentro. El "Trabacolo" se deslizaba rápidamente por la corredera. Una nubecilla de humo blanco, producido por el rozamiento, se arremolinó ante su proa, mientras que la popa se hundía en las aguas de la bahía (la botadura se hacía de popa. Y. P.).

En este momento apareció un hombre. Cogió una de las amarras, que pendían del "Trabacolo".

Pero en vano intentó retenerla encorvándose contra el suelo, con riesgo de ser arrastrado. Hay, un tubo de hierro que como puntal de amarre está hincado en la tierra. En un instante la amarra está enrollada a él y se va desenrollando poco a poco, mientras que el hombre, exponiéndose a ser apresado por ella y estrujado, la sujeta, haciendo un esfuerzo sobrehumano, durante 10 segundos. Al fin se suelta la amarra. Pero estos diez segundos han sido suficientes. El "Trabacolo" se sumerge en las aguas de la bahía y es levantado por ellas como por un golpe de cabeceo. Después enfila en dirección al canal, pasa rasante a menos de un pie de la popa de la goleta.

La goleta está salvada. En cuanto al hombre, en cuya ayuda nadie tuvo tiempo de acudir, por lo inesperada y rápidamente que ocurrió todo, era Cap Matifou.»

Cómo se sorprendería el autor de esta novela si le dijese que para realizar semejante hazaña no hacía falta ser un gigante ni tener, como Matifou, la "fuerza 'de un tigre". ¡Cualquier persona ingeniosa y decidida podría haber hecho lo mismo!

La Mecánica nos enseña que cuando una maroma está enrollada a un amarradero o noray la fuerza de rozamiento alcanza valores grandes. Cuanto mayor sea el número de vueltas que da la maroma en torno al amarradero tanto mayor será el rozamiento. La regla del aumento de este rozamiento dice que cuando el número de vueltas aumenta en proporción aritmética, el rozamiento crece en proporción geométrica. Por esto, incluso un débil niño puede equilibrar una fuerza enorme sujetando el extremo libre de una maroma arrollada 3 ó 4 vueltas en un eje fijo. En los puertos fluviales muchachos jóvenes sujetan por este procedimiento los barcos que atracan, que a veces llevan centenares de pasajeros. Consiguen hacerlo no porque son muy fuertes, sino gracias al rozamiento de la maroma con el noray.

Euler, el insigne matemático del siglo XVIII, estableció el valor de la fuerza de rozamiento en función del número de vueltas con que se arrolla la cuerda al amarradero. A continuación ofrecemos la fórmula de Euler a aquellos que no se asustan del lenguaje concreto de las expresiones matemáticas:

$$F = fe^{k\alpha}$$

F es la fuerza contra la cual oponemos nuestro esfuerzo f. La letra e representa el número 2,728 ... (base de los logaritmos naturales), k es el coeficiente de rozamiento entre la maroma y el amarradero. La letra α designa el "ángulo de arrollamiento", es decir, la relación que existe entre la longitud del arco abarcado por la maroma y el radio de este arco.

Si aplicamos esta fórmula al caso descrito por Julio Verne obtendremos un resultado sorprendente. En este caso la fuerza F será la tracción del barco que resbala por la grada. El peso del barco nos lo dice la novela: 50 t. Supongamos que la grada tiene una inclinación del 1/10. En este caso sobre la maroma no actúa todo el peso del barco, sino una décima parte de él, es decir, 5 t ó 5.000 kg.

Consideremos que el valor de k - coeficiente de rozamiento entre la maroma y el amarradero de hierro - es igual a 1/3. La magnitud α es fácil de hallar suponiendo que Matifou arrolló tres veces solamente la maroma al amarradero. En estas condiciones

$$a = \frac{3 \cdot 2 \cdot p}{r} = 6$$

poniendo todos estos valores en la fórmula de Euler; obtenemos la ecuación

$$5.000 = f \cdot 2.72^{6p \cdot \frac{1}{3}} = f \cdot 2.72^{2p}$$

La incógnita f (es decir, la magnitud del esfuerzo que hay que realizar) se puede hallar por esta misma ecuación tomando logaritmos:

$$\lg(5.000) = \lg(f) + 2p \lg(2.72)$$

$$f = 9.3kg$$

Por lo tanto, el esfuerzo que tuvo que hacer el gigante para realizar su proeza y aguantar la amarra fue de 10 kg (!).

Podría pensarse que esta cifra (10 kg) es simplemente teórica, pero que en realidad se necesita un esfuerzo mucho mayor. Nada de eso, nuestro resultado peca por exceso. Si la amarra es una maroma de cáñamo y el amarradero es de madera, el coeficiente k es aún mayor y el esfuerzo necesario es irrisoriamente insignificante. Lo que hace falta es que la cuerda sea suficientemente resistente para aguantar la tensión; si esto es así, hasta un niño débil (arrollando 3 ó 4 veces la cuerda) no sólo puede repetir la hazaña del atleta de Julio Verne, sino superarla.

¿De qué Depende la Solidez de los Nudos?

En nuestra vida ordinaria, sin darnos cuenta de ello, utilizamos con frecuencia las ventajas que nos da la fórmula de Euler. Un nudo no es otra cosa que una cuerda arrollada a un eje, con la particularidad de que en este caso las veces de este último las hace otra parte de la misma cuerda. La solidez de cualquier clase de nudos (ordinarios, de ballestrinque, marineros, de tejedor, de lazada, etc.) depende exclusivamente del rozamiento, que en este caso aumenta mucho debido a que la cuerda se enrolla sobre sí misma, lo mismo que la maroma alrededor del amarradero. Esto es fácil de comprobar observando las vueltas que da la cuerda al formar el nudo. Cuanto más vueltas y cuanto mayor número de veces se enrolle la cuerda alrededor de sí misma, tanto mayor será el "ángulo de arrollamiento" y, por consiguiente, el nudo será más sólido.

Los sastres utilizan inconscientemente este mismo fenómeno cuando cosen los botones. Por eso hacen pasar el hilo multitud de veces entre los agujeros del botón y la tela y después lo cortan. Si el hilo es fuerte, el botón no se cae. En este caso se aplica la regla mencionada anteriormente: cuando el número de vueltas que da el hilo aumenta en proporción aritmética, la solidez de la costura (o pegadura del botón) crece en proporción geométrica.

Si no existiera rozamiento no podríamos utilizar botones, puesto que los hilos se desenrollarían por la acción de su peso y los botones se caerían.

Si no Existiera Rozamiento

Ya hemos visto lo diversas e inesperadas que son las formas en que se manifiesta el rozamiento a nuestro alrededor. El rozamiento toma parte muy importante incluso allí donde nosotros ni lo sospechamos. Si el rozamiento desapareciera repentinamente, muchos de los fenómenos ordinarios se desarrollarían de formas completamente distintas.

El papel del rozamiento fue descrito de una manera muy pintoresca por el físico francés Guillaume:

"Todos hemos tenido ocasión de salir a la calle cuando ha helado. ¡Cuánto trabajo nos ha costado evitar las caídas! ¡Cuántos movimientos cómicos tuvimos que hacer para poder seguir en pie! Esto nos obliga a reconocer que, de ordinario, la tierra por que andamos posee una propiedad muy estimable, gracias a la cual podemos conservar el equilibrio sin gran esfuerzo. Esta misma idea se nos ocurre cuando vamos en bicicleta por un pavimento resbaladizo o cuando un caballo se escurre en el asfalto y se cae. Estudiando estos fenómenos llegamos a descubrir las consecuencias a que nos conduce el rozamiento. Los ingenieros procuran evitar el rozamiento en las máquinas, y hacen bien. En la Mecánica aplicada se habla del rozamiento como de un fenómeno muy pernicioso, y esto es cierto, pero solamente dentro de los límites de un estrecho

campo especial. En todos los demás casos debemos estar agradecidos al rozamiento. El nos da la posibilidad de andar, de estar sentados y de trabajar sin temor a que los libros o el tintero se caigan al suelo o de que la mesa resbale hasta toparse con algún rincón o la pluma se nos escurra de entre los dedos.

El rozamiento es un fenómeno tan difundido que, salvo raras excepciones, no hay que pedirle ayuda; él mismo nos la ofrece.

El rozamiento da estabilidad. Los albañiles nivelan el suelo de manera que las mesas y las sillas se quedan allí donde las ponemos. Si sobre una mesa colocamos platos, vasos, etc., podemos estar tranquilos de que no se moverán de sus sitios, a no ser que esto ocurra en un barco cuando hay oleaje.

Imaginémonos que el rozamiento se puede eliminar por completo. En estas condiciones, los cuerpos, tengan las dimensiones de una peña o las de un pequeño granito de arena, no podrán apoyarse unos en otros: todos empezarán a resbalar o rodar y así continuarán hasta que se encuentren a un mismo nivel. Si no hubiera rozamiento, la Tierra sería una esfera sin rugosidades, lo mismo que una gota de agua."

A esto podemos añadir, que si no existiera el rozamiento los clavos y los tornillos se saldrían de las paredes, no podríamos sujetar nada con las manos, los torbellinos no cesarían nunca, los sonidos no dejarían de oírse jamás y producirían ecos sin fin, que se reflejarían en las paredes sin debilitarse.

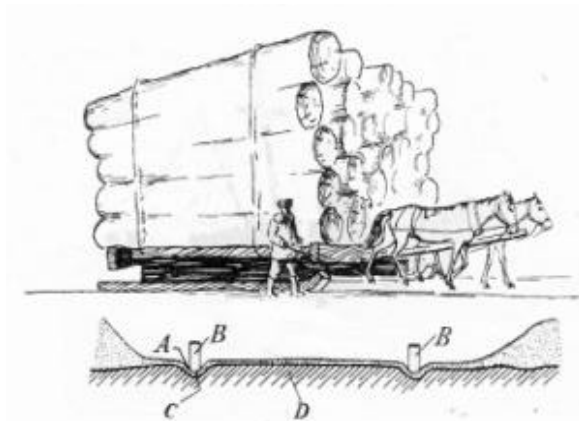


Fig. 23. Arriba, un trineo cargado sobre un camino de hielo; dos caballos arrastran una carga de 70 toneladas. Abajo, el camino de hielo; A, carril; B, deslizaderas del trineo; C, nieve apisonada; D, fundamento de tierra de la carretera.

Las heladas nos dan siempre buenas lecciones de la gran importancia que tiene el rozamiento. En cuanto nos sorprenden en la calle nos sentimos incapaces de dar un paso sin temor a caernos. Como muestra instructiva reproducimos las noticias que publicaba un periódico en una ocasión (en diciembre de 1927):

"Londres, 21. Debido a la fuerte helada, el tráfico urbano y tranviario se ha hecho muy difícil en Londres. Cerca de 1 400 personas han ingresado en los hospitales con fracturas de brazos y piernas".

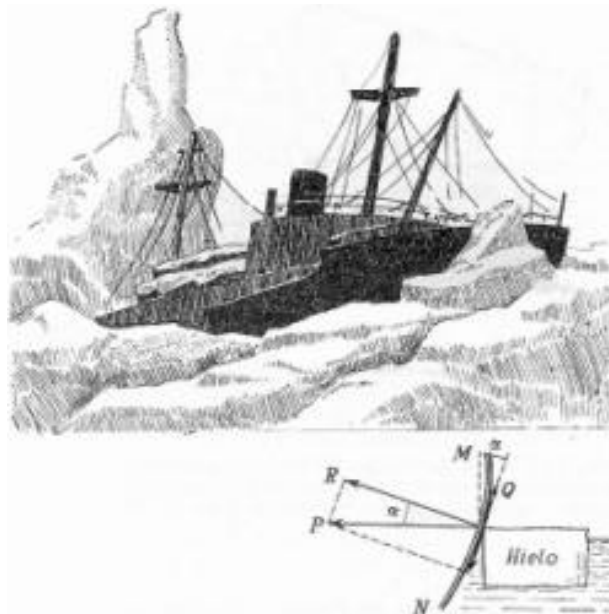
"Cerca del Hyde Park chocaron tres automóviles y dos vagones del tranvía. Los automóviles resultaron totalmente destruidos por la explosión de la gasolina ..."

"París, 21. La helada ha ocasionado en París y sus alrededores numerosos accidentes ..."

Y sin embargo, el hecho de que el hielo ofrezca poco rozamiento puede ser útil para fines técnicos. Un ejemplo son los trineos ordinarios. Otra demostración aun más convincente son los llamados caminos de hielo, que se hacían para transportar los leños desde el lugar de la tala hasta el ferrocarril o hasta el punto de lanzamiento a un río para su transporte por flotación. Por estos caminos (fig. 23), que tienen una especie de raíles lisos helados, un par de caballos puede arrastrar un trineo cargado con 70 toneladas de troncos.

Causa Física de la Catástrofe del "Cheliuskin"

De lo que acabamos de decir no debe sacarse la ligera conclusión de que el rozamiento que produce el hielo es siempre insignificante. Incluso cuando la temperatura está próxima a cero grados, el rozamiento suele ser bastante considerable. El funcionamiento de los rompehielos hizo necesario un estudio del rozamiento que se produce entre los hielos polares y las planchas de acero que revisten los barcos. Este estudio puso de manifiesto que dicho rozamiento es mayor de lo que se esperaba y no menor que el del acero con el acero, es decir, el coeficiente de rozamiento entre chapas de acero de revestimiento nuevas y el hielo es igual a 0,2.



*Fig. 24. El "Cheliuskin" aprisionado en los hielos.
Abajo: fuerzas que actúan sobre el costado MN del
buque cuando presiona el hielo.*

Para comprender lo que representa esta cifra para los barcos que navegan por los mares helados examinemos la fig. 24. En ella se representan las direcciones de las fuerzas que actúan sobre la borda MN del casco cuando presiona el hielo. La fuerza P, de la presión del hielo, se descompone

en dos: una, la fuerza R , perpendicular a la superficie de la borda, y otra, la F , tangente a dicha borda. El ángulo comprendido entre P y R es igual al ángulo α de inclinación de la borda con respecto a la vertical.

La fuerza Q , del rozamiento del hielo con la borda, es igual a R multiplicada por el coeficiente de rozamiento, es decir, por $0,2$. Tenemos, pues, que $Q=0,2R$. Si la fuerza Q , del rozamiento, es menor que F , esta última hunde al hielo en el agua y éste se desliza a lo largo del casco sin causarle daño alguno. Pero si Q es mayor que F , el rozamiento impide que se hunda el hielo y éste, si la presión dura mucho, puede abollar y aplastar el casco.

¿Cuándo es $Q < F$?

Como puede verse, $F = R \cdot \text{tg}(\alpha)$, por consiguiente, deberá existir la desigualdad $Q < R \cdot \text{tg}(\alpha)$ pero como $Q = 0,2R$, la desigualdad $Q < F$ nos lleva a la siguiente:

$$0,2R > R \cdot \text{tg}(\alpha)$$

$$\text{o sea } \text{tg}(\alpha) > 0,2.$$

Buscando en las tablas encontramos que el ángulo cuya tangente es $0,2$ es igual a 11° . Por lo tanto, $Q < F$ cuando $\alpha > 11^\circ$. De esta forma se determina la inclinación que deben tener las bordas del barco, con respecto a la vertical, para que la navegación entre los hielos sea segura, es decir, esta inclinación deberá ser de 11° por lo menos.

Veamos ahora lo que ocurrió con el "Cheliuskin". Este barco, que no era rompehielos, recorrió felizmente toda la ruta del norte, pero en el estrecho de Bering fue apresado por los hielos. Estos arrastraron al "Cheliuskin" bastante hacia el norte y finalmente lo aplastaron (en febrero del año 1934). Los dos meses heroicos que permanecieron los tripulantes del "Cheliuskin" en el campo de hielo y su salvamento por los aviadores soviéticos son episodios que no pueden olvidarse. Estos aviadores fueron precisamente los primeros que recibieron el título de Héroes de la Unión Soviética.

La catástrofe ocurrió como sigue:

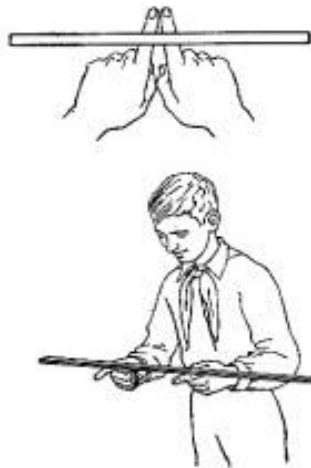
"El fuerte acero del casco resistió al principio comunicó por radio el jefe de la expedición O. Y. Schmidt -. Se veía cómo el hielo iba abollando las bordas con su presión y cómo sobre él las chapas del revestimiento del casco empezaban a hincharse encorvándose hacia afuera. La ofensiva del hielo era lenta pero irrechazable. Las chapas de hierro del revestimiento del casco, después del hincharse, se desgarraron por la costura. Los remaches saltaron produciendo chasquidos. En un instante quedó arrancada la borda del barco desde la bodega de proa hasta el extremo de popa del puente ..."

Después de lo expuesto en este artículo, el lector deberá comprender cuál fue la causa física de esta catástrofe.

De aquí se deduce la conclusión práctica siguiente: cuando se construyen barcos que deben navegar entre hielos hay que dar a sus bordas una inclinación determinada, es decir, la inclinación mínima de 11°

Un Palo que se Autoequilibra

Sobre los dedos índices de ambas manos, separadas, coloquemos un palo liso de la manera que indica la fig. 25.



*Fig. 25. Experimento con la regla.
Arriba, fin del experimento.*

Hecho esto, vayamos acercando entre sí dichos dedos hasta que se junten. ¡Qué cosa más rara! En esta posición el palo conserva el equilibrio y no se cae. Si repetimos este experimento muchas veces variando la posición inicial de los dedos, veremos que el resultado es siempre el mismo: cuando se juntan los dedos el palo está en equilibrio.

Si en lugar del palo empleamos una regla de dibujo, un bastón, un taco de billar o un cepillo de barrer, observaremos que ocurre lo mismo.

¿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 de gravedad no se sale de los límites de la base en que se apoya).

Cuando los dedos están separados, soporta mayor carga el dedo que se encuentra más próximo al centro de gravedad del palo. Pero al aumentar la presión aumenta también el rozamiento; por lo tanto, el dedo que está más cerca del centro de gravedad experimenta mayor rozamiento que el que está más alejado. En estas condiciones el dedo más cercano al centro de gravedad no se deslizará por debajo del palo; el único que se mueve es el dedo que está más lejos de este punto. En cuanto este último dedo resulta más próximo al centro de gravedad que el otro, los dedos cambian de papel. Estos cambios se suceden hasta que los dedos se juntan. Y como cada vez se mueve un solo dedo (el que está más lejos del centro de gravedad) es natural que al final ambos dedos se encuentren debajo de dicho centro. Antes de dar por terminado este experimento repitémoslo con un cepillo de barrer (fig. 26, arriba) y planteémonos la siguiente pregunta: si cortamos el palo del cepillo por el sitio en que se apoya en los dedos y ponemos las dos partes así obtenidas en los platillos de una balanza (fig. 26, abajo), ¿cuál de los dos platillos bajará más, el del palo o el del cepillo?

Parece natural que, como las dos partes del cepillo se equilibran entre sí cuando descansan sobre los dedos, se encuentren en equilibrio los platillos de la balanza. Pero en realidad baja más el platillo en que se encuentra 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 la balanza estas mismas fuerzas (pesos) están aplicadas a 'los extremos de una palanca de brazos iguales.

Por encargo mío se fabricó, para el pabellón de ciencia recreativa del parque de Leningrado, un juego de palos cuyos centros de gravedad se encontraban en diferentes sitios.

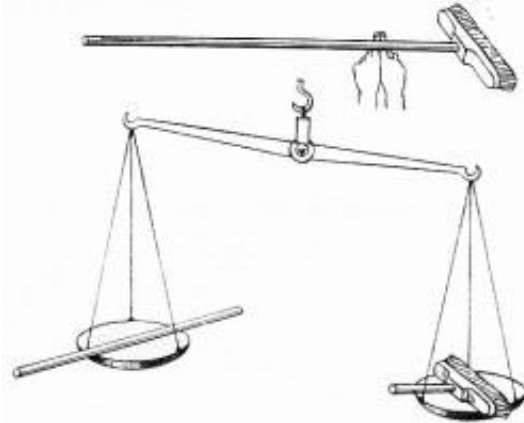


Fig. 26. El mismo experimento con un cepillo de barrer. ¿Por qué no está en equilibrio la balanza?

Estos palos podían dividirse en dos partes (por lo general desiguales) precisamente por el lugar en que estaba el centro de gravedad. Los visitantes se asombraban al ver que la parte más corta pesaba más que la larga.

Capítulo Tercero

Movimiento Circular

¿Por Qué no se Cae la Peonza Mientras Está Girando?

Millares de personas han jugado en su infancia a "bailar" la peonza o la perinola, pero pocas de ellas son las que pueden contestar bien a esta pregunta. Y en realidad, ¿qué explicación se le puede dar al hecho de que una peonza en rotación, situada en posición vertical o inclinada, no se caiga? ¿Qué fuerza la mantiene en esa posición aparentemente inestable? ¿A caso no actúa sobre ella la gravedad?

En este juguete se produce una interacción de fuerzas muy interesante. La teoría de la peonza es bastante compleja y no es nuestro propósito profundizar en ella, pero sí queremos dar a conocer la causa principal de que la peonza no se caiga mientras está girando.



Fig. 27. ¿Por qué no se cae la perinola?

En la fig. 27 se representa una perinola que gira en la dirección que indican las flechas. Prestemos atención a la parte A de su borde y a la parte B, opuesta a aquélla. La parte A tiende a moverse alejándose de nosotros; la B, por el contrario, tiende a acercarse a nosotros. Veamos ahora qué movimiento reciben estas partes si empujamos hacia abajo el borde de la perinola para que se incline hacia nosotros.

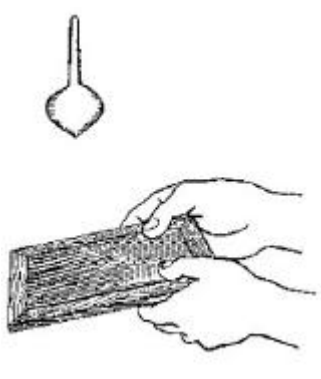


Fig. 28. Si se echa por alto una perinola en rotación, su eje conserva la dirección que tenía.

Al hacer esto obligamos a la parte A a moverse hacia arriba y a la B a moverse hacia abajo; la dirección del empuje forma un ángulo recto con el movimiento propio de estas partes. Pero como la perinola gira rápidamente y la velocidad circular que tienen las partes del disco es muy grande, la nueva velocidad que le comunicamos al hacer que se incline es insignificante en comparación con la que ya tenía, por eso se suma a ella, produciendo una velocidad resultante, que se aproxima mucho a la circular, y el movimiento de la perinola casi no varía. Esto explica por qué la perinola (o la peonza) parece que se resiste a que la vuelquen. Cuanto más pesada sea la peonza y más rápidamente gire, tanto más resistencia opone a ser volcada.

La esencia de esta explicación está relacionada directamente con la ley de la inercia. Cada una de las partículas de la peonza se mueve, describiendo una circunferencia, en un plano perpendicular al eje de giro. Por la ley de la inercia, cada una de estas partículas tiende en cada instante a salirse de la circunferencia siguiendo una línea recta tangente a aquélla. Pero cada una de estas tangentes se encuentra en el mismo plano que la circunferencia; por lo tanto, cada partícula tiende a moverse sin abandonar el plano perpendicular al eje de giro en que se halla. De aquí se deduce que todos los planos de la peonza, perpendiculares al eje de rotación, tienden a conservar su posición en el espacio y por esto, la perpendicular común a todos ellos, es decir, el propio eje de rotación, también tiende a conservar su dirección.

Los movimientos que pueden provocar en la peonza las fuerzas exteriores son muy variados y no vamos a examinarlos. Esto exigiría explicaciones demasiado detalladas que resultarían aburridas. Mi propósito se reducía a aclarar por qué todos los cuerpos que giran tienden a conservar invariable la dirección de su eje de rotación.

Esta propiedad tiene gran importancia en la técnica moderna en los barcos y aviones modernos se instalan aparatos giroscópicos (basados en las propiedades de la peonza), como son las brújulas, los autopilotos, los estabilizadores, etc. El efecto de giro sirve también para estabilizar las trayectorias de los proyectiles y de las balas. Este mismo efecto se utiliza para estabilizar el movimiento de los cohetes cósmicos y de los satélites artificiales. Todas éstas son aplicaciones prácticas de lo que parecía un simple juguete.

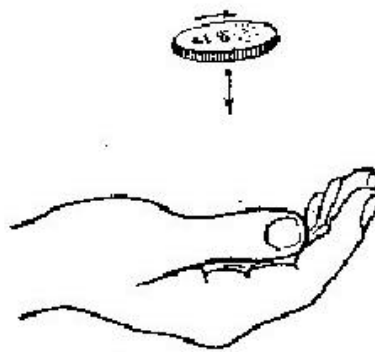


Fig. 29. Así cae una moneda si se echa hacia arriba girando alrededor de su eje.

El Arte de los Malabaristas

Muchos de los espectaculares juegos de manos que incluyen en sus programas los malabaristas se basan también en la propiedad que tienen los cuerpos giratorios de mantener la dirección de su eje de rotación. A continuación me permito citar unos párrafos del ameno libro del físico y profesor inglés John Perry "La Peonza Giratoria":

"En una ocasión estaba yo demostrando algunos de mis experimentos ante un auditorio que tomaba café y fumaba plácidamente en el magnífico salón de conciertos "Victoria" de Londres. Yo hacía lo posible por interesar a mis oyentes explicándoles que si queremos echarle a alguien un sombrero, para que pueda recogerlo con su bastón, hay que lanzarlo de forma que vaya girando, de la misma manera que cuando tiramos una anilla para que caiga en un sitio determinado. Porque todo cuerpo giratorio opone una resistencia al cambio de dirección de su eje de rotación en la que se puede confiar siempre.

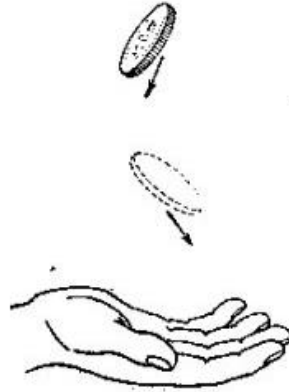


Fig. 30 Si la moneda se echa hacia arriba sin rotación puede caer de cualquier manera.

Luego expliqué a mis oyentes que por muy liso que sea el acabado de un cañón de arma de fuego, no puede garantizar una buena puntería; por eso, las armas modernas tienen los cañones rayados, es decir, en el alma del cañón se hacen unas estrías helicoidales en las que encajan las bandas de forzamiento del proyectil, de forma que este último debe entrar en rotación cuando la fuerza de la explosión de la pólvora le obliga a avanzar por el ánima del cañón. A esto se debe que el proyectil salga del cañón con un movimiento de rotación perfectamente determinado.

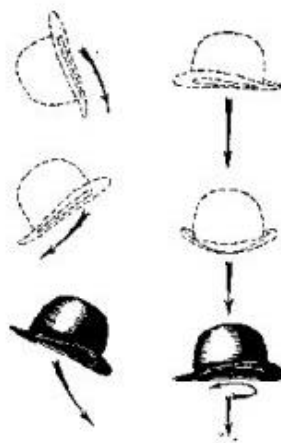


Fig. 31. Un sombrero es más fácil de coger cuando se tira dando vueltas alrededor de su eje.

Esto fue todo lo que yo pude hacer durante esta conferencia, puesto que no soy ducho en lanzar sombreros ni discos. Pero cuando terminó mi charla, empezaron a actuar dos malabaristas y yo, francamente, no hubiera podido desear una ilustración mejor para las leyes que acababa de explicar que la que ofrecía cada uno de los juegos que hacían estos artistas. Se echaban el uno al otro sombreros, anillos, platos, sombrillas, todo ... girando. Uno de los malabaristas echaba por alto toda una serie de cuchillos, los volvía a coger y otra vez los lanzaba hacia arriba con suma precisión; el público, que conocía ya el por qué de estos fenómenos, se regocijaba, se daba cuenta del movimiento giratorio que el malabarista comunicaba a cada cuchillo, soltándolo de manera que sabía con seguridad en qué posición volvería a sus manos. Yo me quedé admirado de ver que casi todos los números que presentaron los malabaristas servían de ilustración al principio enunciado anteriormente".

Otra Solución al Problema del Huevo de Colón

Colón resolvió de una manera extraordinariamente fácil el problema de poner un huevo en pie: simplemente, chafó la punta del cascarón¹.

Pero esta solución del problema no es justa, porque al chafar el cascarón varió la forma del huevo y, por consiguiente, no puso en pie un huevo, sino un cuerpo distinto, puesto que la esencia del problema está precisamente en la forma que tiene el huevo. Colón, pues, resolvió el problema para otro cuerpo, pero no para el que se buscaba.

Y no obstante el problema del huevo de Colón se puede resolver sin cambiar en absoluto la forma del huevo. Para esto no hay más que aprovechar la propiedad que tienen las peonzas, es decir, hacer que el huevo gire alrededor de su eje mayor. De esta forma el huevo se mantendrá en pie, durante cierto tiempo, sobre su extremo romo o incluso sobre su punta. La manera de conseguir esto se puede ver en el dibujo. El huevo se hace girar con los dedos. Al separar las manos vemos que gira, durante algún tiempo, de pie sobre su punta; por lo tanto el problema está resuelto.

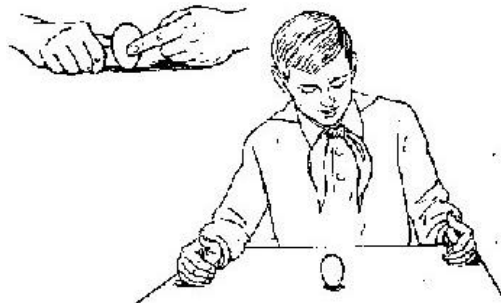


Fig. 32. Solución del problema del huevo de Colón: el huevo gira sobre su punta.

Para que el experimento salga bien hay que emplear un huevo duro. Esto no contradice las condiciones del problema de Colón, puesto que este último, al plantearlo, cogió un huevo de los que estaban en la mesa, y es de suponer que los huevos que habían servido no serían crudos.

¹ La leyenda del huevo del Colón carece de base histórica. La tradición ha atribuido al gran navegante algo que mucho antes había realizado otro personaje y con motivo completamente distinto. Fue el arquitecto italiano F. Brunelleschi (1377-1446), autor de la enorme cúpula de la catedral de Florencia, el que dijo: "Mi cúpula está tan segura como este huevo sobre su punta".

Los huevos crudos no se pueden hacer girar de pie, porque la masa líquida que tienen dentro hace las veces de freno. Esta peculiaridad sirve para distinguir con facilidad los huevos cocidos de los crudos. Este procedimiento lo emplean muchas amas de casa.

La "Anulación" de la Gravedad

"El agua no se derrama de una vasija que gira, incluso cuando dicha vasija se encuentra boca abajo, porque se lo impide la rotación" - escribía hace dos mil años Aristóteles. En la fig. 33 se representa este experimento, que sin duda han hecho muchos. Procurando que el cubito con el agua gire con suficiente rapidez se consigue que esta última no se derrame ni siquiera en aquella parte de la trayectoria en que el cubo está boca abajo.

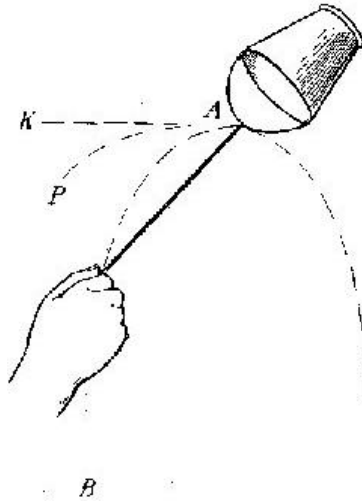


Fig. 33. ¿Por qué no se derrama el agua cuando le damos vueltas al cubo?

Generalmente se suele explicar este fenómeno por la acción de la "fuerza centrífuga", entendiendo por ésta una fuerza imaginaria que, al parecer, va aplicada al cuerpo y que hace que tienda a separarse del centro de rotación. Pero esta fuerza no existe. La tendencia antedicha no es otra cosa que una manifestación de la inercia, y todo movimiento inercial se realiza sin que en él tome parte fuerza alguna. En Física se entiende por fuerza centrífuga otra cosa, es decir, la fuerza real con que el cuerpo en rotación tensa el hilo que lo sujeta o presiona sobre el camino circular que recorre. Pero esta fuerza no está aplicada al cuerpo que se mueve, sino al obstáculo que impide que este cuerpo se mueva en línea recta, es decir, al hilo, a los raíles en los trozos curvos de las vías, etc.

Volviendo al caso del cubito que gira, procuraremos esclarecer la causa de este fenómeno sin recurrir al concepto de la "fuerza centrífuga". Empezaremos por plantearnos la pregunta siguiente: ¿Hacia dónde se dirigiría el chorro de agua si hiciéramos un orificio en la pared del cubo? Si no existiera la gravedad, el chorro de agua seguiría por inercia, la dirección de la tangente AK a la circunferencia AB (fig. 33). Pero la gravedad hace que el chorro descienda y describa la curva AP (parábola). Si la velocidad circular es suficientemente grande esta curva será exterior a la circunferencia AB. Este chorro nos indica el camino que seguiría el agua (mientras gira el cubo) si las paredes que presionan sobre ella no se lo impidieran. Con esto queda claro por

qué el agua no tiende en general a moverse verticalmente hacia abajo y por qué no se derrama del cubo. Para que se derramase sería necesario que la boca del cubo estuviera orientada en el sentido de su rotación.

Calculemos ahora con qué velocidad debe girar el cubo de este experimento para que el agua no se derrame. Esta velocidad deberá ser suficiente para que la aceleración centrípeta del cubo en rotación no sea menor que la aceleración de la gravedad; en estas condiciones el agua tenderá a seguir una trayectoria que se encontrará fuera del círculo descrito por el cubo y, por consiguiente, no podrá quedar rezagada con respecto a él. La fórmula para calcular la aceleración centrípeta W es la siguiente:

$$W = \frac{v^2}{R}$$

siendo v la velocidad circular y R el radio del camino que recorre el cubo. Como la aceleración de la gravedad en la superficie de la Tierra es $g = 9,8 \text{ m/seg}^2$, tendremos la desigualdad

$$\frac{v^2}{R} \geq 9.8$$

Si tomamos R igual a 70 cm,

$$\frac{v^2}{0.7} \geq 9.8$$

de donde

$$v \geq \sqrt{0.7 * 9.8} \Rightarrow v \geq 2.6 \text{ m / seg}$$

No es difícil calcular que para obtener esta velocidad es necesario que la mano dé cerca de vuelta y media por segundo. Esta velocidad de giro es fácil de conseguir y, por consiguiente, el experimento se puede realizar sin dificultad.

La propiedad que tienen los líquidos de apretarse contra las paredes del recipiente que los contiene, cuando éste gira alrededor de un eje horizontal (o vertical), se emplea en la técnica de la fundición en la llamada colada centrífuga. Este procedimiento tiene la ventaja de que si el líquido no es homogéneo se distribuye por capas según los pesos específicos de sus partes componentes, con la particularidad de que las partes más pesadas ocupan los puntos más alejados del eje de rotación, mientras que las más ligeras se sitúan próximas a dicho eje. Esto hace que los gases que contiene el metal fundido (que suelen ocasionar las llamadas "sopladuras") son expulsados de dicho metal hacia el centro, es decir, hacia la parte hueca de la fundición. Las piezas de fundición fabricadas por este procedimiento son compactas y no presentan sopladuras. La fundición por colada centrífuga resulta más barata que la colada a presión y tiene la ventaja de que para ella no se necesitan máquinas complicadas.

En Lugar de Galileo

Para los aficionados a las sensaciones fuertes se suelen organizar diversiones especiales, como, por ejemplo, el llamado "columpio del diablo". Aquí reproducimos la descripción de este artificio que se da en el libro de entretenimientos científicos de Fedaut:

"El columpio va colgado a una sólida barra horizontal que atraviesa toda la habitación, a una altura determinada sobre el suelo. Cuando todos ocupan sus asientos, un empleado cierra la puerta de la habitación, quita la tabla que sirve de pasarela de 60 entrada, dice que el respetable público va a tener ahora ocasión de realizar un pequeño viaje aéreo y comienza a balancear ligeramente el columpio. Hecho esto, se monta en la parte posterior de este último, lo mismo que hacían los cocheros en el estribo trasero, o se marcha de la sala.

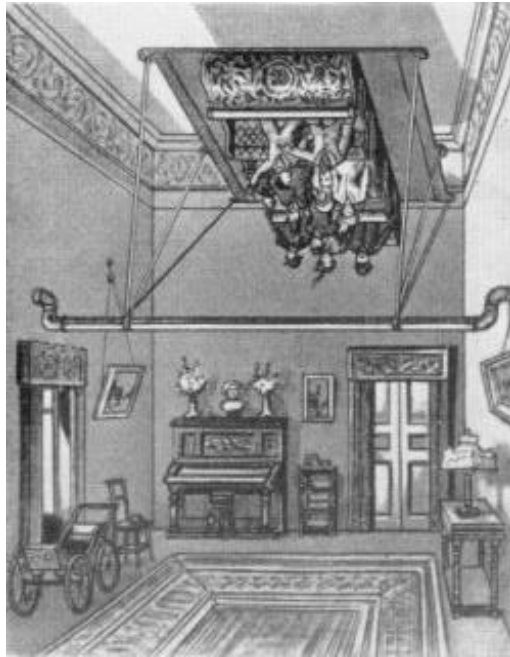


Fig. 34. Esto piensan los que se montan en el "columpio del diablo".

Entre tanto va aumentando el balanceo del columpio, éste llega hasta la altura de la barra, luego la sobrepasa cada vez más y finalmente describe un círculo completo. El movimiento se va acelerando de manera cada vez más sensible y las personas que se "columpian", aunque en la mayoría de los casos están advertidas, experimentan la sensación inconfundible del balanceo y del movimiento rápido; les parece que surcan el espacio cabeza abajo e instintivamente se agarran a los espaldares de los asientos para no caerse".

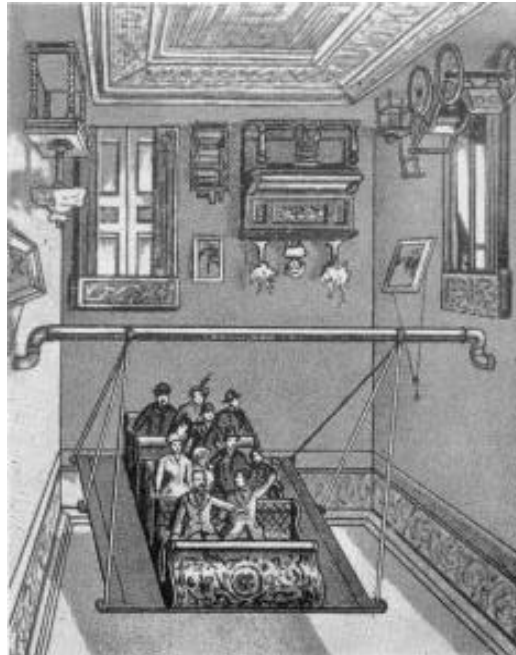


Fig. 35. Esto es lo que ocurre en realidad

"La amplitud del balanceo comienza a disminuir; el columpio no sube ya hasta la altura de la barra, y al cabo de unos segundos se para por completo".

"En realidad, durante todo este tiempo el columpio no se mueve de su sitio. Lo que se mueve es la habitación, que por medio de un mecanismo bastante simple gira alrededor del eje horizontal y de los espectadores. Los muebles que hay en la habitación están sujetos al suelo y a las paredes de la sala; la lámpara que hay en la mesa está soldada a ella, pero de forma que al parecer puede caerse fácilmente. Esta lámpara consiste en una bombillita eléctrica tapada por una gran pantalla. El empleado, que parecía que empezaba a balancear el columpio dándole ligeros empujones, en realidad no hacía más que acompasar sus movimientos con las oscilaciones de la sala y fingir que balanceaba el columpio. De esta forma toda esta instalación contribuye a que el engaño sea perfecto".

El secreto de esta ilusión, como puede verse, es tan simple que hace reír. No obstante, si después de conocer este secreto se encontrara el lector en el "columpio del diablo", caería también en el engaño. ¡Tan grande es la ilusión que produce!

A propósito de esto, nos acordamos de unos versos que dicen:

Un sabio de larga barba,²
 Seguro de su opinión,
 Que el movimiento no existe
 Afirmó en una ocasión.
 Otro sabio allí presente³,
 Palabra no respondió.

² Se refiere al filósofo griego Zenón de Elea (siglo V a de n. e.) que enseñaba que en el mundo todo es invariable y que el movimiento es una ilusión forjada por nuestros sentidos.

³ Diógenes.

Pero a pasear se puso
 Delante del anterior.
 Réplica más convincente
 A nadie se le ocurrió,
 Y la gente, al alabarla,
 Su ingenio reconoció.
 Ahora recuerdo otro ejemplo,
 Señores, ruego atención,
 ¿A caso sobre nosotros
 no pasa a diario el Sol?
 Claro está que nos, movemos,
 ¡Galileo tenía razón!

Entre los pasajeros del "columpio" que no conocieran el secreto, el lector sería una especie de Galileo, pero al revés, puesto que éste demostraba que el sol y las estrellas están fijas y que la Tierra y nosotros nos movemos, a pesar de todo lo que parece evidente, mientras que el lector pretendería demostrar que los que estamos fijos somos nosotros y que la habitación es la que se mueve en torno a nosotros. Y no está descartado que tuviera que sufrir la triste suerte de Galileo, es decir, que lo miraran como a quien discute ... cosas evidentes.

Mi Discusión con el Lector

Al lector no le sería tan fácil demostrar, como él seguramente piensa, que los razonamientos anteriores son justos. Supongamos que el lector se encuentra efectivamente en el "columpio del diablo" y que quiere convencer a sus vecinos de que están equivocados. Si uno de los vecinos soy yo, tendrá que discutir conmigo. Nos montamos en el "columpio", esperamos a que después de balancearse empiece a describir, aparentemente, circunferencias completas y empezamos a discutir sobre qué es lo que da vueltas, el columpio o la habitación. Pero ante todo, ruego al lector que tenga en cuenta que mientras dure la discusión no podremos abandonar el columpio; hay, pues, que prevenir todo lo que sea necesario y llevarlo consigo.

Lector. ¡Cómo es posible poner en duda que estamos quietos y que lo que gira es la habitación! Si nuestro columpio se pusiera de verdad quilla arriba, nosotros nos caeríamos, no nos íbamos a quedar colgados cabeza abajo. Pero como ve, no nos caemos. Por lo tanto lo que da vueltas es la habitación.

Yo. Sí. Pero recuerde usted que tampoco se derramaba el agua del cubo que daba vueltas rápidamente, a pesar de que también se ponía boca abajo. El ciclista del "rizo de la muerte" tampoco se cae cuando va cabeza abajo.

Lector. Si eso es así, vamos a calcular la 'aceleración centrípeta y veremos si efectivamente es suficiente para que no nos caigamos del columpio. Sabiendo a qué distancia nos encontramos del eje de rotación y el número de vueltas por segundo, podemos hallarla por la fórmula ...

Yo. No pierda usted el tiempo haciendo cálculos. Los constructores del "columpio del diablo", enterados de nuestra discusión, me advirtieron que el número de vueltas es más que suficiente para que el fenómeno se pueda explicar cómo yo digo. Por consiguiente, el cálculo no puede resolver nuestra polémica.

Lector. No obstante, tengo la esperanza de qué podré convencerle. Mire usted, el agua de este vaso no se derrama ... Sí, usted me va a recordar el experimento del cubo que da

vueltas ... Bueno, pero vea, esta plomada que tengo en la mano siempre se dirige a nuestros pies, es decir, hacia abajo. Si nosotros diéramos vueltas y la habitación estuviera parada, la plomada se dirigiría al suelo, es decir, tensaría el hilo unas veces hacia nuestras cabezas, otras hacía nuestros costados...

Yo. Está usted en un error. Si giramos con suficiente velocidad, el peso de la plomada tira en la dirección del radio de giro y en sentido contrario al eje, es decir, hacia nuestros pies, como ahora ocurre.

Fin de la Discusión

Ahora permítame que le aconseje cómo se puede vencer en un debate como éste. Cuando se va al "columpio del diablo" hay que llevar consigo un dinamómetro (o peso de muelle), colgar en él una pesa cualquiera, por ejemplo, de 1 kg, y observar la señal que marca el índice. Este último indicará siempre un mismo peso, el correspondiente a la pesa colgada (en nuestro caso, 1 kg). Esta es precisamente la demostración de que el "columpio" no se mueve.

Si el "columpio" girase alrededor de un eje, sobre la pesa no sólo actuaría la gravedad, sino también el efecto centrífugo, el cual en los puntos inferiores del camino recorrido haría aumentar el peso de la pesa, mientras que en los superiores le haría disminuir ' es decir, nos daríamos cuenta de que la pesa se hace unas veces más pesada y otras casi ingrávida. Como esto no ocurre, está claro que lo que gira es la habitación y no nosotros.

En La Esfera "Encantada"

Un empresario norteamericano construyó, para divertir al público, un carrusel muy interesante e instructivo que tenía la forma de una habitación esférica giratoria. Dentro de esta habitación el público experimentaba sensaciones tan extraordinarias como las que suelen ocurrir en sueños o en los cuentos de hadas.



Fig. 37. Fuerzas que actúan sobre una persona que se encuentra en el borde de una plataforma giratoria.

Antes de entrar en detalles, recordemos el efecto que experimenta una persona cuando se encuentra en una plataforma redonda que gira de prisa. El movimiento giratorio tiende a lanzar la persona hacia fuera; cuanto más lejos esté del centro, con mayor fuerza se sentirá inclinada y arrastrada hacia fuera. Si cierra los ojos, le parecerá que no está de pie sobre un suelo plano, sino sobre una superficie inclinada en la que cuesta trabajo guardar el equilibrio. Esto se comprende fácilmente estudiando las fuerzas que actúan sobre esta persona (fig. 37). El efecto giratorio arrastra su cuerpo hacia fuera, al mismo tiempo que la gravedad tira de él hacia abajo. Estos dos movimientos se componen según la regla del paralelogramo y dan una resultante cuya acción está dirigida oblicuamente hacia abajo. Cuanto más rápida sea la rotación de la plataforma, tanto mayor será la resultante y tanto menor su inclinación.

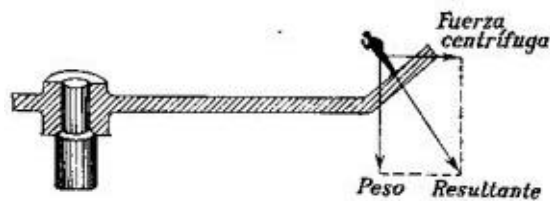


Fig. 38. Cuando la plataforma tiene el borde inclinado, la persona que se encuentra en él guarda el equilibrio perfectamente.

Pero supongamos que el borde de la plataforma está torcido hacia arriba y que nos encontramos de pie en esta parte inclinada (fig. 38). Cuando la plataforma esté inmóvil nos será difícil mantenernos en esta posición, puesto que nos deslizaremos hacia abajo o quizá nos caigamos. Ahora bien, si la plataforma gira, todo será muy distinto: a una velocidad determinada, la superficie nos parecerá horizontal, ya que la resultante de los dos movimientos que experimentamos también estará dirigida oblicuamente, es decir, formando un ángulo recto con el borde torcido de la plataforma.⁴

Si a la plataforma se le da una forma curva, calculada de manera que su superficie sea en cada punto perpendicular a la resultante, la persona que se encuentre en pie en esta superficie se sentirá en todos sus puntos como si estuviera sobre un plano horizontal. Los cálculos matemáticos realizados dan como resultado que esta superficie curva sería la de un cuerpo geométrico que se llama paraboloides. Esta superficie se puede obtener haciendo que un vaso, lleno de agua hasta la mitad, gire rápidamente alrededor de su eje; en estas condiciones, el agua asciende junto a las paredes del vaso, desciende en el centro y su superficie libre toma la forma de paraboloides. Si en lugar de agua echamos en el vaso cera derretida y hacemos que gire hasta que ésta se enfríe, la superficie solidificada de la cera nos da la forma exacta del paraboloides. A una velocidad de rotación determinada, esta superficie tiene para los cuerpos pesados propiedades semejantes a las de una superficie horizontal fija, es decir, una bola colocada en cualquier parte de esta superficie no rueda hacia abajo, sino que permanece al mismo nivel (fig. 39).

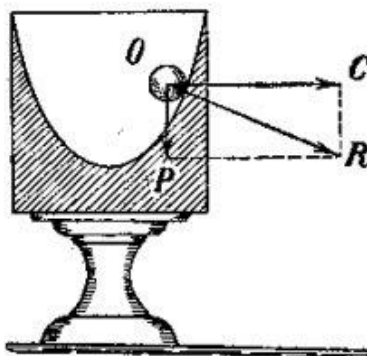


Fig. 39. Si se hace que esta copa gire con suficiente

⁴ Esto mismo explica por qué en las curvas de ferrocarril la vía externa está más alta que la interna, por qué los velódromos tienen la pista inclinada hacia adentro y por qué los ciclistas y los motoristas profesionales pueden correr por entarimados circulares muy pendientes.

velocidad la bola no caerá al fondo.

Después de lo dicho se comprenderá sin dificultad en qué consiste la esfera "encantada". El fondo de esta esfera (fig. 40) es una gran plataforma giratoria cuya superficie tiene la forma de paraboloides. Aunque la rotación, producida por un mecanismo oculto, es extraordinariamente suave todas las personas que estuvieran en la plataforma sentirían mareos si no se movieran también las paredes. Para que nadie se pueda dar cuenta del movimiento, la plataforma giratoria se halla dentro de una gran esfera, de paredes opacas, que gira con la misma velocidad que ella.

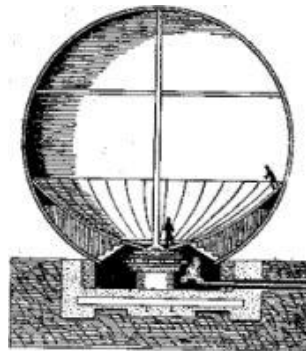


Fig. 40. La esfera "encantada" (corte)

Esta es, en pocas palabras, la estructura del carrusel llamado esfera "encantada". ¿Qué se siente cuando se está en la plataforma, dentro de la esfera? Mientras gira la plataforma, el suelo que hay debajo de los pies parece siempre horizontal, cualquiera que sea el punto de la curva en que nos encontremos, bien junto al eje (donde en realidad es horizontal), o bien junto a los bordes (donde la inclinación es de 45°). Los ojos ven perfectamente que el suelo es cóncavo, pero los músculos transmiten una sensación que atestigua que dicho suelo es plano. Las sensaciones que producen estos dos sentidos se contradicen entre sí categóricamente. Si desde un borde de la plataforma nos trasladamos al opuesto, nos parece que la enorme esfera se inclina hacia el lado contrario, influida por el peso de nuestro cuerpo, con la misma liviandad que si fuera una pompa de jabón, puesto que en cualquier punto nos sentimos como si estuviéramos en el plano horizontal. La posición oblicua de las demás personas que se encuentran en la plataforma nos parece extraordinariamente anormal: dan la sensación de personas que andan por las paredes lo mismo que las moscas (fig. 41).

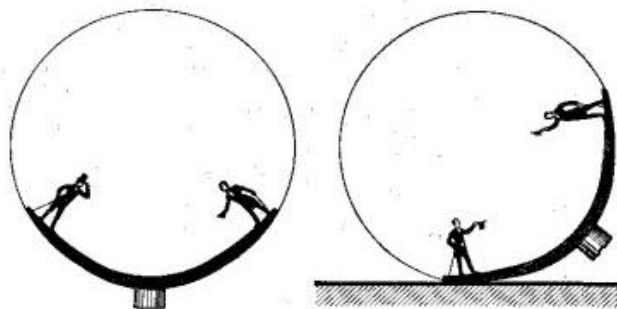


Fig. 41. Posición real de las personas dentro de la esfera

*"encantada" (a la izquierda) y lo que cree cada una de ellas
(a la derecha)*

Si se derrama agua en el suelo de la esfera "encantada" se extiende por toda su superficie curva formando una capa uniforme. Pero a las personas les parece que delante de ellas tienen una pared líquida inclinada.



Fig. 42. Laboratorio giratorio. Posición real.

Dentro de esta esfera asombrosa parece que dejan de cumplirse las leyes de la gravedad, tal como las concebimos de ordinario, y que nos trasladamos a un mundo maravilloso. Esta misma sensación la experimentan los pilotos cuando dan un viraje. Si vuelan a una velocidad de 200 km por hora siguiendo una curva cuyo radio sea igual a 500 m, les parece que la tierra se levanta y se inclina 16° .



Fig. 43. Laboratorio giratorio. Posición aparente.

En la ciudad alemana de Gotinga (o Göttingen) se construyó con fines de investigación científica un laboratorio giratorio. Este laboratorio (fig. 42) tenía la forma de una habitación cilíndrica de 3 m de diámetro y giraba con una velocidad de 50 revoluciones por segundo. Como el suelo era

plano, al girar producía en la persona que se encontraba junto a la pared la sensación de que la habitación se inclinaba hacia atrás y que ella estaba semirrecostada en la pared (fig. 43). En el futuro, cuando en el cosmos aparezcan satélites-laboratorios de gran duración, habrá que hacer que giren, para de esta forma crear en ellos una gravedad artificial. Hoy día ya se hacen proyectos de satélites de este tipo.

UN TELESCOPIO LIQUIDO

La forma ideal del espejo del telescopio reflector es la parabólica, es decir, precisamente la forma que toma de por sí la superficie de un líquido cuando se hace girar alrededor de su eje el recipiente que lo contiene. Los constructores de telescopios emplean muchas horas de trabajo en darle al espejo una forma semejante a la antedicha. La fabricación del espejo de un telescopio dura años enteros. El físico norteamericano Wood soslayó estas dificultades haciendo un *espejo líquido*. Para esto hizo girar mercurio dentro de un recipiente ancho, con lo cual consiguió una superficie parabólica ideal que podía servir de espejo, puesto que el mercurio refleja los rayos de luz. El inconveniente de este telescopio es que cualquier impulso provoca ondulaciones en la superficie del espejo y, por consiguiente, se deforma la imagen. A pesar de que su sencillez es seductora, la idea del telescopio de mercurio de Wood no encontró aplicación práctica. Ni su propio autor, ni los físicos contemporáneos de este invento, tomaron en serio este aparato tan original. He aquí, por ejemplo, lo que después de ver el telescopio escribió Webster, director de la sección de Física de una de las universidades norteamericanas:

Tirilín, tirilán,
En un pozo está.
¿Qué cogió Wood de valija?
Mercurio en una vasija.
Y, ¿qué dio el experimento?
Casi nada, por supuesto.

EL "RIZO DE LA MUERTE"

Casi todos conocen el vertiginoso truco velosipédico que presentan a veces en los circos en el cual un ciclista entra en un rizo, de abajo arriba, y describe una circunferencia completa, a pesar de que la parte superior de esta circunferencia la recorre con la *cabeza hacia abajo*. En la arena del circo construyen generalmente una pista de madera en forma de rizo con una o más vueltas, como la que se puede ver en la fig. 44. El ciclista desciende por un plano inclinado, sube rápidamente por la pista circular, pasa la parte superior de esta pista con la cabeza para abajo y después de recorrer una circunferencia completa llega felizmente a tierra.⁵ El público suele creer que este truco es la cumbre del arte acrobático. Algunos espectadores se preocupan y preguntan: ¿qué fuerza misteriosa sostiene a este intrépido ciclista cabeza abajo? Otros, más incrédulos, sospechan que se trata de un engaño. Pero en esto no hay nada sobrenatural. Este truco se explica totalmente por las leyes de la Mecánica. Una bola de billar puesta a rodar por esta misma pista la recorrería hasta el fin con el mismo éxito que el ciclista. En los gabinetes de Física de las escuelas hay "rizos de la muerte" en miniatura.

⁵ El "rizo de la muerte" es invención simultánea de dos artistas de circo. "Diablo" (Johnson) y "Mefisto" (Nuassetti). Se dio a conocer en el año 1902.

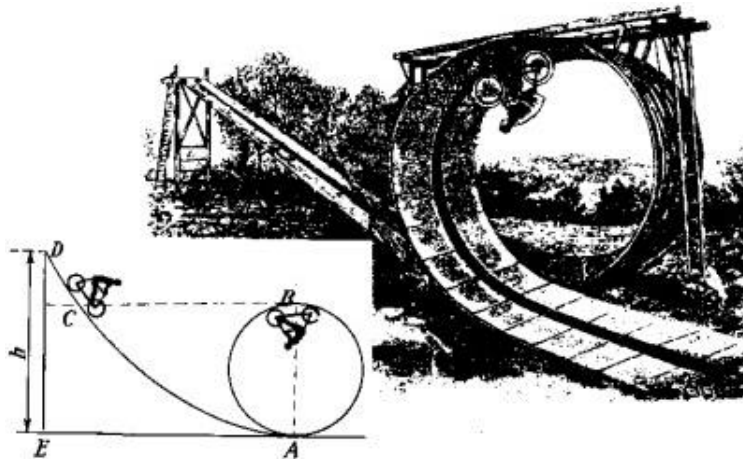


Fig. 44. El "rizo de la muerte". Abajo a la izquierda el esquema para el cálculo.

"Mefisto", el célebre inventor y ejecutor de este truco, antes de lanzarse él mismo a "rizar el rizo", probaba la solidez de la pista echando a rodar por ella una bola cuyo peso era igual al del artista con la bicicleta. Si la bola hacía el recorrido sin contratiempos, "Mefisto" se arriesgaba a ejecutar el truco.

El lector comprenderá, naturalmente, que este fenómeno se debe a la misma causa que explica el experimento del cubo giratorio (pág. 59). Para poder pasar felizmente la parte peligrosa del rizo, es decir, la parte superior, el ciclista debe llevar una velocidad suficientemente grande. Esta velocidad viene determinada por la altura desde la cual empieza a descender el artista. La velocidad mínima tolerable depende del radio del rizo. De aquí se deduce que para que el truco salga bien hay que calcular exactamente la altura desde la cual se lanza el ciclista, de lo contrario puede ocurrir una catástrofe.

LAS MATEMATICAS EN EL CIRCO

Yo sé que las fórmulas "secas" repelen a los aficionados a la Física. Pero si renuncian a conocer el lado matemático de los fenómenos, estos enemigos de las ciencias exactas se verán privados de la posibilidad de prever el desarrollo de los fenómenos y de determinar las condiciones en que deben realizarse. En nuestro caso concreto, por ejemplo, dos o tres fórmulas son suficientes para determinar exactamente las condiciones necesarias para que se realice con éxito un truco tan sorprendente como el de recorrer el "rizo de la muerte".

Hagamos, pues, los cálculos.

Designemos con letras aquellas magnitudes que intervienen en dicho cálculo:

llamemos h a la *altura* desde la cual se lanza el ciclista; designemos por x la parte de la altura h que sobrepasa del punto más alto del "rizo"; según la fig. 44, $x = h - AB$;

r representará al radio de la circunferencia del rizo;

m designará la *masa* total del ciclista y la bicicleta; el peso conjunto estará expresado por mg , siendo g la *aceleración de la gravedad*, que como sabemos es igual a 9,8 m por segundo cada segundo;

la letra v será la *velocidad* del ciclista en el momento de llegar al punto más alto de la circunferencia.

Todas estas magnitudes pueden relacionarse entre sí por medio de dos ecuaciones. En primer lugar, sabemos por la Mecánica que la velocidad que adquiere el ciclista en el momento que,

descendiendo por el plano inclinado, llega al punto C (que se encuentra al nivel de B, como puede verse en la parte inferior de la fig. 44) es igual a la que tendrá en la parte superior del rizo, es decir, en el punto B. La primera de estas velocidades viene expresada por la fórmula⁶

$$v = \sqrt{2gh}$$

o

$$v = \sqrt{2gh}$$

Por consiguiente, la velocidad del ciclista en el punto B será igual a $v = \sqrt{2gh}$, es decir, $v = \sqrt{2gh}$. Pero para que el ciclista no se caiga al llegar al punto más alto de la curva hace falta (véase "La anulación de la gravedad") que la aceleración centrípeta que produzca sea mayor que la

aceleración de la gravedad, es decir, hace falta que $\frac{v^2}{r} > g$ o $v^2 > gr$. Pero como ya sabemos que $v^2 = 2gx$, tendremos que $2gx > gr$, o $x > r/2$.

De esta forma ya sabemos que para que este truco se pueda ejecutar con éxito hay que construir el "rizo" de tal forma que el vértice de la parte inclinada de la pista esté 1/2 radio más alto que el punto superior de la circunferencia. La inclinación de la pista no desempeña ningún papel, lo que importa es que el punto desde el cual comienza a descender el ciclista se encuentre como mínimo 1/4 de diámetro más alto que la cumbre del rizo. En este cálculo no hemos tenido en cuenta el rozamiento de la bicicleta y hemos considerado que la velocidad en el punto C es igual a la velocidad en el punto B. Por esto no es conveniente alargar demasiado la bajada, haciéndola más suave. Cuando el descenso es suave, el rozamiento hace que la velocidad del ciclista al llegar al punto B sea menor que la que tenía en C. Si, por ejemplo, el rizo tiene 16 m de diámetro, el artista debe lanzarse desde una altura de 20 m por lo menos. Si esta condición no se cumple, no hay arte que le ayude a "rizar el rizo"; antes de llegar al punto más alto se caerá.

Cuando realiza este truco la bicicleta va sin cadena. El ciclista confía su máquina a la acción de la gravedad, puesto que ni puede ni debe acelerar ni frenar su movimiento. Todo su arte consiste en mantenerse en el centro de la pista de madera. La menor desviación representa un peligro inminente de salir despedido hacia un lado. La velocidad de la carrera por el interior de la circunferencia es muy grande. Suponiendo que el diámetro de ésta sea igual a 16 m, el ciclista dará la vuelta en 3 segundos. Esto representa una velocidad de... ¡60 km por hora! A esta velocidad no es fácil guiar una bicicleta. Pero esto es precisamente lo que no hace falta. Hay que ser decidido y confiarse a las leyes de la Mecánica. "El truco de la bicicleta no es peligroso de por sí - leemos en un folleto escrito por un profesional -, cuando el aparato está bien calculado y su construcción es sólida. El peligro está en el propio artista. Si le tiembla una mano, se pone nervioso, pierde el control sobre sí mismo o se marea inesperadamente, todo puede esperarse". En esta misma ley se basa el "rizo de Nésterov" o "looping" y otras figuras de alto pilotaje. Para hacer el "rizo" tiene una importancia primordial tomar buena "carrera" por la curva y mandar diestramente el avión.

FALTA DE PESO

Un bromista dijo una vez que sabía un procedimiento de ahorrar en el peso sin engañar a los clientes. El secreto estaba en comprar las mercancías en países próximos al Ecuador y venderlas lo más próximo posible a los polos. Ya hace mucho tiempo que sabemos que cerca del Ecuador

⁶ Despreciamos la energía de rotación de las llantas de las ruedas de la bicicleta; este factor influye muy poco en el resultado del cálculo.

las cosas pesan menos que junto a los polos; 1 kg trasladado desde el ecuador a un polo aumenta en peso 5 g. Claro que para que esta diferencia se note hay que pesarlo en una báscula de resorte hecha (o graduada) en el ecuador, de lo contrario no hay ganancia; porque si las mercancías se hacen más pesadas, lo mismo le ocurre a las pesas.

No creo que nadie se pueda hacer rico comerciando por este procedimiento, pero el bromista tenía razón: la gravedad aumenta realmente al alejarse del ecuador. Esto ocurre porque los cuerpos que están en el ecuador describen las mayores circunferencias al girar la Tierra y también porque la esfera terrestre está más hinchada en el ecuador.

La parte más importante de la pérdida de peso se debe a la rotación de la Tierra. Esta rotación hace que el peso de los cuerpos en el ecuador disminuya, en comparación con el que tienen en los polos, en una fracción igual al $1/290$.

Cuando los cuerpos que se trasladan de una latitud a otra son ligeros, la diferencia de peso es insignificante. Pero si se trata de objetos pesados puede alcanzar valores bastante considerables. Nadie sospecha, por ejemplo, que una locomotora que pesa en Moscú 60 t, al llegar a Arcángel resulta 60 kg más pesada, y si va a Odesa, 50 kg más ligera. En un tiempo, desde la isla de Spitzberg se transportaban anualmente a puertos más meridionales cerca de 300.000 t de carbón. Si esta cantidad hubiera sido transportada a un país ecuatorial y pesada en básculas de resorte traídas de Spitzberg, se habría notado una falta de carbón de 1.200 t. Un acorazado que pese en Arcángel 20.000 t, cuando navegue por aguas ecuatoriales será 80 t más ligero; pero esto no se nota, porque todos los demás cuerpos también se hacen más ligeros, sin excluir, naturalmente, el agua del mar⁷.

Si la Tierra girara alrededor de su eje más de prisa que ahora, por ejemplo, si los días en vez de tener 24 horas tuvieran 4, la diferencia de pesos de los cuerpos en los polos y en el ecuador sería mucho más sensible. Con días de cuatro horas, por ejemplo, una pesa de 1 kg en el polo pesaría en el ecuador 875 g nada más. Así son las condiciones de gravedad que existen en Saturno. En este planeta los cuerpos que se encuentran en los polos pesan $1/6$ parte más que en el ecuador.

Como la aceleración centrípeta aumenta proporcionalmente al cuadrado de la velocidad, no es difícil calcular a qué velocidad de rotación se hará 290 veces mayor en el ecuador, es decir, a qué velocidad se hará igual a la fuerza de atracción. Esto sucedería si la Tierra girase 17 veces más de prisa que en la actualidad ($17 * 17 =$ aproximadamente a 290). En estas condiciones los cuerpos dejarían de ejercer presión sobre los sitios en que se apoyan. En otras palabras, si la Tierra girara 17 veces más de prisa, las cosas que estuvieran en el ecuador... *¡no pesarían nada!*

En Saturno pasaría lo mismo si su velocidad de rotación aumentara dos veces y media nada más. De lo expuesto se deduce que el lanzamiento de los satélites artificiales es preferible hacerlo desde regiones ecuatoriales y en dirección oeste - este. Para lanzar satélites cuyas órbitas formen ángulos grandes con el ecuador hay que gastar mucha más energía. Precisamente por esto los primeros satélites norteamericanos volaban solamente sobre las regiones ecuatoriales, ya que los cohetes portadores de que disponían eran poco potentes y no servían para ponerlos en órbitas más inclinadas con respecto al ecuador.

⁷ Por esto en las aguas ecuatoriales el barco se hundirá hasta la misma profundidad que en las polares, porque aunque él se hace más ligero, al agua que desaloja le ocurre lo mismo.

Capítulo Cuarto

ATRACCION UNIVERSAL

¿Es Grande La Fuerza De La Atraccion?

"Si la caída de los cuerpos no fuera una cosa que vemos a cada instante, sería para nosotros el fenómeno más asombroso", escribía el célebre astrónomo francés Arago. La costumbre hace que el hecho de que la Tierra atraiga a todos los cuerpos nos parezca un fenómeno natural y ordinario. Pero cuando se nos dice que los cuerpos también *se atraen entre sí* nos resistimos a creerlo, porque en las condiciones normales de nuestra vida no vemos nada semejante.

Efectivamente, ¿por qué en torno nuestro no se manifiesta constantemente, en las circunstancias normales, la ley de la atracción universal? ¿Por qué no vemos cómo se atraen entre sí las mesas, las sandías, las personas? Porque cuando los objetos son pequeños la fuerza de atracción que ejercen es muy pequeña. Citaré un ejemplo ilustrativo. Dos personas que se encuentren a dos metros de distancia entre sí se atraen mutuamente, pero la fuerza de esta atracción es insignificante. Suponiendo que estas dos personas tienen un peso medio, la atracción será de 1/100 de miligramo. Esto quiere decir que estas dos personas se atraen mutuamente con la misma fuerza con que una pesita de 1/100.000 de gramo presiona sobre el platillo de una balanza. Solamente las balanzas de extraordinaria sensibilidad de los laboratorios de investigación pueden apreciar un peso tan insignificante.

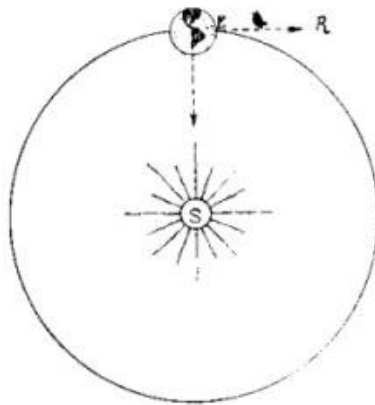


Fig. 45. La atracción del Sol hace que se curve la trayectoria de la Tierra E. La inercia hace que el planeta tienda a seguir la línea tangente ER

Claro está que esta fuerza no puede hacer que nos movamos del sitio, puesto que lo impide el rozamiento entre las suelas de nuestros zapatos y el suelo. Para que nos movamos, estando sobre un suelo de madera, por ejemplo (la fuerza de rozamiento entre las suelas de los zapatos y el suelo será en este caso igual al 30% del peso de nuestro cuerpo) hace falta que sobre nosotros actúe una fuerza mínima de 20 kg. Resulta cómico comparar esta fuerza con la de una centésima de miligramo, que es la que ejerce la atracción. Un miligramo es la milésima parte de un gramo, y un gramo es la milésima parte

de un kilogramo; por lo tanto, 0,01 mg será... ¡la mitad de la *mil millonésima parte* de la fuerza necesaria para hacer que nos movamos del sitio! Siendo así, ¿qué tiene de particular que, en condiciones normales, no nos demos ni la más leve cuenta de la atracción entre los cuerpos terrestres? Si no existiera el rozamiento sería otra cosa; entonces nada impediría que hasta la más leve atracción provocara la aproximación de los cuerpos entre sí. Pero en este caso la aproximación mutua de dos personas producida por una fuerza de atracción de 0,01 mg sería también muy lenta, es decir, se realizaría con una *velocidad* insignificante. Por medio de cálculos se puede demostrar que, si no existiera rozamiento, dos personas situadas a 2 m de distancia se aproximarían entre sí (por influjo de la atracción mutua) 3 cm durante la primera hora, 9 cm durante la segunda y 15 cm durante la tercera. El movimiento de aproximación se iría acelerando, pero las dos personas no llegarían a juntarse antes de cinco horas.

La atracción entre los cuerpos terrestres se puede notar en aquellos casos en que la fuerza de rozamiento no es un obstáculo, es decir, cuando los cuerpos no se mueven. Un peso colgado de un hilo se halla sometido a la atracción de la Tierra (por eso el hilo está dirigido verticalmente), pero si cerca de este peso se encuentra un cuerpo cuya masa sea grande, aquél será atraído por éste y el hilo se desviará ligeramente de su posición vertical y tomará la dirección de la resultante entre la atracción de la Tierra y la del cuerpo, que será relativamente muy pequeña. La desviación de una plomada en las proximidades de una gran montaña fue observada por vez primera en el año 1775 en Escocia, por Maskelyne, quien comparó la dirección de dicha plomada con la del polo celeste, por los dos lados de una misma montaña. Posteriormente se realizaron otros experimentos más perfectos, utilizando balanzas especiales, que permitieron determinar exactamente la fuerza de la atracción.

Como hemos visto, la fuerza de la atracción entre masas pequeñas es insignificante. A medida que aumenten las masas crece la atracción proporcionalmente al producto de éstas. Pero hay algunas personas propensas a exagerar esta fuerza. Hasta un científico, aunque no físico, sino zoólogo, intentó demostrarme en una ocasión que la atracción que suele observarse entre los barcos se debe a la atracción universal. Por medio de cálculos no es difícil demostrar que la atracción universal no tiene nada que ver con esto. Dos navíos de línea de 25.000 t cada uno que se encuentren a 100 m de distancia entre sí se atraerán mutuamente con una fuerza total de... ¡400 g! Lógicamente esta fuerza es incapaz de producir el más mínimo acercamiento entre dichos barcos. La causa verdadera de la misteriosa atracción que existe entre los barcos es otra, que explicaremos en el capítulo dedicado a las propiedades de los líquidos.

Pero la fuerza de atracción, que es tan insignificante entre masas pequeñas, se hace muy sensible cuando se trata de masas tan colosales como las de los cuerpos celestes. Baste decir que incluso un planeta tan alejado de nosotros como Neptuno, que gira casi en el límite del sistema solar, nos manda su "saludo" atrayendo a la Tierra con una fuerza de... ¡18 millones de toneladas! A pesar de la enorme distancia que nos separa del Sol, la Tierra se mantiene en su órbita gracias a su atracción. Si la atracción que ejerce el Sol desapareciera por cualquier causa, la Tierra, siguiendo una dirección tangencial a su órbita actual, se lanzaría a recorrer eternamente la profundidad insondable del espacio cósmico.

Un Cable De Acero Desde La Tierra Al Sol

Supongamos que la poderosísima atracción del Sol desaparece efectivamente y que el trágico futuro de la Tierra es alejarse para siempre en los fríos y lóbregos desiertos del universo. Pero figurémonos -aunque para esto hace falta no poca fantasía que nuestros ingenieros deciden reemplazar las invisibles

cadena de la desaparecida atracción por un enlace material, es decir, deciden simplemente unir la Tierra con el Sol por medio de fuertes cables de acero, los cuales tendrán la misión de mantener la Tierra en su órbita circular alrededor del Sol. ¿Qué puede haber más fuerte que el acero, cuya resistencia a la tracción alcanza 100 kg por milímetro cuadrado! Figurémonos una poderosa columna de acero de 5 m de diámetro. La superficie de su sección transversal sería, en números redondos, de 20.000.000 mm², por consiguiente, para romper por tracción esta columna se necesitaría un peso de 2.000.000 t. Supongamos ahora que esta columna se extiende desde la Tierra hasta el Sol y que une entre sí a ambos astros. ¿Cuántas columnas como ésta harían falta para mantener la Tierra en su órbita? ¡Un millón de millones! Para que sea más fácil hacerse una idea de lo que sería este bosque de columnas de acero, que poblaría densamente tanto los continentes como los océanos, habrá que decir que, si las columnas estuvieran repartidas uniformemente por todo el hemisferio terrestre que mira al Sol, el espacio entre dos columnas contiguas sería poco más ancho que ellas mismas. Imagínense ustedes la fuerza que hace falta para romper este enorme bosque de columnas de acero y tendrán una idea de la fuerza invisible, pero poderosísima, de la atracción mutua entre la Tierra y el Sol.

Toda esta fuerza colosal se manifiesta exclusivamente en torcer el camino por el cual marcha la Tierra. Esta fuerza hace que la Tierra se desvíe 3 mm cada segundo de la línea tangente y que, gracias a esto, el camino que sigue nuestro planeta sea una curva cerrada, es decir, una elipse. Parece imposible que para que la Tierra se desvíe 3 mm cada segundo, es decir, la altura que tiene este renglón, sea necesaria una fuerza tan imponente. Pero si una fuerza tan extraordinaria puede comunicarle solamente una desviación tan insignificante, podemos figurarnos lo enorme que es la masa de nuestro planeta.

¿Es Posible Ocultarse A La Gravitación?

Acabamos de fantasear sobre lo que ocurriría si desapareciera la atracción mutua entre el Sol y la Tierra y hemos visto que la Tierra, liberada de las cadenas invisibles de la atracción, recorrería vertiginosamente la inmensidad del universo. Abramos ahora nuestra fantasía a otro tema: ¿qué ocurriría con todos los objetos terrestres si no existiera la gravedad? Nada los sujetaría a nuestro planeta y el menor impulso sería suficiente para lanzarlos al espacio interplanetario. Ni siquiera sería necesario aguardar este impulso, la propia rotación de la Tierra dispersaría en el espacio todo cuanto no está sólidamente ligado a su superficie.

El escritor inglés Wells utilizó este género de ideas para describir en una novela un viaje fantástico a la Luna. En esta obra ("Los primeros hombres en la Luna") el ingenioso novelista propone un procedimiento muy original para viajar de un planeta a otro. Este procedimiento consiste en el empleo de una sustancia especial, inventada por el científico, héroe de la novela, que posee la magnífica propiedad de ser impenetrable a la gravedad. Si una capa de esta sustancia se coloca debajo de un cuerpo cualquiera, este último se liberará de la atracción de la Tierra y quedará sometido solamente a la atracción de los demás cuerpos. Wells le dio a esta sustancia fantástica el nombre de "cavorita", por ser Cavor su inventor imaginario.

"Sabemos - escribe el novelista -, que para la atracción universal, es decir, para la gravitación, todos los cuerpos son penetrables. Se pueden poner pantallas que impidan el paso de los rayos de luz hasta los objetos; por medio de chapas metálicas se puede preservar un cuerpo contra la llegada de las ondas eléctricas de la radiotelegrafía, pero no existen obstáculos que puedan proteger un objeto de la atracción del Sol o de la gravitación terrestre. No es fácil explicarse por qué no existen en la naturaleza barreras semejantes para la gravitación. Pero Cavor no veía ningún motivo que pudiera impedir la

existencia de una sustancia impenetrable a esta atracción y se consideraba a sí mismo capaz de crear artificialmente la sustancia que tuviera esta propiedad".

"Cualquiera que posea una chispa de imaginación puede figurarse fácilmente qué posibilidades tan extraordinarias abriría ante nosotros una sustancia semejante. Si hace falta levantar un peso, aunque éste sea enorme, bastará con poner debajo de él una hoja de esta sustancia para que pueda ser levantado hasta con una pajita".

Después de conseguir esta sustancia estupenda, los héroes de la novela construyen una nave espacial en la cual realizan un intrépido viaje a la Luna. La estructura de este proyectil es muy sencilla; en él no existe ningún mecanismo propulsor, puesto que se mueve por medio de las atracciones que sobre él ejercen los astros.

A continuación reproducimos la descripción que hace Wells de este proyectil imaginario:

"Figúrense ustedes un proyectil esférico bastante amplio, capaz de transportar dos personas con sus equipajes. Este proyectil tiene dos envolturas, una interna y otra externa; la interna de vidrio grueso y la externa de acero. En él se puede hacer provisión de aire condensado, alimentos concentrados, aparatos para destilar agua, etc. La esfera de acero estará totalmente recubierto por fuera con una capa de "cavorita". La envoltura de vidrio interna será continua, excepto la escotilla; la de acero, por el contrario, constará de partes independientes, cada una de las cuales podrá enrollarse como si fuera una cortinilla. Esto se puede conseguir sin dificultad por medio de unos resortes; para subir y bajar las cortinillas se empleará una corriente eléctrica, que unos alambres de platino conducirán desde la envoltura de vidrio. Pero esto son ya pormenores técnicos. Lo principal es que la envoltura exterior del proyectil estará formada por una especie de ventanas con cortinilla de "cavorita". Cuando todas las cortinillas estén bajadas por completo, en la esfera no podrá penetrar ni luz, ni ninguna clase de energía radiante, ni la fuerza de la atracción universal. Pero imagínense que una de las cortinillas está levantada. En este caso cualquier masa que se encuentre a alguna distancia enfrente de esta ventana nos atraerá hacia sí. Prácticamente podremos viajar por el espacio cósmico atraídos ya por uno, ya por otro cuerpo celeste".

Como Hicieron El Viaje A La Luna Los Heroes De Wells

Es muy interesante cómo el novelista describe el momento en que el vagón interplanetario emprende su viaje. La tenue capa de "cavorita" que recubre la superficie externa del proyectil hace que éste se comporte como si fuera ingrávulo. Ustedes comprenderán que un cuerpo ingrávulo no puede encontrarse tranquilamente en el fondo del océano aéreo; con él deberá ocurrir lo mismo que un corcho que estuviera en el fondo de un lago y que inmediatamente subiría a la superficie. De la misma forma el proyectil ingrávulo - sobre el cual actúa además la inercia de la rotación de la Tierra -, deberá elevarse rapidísimamente y, después de alcanzar los límites de la atmósfera, continuar libremente su camino en el espacio interplanetario. Así fue como emprendieron su vuelo los héroes de la novela. Cuando se hallaron en el espacio cósmico, comenzaron a abrir unas ventanas y a cerrar otras, exponiendo el interior del proyectil unas veces a la atracción del Sol y otras a la de la Tierra o de la Luna, y así llegaron a la superficie de nuestro satélite natural. Después uno de los expedicionarios volvió a la Tierra en este mismo proyectil.

No vamos a discutir aquí la esencia de idea de Wells (esto es cosa que hice en otro lugar¹, donde expuse su inconsistencia). Creamos por un momento al ingenioso novelista y sigamos a sus personajes en la Luna.

Media Hora En La Luna

Veamos cómo se sentían los personajes de la obra de Wells en un mundo donde la gravedad es mucho menor que en la Tierra.

He aquí una página curiosa² de la novela "Los primeros hombres en la Luna". Habla uno de los habitantes de la Tierra recién llegados a la Luna.

"Empecé a destornillar la tapa del proyectil. Me puse de rodillas y me asomé por la escotilla. Abajo, a una distancia de tres pies de mi cabeza, yacía la nieve inmaculada de la Luna.

Cavor se lió en una manta, se sentó en el borde de la escotilla y empezó a bajar las piernas. Cuando tenía sus plantas a medio pie del suelo, dudó un momento y se dejó caer sobre la superficie del mundo lunar.

Yo lo estaba mirando a través de la envoltura de vidrio de la esfera. Después de dar varios pasos se detuvo un minuto, miró a su alrededor, y por fin se decidió a saltar hacia adelante.

El vidrio deformó este movimiento, pero a mí me pareció que este salto fue demasiado grande en realidad. Cavor se encontró de golpe a 6 ó 10 metros de mí. De pie sobre una peña, me hacía señas; es posible que gritase algo; el sonido no llegaba hasta mis oídos ... Pero, ¿cómo dio el salto?

Yo estaba preocupado y decidí salir por la escotilla y dejarme caer. De esta forma me encontré al borde de un hoyo nevado. Di un paso adelante y después salté.

Sentí que volaba y pronto me encontré cerca de la peña en que estaba esperándome Cavor. Me cogí a ella y quedé suspenso y horriblemente sorprendido.

Cavor se agachó y empezó a gritarme con voz chillona que tuviera cuidado. Me había olvidado de que en la Luna la gravedad es seis veces más débil que en la Tierra. Pero la propia realidad hacía que lo recordase.

Teniendo precaución y conteniendo mis movimientos logré subir a la cumbre de la peña y andando como un reumático me puse al sol junto a Cavor. Nuestro proyectil estaba a unos treinta pies de nosotros sobre un montón de nieve que se derretía.

- Mire usted - dije, volviéndome hacia Cavor.

Pero Cavor había desaparecido.

Me sobrecogí un instante por esta sorpresa y después, queriendo ver lo que había allá del borde de la peña, di un paso hacia adelante, sin acordarme de que estaba en la Luna. El esfuerzo que hice era el necesario para avanzar un metro en la Tierra, pero aquí fueron seis los que avancé, con lo cual fui a parar cinco metros más allá del borde de la peña.

Sentí la misma impresión que cuando en sueños se cae uno a un abismo y va por el espacio. Cuando se cae una persona en la Tierra, durante el primer segundo baja 5 metros, en la Luna solamente baja 80 centímetros en este mismo tiempo. Por esto yo descendí planeando suavemente hasta una profundidad de cerca de nueve metros. Esta caída me pareció larga, aunque duraría unos tres segundos. Volé por el aire y, después de caer como una pluma, me encontré hundido hasta las rodillas en un montón de nieve y en el fondo de un valle pedregoso.

¹ Viajes interplanetarios

² El trozo que reproducimos está un poco extractado.

- ¡Cavor! - grité, mirando a mi alrededor.

No se veían huellas de él por ninguna parte.

- ¡Cavor! - volví a gritar más fuerte.

De repente lo vi. Se estaba riendo y me hacía señas desde un peñasco pelado que había a unos veinte metros de mí. Sus palabras no se podían oír, pero por los gestos comprendí lo que quería. Me invitaba a dar un salto y a reunirme con él.

Dudé un poco, porque la distancia me pareció demasiado grande. Después pensé que si Cavor pudo dar un salto así, también lo podía dar yo.

Di un paso atrás y salté con todas mis fuerzas. Salí por el aire como una flecha y parecía que nunca iba a llegar abajo. Fue un vuelo fantástico, monstruoso como los que se sueñan, pero al mismo tiempo admirable.

El salto resultó demasiado grande y yo pasé volando sobre la cabeza de Cavor".

Disparos En La Luna

El episodio siguiente está tomado de una novela del insigne inventor soviético K. E. Tsiolkovski titulada "En la Luna". Este episodio nos ayudará a comprender las condiciones del movimiento bajo la acción de la gravedad. En la Tierra la atmósfera dificulta el movimiento de los cuerpos y oculta las leyes simples de la caída de los cuerpos, complicándolas con otras condiciones. En la Luna no existe aire. Por esto nuestro satélite sería un magnífico laboratorio para estudiar la caída de los cuerpos, si pudiéramos encontrarnos allí y dedicarnos a la investigación científica.

En el episodio que a continuación reproducimos, los dos interlocutores se hallan en la Luna y quieren investigar cómo se moverán allí las balas disparadas con una escopeta.

"-¿Funcionará aquí la pólvora?

Por qué no. Los explosivos en el vacío deben poner de manifiesto sus propiedades con más fuerza aún que en el aire, puesto que este último lo único que hace es dificultar su explosión. En cuanto al oxígeno, no les hace falta. Dentro de ellos mismos hay la cantidad suficiente.

- Colocaré la escopeta verticalmente para que la bala caiga más cerca y sea más fácil encontrarla después del disparo.

Hizo fuego y se sintió un ruido muy débil³ y una pequeña sacudida del suelo.

- ¿Dónde estará el taco? Debía haber caído por aquí cerca. - El taco salió disparado junto con la bala y lo más probable es que no se separe de ella, puesto que en la Tierra es la atmósfera la que le impide seguir al plomo; aquí una pluma cae y vuela con la misma rapidez que una piedra. Coge una pluma de esas que salen de la almohada y yo cogeré esta bola de hierro colado. Tú podrás tirar tu pluma y atinar a un blanco, aunque se encuentre bastante alejado, con la misma facilidad que yo con mi bola. Yo puedo, si el peso es pequeño, lanzar la bola a 400 metros y tú puedes tirar tu pluma a la misma distancia; claro que con ella no le harás daño a nadie y al lanzarla te parecerá que no has tirado nada. Bueno, tiremos nuestros proyectiles arrojadizos con todas nuestras fuerzas, que no son muy dispares, a un mismo blanco; a aquella piedra de granito rojo ...

La pluma adelantó un poco a la bola de hierro colado. Parecía que la había arrastrado un fuerte remolino.

³ En la Luna el sonido se transmite a través del suelo y del cuerpo de las personas, y no a través del aire, puesto, que allí no lo hay.

¿Qué pasa? Desde que disparamos la escopeta han transcurrido tres minutos y aún no ha regresado la bala.

Espera dos minutos más y verás como vuelve.

Efectivamente, al cabo del tiempo señalado sentimos una pequeña sacudida en el suelo y vimos cómo el taco botaba no muy lejos.

- ¡Cuánto tiempo estuvo volando la bala! ¿A qué altura tenía que remontarse?

- A unos setenta kilómetros. Puede alcanzar esta altura porque la gravedad es pequeña y porque no existe aire que le ofrezca resistencia".

Comprobémoslo. Si consideramos que la velocidad de la bala en el momento de salir del cañón es solamente de 500 m por segundo (en comparación con las armas modernas esta velocidad es vez y media menor que la real), la altura a que subiría en la *Tierra, si no existiera la atmósfera*, sería:

$$h = v^2/2g = 500^2/2 \cdot 10 = 12.500 \text{ m}$$

es decir, 12,5 km. En la Luna, donde la gravedad es 6 veces menor, en lugar de g hay que tomar $10/6$; por consiguiente, la bala deberá alcanzar la altura de

$$12.500 \cdot 6 = 75 \text{ km.}$$

En Un Pozo Sin Fondo

Sobre lo que ocurre en las profundas entrañas de nuestro planeta se sabe todavía muy poco. Unos suponen que debajo de una corteza dura de cien kilómetros de espesor comienza una masa líquida incandescente. Otros consideran que todo el globo terráqueo se ha solidificado hasta el mismo centro. Esta es una cuestión difícil de resolver. Hasta ahora el pozo más profundo tiene 7,5 km de hondura y la mina más honda a que ha bajado el hombre tiene una profundidad de 3.300 m⁴, mientras que el radio de la Tierra es igual a 6.400 km. Si a través de nuestro planeta se pudiera perforar un pozo de parte a parte, siguiendo uno de sus diámetros, estos problemas estarían resueltos. Pero la técnica más moderna está muy lejos aún de poder realizar semejante empresa, aunque todos los pozos perforados en la corteza terrestre, tomados conjuntamente, alcanzarían una longitud mayor que el diámetro de nuestro planeta.

En el siglo XVIII soñaban con hacer un túnel a través de la Tierra el matemático Maupertuis y el filósofo Voltaire. A este proyecto, aunque en escala más modesta, se refirió también el astrónomo francés Flammarion. En esta página reproducimos el dibujo que encabezaba su artículo dedicado a este tema (fig. 46).

⁴ La mina de oro de Boksburg (Transvaal, Africa del Sur), con la particularidad de que la entrada del pozo se encuentra a 1.600 m de altura sobre el nivel del mar, es decir, la profundidad de la mina con respecto al nivel del mar es solamente de 1.700 m. (*N. de la R.*)



Fig. 46. Si la Tierra se taladrara por su diámetro...

Hasta ahora no se ha hecho, naturalmente, nada parecido; pero aprovechemos este pozo imaginario sin fondo para ocuparnos de un problema muy interesante.

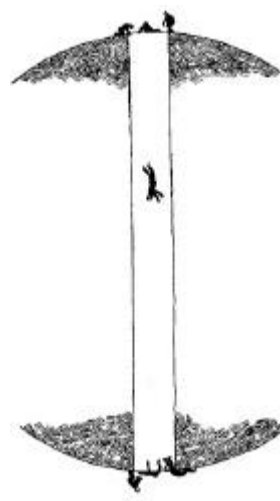


Fig. 47. Si un cuerpo se cayera en un pozo practicado a través del centro de la Tierra oscilaría de un extremo a otro sin detenerse; cada oscilación completa duraría 1 hora 24 minutos.

¿Qué piensa el lector que le ocurriría si se cayese en un pozo sin fondo de este tipo (olvidando por ahora la resistencia del aire)? Estrellarse en el fondo no podría, puesto que no existe fondo, pero, ¿dónde pararía?

¿En el centro de la Tierra? No.

Cuando llegase usted a este centro, su cuerpo tendría una velocidad tan enorme (de cerca de 8 km/seg) que ni hablar se puede de que se parase. Seguiría usted adelante, como disparado, y su movimiento se iría retardando poco a poco hasta que llegara al nivel de los bordes del extremo opuesto del pozo. Aquí tendría que agarrarse bien a dichos bordes, porque de lo contrario tendría que repetir el paseo a través del pozo hasta el otro extremo. Y si tampoco consigue sujetarse a algo, otra vez se hundirá en el pozo y seguirá de esta forma balanceándose indefinidamente.

La Mecánica enseña que, en estas condiciones (si se desprecia la resistencia del aire), el cuerpo debe oscilar, de un lado a otro y viceversa, constantemente⁵.

¿Cuánto duraría una de estas oscilaciones? El recorrido de ida y vuelta duraría 84 minutos y 24 segundos, es decir, en números redondos, hora y media.

"Así ocurriría - continúa C. Flammarion -, si el pozo estuviera abierto por el eje de la Tierra, desde un polo a otro. Pero si se traslada el punto de partida a cualquier otra latitud - a Europa, Asia o Africa -, hay que tener en cuenta la influencia que ejerce la rotación de la Tierra. Sabemos que cada punto de la superficie terrestre recorre en el ecuador 465 m por segundo, y a la altura de París, 300 m. Como la velocidad circular *aumenta* al alejarse del eje de rotación, una bola de plomo, por ejemplo, dejada caer en un pozo, no caerá verticalmente, sino que se desviará un poco hacia el este. Si el pozo sin fondo se hace en el ecuador, su anchura deberá ser bastante grande, o el pozo estar muy inclinado, puesto que el cuerpo que caiga en él desde la superficie de la Tierra se desviará mucho hacia el este, con respecto a su centro.

Si la boca de entrada del pozo se encontrará en una de las mesetas de América del Sur, a una altura de dos kilómetros sobre el nivel del mar, y el extremo opuesto del túnel estuviera al nivel del océano, la persona que por descuido se cayese en la boca americana, al llegar al otro extremo llevaría tanta velocidad que se elevaría dos kilómetros sobre la superficie.

Si los dos extremos del pozo se encontraran al nivel del océano, se le podría dar una mano a la persona caída en el momento en que apareciera por una de las bocas, puesto que su velocidad sería igual a cero. Pero en el caso anterior, por el contrario, habría que apartarse por temor a un viajero tan extraordinariamente precipitado".

Un Camino Ideal

Hace tiempo, en San Petersburgo (hoy Leningrado) apareció un folleto que tenía un título tan extraño como el siguiente: "Ferrocarril subterráneo automotriz entre San Petersburgo y Moscú. Novela fantástica en tres capítulos, incompletos por ahora". El autor de este folleto A.A. Rodnig, propone un proyecto ingenioso que puede interesar a los aficionados a las paradojas físicas.

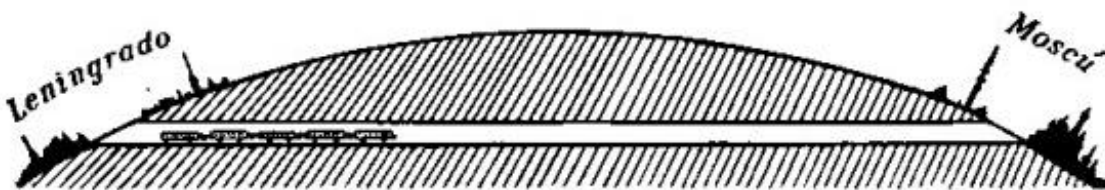


Fig. 48. Si se hiciera un túnel entre Leningrado Y Moscú, los trenes circularían por él en ambas direcciones por su propio peso, sin necesidad de locomotoras.

El proyecto consiste en "hacer un túnel de 600 km de longitud para unir entre sí las dos capitales, siguiendo una línea subterránea completamente recta. De esta forma tendríamos la posibilidad de realizar el viaje en línea recta, y no siguiendo vías curvas como hasta ahora" (El autor quiere decir que todos los ferrocarriles se amoldan a la curvatura de la superficie de la Tierra y, por lo tanto, forman arcos, mientras que el túnel que él ha proyectado sigue una línea recta, es decir, una cuerda).

⁵ La resistencia del aire haría que las oscilaciones se fueran amortiguando paulatinamente y al final la persona se detendría en el centro de la Tierra.

Si se pudiera hacer este túnel, tendría una propiedad magnífica que no tiene ningún ferrocarril del mundo. Esta propiedad consiste en que cualquier carruaje *se movería por él de por sí solo*. A propósito de esto, recordemos nuestro pozo perforado atravesando la Tierra. El túnel Leningrado-Moscú sería un pozo semejante a aquél, pero perforado no por el diámetro, sino por la cuerda. Es verdad que mirando la fig. 48 puede parecer que el túnel es horizontal y que, por consiguiente, no hay ninguna causa para que podamos viajar por él a costa de la gravedad. Pero esto es solamente una ilusión óptica. Si trazamos mentalmente los radios de la esfera correspondientes a los extremos del túnel (la dirección del radio es la de la plomada), veremos que éste no está hecho en dirección perpendicular a la de la plomada, es decir, horizontal, sino inclinada.

En un pozo inclinado como éste todo cuerpo debe rodar hacia adelante y hacia atrás atraído por la gravedad y presionando continuamente sobre el fondo. Si dentro de este túnel se ponen vías, los vagones de ferrocarril podrán desplazarse por él solos; el peso de los propios vagones sustituirá a la tracción de la locomotora. Al principio este tren se moverá despacio. Pero su velocidad irá en aumento cada segundo y pronto se hará insospechadamente grande, de manera que el aire estorbará mucho su avance. Pero olvidémonos temporalmente de este lamentable obstáculo, que impide la realización de tantos proyectos seductores, y sigamos adelante con nuestro tren. En la mitad del túnel el tren tendrá una velocidad mucho mayor que la de una bala de cañón, con la que podrá llegar casi hasta el otro extremo. Si no hubiera rozamiento, tampoco existiría este "casi"; el tren, sin locomotora, haría perfectamente el recorrido desde Leningrado hasta Moscú. El viaje en una dirección duraría, según los cálculos, lo mismo que en el caso de la caída al pozo perforado siguiendo el diámetro de la Tierra, es decir, 42 minutos y 12 segundos. Aunque parezca extraño, la duración no depende de la longitud del túnel. El viaje por el túnel Moscú-Leningrado duraría lo mismo que por un túnel Moscú-Vladivostok o Moscú-Melbourne⁶.

Lo mismo ocurriría con cualquier otro carruaje, fuera una vagoneta, un coche, un automóvil, etc. En realidad sería un camino ideal que, permaneciendo inmóvil, haría que todos los carruajes marchasen por él, de un extremo al otro, con extraordinaria rapidez.

¿Como Se Hacen Los Tuneles?

En la fig. 49 se muestran tres procedimientos de trazar túneles, ¿por cuál de los tres se consigue que el túnel sea horizontal?

Ni por el primero ni por el tercero. Por el de en medio, en que el túnel tiene forma de arco y en todos sus puntos forma ángulos rectos con la dirección de las líneas verticales (es decir, con los radios de la Tierra). Este es el túnel horizontal; su curvatura es igual que la de la superficie de la Tierra.

⁶ También se puede demostrar otra propiedad muy interesante del pozo sin fondo que consiste en que la duración de cada oscilación no depende de las *dimensiones* del planeta, sino exclusivamente de su *densidad*.



Fig. 49. Tres procedimientos de hacer un túnel a través de una montaña.

Los grandes túneles se hacen generalmente como indica el dibujo superior de la fig. 49, es decir, siguiendo las líneas rectas tangentes a la superficie de la Tierra en los puntos extremos del túnel. Los túneles de este tipo *se elevan* al principio un poco y luego *descienden*. Tienen la ventaja de que el agua no se acumula en ellos, sino que corre hacia los extremos. Si el túnel se hiciera estrictamente horizontal y fuera largo, tendría forma de arco. El agua no tendría a salir de él, puesto que en cada uno de sus puntos se encontraría en equilibrio. Cuando un túnel de éstos tiene más de 15 km de largo (el del Simplón tiene 20 km), mirando desde un extremo no se ve el otro, porque la visual se topa con el techo, debido a que el punto medio del túnel se eleva más de 4 m sobre el nivel de sus puntos extremos.

Finalmente, si el túnel se hace siguiendo una línea recta que una los puntos extremos, presentará un pequeño *declive* desde sus bocas hacia el centro. El agua en vez de salir de él se acumulará en su centro, que será la parte más baja. Pero desde una entrada podremos ver la otra. Los dibujos adjuntos facilitan la comprensión de lo expuesto⁷.

⁷ De lo dicho se deduce que todas las líneas horizontales son *curvas*, mientras que las verticales son rectas.

Capítulo Quinto

VIAJE EN UN PROYECTIL DE CAÑÓN

Como resumen de nuestras charlas sobre las leyes del movimiento y de la gravedad, vamos a analizar el viaje fantástico a la Luna que de una manera tan amena relató Julio Verne en sus novelas "De la Tierra a la Luna" y "Alrededor de la Luna". Ustedes recordarán, naturalmente, que los miembros del Club de los cañones de Baltimore, condenados a la inactividad después de terminar la guerra en América del Norte, decidieron fundir un cañón colosal, cargarlo con un proyectil hueco enorme, tripulado por algunos pasajeros, y por medio de un disparo lanzar este vagón-proyectil a la Luna.

Esta idea, ¿es realmente fantástica? Ante todo, ¿se le puede comunicar a un proyectil la velocidad suficiente para que abandone para siempre la superficie de la Tierra?

EL MONTE DE NEWTON

Concedamos la palabra al genial descubridor de la ley de la gravitación universal, a Newton. En sus "Principios matemáticos de la Física" dice¹:

"Cuando tiramos una piedra la acción de la gravedad la desvía de su camino rectilíneo y la obliga a caer en la superficie de la Tierra describiendo una línea curva. Si lanzamos la piedra con más velocidad caerá más lejos. Por lo tanto, puede ocurrir que describa un arco de diez, cien, mil millas y que, finalmente, se salga de los límites de la Tierra y no vuelva más. Supongamos que AFB (fig. 50) representa la superficie de la Tierra, que C es su centro y que UD , UE , UF y UG son las curvas que describe un cuerpo lanzado horizontalmente desde un monte muy alto, con una velocidad cada vez mayor.



Fig. 50. Así deberían caer las piedras que se

¹ La libertad con que se ha hecho la traducción de esta cita tiene por objeto facilitar su comprensión.

lanzarán horizontalmente y con una velocidad enorme desde la cumbre de una montaña.

La resistencia de la atmósfera no la tendremos en cuenta, es decir, supondremos que no existe en absoluto. Cuando la velocidad inicial es pequeña, el cuerpo describe la curva UD, cuando dicha velocidad es mayor describirá la curva UE y a velocidades todavía mayores recorrerá las curvas UF y UG. A una velocidad determinada el cuerpo dará la vuelta a la Tierra y volverá al vértice del monte de donde fue lanzado. Como, en este caso, la velocidad del cuerpo al regresar a su punto de partida no será *menor* que al principio, este cuerpo continuará moviéndose por la misma curva".

Si en este monte imaginario hubiera un cañón, un proyectil lanzado por él a una velocidad determinada no volvería a caer nunca sobre la Tierra sino que seguiría dando vueltas alrededor de ella sin detenerse. Por medio de un cálculo bastante sencillo² se puede hallar que esto deberá ocurrir cuando el proyectil tenga una velocidad de cerca de 8 km por segundo. En otras palabras, si un cañón lanza un proyectil con la velocidad inicial de ocho kilómetros por segundo, este proyectil abandonará para siempre la superficie de la Tierra y se convertirá en satélite de nuestro planeta. Su velocidad será entonces 17 veces mayor que la de cualquier punto del ecuador y dará una vuelta completa a la Tierra en 1 hora y 24 minutos. Si al proyectil se le comunica una velocidad mayor girará alrededor de la Tierra, pero ya no describirá una circunferencia, sino una elipse más o menos alargada, y se alejará del planeta hasta una distancia enorme. Una velocidad inicial todavía mayor puede hacer que el proyectil se aleje para siempre de la Tierra en el espacio cósmico. Esto deberá suceder cuando la velocidad inicial sea, aproximadamente, de 11 km por segundo. (En todos estos casos se tienen en cuenta proyectiles que se mueven en un espacio *sin aire*, no en la atmósfera.)

Sabiendo esto, veamos si es posible realizar el viaje a la Luna con los medios que proponía Julio Verne. Los cañones modernos comunican a sus proyectiles velocidades que no pasan de dos kilómetros en el primer segundo. Esto es, cinco veces menores que la necesaria para que un cuerpo pueda volar hacia la Luna. Los personajes de la novela pensaban que construyendo un cañón colosal y cargándolo con una cantidad enorme de explosivos podrían conseguir la velocidad suficiente para lanzar el proyectil a la Luna.

El Cañon Fantástico

Ya están los miembros del Club de los cañones fundiendo su colosal cañón, de un cuarto de kilómetro de largo, enterrado verticalmente. Al mismo tiempo se hace el enorme proyectil, en cuyo interior se encuentra el camarote para la tripulación. Este proyectil pesa 8 t. El cañón se carga con 160 t de algodón pólvora. Después del disparo el proyectil, si creemos al novelista, adquiere una velocidad de 16 km por segundo, pero debido al rozamiento con la atmósfera esta velocidad disminuye hasta 11 km. De esta forma, el proyectil de Julio Verne se encontrará fuera de la atmósfera con una velocidad suficiente para llegar a la Luna.

Esto es lo que dice la novela. Veamos lo que dice la Física.

El punto vulnerable del proyecto de Julio Verne no es generalmente el que despierta las sospechas del lector. En primer lugar, se puede demostrar (yo así lo he hecho en el libro "Viajes Interplanetarios") que

² Véase "Física Recreativa" libro I, cap. II.

los cañones a base de pólvora no podrán nunca comunicar a los proyectiles una velocidad mayor de 3 km por segundo.

Julio Verne tampoco calculó bien la resistencia del aire, que a una velocidad tan enorme debe ser muy grande y capaz de cambiar por completo el cuadro del vuelo. Pero aparte de esto existen motivos muy serios para no estar de acuerdo con el proyecto de vuelo a la Luna en un proyectil de cañón.

El principal motivo de preocupación es la suerte de los propios pasajeros. Esto no quiere decir que les amenace un peligro durante el vuelo de la Tierra a la Luna. Si consiguieran estar vivos en el momento de salir del alma del cañón, en adelante no tendrían nada que temer. La enorme velocidad con que el vagón y sus pasajeros surcarían el espacio sería para éstos tan inofensiva como lo es para los habitantes de la Tierra la velocidad, aún mayor, con que ésta se mueve alrededor del Sol.

Un Sombrero Bastante Pesado

Los momentos más peligrosos para nuestros viajeros serían las centésimas de segundo durante las cuales el vagón proyectil avanza dentro el alma del cañón. Porque durante este intervalo tan pequeño de tiempo la velocidad con que cada pasajero se mueve dentro del cañón debe aumentar desde cero hasta 16 km/seg. Por eso es comprensible la inquietud con que esperaban el disparo. Barbicane tenía mucha razón cuando aseguraba que el momento en que el proyectil sea disparado será tan peligroso para sus tripulantes como si en vez de estar dentro estuvieran delante de él.

Efectivamente, en el momento del disparo, la plataforma inferior del camarote dará un golpe a los pasajeros, desde abajo, cuya fuerza será la misma que tendría el choque del proyectil con cualquier cuerpo que encontrase en su camino. Los personajes de la novela le concedieron demasiado poca importancia a este peligro, pensando que en el peor de los casos sufrirían un aflujo de sangre a la cabeza.

Pero el asunto es mucho más serio. El proyectil avanza por el alma del cañón aceleradamente, su velocidad aumenta por la constante presión de los gases que se producen durante la explosión. En el transcurso de una fracción insignificante de segundo esta velocidad aumenta desde 0 hasta 16 km/seg. Supongamos, para simplificar, que este incremento de la velocidad se produce uniformemente. En este caso, la aceleración, necesaria para hacer que el proyectil adquiriera en un lapso de tiempo tan insignificante la velocidad de 16 km/seg, alcanza, en números redondos, la cifra de 600 km por segundo cada segundo.

El significado fatal de esta cifra se comprende perfectamente si recordamos que la aceleración ordinaria de la gravedad en la superficie de la Tierra es solamente de 10 m por segundo cada segundo³. De aquí se deduce, que cada objeto que se encuentre dentro del proyectil en el momento del disparo deberá ejercer una presión sobre el fondo del camarote que será 60.000 veces mayor que su propio peso. En otras palabras, los pasajeros se sentirían como si fueran varias decenas de millares de veces más pesados. Esta presión tan colosal los aplastaría en el acto. Nada más que el sombrero de copa de mister Barbicane pesaría en el momento del disparo unas 15 toneladas (¡el peso de un vagón de ferrocarril cargado!). Este sombrerito sería mas que suficiente para aplastar a su dueño.

³ Puedo añadir, que la aceleración de un automóvil de carreras al comenzar su rápido movimiento no excede de 2 ó 3 m por segundo cada segundo, y la aceleración de un tren, al salir suavemente de la estación, es de 1 m por segundo cada segundo.

Es verdad que en la novela se describen algunas medidas tomadas para amortiguar el golpe. La bala se supone provista de amortiguadores de muelles y de un doble fondo lleno de agua. Esto hace que la duración del golpe sea un poco mayor y, por consiguiente, que el aumento de la velocidad sea algo más lento. Pero las fuerzas que actúan son tan enormes, que la ventaja que se obtiene con estos dispositivos resulta irrisoria. La fuerza que oprime a los pasajeros contra el suelo disminuiría insensiblemente y, en fin de cuentas, ¡qué más da morir aplastado por un sombrero de 15 toneladas o por uno de 14!

¿Como Se Puede Debilitar La Sacudida?

La Mecánica enseña cómo se puede suavizar la rapidez fatal con que aumenta la velocidad. Esto se puede conseguir *alargando el cañón*. Pero si se quiere que en el momento del disparo la fuerza de la "gravedad" artificial, dentro del proyectil, sea igual a la gravedad ordinaria en la Tierra, el alargamiento del cañón tiene que ser muy grande. Un cálculo aproximado demuestra que para esto habría que hacer un cañón que tuviera, ni más ni menos, que ... ¡6.000 km! En otras palabras, el cañón de Julio Verne debería llegar hasta el mismo centro de la Tierra. En este caso los pasajeros podrían sentirse libres de molestias, puesto que a su peso normal se sumaría otro igual aparente, debido al aumento paulatino de la velocidad, que haría que se sintiesen nada más que dos veces más pesados. El organismo humano puede soportar, durante cortos espacios de tiempo, aumentos de la gravedad de hasta varias veces su peso. Cuando nos deslizamos por una pendiente de hielo en un trineo y cambiamos de dirección rápidamente, hay un instante en que nuestro peso aumenta considerablemente, es decir, nuestro cuerpo se aprieta contra el trineo más que de ordinario. Los aumentos de dos o tres veces de peso se soportan relativamente bien. Admitiendo que el hombre puede aguantar, sin perjuicio para su salud, un breve aumento de la gravedad de hasta diez veces su peso (ésta es la sobrecarga que experimentaron los cosmonautas al despegar. - *La Red.*), tendremos que será suficiente hacer un cañón que tenga 600 km de largo "solamente". Pero esto no es un consuelo, puesto que la fabricación de un artefacto semejante supera nuestras posibilidades técnicas. Estas son las condiciones en que tendría sentido la realización del proyecto de Julio Verne de hacer un viaje a la Luna en un proyectil de cañón⁴.

Para Los Amigos De Las Matematicas

Entre los lectores de este libro estoy seguro que habrá algunos que quieran comprobar los cálculos de que hemos hablado en el párrafo anterior. Aquí reproducimos estos cálculos. Pero advertimos que son aproximados solamente, ya que se basan en la suposición de que el proyectil avanza dentro del ánima

⁴ Cuando Julio Verne describió las condiciones que se daban dentro del proyectil en vuelo, se olvidó de un factor muy importante. De esto se habla en el libro primero de "Física Recreativa". El novelista no tuvo en cuenta que, después del disparo, durante todo el viaje, los objetos que hubiera dentro del proyectil se harían completamente ingravidos, ya que la gravedad comunicaría al proyectil y a todos los cuerpos que iban en él la misma aceleración (véase, también, más adelante, el artículo titulado "El capítulo que le falta a la novela Julio Verne").

del cañón con movimiento uniformemente acelerado (en realidad este aumento de la velocidad no es uniforme).

En estos casos hay que utilizar las dos fórmulas del movimiento uniformemente acelerado siguientes: la de la velocidad v , que al cabo de t segundos será igual a at, donde a es la aceleración:

$$v = at$$

y la del camino S recorrido durante t segundos, que viene determinado por la fórmula

$$S = at^2/2$$

Con estas fórmulas hallamos, en primer lugar, la aceleración del proyectil mientras se deslizaba por el alma del cañón.

La novela nos informa de que la parte del cañón no ocupada por la carga tenía una longitud de 210 m; éste es el camino S recorrido por el proyectil.

También conocemos la velocidad final $v=16.000$ m/seg. Estos datos (S y v) nos permiten hallar t , es decir, el tiempo que el proyectil tarda en recorrer el ánima del cañón (considerando que lo hace con movimiento uniformemente acelerado). De aquí tenemos que:

$$v=at=16.000, \quad 210=S=at^2/2=16.000t/2=8.000 t,$$

de donde $t=210/8.000$ aproximadamente a $1/40$ seg, es decir, el proyectil tarda en recorrer el cañón ... ¡ $1/40$ segundos!

Poniendo $t=1/40$ en la fórmula $v=at$, tenemos:

$$16.000=1/40 a, \text{ de donde } a=640.000 \text{ m/seg}^2.$$

Esto quiere decir que la aceleración del proyectil mientras recorría el cañón fue de 640.000 m/seg², es decir, 64.000 veces mayor que la aceleración de la gravedad. ¿Qué longitud debería tener el cañón para que la aceleración del proyectil fuera nada más que 10 veces mayor que la aceleración de los cuerpos que caen (es decir, igual a 100 m/seg²)?

Este problema es el inverso del que acabamos de resolver. Los datos son: $a=100$ m/seg² y $v=11.000$ m/seg (esta velocidad es suficiente si no existe la resistencia de la atmósfera).

Por la fórmula $v=at$ tenemos: $11.000=100 t$, de donde $t=110$ seg.

Por la fórmula $S=at^2/2=at \cdot t/2$ obtenemos que la longitud del cañón deberá ser igual a

$$11.000 \cdot 110/2=605.000 \text{ m, es decir, } 605 \text{ km.}$$

Estos cálculos dan las cifras que destruyen planes tan seductores como los que tenían los héroes de Julio Verne⁵.

⁵ Los razonamientos y cálculos que se hacen este capítulo son justos. El problema de los viajes del hombre a la Luna y a otros planetas es evidente que se resolverá por medio de cohetes.

(N.de la R.)

Capítulo Sexto

PROPIEDADES DE LOS LIQUIDOS Y LOS GASES

Un Mar en El Que No Se Puede Ahogar Nadie

Este mar existe y se encuentra en un país que conoce la humanidad desde los tiempos más remotos. Se trata del célebre Mar Muerto de Palestina. Sus aguas son extraordinariamente saladas, hasta tal punto que en él no puede existir ningún ser vivo. El clima caluroso y seco de Palestina hace que se produzca una evaporación muy intensa en la superficie del mar. Pero se evapora agua pura, mientras que la sal se queda en el mar y va aumentando la salinidad de sus aguas. Esta es la razón de que las aguas del Mar Muerto contengan no un 2 ó 3 por ciento (en peso) de sal, como la mayoría de los mares y océanos, sino un 27 o más por ciento. Esta salinidad aumenta con la profundidad. Por lo tanto, una cuarta parte del contenido del Mar Muerto está formada por la sal que hay disuelta en el agua. La cantidad total de sal que hay en este mar se calcula en 40 millones de toneladas.

La gran salinidad del Mar Muerto determina una de sus peculiaridades, que consiste en que sus aguas son mucho más pesadas que el agua de mar ordinaria. Hundirse en estas aguas es imposible. El cuerpo humano es más liviano que ellas.

El peso de nuestro cuerpo es sensiblemente menor que el de un volumen igual de agua muy salada y, por consiguiente, de acuerdo con la ley de la flotación, el hombre no se puede hundir en el Mar Muerto, al contrario, flota en su superficie lo mismo que un huevo en agua salada (aunque en el agua dulce se hunde).

Mark Twain estuvo en este lago-mar y después escribió humorísticamente las extrañas sensaciones que él y sus compañeros experimentaron bañándose en sus aguas:

"Fue un baño muy divertido. No nos podíamos hundir. Se podía uno tumbar a lo largo sobre la espalda y cruzar los brazos sobre el pecho y la mayor parte del cuerpo seguía sobre el agua. En estas condiciones se podía levantar la cabeza por completo. Se puede estar tumbado cómodamente sobre la espalda, levantar las rodillas hasta el mentón y abrazarlas con las manos. Pero en este caso se da la vuelta, porque la cabeza resulta más pesada. Si se pone uno con la cabeza hundida y los pies para arriba, desde la mitad del pecho hasta la punta de los pies sobresale del agua; claro que en esta posición no se puede estar mucho tiempo. Si se intenta nadar de espaldas no se avanza casi nada, ya que las piernas no se hunden en el agua y sólo los talones encuentran apoyo en ella. Si se nada boca abajo no se va hacia adelante, sino hacia atrás. En el Mar Muerto el equilibrio del caballo es muy inestable, no puede ni nadar ni estar derecho, inmediatamente se tumba de costado".

En la fig. 51 se puede ver un bañista que descansa comodísimamente sobre las aguas del Mar Muerto. El gran peso específico del agua le permite estar en esta posición, leer el libro y protegerse con la sombrilla de los ardientes rayos del Sol.

El agua de Kara-Bogas-Gol (golfo del Mar Caspio)¹ tiene estas mismas propiedades y las del lago Eltón no son menos saladas, puesto que contienen un 27% de sal.

¹ El peso específico de las aguas del golfo Kara-Bogas-Gol es 1,18. "En un agua tan densa como ésta se puede nadar sin ningún esfuerzo, y es imposible hundirse sin faltar al principio de Arquímedes"- señalaba refiriéndose a estas aguas el investigador A. D. Pellsh.

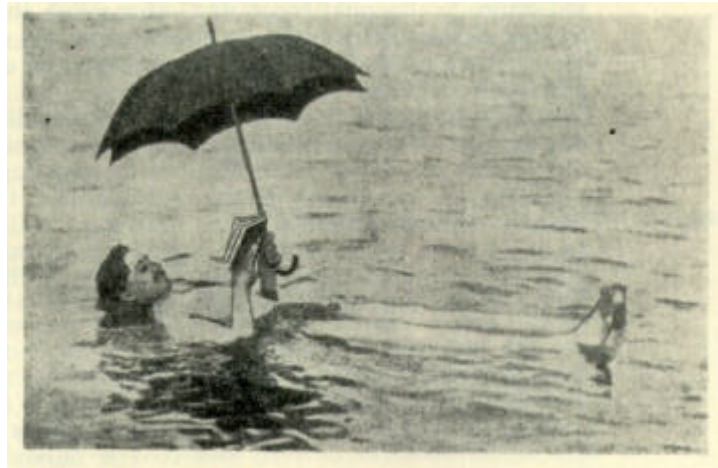


Fig. 51. Un bañista en el Mar Muerto (reproducción de una fotografía).

Algo parecido sienten los enfermos que toman baños salinos. Cuando la salinidad del agua es muy grande, como ocurre, por ejemplo, con las aguas minerales de Staraiia Russa, los enfermos tienen que hacer no pocos esfuerzos para mantenerse en el fondo del baño. Yo he oído como una señora que tomó los baños de Staraiia Russa se quejaba de que el agua "la echaba materialmente fuera del baño". Según ella la culpa de esto la tenía ... la administración del balneario.

El grado de salinidad de las aguas de los distintos mares oscila un poco y a esto se debe que los barcos no se sumerjan en ellas hasta un mismo sitio. Algunos de nuestros lectores habrán visto el signo que llevan los barcos cerca de la línea de flotación, llamado "marca de Lloyd", que sirve para indicar el nivel límite de la línea de flotación en aguas de distinta densidad. Por ejemplo, la marca representada en la fig. 52 indica los niveles límite de la línea de flotación siguientes:

en agua dulce (Fresh Water)	FW
en el Océano Índico (India Summer)	IS
en agua salada en verano (Summer)	S
en agua salada en invierno (Winter)	W
en el Atlántico del norte en invierno (Winter North Atlantik)	WNA

Antes de terminar este artículo quiero advertir que existe una variedad de agua que aún estando pura, es decir, sin contener otros cuerpos, es sensiblemente más pesada que la ordinaria. Este agua tiene un peso específico de 1,1, es decir, es un 10% más pesada que la común, por consiguiente, en una piscina con agua de este tipo lo más probable es que no se ahogue nadie, aunque los que se bañen no sepan nadar. Este agua se llama agua "pesada" y su fórmula química es D_2O (el hidrógeno que entra en su composición está formado por átomos dos veces más pesados que los del hidrógeno ordinario. Este hidrógeno se designa con la letra D). El agua "pesada" se encuentra disuelta en el agua común en cantidades muy pequeñas. Un cubo de agua potable contiene cerca de 8 g de agua "pesada".

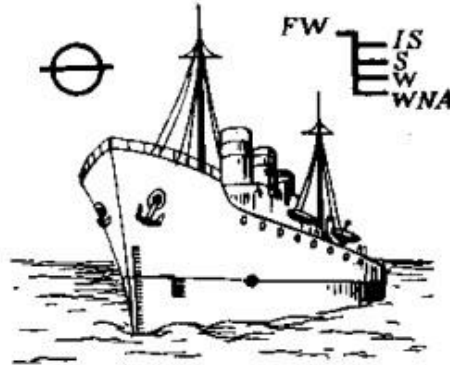


Fig. 52. Disco de carga máxima en el costado de un buque. Las marcas se hacen al nivel de la línea de flotación. Para que se vean mejor se muestran aparte aumentadas. El significado de las letras se explica en el texto.

El agua pesada de fórmula D_2O (hay 17 tipos de agua pesada, cuyas composiciones son distintas) se obtiene actualmente casi pura, puesto que la cantidad de agua ordinaria que hay en ella constituye aproximadamente un 0,05%. Este agua se emplea mucho en la técnica atómica, especialmente en los reactores atómicos. Se obtiene en grandes cantidades del agua ordinaria por procedimientos industriales.

[Volver al inicio](#)

¿Como Funciona Un Rompehielos?

Si cuando tomamos el baño, antes de abandonar la bañera, destapamos el agujero de desagüe y seguimos tumbados en el fondo, notaremos que a medida que baja el agua y que nuestro cuerpo va saliendo de ella nos hacemos más pesados. De esta forma podemos convencernos de que el peso que pierde un cuerpo al sumergirse en el agua (recordemos qué ligeros nos sentimos en el agua) vuelve a reaparecer en cuanto dicho cuerpo se encuentra fuera de ella. Cuando una ballena hace involuntariamente este experimento, quedándose varada durante una bajamar, las consecuencias son fatales para ella. Resulta aplastada por su monstruoso peso. No es, pues, casual que las ballenas vivan en el elemento acuático, cuyo empuje las libra de la acción desastrosa de la gravedad.

Lo que acabamos de decir guarda estrecha relación con el encabezamiento del presente artículo. El funcionamiento del rompehielos se basa en este mismo principio físico. La parte del buque sacada del agua deja de estar equilibrada por el empuje de ésta y adquiere su peso "en seco". No hay que creer que los rompehielos cortan el hielo sobre la marcha, ejerciendo sobre él una presión continua con su proa, es decir, con la roda. Así funcionan *los cortahielos*. Pero este procedimiento sirve únicamente cuando el hielo tiene un espesor relativamente pequeño.

Los verdaderos rompehielos marítimos, como, por ejemplo, los célebres en su tiempo "Krasin" y "Ermak" o los modernos, como el rompehielos atómico "Lenin", funcionan de otra forma. Estos rompehielos tienen unas máquinas muy poderosas que les permiten montar sobre la superficie del hielo toda la parte de la proa, que para esto precisamente se hace muy sesgada debajo del agua. Cuando la proa del barco sale del agua recobra todo su peso y esta enorme carga (que en el "Ermak", por

ejemplo, era de 800 t) presiona sobre el hielo y lo rompe. Los rompehielos tienen generalmente unas cisternas especiales a proa, que llenas de agua ("lastre líquido") sirven para intensificar la acción rompedora del buque.

Por este procedimiento trabaja el rompehielos mientras que el espesor del hielo no pasa de medio metro. Los hielos más poderosos se vencen *por percusión* del barco sobre ellos. El rompehielos retrocede, toma impulso y embiste con toda su masa el borde del hielo. En este caso lo que actúa no es el peso, sino la energía cinética del buque en movimiento. El rompehielos se transforma en una especie de proyectil de pequeña velocidad, pero de enorme masa, o en un ariete. Los bancos de hielo de varios metros de altura se rompen por la energía de los repetidos golpes que reciben de la sólida proa del rompehielos.

N. Markov, marino polar que participó en la célebre expedición del rompehielos "Sibiriakov" en el año 1932, describe el trabajo de este buque de la manera siguiente:

"Entre centenares de montañas de hielo y en medio de una capa helada continua dio comienzo la lucha del "Sibiriakov". La flecha del telégrafo de máquinas estuvo 52 horas seguidas saltando desde "atrás a toda máquina" a "adelante a toda máquina". Durante trece turnos marinos de cuatro horas el "Sibiriakov" tomaba impulso y penetraba en el hielo desmenuzándolo con su proa, se montaba en él, lo rompía y volvía a retroceder. Abrirse paso en un hielo que tenía tres cuartos de metro de espesor era difícil. A cada golpe avanzábamos en una tercera parte del casco".

La URSS posee los rompehielos más grandes y poderosos del mundo. El primer rompehielos atómico, el "Lenin", es capaz de avanzar sin detenerse por hielo de dos metros de espesor. Su reactor atómico le permite navegar varios años sin recargar combustible. En los próximos años se van a construir en la Unión Soviética otros rompehielos atómicos.

[Volver al inicio](#)

¿Dónde Están Los Barcos Hundidos?

Existe el criterio, incluso entre los hombres de mar, de que los barcos que se hunden en el océano no llegan al fondo, sino que permanecen como suspendidos entre dos aguas a cierta profundidad, donde el agua "está comprimida por la presión de las capas superiores".

Este criterio era, por lo visto, compartido por el autor de "Veinte mil leguas de viaje submarino", puesto que en uno de sus capítulos Julio Verne describe un barco hundido que se encontraba inmóvil como suspendido en el agua, y en otro, recuerda los barcos que "se pudren manteniéndose libremente dentro del agua".

¿Es verdad esta afirmación?

Al parecer existe cierto fundamento para ella, puesto que la presión del agua en las profundidades del océano alcanza realmente grados muy elevados. A la profundidad de 10 m la presión del agua es igual a 1 kg por cada centímetro cuadrado del cuerpo sumergido. A 20 m de profundidad esta presión es ya de 2 kg; a 100 m, de 10 kg y a 1.000 m, de 100 kg. La profundidad del océano es de varios kilómetros en muchos sitios y en las partes más profundas del Océano Pacífico llega a 11 km (en la fosa de las Marianas). Es fácil calcular la enorme presión que debe experimentar el agua y los objetos sumergidos en ella en estas profundidades tan grandes.

Si una botella vacía y tapada se sumerge hasta bastante profundidad y se extrae luego, resulta que la presión del agua mete el tapón dentro de la botella y ésta se llena de agua. El eminente oceanógrafo John Murray, en su libro "Océano", cuenta que se hizo el siguiente experimento: tres tubos de vidrio de

distintas dimensiones, soldados por ambos extremos, se envolvieron en un lienzo, se colocaron en un cilindro de cobre con orificios para que el agua pudiera entrar libremente y fueron sumergidos hasta la profundidad de 5 km. Cuando sacaron el cilindro, el lienzo estaba lleno de una masa que parecía nieve. Esto es lo que quedó de los tubos de vidrio. Unos trozos de madera sumergidos hasta una profundidad semejante, cuando los sacaron estaban tan comprimidos que se hundían en el agua como si fueran ladrillos.

Parecía natural esperar que una presión tan monstruosa debería condensar hasta tal punto el agua en las grandes profundidades, que ni los objetos pesados se hundirían hasta el fondo, lo mismo que una pesa no se hunde en el mercurio. Pero esta opinión carece de fundamento. La experiencia demuestra que el agua, lo mismo que los demás líquidos, apenas si cede a la presión. El agua sometida a una presión de 1 kg por 1 cm² se comprime solamente en una fracción de su volumen igual a 1/22.000. Si se sigue aumentando la presión, la compresión por kilogramo sigue siendo aproximadamente la misma. Si se quiere que el agua tenga la densidad necesaria para que el hierro flote en ella, hay que comprimirla hasta que su volumen sea 8 veces menor. Para conseguir que su volumen se reduzca a la mitad se necesita una presión de 11.000 kg por cm² (si la medida de compresión antedicha se cumpliera a tan grandes presiones). Esta presión es la correspondiente a una profundidad de 110 km bajo el nivel del océano. De aquí se deduce, que es inútil hablar de cualquier condensación sensible del agua en las profundidades de los océanos. En los sitios más profundos, la condensación del agua es igual a 1.100/22.000, es decir, de un veintavo de su densidad normal, o sea, de un 5%². Esto casi no puede influir en las condiciones de flotación de los diversos cuerpos, tanto más, cuando los objetos sólidos sumergidos en este agua están sometidos a esta misma presión y, por consiguiente, también se condensan.

Por esto no cabe la menor duda de que los barcos hundidos se encuentran en el fondo del océano. "Todo lo que se hunde en un vaso de agua - dice Murray -, debe irse al fondo del océano más profundo".

Yo he tenido ocasión de escuchar la siguiente objeción a lo antedicho: Si un vaso se introduce en el agua *boca abajo*, con precaución, puede quedarse en esta posición, puesto que desaloja un volumen de agua cuyo peso es igual al del vaso. Un vaso metálico más pesado puede mantenerse en una posición semejante a un nivel más bajo que el del agua, sin llegar a bajar hasta el fondo. De la misma forma parece natural que pueda quedarse entre dos aguas un crucero o un buque cualquiera que se hunda con la quilla hacia arriba. Y si en algunos compartimentos del buque queda aire encerrado, el buque se sumergirá hasta una profundidad determinada y se quedará allí. En realidad no son pocos los barcos que se van a pique invertidos y es posible que algunos de ellos no lleguen al fondo, sino que se queden suspendidos entre las oscuras profundidades del océano. Sería suficiente un leve impulso para hacer que cualquiera de estos barcos perdiera el equilibrio, diera la vuelta, se llenara de agua y se fuera al fondo, pero, ¿de dónde puede proceder un impulso en las profundidades del océano? Aquí reina eternamente el silencio y la quietud; hasta aquí no llegan ni los ecos de las tormentas.

Todos estos argumentos se basan en un error físico. *Ningún vaso puede penetrar solo* en el agua estando invertido, para que esto ocurra tiene que intervenir una *fuerza exterior*, lo mismo que para hacer que se hunda un trozo de madera o una botella vacía tapada. De la misma forma, ningún barco

² El físico inglés Tate calculó, que si dejara de existir de repente la gravedad y el agua se hiciera imponderable, el nivel de los océanos subiría, por término medio, en 35 m (como consecuencia de que el agua comprimida recobraría su volumen normal). "El océano inundaría 5.000.000 km² de tierras firmes, que deben su existencia como tales a la compresibilidad de las aguas de los océanos que las rodean" (Berget).

con la quilla hacia arriba se va a pique: en esta posición seguirá flotando en la superficie del agua. Si el buque se hunde no se puede quedar en la mitad del camino entre el nivel del mar y su fondo.

[Volver al inicio](#)

Como Se Realizaron Los Sueños de Julio Verne y De Wells

Los submarinos de hoy no sólo han alcanzado al fantástico "Nautilus" de Julio Verne, sino que incluso lo han superado. Es verdad que la velocidad de los cruceros submarinos actuales es la mitad de la del "Nautilus", es decir, de 24 nudos contra 50 que tenía el de Julio Verne (un nudo es igual a 1,8 km por hora). El trayecto más largo recorrido por un submarino moderno es la vuelta al mundo, mientras que el capitán Nemo realizó un viaje dos veces más largo. Pero el "Nautilus" tenía un desplazamiento de 1.500 t solamente, su tripulación la formaban dos o tres decenas de hombres y podía mantenerse debajo del agua no más de 48 horas seguidas. El crucero submarino "Surcouf", construido en Francia en el año 1929, tenía un desplazamiento de 3.200 t, una tripulación de 150 hombres y era capaz de permanecer debajo del agua hasta 120 horas seguidas³.

La travesía desde los puertos franceses hasta la isla de Madagascar fue realizada por este crucero submarino sin entrar en ningún puerto. Los compartimentos habitables del "Surcouf" quizá no fueran menos cómodos que los del "Nautilus". Pero el "Surcouf" tenía una ventaja indudable sobre el buque del capitán Nemo. Sobre la cubierta de este crucero submarino había un angar impermeable en el que se alojaba un hidroavión de exploración. El "Nautilus" carecía de periscopio, aparato que permite observar el horizonte estando sumergido.

Sólo hay un aspecto en el que los submarinos reales tardarán mucho en alcanzar la creación de la fantasía del novelista francés. No referimos a la profundidad de inmersión. No obstante, hay que advertir que en este aspecto la fantasía de Julio Verne se sale de los límites de la verosimilitud. "El capitán Nemo - leemos en una parte del libro -, descendió hasta tres, cuatro, cinco, siete, nueve y diez mil metros de profundidad bajo la superficie del océano". En una ocasión el "Nautilus" bajó a una profundidad extraordinaria ... ¡hasta 16 mil metros! "Yo sentía - relata el héroe de la novela - cómo temblaban los sujetadores del revestimiento de hierro del submarino, cómo flexionaban sus riostras, cómo cedían hacia adentro las ventanas forzadas por la presión del agua. Si nuestro buque no tuviera la resistencia de un cuerpo de fundición macizo, la presión lo aplastaría en el acto".

Este temor era realmente fundado, puesto que a 16 km de profundidad (si existiera esta profundidad en algún océano) la presión del agua debería alcanzar la cifra de

$$16.000:10 = 1.600 \text{ kg por } 1 \text{ cm}^2$$

ó 1.600 atmósferas técnicas. Esta presión no trituraría al hierro, pero indudablemente aplastaría al submarino. Pero la Oceanografía moderna desconoce la existencia de semejantes profundidades. No

³ En la actualidad un submarino con propulsión atómica le da al hombre la posibilidad de elegir cualquier camino en las casi desconocidas profundidades de los mares y océanos. Sus casi inagotables reservas de energía permiten recorrer enormes trayectos sin emerger. En el año 1958 (desde el 22 de julio hasta el 5 de agosto) el submarino atómico norteamericano "Nautilus" realizó sumergido la travesía desde el Mar de Bering hasta Groenlandia, pasando por la región del Polo Norte. Los submarinos atómicos también han hecho posible el viaje alrededor del mundo sin salir a flote. (*N. de la R.*)

obstante, en la época de Julio Verne (la novela está escrita en el año 1869) existía esta idea exagerada de las profundidades marinas, que era debida a la imperfección de los procedimientos que se empleaban para medir dichas profundidades. En aquellos tiempos las sondalezas iban sujetas no con alambre, sino con cuerdas de cáñamo. Estas sondas eran retenidas por el frotamiento con el agua, que aumentaba al aumentar la profundidad. A grandes profundidades este rozamiento aumentaba tanto, que la sonda no se hundía más por más cuerda que se soltase. Esta última se enredaba, dando la impresión de que la profundidad era enorme.

Los buques submarinos de hoy pueden soportar presiones poco mayores de 30 atmósferas. Esto determina que su profundidad máxima de inmersión sea de 300 m. Se han podido alcanzar profundidades mucho mayores en unos aparatos especiales llamados "batisferas" que se emplean para el estudio de la fauna de las vorágines oceánicas. Pero estos aparatos no se parecen al "Nautilus" de Julio Verne, sino a la creación de la fantasía de otro novelista, es decir, a la esfera de gran profundidad que Wells describe en su narración "En el fondo del mar". El héroe de esta narración se sumergió hasta el fondo del mar, a una profundidad de 9 km, en una gruesa esfera de acero. Este aparato se sumergía sin cables, pero tenía una carga (lastre) eliminable. Una vez alcanzado el fondo del océano la esfera soltaba el lastre y subía rápidamente a la superficie.

En las batisferas se han conseguido profundidades mayores de 900 m. Estos aparatos se sumergen con un cable desde un buque, con el cual mantienen comunicación telefónica los tripulantes de la esfera. Recientemente se han hecho unos aparatos llamados batiscafos, para la investigación a grandes profundidades, en Francia, bajo la dirección del ingeniero Willm, y en Italia, según el proyecto del profesor belga Piccard (fig. 53).

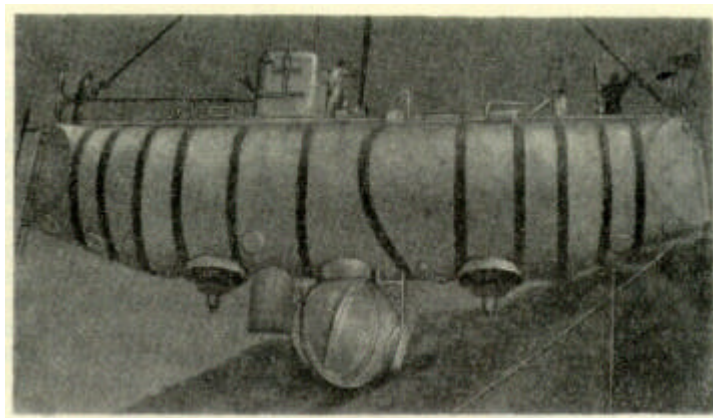


Fig. 53. Batiscafo de Piccard antes de la inmersión (1957).

Estos aparatos se diferencian de las batisferas en que se pueden mover, es decir, navegar a grandes profundidades, mientras que las batisferas permanecían colgadas de cables. Piccard se sumergió primeramente en un batiscafo hasta más de 3 km; después, los franceses Houot y Willm pasaron la siguiente frontera y alcanzaron la profundidad de 4.050 m. En noviembre de 1959 se descendió en batiscafo hasta 5.670 m, pero esto tampoco era el límite. El 9 de enero de 1960 el profesor Piccard hizo una inmersión de hasta 7.300 m y el 23 de enero su batiscafo alcanzó en el fondo de la fosa de las

Marianas la profundidad de ... ¡11,5 km! Según los datos modernos ésta es la mayor profundidad del mundo.

[Volver al inicio](#)

¿Como Se Izó El "Sadko"?

En las amplias extensiones del océano perecen anualmente millares de buques grandes y pequeños, sobre todo en tiempo de guerra. Ultimamente se han comenzado a recuperar ("salvar") del fondo del mar los barcos más valiosos y asequibles. Los ingenieros y buzos soviéticos que forman las "Expediciones para trabajos submarinos especiales" (la sigla rusa es EPRON) se hicieron célebres en el mundo entero por haber recuperado eficazmente más de 150 grandes buques. Uno de los mayores fue el rompehielos "Sadkó", que se hundió el año 1916 en el Mar Blanco por negligencia de su capitán. Después de estar en el fondo del mar 17 años, este magnífico rompehielos fue izado por los operarios de las EPRON y volvió a prestar servicio.

La técnica que se emplea para izar los buques se basa por entero en el principio de Arquímedes. Los buzos hicieron en el fondo del mar, debajo del buque hundido, 12 túneles y a través de ellos hicieron pasar unas bandas de acero fortísimas. Los extremos de estas bandas se sujetaron a unos flotadores, previamente hundidos junto al rompehielos. Este trabajo se realizó a 25 metros de profundidad.

Servían de flotadores (fig. 54) unos cilindros de hierro huecos y estancos que tenían 11 metros de longitud y 5,5 metros de diámetro. Cada uno de estos flotadores pesaba estando vacío 50 t. Su volumen, que se puede calcular fácilmente por las reglas de la Geometría, era de 250 metros cúbicos. Está claro que semejante cilindro vacío debe flotar en el agua, puesto que desaloja 250 t de agua y pesa solamente 50 t. Su poder de elevación será igual a la diferencia entre 250 t y 50 t, es decir, a 200 t. Para que el flotador se hunda no hay más que llenarlo de agua.

Cuando (véase la fig. 54) los extremos de las bandas de acero (bragas) estuvieron bien sujetos a los flotadores hundidos, se comenzó a inyectar aire comprimido en estos últimos. A 25 m de profundidad el agua presiona con una fuerza de $25/10 + 1$ atmósferas, es decir, de tres atmósferas y media. El aire se inyectaba en los flotadores a cerca de 4 atmósferas, por lo tanto, podía expulsar el agua que había en ellos. Los cilindros así aligerados eran empujados por el agua circundante hacia la superficie del mar, con una fuerza enorme. Ascendían en el agua lo mismo que un globo en el aire. Su fuerza de elevación conjunta (los flotadores eran 12) era de $200 * 12$, es decir, de 2.400 t.

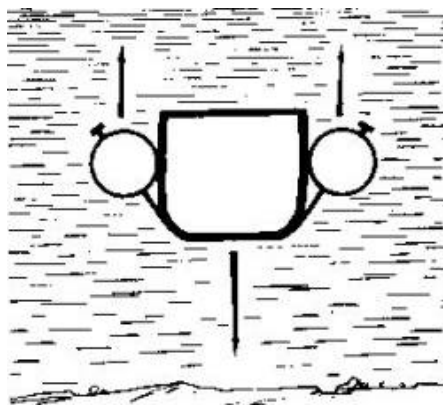


Fig. 54. Esquema del salvamento del rompehielos "Sadkó"; se muestra el corte del rompehielos, los flotadores y las bragas.

Esto excedía el peso del "Sadkó", por lo que los flotadores sólo se vaciaron de agua parcialmente, para que el izado fuera más suave.

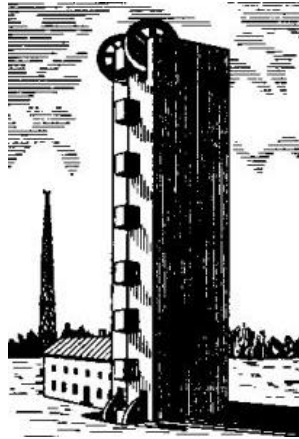


Fig. 55. Proyecto de un supuesto "móvil perpetuo" hidráulico.

A pesar de todo la recuperación solamente se consiguió después de varias tentativas infructuosas. "Cuatro averías sufrió el equipo de salvamento antes de que su empresa se viera coronada por el éxito - escribe T.I. Bobritski, ingeniero naval jefe de las EPRON y director de los trabajos -. Tres veces, cuando esperábamos con impaciencia la aparición del buque, vimos subir, en lugar del rompehielos, los flotadores, que inesperadamente salían a flote envueltos en un caos de olas, espuma y mangas desgarradas que se enrollaban como serpientes. El rompehielos asomó dos veces, pero volvió a desaparecer antes de emerger definitivamente y de quedar a flote".

[Volver al inicio](#)

Un Móvil "Perpetuo" Hidráulico

Entre los muchos proyectos de móvil "perpetuo"(o perpetuum mobile) hay bastantes que se fundan en la emergencia de los cuerpos en el agua. Uno de ellos es el siguiente. Una torre de 20 m de altura está llena de agua. En las partes más alta y más baja de esta torre hay dos poleas unidas entre sí por un cable resistente que hace las veces de correa sin fin. A este cable van sujetos 14 cajones cúbicos de un metro de altura. Estos cajones están hechos de chapas de hierro unidas con remaches y son completamente estancos. Las figs. 55 y 56 representan respectivamente el aspecto exterior de esta torre y su corte longitudinal.

¿Cómo funcionaba este artificio? Todo el que conozca el principio de Arquímedes comprenderá que los cajones que se encuentran dentro del agua tenderán a subir a la superficie. Les obligará a subir una fuerza igual al peso del agua que desalojan, es decir, un metro cúbico de agua multiplicado por el número de cajones que están hundidos en este líquido.

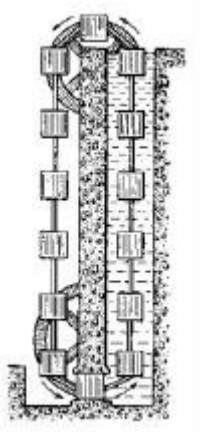


Fig. 56. Corte de la torre de la figura anterior.

Como puede verse en la figura, dentro del agua habrá siempre seis cajones. Por lo tanto, la fuerza que empuja hacia arriba a los cajones será igual al peso de 6 m^3 de agua, es decir, a 6 t. Estos mismos cajones serán arrastrados hacia abajo por su propio peso, pero esta acción está compensada con el peso de los 6 cajones que cuelgan del cable libremente en la parte exterior de la torre.

De esta forma, el cable tendido de la forma antes indicada estará sometido continuamente a una tracción de 6 t, aplicada a uno de sus lados y dirigida hacia arriba. Está claro que esta fuerza obligará al cable a girar ininterrumpidamente, pasando por las poleas, y a cada vuelta podrá realizar un trabajo igual a $6.000 \times 20 = 120.000 \text{ kgm}$.

Si sembramos todo el país de torres de este tipo podemos obtener una cantidad infinita de trabajo, suficiente para cubrir todas las necesidades de la economía nacional. Estas torres podrán hacer girar los rotores de multitud de dinamos y dar cuanta energía eléctrica sea necesaria.

Pero si analizamos bien este proyecto, veremos que el cable no se puede mover en absoluto.

¿Por qué? Pues, porque para que el cable sin fin dé vueltas, los cajones deben entrar en el pozo de agua de la torre por abajo y salir de él por arriba. Pero para poder entrar en el pozo el cajón tiene que *vencer la presión que sobre él ejerce una columna de agua de 20 m de altura*. Como el cajón tiene una superficie lateral de un metro cuadrado, la presión sobre él será igual, ni más ni menos, que 20 t (el peso de 20 m^3 de agua). La tracción hacia arriba es de 6 t solamente, por lo tanto, es insuficiente para hacer que el cajón entre en el pozo.



Fig. 57. Otro proyecto de móvil "perpetuo" hidráulico.

La mayoría de los modelos de móviles "perpetuos" hidráulicos han sido ideados por inventores fracasados, pero entre ellos se pueden encontrar algunas variantes muy sencillas e ingeniosas. Véase, por ejemplo, el modelo representado en la fig. 57. Un tambor de madera sujeto a un eje se encuentra sumergido parcialmente en agua. Si el principio de Arquímedes es cierto, esta parte sumergida del tambor deberá emerger, y si el empuje del agua es mayor que el rozamiento del tambor en el eje, la rotación no deberá interrumpirse jamás. De todos modos, tampoco hay que darse prisa a construir este móvil "perpetuo". El fracaso sería seguro. El tambor ni se movería. ¿Por qué? Porque no hemos tenido en cuenta la dirección en que actúan las fuerzas. Estas últimas estarán dirigidas siempre perpendicularmente a la superficie del tambor, es decir, siguiendo los radios del mismo hacia el eje. Y todos sabemos por experiencia que no es posible hacer girar una rueda aplicándole una fuerza a lo largo de un radio. Para que la rueda gire hay que aplicar la fuerza en dirección perpendicular a su radio, es decir, tangencialmente a la circunferencia. Ahora está claro por qué también en este caso sería un fracaso la construcción del móvil "perpetuo".

El principio de Arquímedes alimentó la imaginación de los buscadores del móvil "perpetuo" y despertó el deseo de inventar dispositivos muy ingeniosos con objeto de aprovechar la aparente pérdida de peso creando una fuente "permanente" de energía mecánica. Pero ninguno de estos intentos fue, ni podía ser, coronado por el éxito.

[Volver al inicio](#)

¿Quien Ideo La Palabra "Gas"?

La palabra "gas" es una de aquellas que, como "termómetro", "electricidad", "galvanómetro", "teléfono" y antes "atmósfera" fueron ideadas por los hombres de ciencia. Entre todas estas palabras "gas" es sin duda la más corta. El químico y médico holandés Van Helmont (1577-1644), contemporáneo de Galileo, dedujo la palabra "gas" de la griega caos (xaog). Cuando descubrió que el aire consta de dos partes, una, que mantiene la combustión y se consume, y otra, que no presenta estas cualidades, Helmont escribió:

"He llamado *gas* a este vapor, porque casi no se diferencia *del caos* de los antiguos" (el sentido inicial de la palabra "caos" era el de espacio vacío).

Pero esta palabra nueva no se empezó a utilizar hasta muchos años después, siendo el insigne Lavoisier quien la resucitó en el año 1789. Por fin se extendió universalmente cuando empezó a hablarse de los vuelos de los hermanos Montgolfier en los primeros globos de aire caliente.

Lomonósov llamó en sus obras "fluidos elásticos" a los cuerpos en estado gaseoso (esta denominación perduraba cuando el autor de este libro estudiaba en la escuela). A Lomonósov le corresponde el mérito de haber introducido en el idioma ruso una serie de palabras que ahora son comunes en el lenguaje técnico; entre ellas figuran:

atmósfera	manómetro
barómetro	micrómetro
cristalización	óptica
materia	eléctrico y otras.

El genial precursor de las ciencias naturales rusas escribía con este motivo lo siguiente:

"Me he visto obligado a buscar palabras para designar algunos instrumentos físicos, acciones y objetos naturales que, aunque al principio parecerán algo raras, espero que con el tiempo y el uso acabarán siendo ordinarias".

[Volver al inicio](#)

Un Problema Que Parece Fácil

Un recipiente de treinta vasos de capacidad está lleno de agua. Ponemos un vaso debajo del grifo que tiene el recipiente, abrimos y, reloj en mano, observamos cuánto tiempo tarda el vaso en llenarse hasta los bordes. Supongamos que tarda medio minuto. Nos planteamos la pregunta: ¿cuánto tiempo tardará el recipiente en vaciarse por completo, si dejamos el grifo abierto?

Parece que se trata de un problema aritmético para niños pequeños. Si el agua que cabe un vaso tarda en salir 1/2 minuto, los 30 vasos que caben en el recipiente tardarán en salir 15 *minutos*.

Pero si ustedes hacen este experimento verán que el recipiente no tarda en vaciarse un cuarto de hora, sino media hora.

¿Qué ocurre?

El cálculo que hemos hecho es fácil pero erróneo. El agua no sale con la misma *velocidad* desde el principio hasta el fin. Después de salir el primer vaso, el chorro de agua tendrá ya menos presión, puesto que el nivel dentro del recipiente habrá bajado, por lo tanto, el segundo vaso tardará más de medio minuto en llenarse. El tercero saldrá aún más despacio y así sucesivamente.

La velocidad con que un líquido sale por el orificio de un recipiente abierto depende directamente de la altura de la columna de agua que hay sobre dicho orificio. El genial Torricelli, discípulo de Galileo, fue el primero que estableció esta dependencia expresándole con la sencilla fórmula siguiente:

$$v = \sqrt{2gh}$$

donde v es la velocidad de salida, g la aceleración de la gravedad y h la altura del nivel del líquido sobre el orificio.

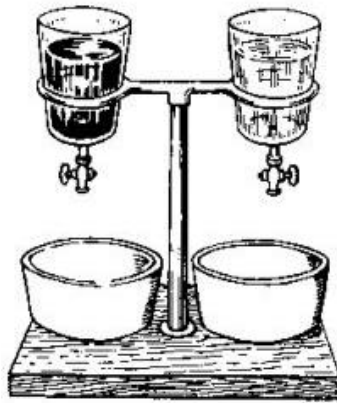


Fig. 58. ¿Qué recipiente se vaciará antes, el que tiene mercurio o el que tiene alcohol? El nivel de los líquidos es igual en los dos recipientes.

De esta fórmula se deduce que la velocidad con que sale el chorro no depende en absoluto de la *densidad* del líquido, es decir, el alcohol, a pesar de ser ligero, y el mercurio, a pesar de ser tan pesado, saldrán a la misma velocidad si están a un mismo nivel (fig. 58). Según esta fórmula, en la Luna, donde la gravedad es seis veces menor que en la Tierra, el vaso del problema anterior tardaría en llenarse dos veces y media más que en nuestro planeta.

Pero volvamos a nuestro problema. Si después de haber salido del recipiente 20 vasos de agua el nivel de ésta en aquél (a partir del orificio del grifo) ha bajado hasta la *cuarta* parte, el vaso 21° se llenará dos veces más despacio que el 1°. Y si después desciende el nivel hasta la *novena* parte, los últimos vasos tardarán *tres* veces más tiempo en llenarse que el primero. Cuando el recipiente está casi vacío el agua sale muy despacio. Resolviendo este problema por los procedimientos que se estudian en matemáticas superiores se puede demostrar que el tiempo que tarda el recipiente en vaciarse por completo *es el doble* del que tardaría en salir la misma cantidad de líquido si el nivel inicial permaneciera constante.

[Volver al inicio](#)

El Problema Del Deposito

Desde lo que acabamos de decir no hay más que un paso a los famosos problemas de los depósitos de los cuales no prescinde ni un solo libro de aritmética o de álgebra. Todos recordamos los clásicos y aburridos problemas escolásticos del tipo que sigue:

"Un depósito tiene dos tuberías, una de entrada y otra de salida. El agua que entra por la primera, estando la segunda cerrada, puede llenar el depósito en cinco horas. Cuando se abre solamente la segunda el depósito se vacía en 10 horas. ¿Cuántas horas tardará en llenarse el depósito si se abren las dos tuberías a la vez?"

Hace cerca de 20 siglos que se conocen los problemas de este tipo, es decir, desde la época de Herón de Alejandría. Uno de los problemas de Herón, no tan difícil como sus sucesores, es el siguiente:

Tenemos cuatro fuentes y un depósito grande.
 La primera en un día lo pone rebosante.
 La segunda tarda dos en hacer lo que aquella
 Y la tercera, en tres, no será menor que ellas.
 (Para igualarlas, cuatro necesita la cuarta).
 ¿Qué tiempo tardará el depósito en llenarse,
 Si se abren las cuatro fuentes en el mismo instante?

Hace dos mil años que se resuelven problemas sobre depósitos y, tanta es la fuerza de la rutina, que llevamos dos mil años *resolviéndolos mal*. ¿Por qué? Ustedes mismos lo comprenderán después de lo que acabamos de decir en el artículo anterior sobre la salida del agua. ¿Cómo se enseña a resolver los problemas de los depósitos? El problema que mencionamos más arriba como típico, por ejemplo, se suele resolver así: la primera tubería llena en 1 hora $1/5$ de depósito; la segunda, en este mismo tiempo, vacía $1/10$ del mismo; por consiguiente, cuando están abiertas las dos el agua del depósito aumentará en 1 hora $1/5 - 1/10 = 1/10$, de donde resulta que para que llene el depósito por completo hacen falta 10 horas. Pero este razonamiento es falso, porque si la entrada de agua se puede considerar que ocurre a presión constante y, por consiguiente, de manera uniforme, con la *salida* no se puede hacer lo mismo, puesto que se realiza mientras varía el nivel del agua en el depósito y, por lo tanto, de manera no *uniforme*.

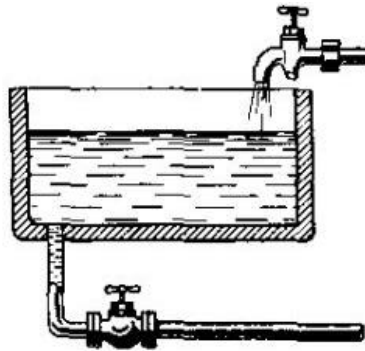


Fig. 59. El problema del depósito

Por medio de la segunda tubería el depósito se vacía en 10 horas, pero de este hecho no se puede sacar la conclusión de que por este tubo sale $1/10$ parte del agua del depósito cada hora. Como vemos el procedimiento que se sigue en las escuelas es erróneo. Estos problemas no se pueden resolver correctamente valiéndose de las matemáticas elementales, por lo tanto, los problemas sobre depósitos (*con salida de agua*) deben ser excluidos de los libros de problemas de aritmética⁴.

[Volver al inicio](#)

⁴ El lector puede encontrar un análisis detallado de este tipo de problemas en mi libro '*¿Sabe usted Física?*'

Un Recipiente Extraordinario

¿Se puede construir un recipiente del cual siempre salga el agua en chorro uniforme, es decir, sin que su corriente pierda velocidad, a pesar de que el nivel del líquido descienda? Después de lo que hemos dicho en los artículos anteriores pensarán ustedes que este problema no tiene solución.

Sin embargo se trata de una cosa perfectamente realizable. El frasco representado en la fig. 60 tiene precisamente esta extraordinaria propiedad. Como puede verse es un frasco ordinario de gollete estrecho, provisto de un tapón atravesado por un tubo de vidrio. Si abrimos el grifo C, que está más bajo que el extremo del tubo, el líquido saldrá por él en chorro uniforme hasta que el nivel del agua dentro del frasco llegue a estar más bajo que el extremo inferior del tubo. Si bajamos el tubo hasta que su extremo se encuentre cerca del nivel del grifo, podemos conseguir que todo el líquido que se halle por encima del nivel de su agujero salga uniformemente, aunque el chorro sea débil.

¿Por qué ocurre esto? Para comprenderlo examinemos mentalmente lo que pasa en el recipiente cuando se abre el grifo C (fig. 60). Al salir el agua su nivel va bajando dentro del frasco. Esto hace que el aire que hay en la parte superior se enrarezca. Pero entonces, a través del tubo de vidrio, y pasando por debajo del agua, penetra aire del exterior. Este aire forma burbujas al infiltrarse a través del agua y después se acumula sobre ella en la parte superior del frasco. En este caso la presión es igual a la atmosférica hasta llegar al nivel B. Por lo tanto el agua sale por el grifo C impulsada por la presión que ejerce la capa de agua BC, puesto que la presión atmosférica se equilibra dentro y fuera del frasco. Y como el espesor de la capa BC permanece constante, no tiene nada de particular que el chorro corra siempre con la misma velocidad.

Pero ahora se nos plantea una nueva pregunta ¿cómo saldrá el agua si quitamos el tapón B, que se encuentra al nivel del extremo del tubo? *No saldrá en absoluto* (se entiende que esto ocurrirá si el orificio es tan pequeño que su anchura se puede despreciar; de lo contrario el agua saldrá por él presionada por una delgada capa de líquido cuyo espesor será igual a la anchura del agujero). Esto se explica, porque en este caso la presión interna y la externa serán iguales a la atmosférica y, por consiguiente, no habrá nada que estimule la salida del agua.

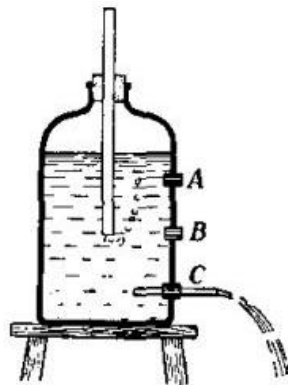


Fig. 60. Esquema del frasco de Mariotte. El agua sale del orificio uniformemente.

Y si quitamos el tapón A, que está más arriba del extremo inferior del tubo, no sólo no saldrá agua del frasco, sino que entrará en él el aire del exterior. ¿Por qué? Por una razón muy sencilla, porque en esta parte del frasco la presión del aire interior es menor que la de la atmósfera exterior.

Este recipiente, de propiedades tan interesantes, fue ideado por el notable físico francés Edmond Mariotte y se conoce con el nombre de "frasco de Mariotte".

[Volver al inicio](#)

Una Carga De Aire

A mediados del siglo XVII los habitantes de Regensburg y los poderosos príncipes de Alemania, encabezados por su emperador, llegados a esta ciudad, fueron testigos de un espectáculo extraordinario: 16 caballos, tirando con todas sus fuerzas, intentaron inútilmente separar dos semiesferas de cobre unidas entre sí por simple contacto. ¿Qué unía entre sí a estas dos semiesferas? "Nada", el aire. Y no obstante, ocho caballos tirando hacia un lado y ocho tirando hacia otro no pudieran separarlas. De esta forma el burgomaestre Otto Von Guericke demostró públicamente que el aire es algo que tiene peso y que presiona con bastante fuerza sobre todos los objetos que hay en la Tierra. Este experimento fue realizado con toda solemnidad el día 8 de mayo de 1654. El sabio burgomaestre supo interesar a todo el mundo con sus investigaciones científicas, a pesar de que esto ocurría en una época en que los desbarajustes políticos y las guerras asoladoras estaban en su apogeo. En los libros elementales de Física figura la descripción del famoso experimento de los "hemisferios de Magdeburgo". No obstante, estoy seguro de que el lector escuchará con gusto esta descripción hecha por el propio Guericke, el "Galileo alemán", como llaman a veces a este célebre físico. El libro, bastante voluminoso, en que se describe la larga serie de sus experimentos apareció en Amsterdam el año 1672; estaba escrito en latín y como los demás libros de esta época tenía un título muy largo, que hemos creído interesante reproducir.

OTTO VON GUERICKE
los llamados nuevos experimentos de Magdeburgo sobre
EL ESPACIO VACIO,
descrito inicialmente por el profesor de matemáticas de
la Universidad de Wurzburg KASPAR SCHOTT.
Edición del propio autor,
más detallada y aumentada con otros
nuevos experimentos.

El capítulo XXIII está dedicado al experimento que nos interesa. A continuación incluimos su traducción literal.

"Experimento para demostrar que la presión del aire une dos hemisferios tan fuertemente que 16 caballos no pueden separarlos".

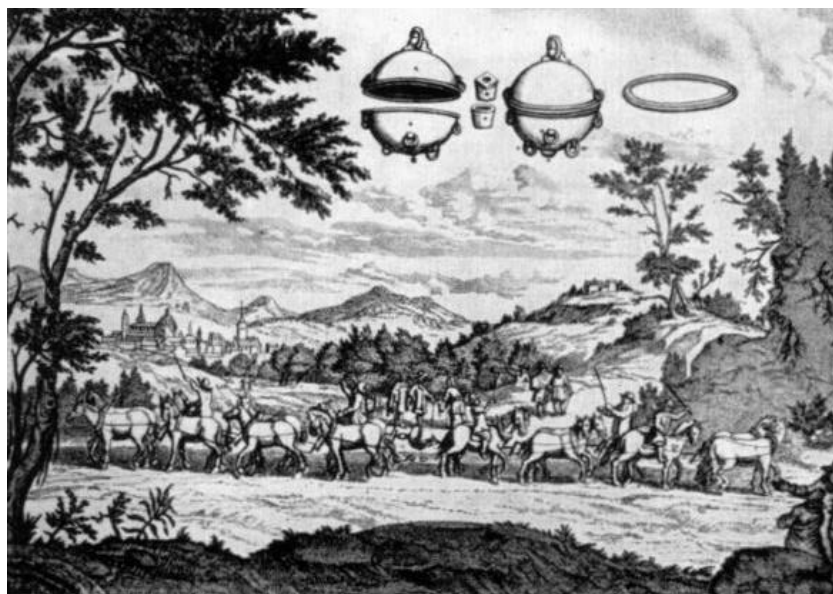


Fig. 61. Experimento con los "hemisferios de Magdeburgo". Ilustración del libro de Otto Von Guericke.

"Encargué dos hemisferios de cobre de tres cuartos de codo de Magdeburgo de diámetro⁵. Pero en realidad sus diámetros midieron solamente 67/100 de codo, ya que los maestros, como de ordinario, no pudieron hacer exactamente lo que era necesario. Ambos hemisferios se correspondían bien entre sí. Uno de ellos tenía una llave que permitía extraer el aire interior y evitaba la entrada del aire exterior. Los hemisferios tenían además cuatro argollas, por las cuales pasaban los cordeles que se sujetaban a los atalajes de los caballos. También hice que cosieran un anillo de cuero; este anillo, impregnado en una mezcla de cera y aguarrás y cogido entre los dos hemisferios no dejaba que el aire entrase en ellos. En la llave se enchufó el tubo de la máquina neumática y se extrajo el aire de dentro de la esfera. Entonces se puso de manifiesto la fuerza con que ambas esferas se apretaban entre sí a través del anillo de cuero. La presión del aire exterior las apretaba con tal fuerza, que 16 caballos (de un tirón) no las podían separar o lo conseguían con dificultad. Cuando los hemisferios, cediendo a la fuerza de los caballos, se separaban, producían un estampido como un cañonazo. Pero si se abría la llave y se dejaba entrar el aire, los hemisferios se podían separar fácilmente con las manos".

Un cálculo sencillo puede aclararnos por qué hace falta tanta fuerza (8 caballos por cada lado) para separar las dos partes de la esfera vacía. El aire ejerce una presión aproximada de 1 kg por cada cm^2 . La superficie del círculo⁶ que tiene 0,67 codos (37 cm) de diámetro será igual a 1.060 cm^2 . Por lo tanto, la presión de la atmósfera sobre cada hemisferio será mayor de 1.000 kg (1 t). Cada uno de los tiros de 8 caballos tenía, pues, que tirar con una fuerza de una tonelada para poder contrarrestar la presión del aire exterior.

⁵ El "codo de Magdeburgo" mide 550 mm.

⁶ Se toma la *superficie del círculo* y no la de la *semiesfera*, porque la presión atmosférica tiene el valor que hemos indicado cuando actúa sobre la superficie formando un ángulo recto con ella. Si la superficie está inclinada la presión es menor. En nuestro caso tomamos la *proyección* rectangular de la superficie esférica sobre el plano, es decir, la superficie del círculo.

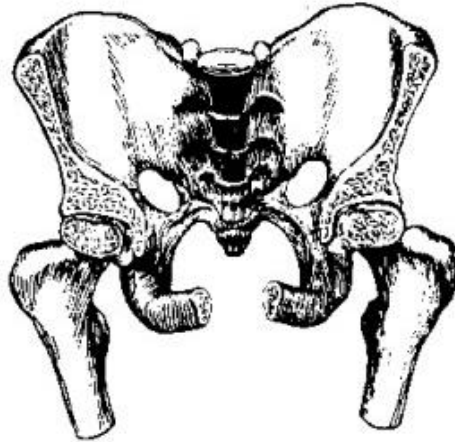


Fig. 62. Los huesos de nuestras articulaciones coxofemorales no se separan debido a la presión atmosférica, que los sujeta lo mismo que a los hemisferios de Magdeburgo.

Parece que para 8 caballos (por cada lado) esto no es mucha carga. Pero no hay que olvidarse de que cuando un caballo tira de un carro cargado con 1 t la fuerza que hace no es de 1 t, sino mucho menor; exactamente la que se necesita para vencer el rozamiento de las ruedas sobre sus ejes y sobre el pavimento. Esta fuerza representa (en una carretera, por ejemplo) el cinco por ciento de la carga, es decir, si el carro pesa una tonelada la fuerza necesaria para arrastrarlo es igual a 50 kg. (Sin hablar ya de que la experiencia demuestra que cuando se enganchan 8 caballos juntos se pierde el 50% del esfuerzo). Por consiguiente, la tracción de 1 t corresponde para los 8 caballos a arrastrar un carro que pese 20 t. Esta es la carga de aire que tenían que arrastrar los caballos del burgomaestre de Magdeburgo. Este esfuerzo se puede comparar con el necesario para mover de su sitio a una locomotora no muy grande, pero que no esté sobre los raíles.

Se ha medido que un caballo fuerte tira de la carga con una fuerza total de 80 kg⁷. Por consiguiente, para separar los hemisferios de Magdeburgo, con tracción uniforme, hubieran sido necesarios $1.000/80=13$ caballos por cada lado⁸.

⁷ A una velocidad de 4 km por hora. Se considera que, por término medio, la fuerza de tracción de un caballo es aproximadamente igual al 15% de su peso. Un caballo ligero pesa 400 kg, uno pesado, 750 kg. Durante poco tiempo (el esfuerzo inicial) la fuerza de tracción puede ser varias veces mayor.

⁸ La explicación de por qué hacen falta 13 caballos por *cada* lado puede encontrarse en mi libro "*Mecánica Recreativa*".

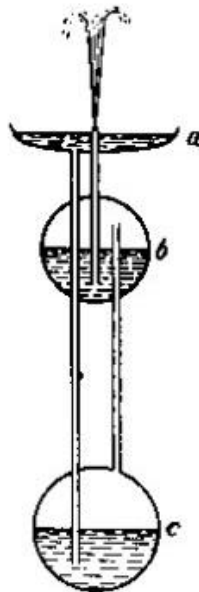


Fig. 63. La fuente de Herón clásica.

El lector quizá se asombre al saber que algunas articulaciones de nuestro esqueleto se mantienen unidas por la misma causa que los hemisferios de Magdeburgo. Nuestra articulación coxofemoral tiene unas propiedades parecidas a los antedichos hemisferios. A esta articulación se le pueden quitar todos los ligamentos musculares y cartilagosos sin que se desarticule. Ocurre esto porque la presión atmosférica aprieta entre sí los huesos que forman esta articulación, puesto que en el espacio comprendido entre ellos no hay aire.

[Volver al inicio](#)

Nuevas Fuentes De Heron

Mis lectores conocerán probablemente la forma ordinaria de la fuente que se atribuye al mecánico de la antigüedad Herón. No obstante, recordaremos aquí su estructura antes de pasar a describir las nuevas variantes de este aparato tan interesante. La fuente de Herón (fig. 63) consta de tres vasijas: una superior, abierta, *a* y dos de forma esférica, *b* y *c*, herméticamente cerradas. Estas vasijas están unidas entre sí por tres tubos dispuestos como se indica en la figura. Cuando en *a* hay un poco de agua, la esfera *b* está llena de líquido y la *c* de aire, la fuente empieza a funcionar. El agua pasa por el tubo de *a* a *c*, hace que el aire pase de esta esfera a la *b* y el agua de *b*, presionada por el aire que entra, sube por el tubo y forma la fuente sobre la vasija *a*. Cuando la esfera *b* se queda vacía, el surtidor deja de echar agua.

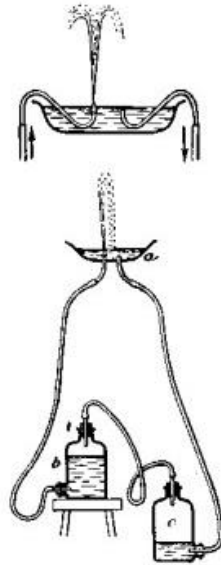


Fig. 64. Modificación actual de la fuente de Herón. Arriba una variante que evita horadar el fondo del plato superior.

Esta es la antiquísima forma de la fuente de Herón. Pero ya en nuestro tiempo, un maestro de escuela italiano, obligado a inventar por la falta de medios de que disponía su gabinete de Física, construyó una fuente de Herón en la que introdujo unas modificaciones que hacen posible que cualquiera pueda construirla valiéndose de medios muy simples (fig. 64). En lugar de las esferas utilizó frascos de farmacia y en vez de ponerle tubos de vidrio o de metal, los puso de goma. La vasija superior no es necesario que tenga agujeros en el fondo; basta introducir en ella los extremos de los tubos como se muestra en el diseño superior de la fig. 64.

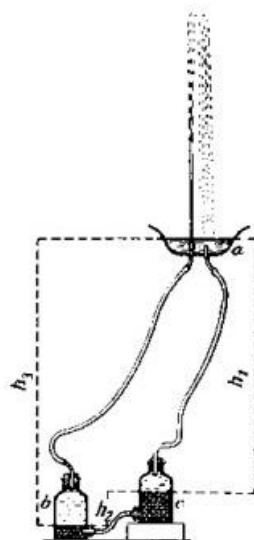


Fig. 65. Fuente que funciona por la presión del mercurio. La altura a que sube el Chorro

es diez veces mayor que la diferencia entre los niveles del mercurio.

El aparato construido de esta forma es mucho más cómodo y fácil de utilizar. Cuando el tarro *b* se queda vacío, porque el agua que había en él pasó ya a través de la vasija *a* al tarro *c*, los tarros *b* y *c* se pueden cambiar de sitio entre sí y la fuente volverá a echar agua, si la boquilla se pone en el otro tubo. Otra ventaja de esta fuente modernizada consiste en que da la posibilidad de variar la situación de las vasijas y, de esta manera, estudiar cómo influye la diferencia de niveles del líquido que hay en ellas en la altura a que se eleva el agua que echa la fuente.

Si se quiere que el chorro llegue mucho más alto, no hay más que sustituir el agua que había en los tarros por mercurio y el aire por agua (fig. 65). El aparato funciona en estas condiciones del modo siguiente: el mercurio pasa del tarro *c* al *b* y hace que de este último salga el agua y origine el surtidor. Sabiendo que el mercurio pesa 13,5 veces más que el agua, podemos calcular a qué altura deberá elevarse el chorro de la fuente. Designemos la diferencia de niveles entre las correspondientes vasijas por h_1 , h_2 y h_3 . Veamos ahora qué fuerzas son las que hacen que el mercurio de la vasija *c* (fig. 65) pase a la *b*. El mercurio que se halla en el tubo que une entre sí estas vasijas está sujeto a presión por los dos lados. Por la derecha sufre la presión debida a la diferencia de alturas h_2 entre las columnas de mercurio (que es igual a la presión que ejercería una columna de agua 13,5 veces más alta, es decir, $13,5 h_2$) más la presión que origina la columna de agua h_1 . Por la izquierda presiona sobre él la columna de agua h_3 . Por lo tanto, el mercurio es arrastrado con una fuerza total de

$$13,5h_2 + h_1 - h_3$$

Pero $h_3 - h_1 = h_2$; por esto podemos poner $-h_2$ en lugar de $h_1 - h_3$ y obtener:

$$13,5h_2 - h_2$$

es decir, $12,5 h_2$. De esta forma, el mercurio entra en la vasija *b* a la presión correspondiente al peso de una columna de agua que tuviera una altura igual a $12,5 h_2$. Por esto, teóricamente el chorro de agua puede llegar hasta una altura igual a la diferencia entre los niveles del mercurio en los tarros multiplicada por 12,5. El rozamiento hace que esta altura sea algo menor que la teórica.

A pesar de esto, con el aparato que acabamos de describir se puede conseguir cómodamente que el chorro suba hasta muy alto. Para que llegue a 10 metros de altura basta poner uno de los frascos un metro, aproximadamente, más alto que el otro. Es interesante que, como puede verse, la altura de la vasija *a* con respecto a los tarros en que se encuentra el mercurio no influye en absoluto en la altura a que se eleva el chorro.

[Volver al inicio](#)

Vasijas De Pega

En los siglos XVII y XVIII los grandes señores se distraían con juguetes como el siguiente: mandaban a hacer un jarro que en la parte superior tenía unos adornos calados bastante grandes (fig. 66). Este jarro

llo de vino se lo ofrecían a alguien de quien se podían burlar sin temor a las represalias. ¿Cómo beber?



Fig. 66. Vasija de pega de finales del siglo XVIII y corte de la misma en que se ve el canal secreto.

Si empujas el jarro, se derrama el vino por las ranuras caladas sin que ni una gota llegue a la boca. Pasa como en el cuento:

Miel y cerveza bebí
y ni el bigote humedecí.

Pero el que sabía el secreto de estos jarros, que puede verse en la fig. 66 a la derecha, tapaba con un dedo el orificio B, cogía entre los labios el pitorro A y chupaba como si fuera de un biberón, sin torcer el jarro. El vino entraba por el agujero E, subía por el canalito que tenía dentro el asa, pasaba después por el borde hueco c y salía por el pitorro.

Los alfareros rusos hasta hace poco hacían jarros parecidos a éstos. Yo he tenido ocasión de ver uno en una casa. El secreto estaba muy bien disimulado. El jarro tenía una inscripción que decía: "Bebe pero no te mojes".

[Volver al inicio](#)

¿Cuanto Pesa El Agua Que Hay en Un Vaso Boca Abajo?

- Nada, claro está - dirán ustedes -,¿cómo va a pesar sí se derrama?

- ¿Y si no se derrama? - pregunto yo.

En realidad se puede conseguir que el agua no se salga de un vaso boca abajo, es decir, que no se derrame. Este caso es el que se representa en la fig. 67. Como puede verse, una copa de vidrio invertida está sujeta por el pie al platillo de una balanza. La copa está llena de agua, que no se derrama porque los bordes de la copa están sumergidos en el agua que hay en otra vasija. En el otro platillo de la balanza se encuentra otra copa exactamente igual que la primera.

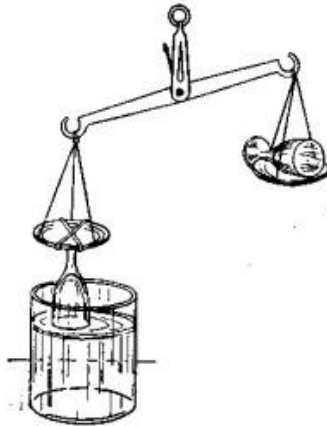


Fig. 67. Procedimiento para pesar el agua que hay en una copa invertida.

¿Hacia qué lado se inclinará la balanza?

Hacia el lado de la copa invertida llena de agua. Esta copa está sometida por arriba a la presión total de la atmósfera, mientras que por abajo el peso del agua que hay en ella debilita esta misma presión atmosférica.

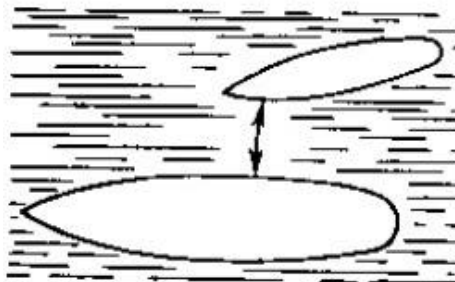


Fig. 68. Posición de los buques "Olympic" y "Hawk" antes del abordaje.

Para restablecer el equilibrio sería necesario llenar de agua la copa del otro platillo.

Por consiguiente, en estas condiciones el agua contenida en un vaso boca abajo pesa lo mismo que la contenida en un vaso en posición normal.

[Volver al inicio](#)

¿Por Que Se Atraen Los Barcos?

En otoño del año 1912 ocurrió con el "Olympic", uno de los buques más grandes del mundo en aquella época, el caso siguiente. El "Olympic" navegaba en mar abierto y con rumbo casi paralelo a él y a la distancia de unos cien metros pasaba a gran velocidad otro buque, bastante más pequeño, el crucero acorazado "Hawk". Cuando ambos buques ocupaban la posición que representa la fig. 68, ocurrió algo imprevisto. El barco menor torció rápidamente su rumbo y, como si estuviera sometido a una fuerza

invisible, puso proa al "Olympic" sin obedecer al timón, y avanzó hacia él casi directamente. Se produjo un abordaje. La proa del "Hauk" se hundió en el costado del "Olympic". El golpe fue tan fuerte que en la banda del "Olympic" se produjo una gran vía de agua.

Cuando este caso tan singular fue examinado por el tribunal marítimo, este último reconoció culpable al capitán del "Olympic", puesto que, como decía la sentencia, no dio ninguna orden para dejar paso libre al "Hauk", que iba a cruzarse con él.

El tribunal de justicia no vio aquí nada extraordinario. Consideró que se trataba de una simple negligencia del capitán. Sin embargo, el abordaje fue debido a una circunstancia imprevista, fue un caso de *atracción mutua entre dos buques en el mar*.

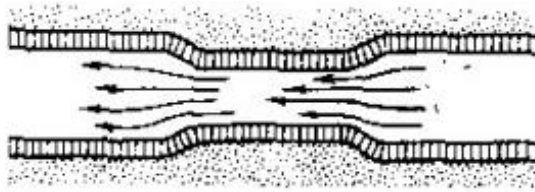


Fig. 69. En las partes estrechas del canal el agua fluye más de prisa y presiona menos sobre las paredes que en las partes anchas.

Estos casos es posible que también ocurrieran antes, cuando los barcos marchaban con rumbos paralelos. Pero hasta que no se empezaron a construir buques gigantes este fenómeno no se puso de manifiesto con tanta fuerza. Cuando las aguas del océano comenzaron a ser surcadas por "ciudades flotantes" el fenómeno de la atracción entre buques se hizo mucho más notorio. Los capitanes de la marina de guerra tienen en cuenta este fenómeno cuando maniobran con su buque.

Multitud de averías ocurridas en barcos pequeños que navegaban cerca de grandes buques de pasajeros o de guerra es posible que fueran producidas por esta misma causa.

¿Cómo se explica esta atracción? En primer lugar, esto nada tiene que ver con la ley de la atracción universal de Newton. En el capítulo IV vimos que esta atracción es demasiado pequeña. La causa de este fenómeno es otra muy distinta y se explica por las leyes del movimiento de los líquidos en tubos y canales. Se puede demostrar que si un líquido se mueve por un canal que tiene unos sitios más anchos y otros más estrechos, por los sitios estrechos el líquido pasa más de prisa y presiona menos sobre las paredes del canal que en los sitios anchos, por los cuales pasa más despacio y presiona más sobre las paredes (éste es el llamado "teorema de Bernoulli").

Esto también es justo para con los gases. Cuando se trata de *gases* este fenómeno se conoce con el nombre de efecto Clément y Desormes (en honor de los físicos que lo descubrieron) y a veces se llama también "paradoja aerodinámica". Este fenómeno fue descubierto casualmente en las siguientes condiciones. En una mina francesa se le ordenó a uno de los obreros que tapara con un escotillón la boca de la galería exterior que servía para suministrar aire comprimido a la mina. El obrero luchó un buen rato con el chorro de aire que entraba en la mina, pero de repente el escotillón mismo cerró de golpe la galería, con tanta fuerza, que si hubiera sido más pequeño habría sido arrastrado por la escotilla de ventilación junto con el obrero. El funcionamiento de los pulverizadores se explica precisamente por esta peculiaridad de las corrientes de los gases. Cuando soplamos por el ramal *a* (fig. 70), que termina en punta, el aire, al llegar al sitio más estrecho, pierde presión. De esta forma, sobre el tubo *b* se

encuentra aire cuya presión es menor que la atmosférica, por lo que esta última hace que el líquido del vaso ascienda por el tubo. Cuando este líquido llega al chorro de aire que sale del tubo *a* es arrastrado por él y se pulveriza.

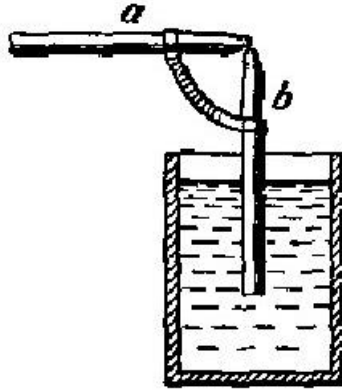


Fig. 70. Esquema del pulverizador

Ahora podemos comprender cuál es la causa de que los barcos se atraigan. Cuando dos buques navegan paralelamente, entre sus costados se forma una especie de canal. En los canales ordinarios las paredes están fijas y se mueve el agua; aquí ocurre al revés, el agua permanece inmóvil, mientras que las paredes se mueven. Pero la acción de las fuerzas no varía por esto. En los sitios más estrechos del canal móvil el agua ejerce menos presión sobre las paredes que en el resto del espacio que rodea a los barcos. En otras palabras, el agua ejerce menos presión sobre los costados afrontados de los barcos que sobre sus partes exteriores. ¿Qué debe ocurrir entonces? Los buques, sometidos a la presión que el agua ejerce sobre sus costados exteriores deberán acercarse entre sí y, naturalmente, el barco menor será el que se desvíe más notoriamente, mientras que el de mayor masa permanecerá casi inmóvil. Por esto la atracción se manifiesta con más fuerza cuando un barco grande pasa rápidamente junto a otro pequeño.



Fig. 71. Corriente de agua entre dos buques que navegan juntos.

Quedamos, pues, en que la atracción de los barcos se debe a la acción absorbente de la corriente de agua. Esta misma causa explica el peligro que encierran para los bañistas los rápidos de los ríos y el efecto absorbente de los remolinos de agua. Se puede calcular que la corriente de agua de un río cuya velocidad sea de 1 m por segundo arrastra al cuerpo de un hombre con una fuerza de ... ¡30 kg! Resistirse a esta fuerza no es cosa fácil, sobre todo en el agua, donde el peso de nuestro cuerpo no nos ayuda a mantener la estabilidad. Finalmente, el arrastre que producen los trenes rápidos sobre los

cuerpos próximos también se explica por el teorema de Bernoulli. Un tren que pase con una velocidad de 50 km por hora arrastrará a las personas que estén cerca con una fuerza de ~ 8 kg.

Los fenómenos relacionados con el teorema de Bernoulli no son raros, pero sí poco conocidos por las personas no especializadas en esta materia. Por esto creemos conveniente detenernos un poco en ellos. A continuación reproducimos un fragmento de un artículo sobre este tema publicado en una revista de divulgación científica por el profesor V. Franklin.

[Volver al inicio](#)

Teorema De Bernoulli y Sus Consecuencias

El teorema que por primera vez enunció Daniel Bernoulli en el año 1726, dice: en toda corriente de agua o de aire la presión es grande cuando la velocidad es pequeña y, al contrario, la presión es pequeña cuando la velocidad es grande. Existen algunas limitaciones a este teorema, pero aquí no nos detendremos en ellas.

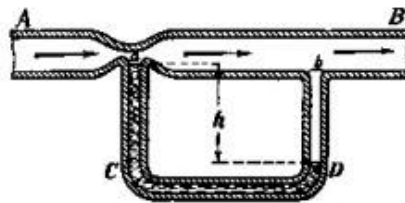


Fig. 72. Ilustración del teorema de Bernoulli. En la parte más estrecha (a) del tubo AB la presión es menor que en la más ancha (b).

Por el tubo AB se hace pasar aire. Donde la sección de este tubo es pequeña (como ocurre en *a*), la velocidad del aire es grande, y donde la sección del tubo es grande (como en *b*), la velocidad del aire es pequeña. Si la velocidad es grande, la presión es pequeña, y donde la velocidad es pequeña, la presión es grande. Como la presión del aire en *a* es pequeña, el líquido se eleva por el tubo C; al mismo tiempo, la gran presión del aire en el punto *b* hace que el líquido descienda en el tubo D.

La fig. 72 sirve de ilustración a este teorema.

En la fig. 73 el tubo *T* está soldado al disco *DD*; cuando este disco se dispone próximo y paralelo a una lámina *dd*⁹ ligera y libre (por ejemplo, un disco de papel) y se sopla por el tubo *T*, el aire pasa entre el disco y la lámina a gran velocidad, pero ésta disminuye rápidamente a medida que se aproxima a sus bordes, puesto que la sección de la corriente de aire aumenta muy de prisa y además porque tiene que salvar la inercia del aire que hay en el espacio entre el disco y la lámina.

⁹ Este mismo experimento se puede hacer con un carrete de hilo y un circulito de papel. Para que este último no se desvíe hacia un lado, se traspasa con un alfiler, que después se hace entrar en el agujero del carrete.

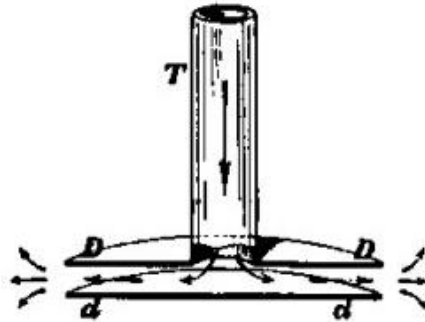


Fig. 73. Experimento con discos

Pero la presión del aire que rodea a la lámina es grande, ya que su velocidad es pequeña, mientras que la presión del aire que hay entre ella y el disco es pequeña, puesto que su velocidad es grande. Por lo tanto, el aire que circunda a la lámina ejerce más influencia sobre ella, tendiendo a aproximarla al disco, que la corriente de aire que pasa entre los dos, que tiende a separarlos; como resultado la lámina dd se adhiere al disco DD con tanta más fuerza cuanto más intensa sea la corriente de aire que entra por T .

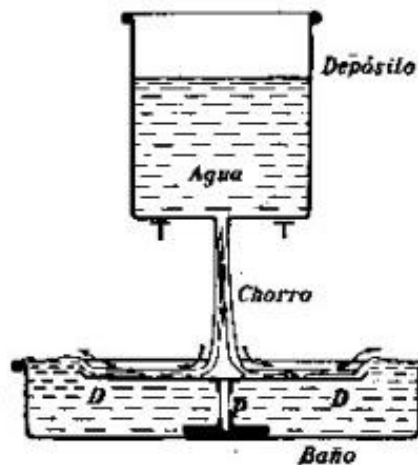


Fig. 74. El disco DD sube por la barra P cuando sobre él se proyecta el chorro de agua del depósito.

La fig. 74 representa un experimento análogo al de la 73, pero con agua. El agua que se mueve rápidamente sobre el disco DD tiene un nivel más bajo y se eleva ella misma hasta el nivel más alto del agua tranquila del baño, cuando sobrepasa los bordes del disco. Por esto, el agua tranquila que hay debajo del disco se encuentra a mayor presión que el agua que se mueve sobre él, por consiguiente, el disco se eleva. La varilla P impide que el disco se desvíe lateralmente.

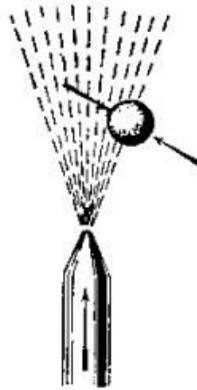


Fig. 75. El chorro de aire no deja que se caiga la pelotita.

En la fig. 75 se representa una pelotita ligera que flota en un chorro de aire. El chorro de aire empuja a la pelotita y al mismo tiempo no deja que se caiga. Cuando la pelotita se sale de la corriente, el aire circundante la hace volver a ella, puesto que la presión de este aire (que tiene poca velocidad) es grande, mientras que la del chorro de aire (cuya velocidad es grande) es pequeña.

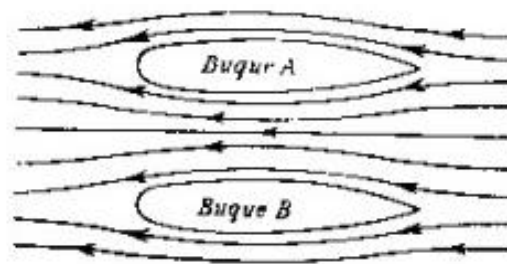


Fig. 76. Dos buques que navegan paralelamente parece que se atraen entre sí.

En la fig. 76 pueden verse dos buques que navegan uno al lado del otro en aguas tranquilas; esto es lo mismo que si los dos barcos estuvieran parados y el agua corriese rodeándolos.

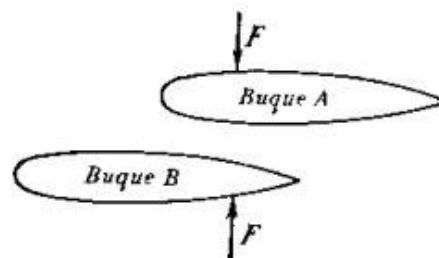


Fig. 77. Cuando los barcos navegan hacia adelante, el B gira y pone proa hacia el A.

Entre los buques se estrecha la corriente y, por lo tanto, la velocidad del agua en este sitio es mayor que por los costados exteriores de ambos buques. Por esto, la presión del agua entre los buques es menor que por los otros dos lados y la presión que ejerce el agua circundante (que es mayor) hace que los barcos se aproximen.

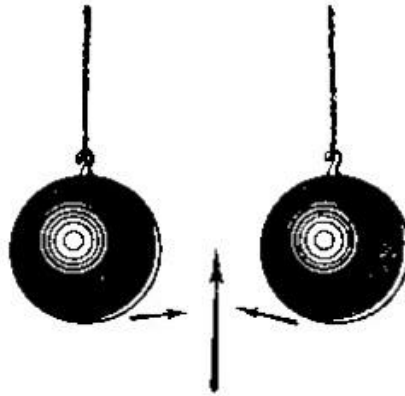


Fig. 78. Si se sopla entre dos esferas ligeras se ve como se aproximan y hasta llegan a juntarse.

Los hombres de mar saben perfectamente que los barcos que navegan juntos se atraen entre sí con bastante fuerza.

El caso en que uno de los buques va detrás del otro, como se representa en la fig. 77, es más peligroso. Las dos fuerzas F y F , que los aproximan entre sí, tienden a hacerlos girar, con la particularidad de que el buque B gira hacia el A con gran fuerza. En este caso el choque es casi inevitable, puesto que el timón no tiene tiempo de variar la dirección del movimiento que toma el barco.

El fenómeno a que se refiere la fig. 76 se puede demostrar soplando entre dos pelotitas de goma ligeras, colgadas como se ve en la fig. 78. Cuando el aire pasa entre ellas las pelotitas se aproximan y chocan entre sí.

[Volver al inicio](#)

¿Para Que Sirve La Vejiga Natatoria De Los Peces?

Generalmente, y al parecer con toda verosimilitud, se habla e incluso se escribe que la función de la vejiga natatoria de los peces es la siguiente. Cuando el pez quiere subir desde una capa profunda del agua a otra más superficial, hincha su vejiga natatoria; de esta forma el volumen de su cuerpo aumenta, el peso del agua que desaloja se hace mayor que el suyo propio y, de acuerdo con la ley de la flotación, el pez se eleva. Cuando no quiere subir más, o quiere descender, el pez hace lo contrario es decir, comprime su vejiga natatoria. Con esto disminuye su volumen y el peso del agua que desaloja y el pez se va al fondo, de acuerdo con el principio de Arquímedes.

Este concepto tan simple de la función que desempeña la vejiga natatoria de los peces viene desde los tiempos de los sabios de la Academia de Florencia (siglo XVII) y fue expresado por el profesor Borelli en el año 1675. Durante doscientos años esta hipótesis fue admitida sin objeciones y echó raíces en los libros de texto escolares. Pero los trabajos realizados por nuevos investigadores han puesto de manifiesto la falsedad de esta teoría.

Esta vejiga interviene indudablemente en la natación del pez, puesto que los peces privados artificialmente de este órgano pueden mantenerse en el agua únicamente a costa de un intenso trabajo con las aletas. En cuanto dejan de mover las aletas se van al fondo. ¿Cuál es, pues, la función de la vejiga natatoria? El papel que desempeña es muy limitado; ayuda al pez a permanecer a una profundidad determinada, o más concretamente, a la profundidad en que el peso del agua que desaloja su cuerpo es igual al del propio pez. Cuando el pez, moviendo las aletas, baja a una capa *inferior* a este nivel, su cuerpo experimenta una presión exterior mayor por parte del agua y se contrae comprimiendo la vejiga. De esta forma el peso del agua que desaloja disminuye y resulta menor que el del pez y éste desciende. Cuanto mayor es la profundidad a que baja el pez, tanto mayor es la presión que sobre él ejerce el agua (esta presión aumenta en 1 atmósfera cada 10 metros de profundidad), tanto más se comprime el cuerpo del pez y su descenso se hace más rápido.

Lo mismo ocurre, pero en sentido contrario, cuando el pez abandona la capa en que se halla en equilibrio y moviendo sus aletas se eleva a capas superiores. Su cuerpo se libera de una parte de la presión exterior, pero su vejiga, que sigue estando a la misma presión que cuando estaba en equilibrio con la del agua circundante más profunda, hace que se hinche, es decir, que aumente de volumen y, por consiguiente, se eleva. Cuanto más sube el pez, más se hincha su cuerpo y más rápida se hace la ascensión. El pez no puede oponerse a esto "comprimiendo su vejiga natatoria" por la sencilla razón de que las paredes de ésta carecen de fibras musculares que permitan variar su volumen activamente.

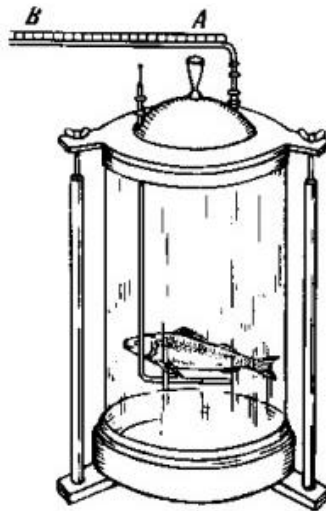


Fig. 79. Experimento con la breca.

El hecho de que el volumen del cuerpo de los peces aumente en realidad de una *forma pasiva* se demuestra con el siguiente experimento (fig. 79). Una breca cloroformada se coloca en una vasija con agua (cerrada) en la que se mantiene una presión semejante a la de la profundidad del agua en que vive el pez en condiciones normales. En la superficie del agua el pez permanecerá inmóvil con el vientre hacia arriba. Si hacemos que se sumerja un poco, volverá a subir a la superficie. Cuando lo sumergimos hasta cerca del fondo, se hunde. Pero entre estos dos niveles existe una capa de agua en la cual el pez permanece en equilibrio y ni se hunde ni sale a flote. Esto se comprende fácilmente si recordamos lo que hemos dicho antes, de que la vejiga natatoria se hincha y se comprime de forma pasiva.

Por lo tanto, a pesar de la idea tan difundida que existe, los peces no pueden voluntariamente hinchar o deshinchar su vejiga natatoria. El volumen de esta vejiga varía pasivamente, es decir, por la acción mayor o menor que sobre ella ejerce la presión exterior (de acuerdo con la ley de Boyle y Mariotte). Estas variaciones de volumen no benefician al pez, al contrario, le perjudican, puesto que hacen que descienda irresistible y aceleradamente hasta el fondo o que ascienda de la misma forma hasta la superficie. En otras palabras, la vejiga solamente sirve para que el pez conserve el equilibrio cuando está inmóvil, pero este equilibrio es *inestable*.

Este es el verdadero papel de la vejiga natatoria cuando se habla de cómo interviene en la natación. Pero la vejiga realiza además otras funciones en el organismo del pez, aunque cuáles son exactamente estas funciones todavía no está claro, ya que este órgano sigue siendo hasta ahora enigmático. Lo único que se puede considerar completamente esclarecido es su papel hidrostático.

Las observaciones de los pescadores confirman lo que hemos dicho. Cuando pescan un pez a gran profundidad y se les escapa dentro del agua al subirlo, en contra de lo que pudiera esperarse el pez sale rápidamente a la superficie, en vez de volverse a la profundidad de donde lo sacaron. A estos peces les suele asomar, la vejiga por la boca.

[Volver al inicio](#)

Ondas y Remolinos

Muchos de los fenómenos físicos que vemos a diario no se pueden explicar basándose en las leyes elementales de la Física. Incluso un fenómeno tan corriente como el oleaje del mar en días de viento es inexplicable ateniéndose a los límites del curso escolar de Física.



Fig. 80. Corriente tranquila ("laminar") de un líquido por un tubo.

Pero, ¿por qué cuando un barco corta con su proa el agua tranquila se forman ondas que corren hacia los lados? ¿Por qué ondean las banderas cuando hace viento? ¿Por qué la arena de las playas forma ondas? ¿Por qué forma remolinos el humo que sale de las chimeneas de las fábricas?

Para explicar estos y otros fenómenos semejantes hay que conocer lo que se llama movimiento *turbulento* de los líquidos y de los gases. Aquí procuraremos decir algo de los fenómenos de carácter turbulento y de sus propiedades fundamentales, ya que en los libros de texto de las escuelas apenas si se mencionan.

Supongamos que un líquido corre por un tubo. Si al ocurrir esto todas las partículas del líquido se mueven a lo largo del tubo formando líneas paralelas tenemos el caso más sencillo de movimiento de un líquido, el flujo tranquilo o como dicen los físicos, "laminar". Pero este no es el caso más frecuente. Al contrario, lo ordinario es que el líquido corra por el tubo desordenadamente, que forme remolinos que van de las paredes al eje del tubo. Esto es lo que se llama movimiento *turbulento*. Así es como corre el agua por las tuberías de la red de abastecimiento (pero no por los tubos delgados, donde la corriente es laminar). El movimiento turbulento se produce siempre que la velocidad que lleva un líquido determinado

al pasar por un tubo (de diámetro determinado) alcanza cierta magnitud, que se llama *velocidad crítica*¹⁰.

Los remolinos que forma un líquido transparente al correr por un tubo de vidrio se pueden ver echando en aquél un poco de polvo ligero, por ejemplo, polvos de licopodio. Así se ven perfectamente cómo los remolinos van desde las paredes al eje del tubo.

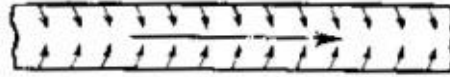


Fig. 81. Corriente "turbulenta" de un líquido por un tubo.

Esta propiedad del movimiento turbulento se aprovecha en la técnica en los frigoríficos y refrigeradores. Cuando un líquido circula con movimiento turbulento por un tubo de paredes refrigeradas, sus partículas entran más pronto en contacto con las paredes frías que si se moviera sin formar remolinos.



Fig. 82. Formación de las ondas en la arena de la playa por la acción de los remolinos del agua.

No hay que olvidarse de que los líquidos son malos conductores del calor y que si no se remueven se calientan o se enfrían muy despacio. El intenso intercambio calorífico y material que realiza la sangre en los tejidos que baña también es posible gracias a que su circulación por los vasos sanguíneos no tiene carácter laminar, sino turbulento.

Esto que hemos dicho no se refiere solamente a los tubos, sino también a los canales abiertos y a los cauces de los ríos. El agua que corre por los ríos y canales tiene movimiento turbulento. Cuando se mide con precisión la velocidad de la corriente de un río, el instrumento registra pulsaciones, sobre todo cerca del fondo. Estas pulsaciones demuestran que la corriente cambia constantemente de dirección, es decir, que existen remolinos. Las partículas de agua del río no se mueven únicamente a lo largo del cauce, sino también de sus orillas al centro. Por eso no es cierto lo que dicen de que en el fondo de los ríos profundos el agua tiene la misma temperatura (+4°C) durante todo el año. Debido a la remoción que hay en ellos, el agua de los ríos (no de los lagos) tiene una temperatura igual junto al fondo y en la superficie¹¹.

¹⁰ La velocidad crítica de un líquido cualquiera es directamente proporcional a su viscosidad e inversamente proporcional a su densidad y al diámetro del tubo por que corre

¹¹ Véase mi libro "¿Sabe usted Física?", § 133.

Los remolinos que se originan en el fondo del río arrastran consigo la arena más ligera y forman en él "ondas" de arena. Esto mismo se puede observar en las orillas del mar bañadas por las olas (fig. 82). Si el agua que corre junto al fondo del río fuera tranquila, la arena presentaría en él una superficie lisa. De esta forma, junto a la superficie de los cuerpos que baña el agua se forman remolinos. Prueba de la existencia de estos remolinos es, por ejemplo, la forma ondulante que toma una cuerda extendida a lo largo de la corriente (cuando uno de sus extremos está atado y el otro libre). ¿Por qué ocurre esto? Porque el trozo de cuerda junto al cual se forma un torbellino (remolino) es atraído por él; pero un momento después este trozo será movido ya por otro remolino en sentido contrario, esto da lugar a que la cuerda se mueva como una serpiente (fig. 83).

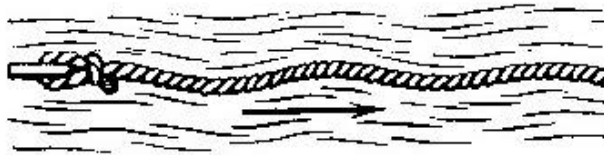


Fig. 83. El movimiento ondulatorio de una cuerda en agua corriente se debe a la formación de remolinos.

Pasemos ahora de los líquidos a los gases, del agua al aire. ¿Quién no ha visto como los remolinos de aire arrastran el polvo que hay en el suelo, la paja, etc.? Esto no es más que una manifestación del movimiento turbulento del aire a lo largo de la superficie de la tierra. Cuando el aire corre a lo largo de una superficie acuática, en los sitios en que se forman remolinos, debido a la depresión que en ellos se produce, se eleva el agua formando una cresta, así se origina el oleaje. Esta misma causa da lugar a las ondas arenosas que vemos en los desiertos y en las faldas de las dunas.

Ahora se comprende por qué ondean las banderas cuando hace viento. Con ellas ocurre lo mismo que con la cuerda en la corriente de agua. Las veletas no señalan constantemente la misma dirección cuando hace viento, sino que, sometidas a la acción de los remolinos, oscilan constantemente. El origen de los remolinos que forma el humo que sale de las chimeneas de las fábricas también es éste. Los gases que suben por la chimenea adquieren un movimiento turbulento que después de salir de ella prosigue durante cierto tiempo por inercia.

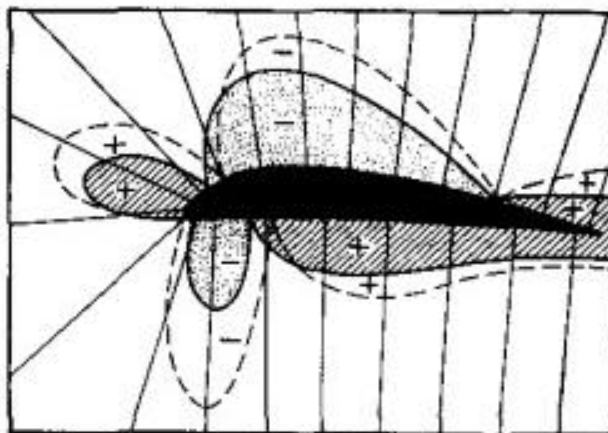


Fig. 84. Fuerzas que actúan sobre el ala de un avión. Distribución

de las presiones (+) y de los enrarecimientos (-) del aire en torno al ala según los experimentos realizados. Como resultado de todas las fuerzas aplicadas, de empuje y de succión, el ala es arrastrada hacia arriba. (Las líneas de contorno de trazo continuo representan la distribución de las presiones; las de trazo punteado representan esto mismo, pero cuando la velocidad de vuelo es mucho mayor.)

El movimiento turbulento del aire tiene gran importancia para la aviación. Las alas de los aviones se hacen de tal forma que debajo de ellas el sitio de enrarecimiento del aire resulta ocupado por el cuerpo de la propia ala, mientras que encima de ella, por el contrario, se intensifica el movimiento turbulento. A consecuencia de esto, el ala sufre por abajo un empuje y por arriba una succión (fig. 84). Fenómenos parecidos tienen lugar cuando los pájaros planean con las alas extendidas.

¿Cómo actúa el viento sobre un tejado sometido a él? Los remolinos crean sobre el tejado un enrarecimiento del aire; el aire que hay debajo del tejado tiende a igualar la presión y al subir le empuja desde abajo. Así ocurre lo que a veces tenemos que lamentar; el viento se lleva algún tejado ligero por estar mal sujeto. Por esta misma razón los vidrios de ventana grandes se cimbran hacia afuera cuando hace viento (y no se rompen por la presión exterior).

Pero estos fenómenos son más fáciles de explicar por el hecho de que cuando el aire se mueve, disminuye la presión (véase "Teorema de Bernoulli").

Cuando una corriente de aire, de temperatura y humedad determinadas, se mueve a lo largo de otra corriente de aire, de temperatura y humedad distintas, se producen remolinos en las dos. La diversidad de formas que presentan las nubes se debe en gran parte a esta causa.

Vemos, pues, que el círculo de los fenómenos relacionados con el movimiento turbulento de los líquidos y los sólidos es muy amplio.

[Volver al inicio](#)

Viaje Al Centro De La Tierra

Hasta ahora nadie ha penetrado en la Tierra a una profundidad mayor de 3,3 km. El radio de la Tierra tiene 6.400 km. Hasta el centro de la Tierra queda aún mucho camino que recorrer. Pero la inventiva de Julio Verne hizo penetrar profundamente en las entrañas de la Tierra a dos de sus héroes, el extravagante profesor Lidenbrock y su sobrino Axel. En la novela "Viaje al centro de la Tierra" se describen las extraordinarias aventuras de estos viajeros subterráneos. Entre otras cosas inesperadas con que se encontraron debajo de tierra figura el aumento de la densidad del aire. A medida que aumenta la altura el aire se va enrareciendo con bastante rapidez. Cuando la altura aumenta en progresión aritmética, la densidad disminuye en progresión geométrica. Por el contrario, cuando se desciende más abajo del nivel del mar, el aire sometido a la presión de las capas superiores debe hacerse cada vez más denso. Los viajeros subterráneos tenían que notar esto forzosamente. A continuación reproducimos una conversación entre el tío-científico y su sobrino a 12 leguas (48 km) bajo tierra.

- ¿Qué marca el manómetro? - preguntó el tío.
- Una presión muy grande.

- Ahora comprenderás que bajando poco a poco nos vamos acostumbrando al aire denso y no sentimos molestias.

- ¿Y el dolor de oídos?

- ¡Tonterías!

- Está bien - dije yo, decidido a no contradecir a mi tío -.

El estar rodeado de aire denso resulta incluso agradable. ¿Se ha dado usted cuenta de lo fuerte que se oyen los sonidos?

- Claro. En esta atmósfera hasta los sordos podrían oír. - Pero el aire se irá haciendo cada vez más denso. ¿No alcanzará al fin una densidad como la del agua?

- Naturalmente. Cuando la presión sea de 770 atmósferas.

- ¿Y cuando la profundidad sea mayor?

- La densidad también será mayor.

- ¿Cómo vamos a descender entonces?

- Nos llenaremos los bolsillos de piedras.

- Ah, tío, usted siempre encuentra respuesta.

No volví a meterme en averiguaciones, porque si no podía pensar cualquier otra dificultad que irritaría a mi tío. Sin embargo, me parecía claro que a una presión de varios miles de atmósferas el aire puede pasar al estado sólido. En estas condiciones, aun suponiendo que pudiéramos soportar esta presión, tendríamos que detenernos. Aquí todas las discusiones serían inútiles.

[Volver al inicio](#)

La Fantasía y Las Matemáticas

Esto es lo que dice el novelista. Pero si comprobamos los hechos de que se habla en este fragmento resulta otra cosa. Para esto no tendremos que bajar al centro de la Tierra. Para nuestra pequeña excursión por el campo de la Física basta tener un lápiz y una hoja de papel.

En primer lugar procuremos determinar a qué profundidad hay que bajar para que la presión atmosférica aumente en una milésima. La presión atmosférica normal es igual a 760 mm de la columna de mercurio. Si estuviéramos sumergidos no en el aire, sino en mercurio, tendríamos que descender nada más que $760/1000=0,76$ mm para que la presión aumentase en una milésima. En el aire tendremos que bajar mucho más: tantas veces más como el mercurio es más pesado que el aire, es decir, 10.500 veces. Por lo tanto, para que la presión aumente en una milésima de la normal tendremos que descender no 0,76 mm, como en el mercurio, sino $0,76 \times 10.500$ mm, es decir, cerca de 8 m. Cuando bajemos otros 8 m la presión del aire aumentará en otra milésima de la magnitud anterior, y así sucesivamente¹². Cualquiera que sea el nivel a que nos halleemos, en el "techo del mundo" (22 km), en el pico del Everest (9 km) o junto a la superficie del mar, tendremos que descender 8 m para que la presión del aire aumente en una milésima de su valor inicial. Por consiguiente, obtenemos la siguiente tabla del aumento de la presión del aire al aumentar la profundidad:

0 m (760 mmHg)	= 1 de la normal
8 m	= 1,001 de la normal

¹² En la siguiente capa de 8 m el aire será más denso que en la anterior y, por lo tanto, el incremento de la presión en magnitud absoluta también será mayor que en la capa anterior. Así es efectivamente, puesto que tomamos la milésima parte de una magnitud mayor.

2*8 m es	= (1,001) ² de la normal
3*8 m es	= (1,001) ³ de la normal
4*8 m es	= (1,001) ⁴ de la normal

En general, a una profundidad de $n*8$ m la presión atmosférica será mayor que la normal $(1,001)^n$ veces y, mientras la presión no sea demasiado grande, el mismo número de veces aumentará la densidad del aire (por la ley de Mariotte).

Según la novela, en nuestro caso se trata de una profundidad de 48 km bajo tierra, por lo tanto, puede despreciarse la disminución de la gravedad y la del peso del aire que ella determina.

Ahora podemos calcular, aproximadamente, la presión que soportaban los viajeros de Julio Verne a la profundidad de 48 km (48 000 m). En este caso la n de nuestra fórmula será igual a $48.000/8=6.000$. Hay, pues, que calcular $1,001^{6.000}$. Como multiplicar 1,001 por sí mismo 6.000 veces resultaría aburridillo y nos llevaría mucho tiempo, recurriremos a los logaritmos que, como dijo Laplace, ahorran trabajo y duplican la vida del que calcula¹³.

Tomando logaritmos tenemos que el de la incógnita será igual a

$$6.000 * \lg 1,001 = 6.000 * 0,00043 = 2,6.$$

Por el logaritmo 2,6 hallamos el número buscado. Este número es el 400.

Así tenemos que a 48 km de profundidad la presión atmosférica es 400 veces mayor que la normal. La densidad del aire sometido a esta presión, como demuestran los experimentos realizados, aumenta 315 veces. Por esto parece un poco extraño que nuestros viajeros subterráneos no sintieran más molestias que "dolor en los oídos". Pero en la novela de Julio Verne se habla de que los hombres pueden llegar a profundidades de 120 y hasta de 325 km. La presión del aire sería entonces monstruosa; mientras que la presión máxima que el hombre puede soportar sin perjuicio para su salud es de tres o cuatro atmósferas.

Si por esta misma fórmula quisiéramos calcular a qué profundidad la densidad del aire será igual que la del agua, es decir, 770 veces mayor que la normal, obtendríamos la cifra de 53 km. Pero este resultado es falso, ya que a grandes presiones la densidad del gas no es directamente proporcional a la presión. La ley de Mariotte es justa únicamente cuando las presiones no son excesivamente grandes, es decir, cuando no pasan de centenares de atmósferas. A continuación damos los datos relativos a la densidad del aire obtenidos experimentalmente:

Presión	Densidad
200 atmósferas	190
400 atmósferas	315

¹³ Aquellos que al terminar la escuela hayan conservado antipatía por las tablas de logaritmos es posible que varíen este sentimiento hacia ellas cuando conozcan cómo las caracterizaba el gran astrónomo francés en su obra "Exposición del sistema del mundo": "El invento de los logaritmos, al reducir los cálculos de varios meses al trabajo de varios días, es algo que duplica la vida de los astrónomos y los libera del cansancio y de los errores inevitables cuando los cálculos son muy largos. Este descubrimiento es halagüeño para la inteligencia humana, puesto que es totalmente producto de ella. En la técnica el hombre utiliza para aumentar su poder los materiales y las fuerzas que te brinda la naturaleza que lo rodea, pero los logaritmos son el resultado de su propia inteligencia".

600 atmósferas	387
1.500 atmósferas	513
1.800 atmósferas	540
2.100 atmósferas	564

Como puede verse, el aumento de la densidad queda muy retrasado con respecto al incremento de la presión. En vano el sabio de la novela de Julio Verne esperaba poder llegar a una profundidad en que el aire fuera más denso que el agua. Esto no lo hubiera podido conseguir nunca, ya que el aire llega a tener la densidad del agua a la presión de 3.000 atmósferas y después casi no se comprime. En cuanto a solidificar el aire a costa solamente de la presión, sin enfriarlo intensamente (hasta una temperatura menor de -146°), ni hablar del asunto.

Pero hay que ser justos y reconocer que cuando Julio Verne publicó su novela aún no se conocían los hechos que acabamos de citar. Esto justifica al autor, aunque no corrija la narración.

Antes de terminar, aprovechemos la fórmula que hemos deducido antes para determinar cuál es la profundidad máxima de una mina a la que el hombre pueda descender sin perjuicio para su salud. La presión máxima que puede soportar bien nuestro organismo es de 3 atmósferas. Llamando x a la profundidad de la mina que buscamos, tendremos la ecuación:

$$(1,001)^{x/8} = 3,$$

de donde (tomando logaritmos) calculamos x . Obtenemos que $x=8,9$ kilómetros.

Por lo tanto, el hombre podría encontrarse, sin perjuicio para su salud, a una profundidad de cerca de 9 km. Si el Océano Pacífico se secara, se podría vivir en casi todas las partes de su fondo¹⁴.

[Volver al inicio](#)

En Una Mina Profunda

¿Quién ha llegado más cerca del centro de la Tierra? (En realidad, no en las novelas.) Los mineros, naturalmente. Ya sabemos (véase el cap. IV) que la mina más profunda se encuentra en Africa del Sur. Su profundidad es mayor de 3 km. Al decir esto tenemos en cuenta no la penetración de los taladros de perforación de pozos, que han alcanzado hasta 7,5 km, sino las profundidades a que han penetrado los propios hombres. El escritor francés, doctor Luc Durtain que visitó un pozo de la mina Morro Velho, cuya profundidad es de cerca de 2.300 m, escribía:

“Los célebres yacimientos auríferos de Morro Velho se encuentran a 400 km de Río de Janeiro.

Después de 16 horas de viaje en tren por sitios montañosos, descendemos a un valle profundo rodeado por la selva. Una compañía inglesa explota aquí filones auríferos a una profundidad a la que antes nunca había descendido el hombre.

El filón va oblicuamente hacia abajo. La mina lo sigue formando seis pisos. Pozos verticales y galerías horizontales. Un hecho que caracteriza extraordinariamente a la sociedad contemporánea es que la mina más profunda que se ha abierto en la corteza terrestre, el intento más intrépido hecho por el hombre para penetrar en las entrañas de la Tierra, es para buscar oro.

¹⁴ Las investigaciones llevadas a cabo durante los últimos años han demostrado que el hombre puede soportar, sin perjuicio para su organismo, presiones mayores de 30 atmósferas. Esto ha permitido sumergirse en el mar, sin escafandra, hasta profundidades mayores de 300 metros.

Póngase la ropa de trabajo de lona y la cazadora de cuero. Tenga cuidado; cualquier piedrecita que caiga por el pozo puede herirle. Nos va a acompañar uno de los "capitanes" de la mina. Entra usted en la primera galería. Está bien iluminada. Un viento helado a 4° le hace temblar; es la ventilación para refrigerar las profundidades de la mina.

Después de descender en una estrecha jaula metálica por el primer pozo hasta una profundidad de 700 m, llega usted a la segunda galería. Baja usted por el segundo pozo. El aire está caliente. Ya está usted más bajo que el nivel del mar.

A partir del pozo siguiente el aire quema la cara. Sudando a chorros y agachado, porque el techo es bajo, avanza usted en dirección al ruido de las máquinas perforadoras. Envueltos en un polvo denso trabajan unos hombres semidesnudos; el sudor chorrea por sus cuerpos; las botellas de agua pasan de mano en mano. No toque usted los trozos de mineral recién desprendidos, están a 57° de temperatura.

¿Y para qué esta realidad tan espantosa y abominable?... Cerca de 10 kilogramos de oro al día ..." Al describir las condiciones físicas que existían en el fondo de la mina y el grado de explotación a que estaban sometidos los mineros, el autor francés menciona la alta temperatura pero nada dice de que la presión del aire fuera grande. Calculemos cuál será esta presión a 2.300 m de profundidad. Si la temperatura fuera la misma que en la superficie de la tierra, de acuerdo con la fórmula que conocemos, la densidad del aire aumentaría en

$$(1,001)^{2.300/8} = 1,33 \text{ veces.}$$

Pero en realidad la temperatura no permanece invariable, sino que se eleva. Por esto la densidad del aire no aumenta tanto, sino menos. En definitiva, tenemos que la diferencia entre la presión del aire en el fondo de la mina y en la superficie de la tierra no es más que un poco mayor que la que existe entre la del aire caliente del verano y la del aire frío del invierno. Por esto se comprende que esta circunstancia no llamase la atención del visitante de la mina.

En cambio tiene mucha importancia la notable humedad del aire a estas mismas profundidades, que hace que la permanencia en ellas sea insoportable cuando la temperatura es alta. En una de las minas de Africa del Sur (Johannesburg), de una profundidad de 2.553 m, a 50° de temperatura la humedad llega al 100%; en esta mina se instaló lo que se llama "clima artificial". La acción refrigerante de esta instalación equivale a 2.000 t de hielo.

Volver al inicio

A Las Alturas en Un Estratostato

En los artículos anteriores hemos viajado mentalmente por las entrañas de la Tierra. Nos ha ayudado a realizar estos viajes la fórmula que relaciona la presión del aire con la profundidad. Ahora vamos a tener el valor de remontarnos a las alturas y aplicando esta misma fórmula veremos como varía la presión del aire en ellas. En este caso la fórmula toma el aspecto siguiente:

$$p = 0,999^{h/8},$$

donde p es la presión en atmósferas y h es la altura en metros. El número decimal 0,999 ha sustituido al 1,001, porque cuando nos trasladamos hacia arriba 8 m la presión no aumenta en 0,001, sino que *disminuye* en 0,001.

Para empezar resolvamos el problema siguiente: ¿A qué altura hay que elevarse para que la presión del aire se reduzca a la mitad?

Para esto haremos $p=0,5$ en nuestra fórmula y buscaremos la altura h . Tendremos la ecuación:

$$0,5 = 0,999^{h/8},$$

cuya resolución no presenta dificultades para los lectores que sepan manejar los logaritmos. La respuesta $h=5,6$ km determina la altura a la cual la presión del aire debe reducirse a la mitad.

Sigamos subiendo tras los valerosos aeronautas soviéticos que en los estratostatos "URSS" y "OAX - 1" establecieron en 1933 y 1934 respectivamente los records del mundo de altura, el primero con una marca de 19 km y el segundo con la de 22 km. Estas altas regiones de la atmósfera se hallan ya en la llamada "estratosfera". Por esto, los globos en que se realizaron estas ascensiones no se llaman aeróstatos, sino estratostatos.

Calculemos cuál es la presión atmosférica a esas alturas.

Para la altura de 19 km hallamos que la presión del aire debe ser

$$0,999^{19.000/8} = 0,095 \text{ atm} = 72 \text{ mm.}$$

Para los 22 km de altura

$$0,999^{22.000/8} = 0,066 \text{ atm} = 50 \text{ mm.}$$

Pero si leemos las notas de los "estratonautas" veremos que a las alturas antedichas se indican otras presiones. A 19 km de altura la presión era de 50 mm y a la de 22 km, de 45 mm.

¿Por qué no se cumplen los cálculos? ¿En qué consiste nuestro error?

La ley de Mariotte para los gases es perfectamente aplicable a estas presiones tan bajas. Pero cometimos un error al considerar que la temperatura del aire es igual en todo el espesor de los 20 km, cuando en realidad desciende notablemente al aumentar la altura. Se considera que, por término medio, la temperatura desciende $6,5^\circ$ por cada kilómetro de elevación. Así ocurre hasta los 11 km de altura, donde es igual a 56° bajo cero. Después, durante un espacio considerable permanece invariable. Si tenemos en cuenta esta circunstancia (para esto no son suficientes los procedimientos de las matemáticas elementales), se obtiene un resultado que concuerda mucho mejor con la realidad. Por esta misma razón, los resultados de los cálculos que antes hicimos, relativos a la presión del aire a grandes profundidades, también deben considerarse solamente como aproximados.

Para terminar debemos decir que el "techo" alcanzado por el hombre ahora es mucho más alto. Muchos aviones fabricados en serie vuelan ya a 25-30 kilómetros de altura. En el año 1961 los aviadores soviéticos establecieron el récord del mundo de altura con una marca de 34,7 km.

[Volver al inicio](#)

Capítulo 7

FENOMENOS TERMICOS

EL ABANICO

Cuando las señoras se abanicen sienten fresco. Al parecer esto no perjudica a nadie, más bien al contrario, todos los presentes deben estarles agradecidos por enfriar el aire de la sala.

Veamos si esto es así en realidad. ¿Por qué sentimos fresco cuando nos abanicamos? El aire que está en contacto directo con nuestra cara se calienta y forma una especie de máscara de aire caliente que nos da "calor", es decir, que impide que sigamos cediendo calor. Cuando el aire que nos rodea está quieto, la capa que rodea la cara se desplaza muy lentamente empujada hacia arriba por el aire menos caliente y más pesado. Pero al abanicar nos quitamos la máscara de aire caliente antedicha y nuestra cara se pone en contacto con nuevas porciones de aire menos calientes a las cuales cede calor. Por esto, nuestro cuerpo se enfría y sentimos fresco.

De esto se deduce que cuando las señoras se abanicen apartan de sus rostros el aire caliente y lo reemplazan por aire fresco; cuando este último se calienta sigue la misma suerte y es sustituido por una nueva porción menos caliente, y así sucesivamente.

La acción de los abanicos acelera la remoción del aire y hace que la temperatura de éste se equilibre pronto en toda la sala, es decir, hace que las propietarias de los abanicos se sientan mejor a costa del aire más fresco que rodeaba al resto del público. En la acción del abanico interviene también otra circunstancia de la cual vamos a hablar a continuación.

[Volver al inicio](#)

¿POR QUE HACE MAS FRIO CUANDO SOPLA EL VIENTO?

Los habitantes de los países fríos saben muy bien que cuando no hace viento se soportan mucho mejor las heladas que cuando lo hace. Pero no todos comprenden exactamente la causa de este fenómeno.

Cuando hace viento sienten más frío los *seres vivos*, pero el termómetro no baja más por esto. La sensación de frío intenso que se nota cuando hiela y hace viento se debe, en primer lugar, a que la cara (y todo el cuerpo) cede mucho más calor que cuando el tiempo está en calma, es decir, que cuando el aire calentado por el cuerpo no se renueva rápidamente por otras porciones de aire frío. Cuanto más fuerte sea el viento, tanto mayor será la masa de aire que tiene tiempo de entrar en contacto con nuestro cuerpo durante cada minuto, por consiguiente, mayor será la cantidad de calor que cede nuestro cuerpo por minuto. Esto ya es suficiente de por sí para producir la sensación de frío. Pero existe además otra causa. Nuestra piel transpira humedad incluso cuando el aire está frío. Para esto hace falta calor; este calor procede de nuestro cuerpo y de la capa de aire que está en contacto con él. Cuando el aire está en reposo la transpiración es lenta, ya que la capa que está en contacto con la piel se satura pronto de vapor de agua (y en el aire saturado la evaporación no es intensa). Pero cuando el aire se mueve y se renueva constantemente el que está en contacto con la piel, la transpiración es abundante durante todo el tiempo y consume una gran cantidad de calor, que tiene que ceder el cuerpo.

¿Es muy grande la acción refrigerante del viento?. Depende de su velocidad y de la temperatura del aire. Por lo general es mayor de lo que generalmente se cree. Citaré un ejemplo que da una idea de la disminución de la temperatura que suele ocasionar el viento. Supongamos que el aire tiene una temperatura de $+4^{\circ}\text{C}$ y que no hace viento en absoluto. En estas condiciones nuestra piel tiene 31°C de

temperatura. Si sopla un viento ligero, de los que apenas hacen que se muevan las banderas y que no mueven las hojas de los árboles (con velocidad de 2 m por seg.), la piel se enfría 7°C. Y cuando el viento hace que las banderas ondeen (velocidad de 6 m por seg.), el enfriamiento es de 22°C, es decir, la temperatura de la piel baja hasta ... ¡9°C! Estos datos han sido tomados del libro de N. N. Kalitin "Fundamentos de la Física atmosférica aplicada a la medicina". En este libro se pueden encontrar cosas muy interesantes.

De lo que acabamos de decir se desprende que para saber cómo se va a sentir una helada no es suficiente conocer la temperatura del aire, sino que hay que tener también en cuenta la velocidad del viento. Una misma helada se soporta, por lo general, peor en Leningrado que en Moscú, porque la velocidad media del viento a orillas del Mar Báltico es de 5-6 m por segundo, mientras que en Moscú es de 4,5 m por segundo solamente. Las heladas se soportan mejor aún en la Transbaikalia, donde la velocidad media del viento es de 1,3 m. Los famosos fríos de la Siberia Oriental, que llegan frecuentemente a 40-60°C bajo cero, no se sienten tanto como creemos en Europa los que estamos acostumbrados a los vientos fuertes. En la Siberia Oriental casi no hace viento en invierno.

[Volver al inicio](#)

EL HALITO SOFOCANTE DE LOS DESIERTOS

"Quiere decir que el viento debe refrescar hasta cuando hace un calor bochornoso - es posible que diga el lector, después de lo que hemos dicho en el artículo anterior-, ¿Por qué hablan entonces los viajeros del *hálito sofocante* de los desiertos?"

Esta contradicción se explica, porque en los climas tropicales el aire suele estar *más caliente que nuestro cuerpo*. Por lo tanto, no tiene nada de particular que allí, cuando hace viento, sientan las personas más calor, puesto que en estas condiciones el calor no se transmite del cuerpo al aire, sino del aire al cuerpo. Por esto, cuanto mayor es la masa de aire que entra en contacto con el cuerpo cada minuto, tanto más fuerte es la sensación de calor. Es verdad que aquí también es mayor la transpiración cuando hace viento, pero la causa anterior desempeña un papel mucho más importante. Esta es la razón por la cual los habitantes del desierto, como los turkmenos, por ejemplo, llevan batas de abrigo y gorros de piel.

[Volver al inicio](#)

¿DAN CALOR LOS VELOS?

Este es otro problema de la Física de la vida ordinaria. Las señoras aseguran que el velo abriga, que sin él se siente frío en el rostro. Pero los hombres, cuando ven un tejido tan tenue y de mallas tan amplias, no suelen dar crédito a esta afirmación y piensan que es pura fantasía de las mujeres.

No obstante, si recordamos lo dicho anteriormente, se comprende que hay que ser más crédulos. Por muy grandes que sean las mallas del velo, el aire que pasa por ellos pierde velocidad. Este tejido tan sutil retiene la capa de aire que está en contacto directo con la cara (y que calentada por ella le sirve de máscara de aire caliente), que ya no puede ser arrastrada por el viento tan fácilmente como sin el velo. Por esto no hay motivos para no creer que con el velo se enfría menos la cara que sin él, sobre todo cuando el frío no es muy intenso ni el viento muy fuerte.

[Volver al inicio](#)

JARRAS REFRIGERANTES

Estas vasijas de arcilla porosa tienen la propiedad de que el agua que se echa en ellas se pone más fría que todas las cosas que hay a su alrededor. En España estas vasijas reciben el nombre de alcarrazas (botijos, jarras), en Egipto el de "goula" y en otros países se llaman de otras formas.

El secreto de la acción refrigerante de las alcarrazas es muy sencillo: el agua rezuma hacia afuera por las paredes de arcilla y se va evaporando poco a poco, con lo cual quita calor al recipiente y al líquido que tiene dentro.

Pero el enfriamiento que producen estas vasijas no puede ser muy grande y depende de muchas condiciones. Cuando más caliente esté el aire, más rápida e intensa será la evaporación del líquido que humedece la vasija por fuera y, por consiguiente, tanto más se enfriará el agua que hay dentro de ella. El enfriamiento también depende de la humedad del aire. Si el aire es muy húmedo, la evaporación será lenta y el agua se enfriará poco. Por el contrario, cuando el aire es seco se produce una evaporación intensa que hace que el agua se enfríe más. El viento también acelera la evaporación y facilita el enfriamiento. Esto último es cosa que sabe todo el mundo, por la sensación de frío que se nota (aunque el día sea caluroso) cuando se tienen los vestidos mojados y hace viento.

La disminución de temperatura que se consigue con las jarras refrigerantes no es mayor de 5°C. En días de calor meridional, cuando el termómetro marca 33°C, el agua de los recipientes refrigerantes tiene la temperatura de un baño templado, es decir, 28°C. Como vemos es una refrigeración inútil prácticamente. Pero en estas jarras se conserva muy bien el agua *fría*, y para esto es principalmente para lo que se emplean.

Podemos intentar hacer el cálculo del grado de enfriamiento del agua que se puede conseguir en las alcarrazas. Supongamos que éstas tienen una capacidad de 5 litros y que se evapora 1/10 parte de litro. Para que se evapore 1 litro de agua (1 kg) hace falta, en los días calurosos (33°C), cerca de 580 calorías. En nuestro caso se evapora 1/10 parte de kilogramo, por consiguiente, se consumirán 58 calorías. Si todo este calor se tomara del agua que hay en la alcarraza, su temperatura descendería 58/5 grados, es decir, *unos 12 grados*. Pero una gran parte del calor necesario para la evaporación se toma de las paredes de la propia alcarraza y del aire que la rodea; por otra parte, sobre el agua no sólo actúan estos factores, que tienden a enfriarla, sino también la acción del aire caliente exterior, que tiende a calentarla. Por esta razón, el enfriamiento apenas si llega a la mitad de la cifra antes obtenida. Tampoco es fácil decir dónde se refresca más el agua de estas jarras, al sol o a la sombra. Al sol la evaporación es más intensa, pero el calentamiento también es mayor. Por lo visto, lo mejor es ponerlas a la sombra y donde haga un poco de viento.

[Volver al inicio](#)

UNA "NEVERA" SIN HIELO

En el enfriamiento que produce la evaporación se funda también el funcionamiento de una cámara frigorífica para conservar productos alimenticios, es decir, una especie de "nevera" sin hielo. Este frigorífico no es difícil de construir. Hay que hacer un cajón de madera (o mejor de chapa galvanizada) con anaqueles para poner los productos que se desea mantener frescos. En la parte superior del cajón se coloca una cubeta alargada con agua pura fría. En esta cubeta se sumerge el borde de un lienzo que cubre la parte posterior del cajón y que termina en otra cubeta, como la primera, situada debajo del anaquel inferior. El agua circula por el lienzo, lo mismo que si fuera por una mecha, y se va evaporando poco a poco, con lo que se refrigeran todos los departamentos de la "nevera".

Esta "nevera" debe ponerse en un sitio fresco de la casa y cada tarde hay que llenar de agua las cubetas, para que durante la noche se enfríe bien. Las cubetas y el lienzo deben estar limpios.

[Volver al inicio](#)

¿QUE CALOR PODEMOS SOPORTAR?

El hombre puede soportar más calor que se cree de ordinario. En los países del sur puede soportar temperaturas mucho mayores de las que en las latitudes medias consideramos inaguantables. En Australia Central, en verano, no es raro que el termómetro marque 46°C a la sombra (se ha llegado a observar temperaturas de hasta 55°C). Durante la travesía del Mar Rojo y en el Golfo Pérsico, en los camarotes de los barcos la temperatura llega a más de 50°C a pesar de la ventilación.

Las temperaturas más altas que se observan en la superficie de la Tierra no pasan de 57°C. Esta temperatura corresponde al llamado "Valle de la Muerte" en California. El sitio más templado de la Unión Soviética es el Asia Central, donde las temperaturas más altas no pasan de 50°C.

Todas estas temperaturas se refieren a la *sombra*. A propósito de esto, hay que aclarar por qué a los meteorólogos les interesa precisamente la temperatura a la sombra, y no al sol. Es el caso que el termómetro sólo puede medir la temperatura del *aire* a la sombra. Si el termómetro se pone al sol los rayos lo calientan mucho más que al aire que está a su alrededor y, por consiguiente, sus indicaciones no sirven para caracterizar el estado térmico del medio aéreo. Por esto, cuando hablamos de tiempo caluroso, carece de sentido referirse a las indicaciones de un termómetro puesto al sol.

Se han hecho experimentos para determinar cuál es la temperatura máxima que puede soportar el organismo humano. Resultó que en una atmósfera de *aire seco* y calentándolo paulatinamente nuestro organismo es capaz de resistir, no sólo la temperatura del agua hirviendo (100°C), sino a veces hasta la de 160°C, como lo demostraron los físicos ingleses Blagden y Centry, los cuales estuvieron horas enteras dentro de un horno de panadería calentado. "En el aire de un local en que el hombre puede permanecer sin detrimento para su salud se puede cocer un huevo o freír un bistec" - escribió Tyndall con motivo de este experimento.

¿Cómo se puede explicar esta resistencia? Por el hecho de que nuestro organismo no adquiere la temperatura del medio en que se encuentra, sino que conserva aproximadamente la suya normal. El organismo lucha contra el calentamiento segregando mucho sudor, cuya evaporación absorbe una parte considerable del calor de la capa de aire que está en contacto directo con la piel y de esta forma disminuye su temperatura. Pero son condiciones necesarias para el éxito del experimento las siguientes: primero, que el cuerpo no esté en contacto directo con la fuente de calor, y segundo, que el aire esté seco.

Por esto es más fácil soportar 37°C de calor en el Asia Central que 24°C en Leningrado, porque en Leningrado el aire es húmedo, mientras que en el Asia Central no llueve casi nunca¹.

[Volver al inicio](#)

¿TERMOMETRO O BAROMETRO?

Es bastante popular la anécdota de aquel que no se quiso bañar por la siguiente causa:

- Metí el barómetro en el agua y marcó tempestad, ¡cómo me iba a bañar!

¹ En el mes de junio mi higrómetro de bolsillo marcó dos veces que la humedad era nula (el 13 y el 16 de junio de 1930).

Sin embargo, no siempre se puede distinguir con facilidad un termómetro de un barómetro. Hay unos termómetros, o mejor dicho, termoscopios, que con el mismo derecho se podrían llamar barómetros, y viceversa. Puede servir de ejemplo el antiquísimo termoscopio ideado por Herón de Alejandría (fig. 85). Cuando los rayos del sol calientan la esfera, el aire que hay en su parte superior se dilata, presiona sobre el agua y hace que ésta salga por el tubo encorvado.

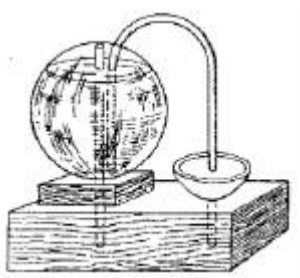


Figura 85. Termoscopio de Herón.

El agua comienza a gotear por el extremo de este tubo al embudo, desde donde después escurre al cajón inferior. Cuando hace frío, al contrario, el aire que hay en la esfera se contrae y la presión del aire exterior obliga al agua del cajón a subir por el tubo recto a la esfera.

Pero este aparato también es sensible a las variaciones de la presión barométrica. Cuando la presión exterior disminuye, el aire que hay dentro de la esfera conserva la presión anterior, que era más elevada, se dilata y hace que una parte del agua salga por el tubo encorvado y vaya a parar al embudo. Por el contrario, cuando la presión exterior aumenta, una parte del agua que hay en el cajón se ve obligada a pasar a la esfera debido a que la presión exterior es mayor. Cada grado de diferencia de temperatura produce aproximadamente la misma variación en el volumen del aire que hay en la esfera que una variación de presión de $760/273=2,5$ mm de la columna de mercurio. En Moscú, por ejemplo, las oscilaciones barométricas alcanzan 20 o más milímetros, lo que corresponde a 8°C del termoscopio de Herón, es decir, esta disminución de la presión puede confundirse fácilmente con un aumento de temperatura de 8 grados.

Como puede verse, el antiguo termoscopio es en la misma medida un baroscopio. Hace tiempo se vendían barómetros de agua, que al mismo tiempo eran termómetros, aunque, por lo visto, ni el público ni el inventor sospechaban esto.

[Volver al inicio](#)

¿PARA QUE SIRVEN LOS TUBOS DE VIDRIO DE LAS LAMPARAS?

Pocos son los que conocen el largo camino que tuvieron que recorrer los tubos de vidrio de las lámparas hasta llegar a adquirir la forma que ahora tienen. Durante muchos millares de años el hombre se alumbró con llama abierta. Fue necesario el genio de Leonardo de Vinci (1452-1519) para realizar el importante perfeccionamiento de las lámparas que supone el empleo de los tubos. Pero el tubo con que Leonardo rodeó la llama no era de vidrio, sino de metal. Tuvieron que pasar tres siglos más hasta que fue concebida la idea de sustituir el tubo metálico por un cilindro transparente de vidrio. El vidrio de las lámparas es, pues, un invento en el que tomaron parte decenas de generaciones.

Pero, ¿para qué sirve este tubo?

Lo más probable es que no todo el mundo pueda dar una respuesta acertada a esta pregunta tan natural. Porque 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 de los tubos de las lámparas es análogo al de las chimeneas de las fábricas o de los hornos, es decir, intensificar el flujo de aire que llega a la llama o, como se suele decir, el "tiro".

Analicemos esto. La llama calienta la columna de aire que hay dentro del tubo mucho más de prisa que el aire que se halla alrededor de la lámpara. Este aire, una vez calentado, se hace más ligero y, de acuerdo con el principio de Arquímedes, es empujado hacia arriba por el aire, más frío y pesado, que entra por abajo a través de los orificios del mechero. De esta forma se mantiene una corriente continua de aire, que va de abajo hacia arriba, que arrastra los residuos de la combustión y trae aire fresco.

Cuanto más largo sea el tubo, tanto mayor será la diferencia de peso entre el aire caliente y el frío, más intensa será la corriente de aire fresco y, por consiguiente, la combustión será más rápida. Por esta misma razón se hacen tan altas las chimeneas de las fábricas.

Leonardo de Vinci comprendió perfectamente este fenómeno. Entre sus manuscritos hay una nota que dice: "Cuando se produce fuego se forma a su alrededor una corriente de aire que lo mantiene e intensifica".

[Volver al inicio](#)

¿POR QUE LA LLAMA NO SE APAGA A SI MISMA?

Si se recapacita sobre el problema de la combustión, se plantea forzosamente la pregunta siguiente: ¿por qué la llama no se apaga a sí misma?

Los productos de la combustión, el anhídrido carbónico y el vapor de agua, son *incombustibles* y por lo tanto incapaces de mantener la combustión. La llama, pues, está rodeada desde el primer momento de sustancias incombustibles que impiden la llegada de aire, y como sin aire no es posible la combustión, debe apagarse.

¿Por qué no ocurre esto? ¿Por qué continúa la combustión mientras queda materia combustible? Porque los gases se dilatan al calentarse, y, por consiguiente, *se hacen más ligeros*. Únicamente por esto los productos de la combustión no se quedan junto a la llama en que se formaron, sino que inmediatamente son empujados hacia arriba por el aire fresco. Si el principio de Arquímedes no se extendiera a los gases (o no existiera la gravedad) todas las llamas se apagarían de por sí a poco de empezar a arder.

Convencerse del efecto tan funesto que producen en la llama los productos de la combustión es cosa fácil. Generalmente nos servimos de este efecto, inconscientemente, cuando apagamos una lámpara.

¿Qué hacemos para apagar una lámpara de petróleo? Soplamos por arriba, es decir, hacemos que los productos incombustibles de la combustión vuelvan hacia abajo, hacia la llama; esta última deja de recibir aire y se apaga.

[Volver al inicio](#)

EL CAPITULO QUE LE FALTA A LA NOVELA DE JULIO VERNE

Julio Verne nos cuenta detalladamente en su novela "De la Tierra a la Luna" como sus intrépidos personajes pasaban el tiempo dentro de un proyectil lanzado hacia la Luna. Pero no nos dice cómo Michel Ardan cumplía sus funciones de cocinero en esta situación tan extraordinaria. Por lo visto, el novelista creía que cocinar dentro de un proyectil en vuelo no presenta dificultades dignas de ser descritas. Si esto es así, estaba en un error, porque dentro de un proyectil en vuelo todos los objetos se

*hacen ingravidos**². Julio Verne se olvidó de esto. No obstante, las peripecias que ocurrirían en una cocina ingravida durante la preparación de la comida son dignas de la pluma de un novelista. Es una lástima que un escritor de tanto talento como Julio Verne no prestase atención a un tema como éste. En vista de esto, procuraré llenar como pueda el hueco del capítulo que le falta a la novela citada, para darle al lector una idea de lo interesante que hubiera sido esto descrito por el gran novelista. Cuando el lector lea este artículo no debe olvidar que dentro del proyectil no *existe el peso*, es decir, que todos los objetos son *imponderables*.

[Volver al inicio](#)

EL DESAYUNO EN LA COCINA INGRAVIDA

- Queridos amigos, aún no hemos desayunado - dijo Michel Ardan a sus compañeros de viaje interplanetario -. El hecho de que hayamos perdido nuestro peso en este proyectil no significa que hayamos perdido también el apetito. Ahora mismo les haré un desayuno imponderable que sin duda será el más ligero de cuantos se han hecho hasta ahora en el mundo.

Y sin aguardar contestación se puso a cocinar.

- Esta botella de agua simula que está vacía - murmuró para sí Ardan, mientras abría una gran botella -. Pero no me engañará. Yo sé por qué no pesa ... Bueno, ya hemos sacado el tapón. Haz el favor de verter en la cacerola tu ingravido contenido.

Por más que inclinaba la botella, el agua no salía.

- No te canses, querido Ardan - dijo Nicholl, acudiendo en su ayuda -- Recuerda que en nuestro proyectil no existe la gravedad y por eso el agua no se derrama. Tendrás que *sacarla* de ahí como si fuera un jarabe espeso.

Ardan no se paró a pensarlo y dio con la palma de la mano un golpe sobre el fondo de la botella. Le esperaba otra sorpresa. En la boca de la botella se formó una bola de agua como un puño de grande.

- ¿Qué le pasa al agua? - se extrañó Ardan -. ¡Esto sí que es una sorpresa! Decíme, amigos científicos, ¿qué le pasa al agua?

- Esto no es más que una *gota*, querido Ardan, una simple gota de agua. En el mundo de la ingravidez las gotas pueden ser todo lo grandes que quieras. Recuerda que si los líquidos toman la forma de los recipientes que los contienen, si se derraman formando chorro, etc., es debido a la gravedad. Aquí no existe gravedad, por lo tanto, el líquido está sometido únicamente a sus fuerzas moleculares internas y deberá tomar la forma de esfera, lo mismo que el aceite en el célebre experimento de Plateau.

- ¡Qué me importa a mí Plateau con su experimento! Lo que me hace falta es hervir el agua para el caldo y no hay fuerza molecular que me lo impida - dijo Michel acalorado.

Empezó a sacudir el agua sobre la cacerola, que planeaba en el aire, pero parecía que todo se había confabulado contra él.

Las grandes bolas de agua llegaban a la cacerola y se extendían por su superficie. Pero esto no era todo. Desde las paredes internas el agua se corría a las externas y seguía extendiéndose por ellas. Pronto la cacerola estuvo envuelta en una gran capa de agua. En estas condiciones no había manera de hervirla.

- Esto es un experimento muy interesante que demuestra lo poderosa que es la fuerza de la cohesión - le explicaba tranquilamente Nicholl al furibundo Ardan -- No te pongas nervioso, esto es el caso corriente

² La explicación detallada de este fenómeno se da en el primer libro de "Física Recreativa" y en mis libros "Viajes interplanetarios", "A las estrellas en un cohete" y "En cohete a la Luna".

de un líquido que moja a un sólido, con la particularidad de que en este caso la gravedad no impide que este fenómeno se desarrolle con toda su fuerza.

- ¡Qué lástima que no lo impida! - repuso Ardan -. Moje o no moje, el agua debe estar *dentro* de la cacerola y no *alrededor* de ella. ¡Vaya novedad! ¡Qué cocinero puede hacer un caldo en estas condiciones!

- Si tanto te molesta que el agua moje la cacerola, puedes evitarlo fácilmente - intervino Barbicane para tranquilizarlo. Acuérdate de que el agua no moja los cuerpos que están recubiertos de grasa, aunque la capa sea muy delgada. Engrasa por fuera tu cacerola y verás como el agua se queda dentro de ella.

- ¡Bravo! ¡Esto es sabiduría! - celebró Ardan y puso en práctica el consejo. Después empezó a calentar el agua a la llama de un mechero de gas.

Realmente todo se unía contra Ardan. El mechero de gas también se encaprichó. Ardió medio minuto con llama mortecina y se apagó sin saber por qué.

Ardan le daba vueltas al mechero, cuidaba con paciencia su llama, pero todo era inútil. La llama se apagaba.

- ¡Barbicane! ¡Nicholl! ¿Es posible que no haya manera de hacer que arde este mechero como es debido, como mandan las leyes de vuestra Física y las normas de las compañías de gas? - exclamó Michel, dirigiéndose a sus amigos.

- Lo que ocurre no es ni extraordinario ni inesperado - le explicó Nicholl -. Esta llama arde como mandan las leyes de la Física. En cuanto a los compañías de gas ... creo que se arruinarían si no existiera la gravedad. Durante la combustión, como tú sabes, se forma anhídrido carbónico y vapor de agua, es decir, gases que no arden. En condiciones normales estos productos de la combustión no se quedan junto a la llama, sino que, como están calientes, son empujados hacia arriba por el aire fresco, que es más pesado. Pero aquí no hay gravedad, por lo tanto, los productos de la combustión se quedan allí donde se producen, rodean la llama con sus gases incombustibles e impiden que llegue hasta ella el aire puro. Por eso aquí arde la llama tan débilmente y se apaga pronto. Los extintores de incendios se basan precisamente en esto, en rodear la llama de un gas incombustible.

- Según dices - le interrumpió Ardan -, si en la Tierra no hubiera gravedad no harían falta los bomberos. Los incendios se apagarían solos, ahogados por su propia exhalación.

- Exactamente. Y ahora, para remediar esto, enciende otra vez el mechero y vamos a soplarle a la llama. Yo creo que conseguiremos crear un tiro artificial y que la llama arderá como en la Tierra. Así lo hicieron. Ardan volvió a encender el mechero y empezó a cocinar con cierta alegría maliciosa de ver como Nicholl y Barbicane soplaban y abanicaban la llama para que no le faltase aire. Ardan sentía en el fondo de su alma que sus amigos y su ciencia eran los culpables de "toda esta barahúnda".

- Manteneis el tiro como si fuerais la chimenea de una fábrica - susurró Ardan -. Os tengo lástima, queridos científicos, pero si queréis desayunar caliente no hay más remedio que acatar lo que manda vuestra Física.

Transcurrió un cuarto de hora, media hora, una hora y ... el agua no daba ni señales de empezar a hervir.

- ¡Ten paciencia, querido Ardan! ¿Sabes por qué el agua común, la que pesa, se calienta pronto?

Porque en ella se mezclan las capas. Las inferiores, más calientes y menos pesadas, son desplazadas hacia arriba por las más frías. Así se calienta rápidamente todo el líquido. ¿No has intentado nunca calentar agua por arriba? Cuando se hace esto no se produce la remoción de las capas del líquido, puesto que las superiores se calientan y se quedan arriba. Y como el agua conduce mal el calor, se puede hacer que las capas superiores hiervan, mientras que en las inferiores puede haber trozos de hielo

que no se derriten. En nuestro mundo sin gravedad puedes calentar el agua por el lado que quieras, el resultado es el mismo, porque como en la cacerola no se puede producir la circulación, el agua se calienta muy despacio. Si quieres que se caliente más de prisa tendrás que removerla tú mismo constantemente.

Nicholl advirtió a Ardan que no era conveniente calentar el agua hasta los 100°C, ya que a esta temperatura se genera mucho vapor, el cual, como tiene aquí el mismo peso específico que el agua (ambos iguales a cero), se mezcla con ella y forma una espuma homogénea.

Los guisantes jugaron otra mala pasada. Cuando Ardan abrió el saquito en que estaban y lo sacudió, los guisantes se esparcieron por el aire y empezaron a deambular por el camarote chocando contra las paredes y rebotando en ellas. Estos guisantes errabundos por poco ocasionan una desgracia. Nicholl suspiró y se tragó uno de ellos; empezó a toser y poco faltó para que se ahogase. Para liquidar este peligro y limpiar el aire, nuestros amigos tuvieron que dedicarse a la caza de los guisantes con una redcilla de mano que llevaba Ardan para "cazar mariposas en la Luna".

Cocinar en estas condiciones era verdaderamente un problema. Ardan llevaba razón cuando decía que aquí hubiera fallado hasta el mejor cocinero.

Freír el bistec también costó lo suyo. Hubo que tener la carne sujeta todo el tiempo con un tenedor, porque los vapores elásticos que se formaban entre ella y la sartén empujaban y la carne a medio freír salía volando hacia "arriba", si es que esta palabra se podía emplear allí, donde no había ni "arriba" ni "abajo".

En este mundo sin gravedad el desayuno era un espectáculo digno de verse. Nuestros amigos estaban suspendidos en el aire en las posturas más absurdas y pintorescas y con frecuencia se daban cabezazos unos a otros. A nadie se le ocurrió sentarse. Las sillas, los divanes, los bancos, son totalmente inútiles en el mundo de la ingravidez. En realidad, la mesa tampoco hacía falta, pero Ardan se empeñó en que había que desayunar "en la mesa".

Comerse el caldo no fue más fácil que guisarlo. En primer lugar, no había manera de echarlo en las tazas. Ardan hizo la prueba y poco faltó para que echara a perder su trabajo de toda la mañana. Como el caldo no se vertía, se olvidó de la ingravidez y dio un golpe en el fondo de la cacerola para hacerlo salir. De la cacerola se desprendió una enorme gota esférica. Era el caldo en forma de bola. Ardan tuvo que poner en juego sus dotes de malabarista para recuperar la gota y volver el caldo a la cacerola.

Los intentos de usar las cucharas fracasaron. El caldo mojaba toda la cuchara, hasta los dedos, como si fuera una película continua. Decidieron engrasar las cucharas por fuera, para que el caldo no las mojase, pero el resultado no fue mejor. El caldo formaba en ellas una bola y no había manera de hacer llegar estas píldoras ingravidas hasta la boca.

Nicholl encontró por fin una solución. Hicieron unos tubos de papel encerado y con ellos absorbieron el caldo. Este procedimiento fue el que usaron en adelante, mientras duró el viaje, para beber agua, vino y todos los demás líquidos³.

³ Muchos lectores de las ediciones anteriores de este libro me han escrito expresando sus dudas con respecto a la posibilidad de beber agua en un medio sin gravedad, incluso por el último procedimiento que hemos indicado, puesto que el aire que se encuentra dentro del proyectil en vuelo es ingravido y, por lo tanto, no ejerce presión sobre el líquido, y no existiendo presión, tampoco se puede beber por succión. Aunque parezca raro, esta misma objeción fue expresada en la prensa por algunos de mis críticos. Sin embargo, es evidente que en estas condiciones la ingravidez del aire no es óbice para que exista presión, puesto que el aire que se encuentra dentro de un espacio cerrado cualquiera presiona sobre sus paredes, no porque tiene peso, sino porque como todo cuerpo gaseoso tiende a extenderse indefinidamente. En el espacio libre que hay junto a la superficie terrestre la *gravedad* desempeña el papel

[Volver al inicio](#)

LA ALIMENTACION EN EL COSMOS

La preparación de los vuelos espaciales de gran duración ha hecho necesario que se estudie seriamente el problema de la alimentación en el cosmos. Se han ideado pastas alimenticias especiales que se envasan en tubos parecidos a los de la pasta de los dientes. Las naves cósmicas llevan el agua en unos depósitos especiales, provistos de unos tubos flexibles. Para beber se absorbe el agua por estos tubos. Los alimentos sólidos, como el pan, la carne, etc., van empaquetados en pequeñas porciones que pueden llevarse directamente a la boca.

El cosmonauta N° 4, Pável Popóvich, además de la ración correspondiente, se llevó una "vobla"⁴, que durante el vuelo se comió con mucho apetito.

[Volver al inicio](#)

¿POR QUE EL AGUA APAGA EL FUEGO?

Esta es una pregunta muy sencilla, pero que no todos saben contestar bien. Esperamos que el lector no se quejará si explicamos brevemente en qué consiste la acción del agua sobre el fuego.

En primer lugar, cuando el agua entra en contacto con el objeto que arde se convierte en vapor, con lo cual quita mucho calor al cuerpo en combustión. Para que el agua hirviendo se convierta en vapor hace falta una cantidad de calor cinco veces mayor que para hacer que una cantidad igual de agua fría se caliente hasta 100°C.

En segundo lugar, el vapor que se forma ocupa un volumen centenares de veces mayor que el que tenía el agua que lo engendró; estos vapores rodean al cuerpo que se quema, desplazan el aire y, cuando este último falta, cesa la combustión.

En algunas ocasiones, para aumentar el efecto extintor del agua se le echa ... ¡pólvora! Esto, que puede parecer raro, es perfectamente lógico, ya que la pólvora arde muy de prisa y produce una gran cantidad de gases incombustibles, los cuales rodean los objetos que se queman y apagan el fuego.

[Volver al inicio](#)

EL FUEGO SE PUEDE APAGAR CON FUEGO

El lector quizás haya oído decir que el mejor procedimiento, y a veces el único, que se puede emplear para cortar los incendios en los bosques o en las estepas es el de incendiar el bosque o la estepa por el lado opuesto. Las nuevas llamas se lanzan al encuentro del incendio desencadenado y, como destruyen el material que podía arder, hacen que el fuego no tenga de qué alimentarse. Cuando los dos muros de fuego se encuentran, se apagan en el acto, como si se devorasen entre sí.

Muchos habrán leído en la novela de James Cooper "The Prairie"⁵ cómo se empleaba este procedimiento para apagar el fuego en los incendios de las estepas norteamericanas. ¿Se puede acaso olvidar el momento tan dramático en que el viejo trampero salva de una muerte segura a sus compañeros de viaje, cuando fueron sorprendidos por el incendio en la estepa?

A continuación reproducimos este episodio de "The Prairie".

de paredes que impiden la expansión del gas. Por lo visto, la costumbre de apreciar esta relación es la que ha hecho que se confundan mis críticos.

⁴ Pescado en salazón.

⁵ "La Pradera".

"El viejo tomó de improviso un aspecto decidido.

- Ha llegado la hora de actuar.

- ¡Se ha dado usted cuenta demasiado tarde, viejo desgraciado! -gritó Middleton -. El fuego está ya a un cuarto de milla de nosotros y el viento le empuja hacia aquí con una fuerza horrorosa.

- ¡Conque fuego! ¡Como si yo me asustara del fuego! ¡Venga, valientes, manos a la obra! ¡Arrancad esta hierba seca hasta que la tierra quede como la palma de la mano!

Pronto quedó libre de hierba un espacio que tendría veinte pies de diámetro. El trampero llevó a las mujeres a un extremo de este pequeño espacio y les dijo que se cubrieran los vestidos con las mantas, porque si no se podían incendiar. Después de tomar esta precaución se fue al otro extremo, donde el elemento desencadenado rodeaba a los viajeros con su peligroso cerco, cogió un puñado de la hierba más seca, la puso en la cazoleta del rifle y disparó. La hierba reseca se incendió en el acto. El viejo la tiró a un alto matorral, se retiró al centro del círculo y se puso a esperar el resultado de su obra. El elemento destructor se lanzó como hambriento sobre su nueva presa y pronto las llamas lamían la hierba.

- Ahora - dijo el viejo -, verán ustedes como el fuego acaba con el fuego.

- ¿Pero esto no es más peligroso? - exclamó Middleton ¿No acerca usted el enemigo, en lugar de alejarlo?

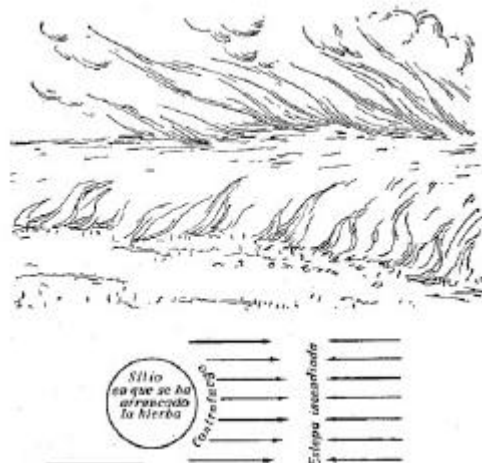


Figura 86. El fuego apaga el incendio de la estepa (pradera).

El fuego recién encendido iba en aumento y se extendía en tres direcciones, detenido en la cuarta por falta de alimento. A medida que crecía y tomaba fuerza iba limpiando todo el espacio que tenía delante. Detrás del fuego quedaba un suelo negro y humeante mucho más despejado que si hubieran segado la hierba. La situación de los fugitivos habría sido más crítica si el sitio que antes limpiaron no fuera en aumento a medida que las llamas los iban rodeando por las otras partes. Al cabo de unos minutos las llamas retrocedían en todas direcciones dejando a aquella gente envuelta en nubes de humo, pero fuera del peligro de ser alcanzados por el torrente de fuego que seguía avanzando impetuosamente.

Los viajeros contemplaban el simple procedimiento que había utilizado el trampero con la misma admiración que dicen que los palaciegos de Fernando el Católico miraban cómo Colón ponía el huevo de pie”.

Pero este procedimiento de apagar incendios en las estepas y en los bosques no es tan sencillo como parece. El contrafuego sólo pueden emplearlo personas de gran experiencia, de lo contrario la catástrofe puede ser todavía mayor.

Para que el lector comprenda qué pericia hace falta para esto, bastará que se pregunte: ¿por qué el fuego que prendió el trampero iba al encuentro del incendio, en lugar de hacerlo en sentido contrario? No hay que olvidar que el viento soplabla del lado del incendio y le empujaba hacia los viajeros. Al parecer, el nuevo incendio producido por el viejo trampero no debía ir al encuentro del mar de fuego, sino por la estepa hacia atrás. Si hubiera ocurrido esto, los viajeros se hubieran visto envueltos en un anillo de fuego y habrían perecido irremediamente.

¿En qué consistía el secreto del trampero?

En el conocimiento de una ley física muy sencilla. Aunque el viento soplabla de la dirección en que ardía la estepa hacia los viajeros, *más adelante, cerca del fuego*, tenía que haber una corriente de aire contraria, que fuera *en dirección* a las llamas. No podía ser de otra forma, porque el aire que se calienta sobre el mar de fuego se hace más ligero y es desplazado hacia arriba por el aire fresco que llega de todas partes de la estepa no tocadas aún por las llamas. Por esto, cerca del límite del fuego se produce *un tiro de aire que va al encuentro del incendio*. El fuego contrario hay que encenderlo precisamente en el momento en que el incendio se aproxima lo suficiente para que se note este tiro de aire. Esto es lo que esperaba el trampero, que no comenzó a obrar antes de tiempo, sino que aguardó tranquilamente el momento oportuno. Si hubiera prendido fuego a la hierba un poco antes, cuando aún no se había establecido el tiro, el fuego se habría propagado en sentido contrario y la situación de aquel grupo de personas hubiese sido desesperada. Por el contrario, un pequeño retraso también podía resultar fatal, ya que el fuego hubiera llegado demasiado cerca.

[Volver al inicio](#)

¿SE PUEDE HERVIR AGUA EN AGUA HIRVIENDO?

Coja usted una botella pequeña (un tarro o un frasquito), llénela de agua y métala en una cacerola que contenga agua pura y que esté puesta a la lumbre. Haga usted esto de forma que el frasco no toque el fondo de la cacerola. Lo mejor para esto es colgarlo con un alambre. Cuando el agua de la *cacerola* comienza a hervir parece que acto seguido también hervirá el agua del frasquito. Sin embargo, puede usted esperar cuanto quiera, el agua del frasco se calentará, se pondrá muy caliente, pero no hervirá. Es decir, el agua hirviendo resulta poco caliente para hacer que hierva el agua del frasco.

Esto que parece sorprendente era de esperar, porque para hacer que hierva el agua no basta calentarla hasta 100°C; hay que comunicarle además la cantidad de calor necesaria para que pase al nuevo estado de agregación, es decir, a vapor.

El agua pura hierve a 100°C; en condiciones normales su temperatura no aumenta por mucho que la calentemos. Quiere decir, que la fuente de calor con que calentamos el agua del frasquito tiene 100°C y, por lo tanto, solamente puede calentarla hasta 100°C. En cuanto se equilibran las temperaturas, *el agua de la cacerola deja de ceder calor a la del frasco*. Es decir, por este procedimiento no podemos conseguir que el agua del frasco adquiera la reserva de calor necesaria para pasar del estado líquido al gaseoso (cada gramo de agua, calentada hasta 100°C, necesita más de 500 calorías para pasar a vapor). Esta es la causa de que el agua del frasco, aunque se caliente, no llegue a hervir.

Pero puede plantearse la pregunta: ¿en qué se diferencia el agua del frasco de la que hay en la cacerola? ¿No son acaso iguales? Lo único que ocurre es que están separadas por las paredes de vidrio, ¿por qué no hierve entonces?

Porque precisamente esas paredes de vidrio impiden que el agua que hay dentro del frasco tome parte en las corrientes que remueven todo el agua de la cacerola. Cada una de las partículas de agua de la cacerola puede ponerse en contacto directo con su fondo caldeado, mientras que el agua del frasco solamente tiene contacto con el agua hirviendo.

De esto se deduce que con agua hirviendo no se puede hacer que hierva el agua. Pero si en la cacerola se echa un puñado de sal, las circunstancias cambian. El agua salada hierve a más de 100°C y, por consiguiente, puede hacer a su vez que hierva el agua pura contenida en el frasco de vidrio.

[Volver al inicio](#)

¿PUEDE LA NIEVE HACER HERVIR EL AGUA?

Si no fue posible hacerla hervir con agua hirviendo - dirá el lector -, ¿cómo vamos a conseguirlo con nieve?

Pero en vez de contestar apresuradamente, haga usted el experimento siguiente (aunque sea con el mismo frasco de antes):



Figura 87. El agua del frasco hierve cuando se le echa agua fría

Llene usted el frasco de agua hasta la mitad y métalo en *agua salada* hirviendo. Cuando empiece a hervir el agua del frasco, sáquelo de la cacerola y tápele con un tapón bien ajustado. Póngalo boca abajo y espere hasta que dentro deje de hervir el agua. En cuanto esto ocurra, rocíe el frasco con agua hirviendo. El agua que hay dentro no hervirá. Pero si sobre la base del frasco pone un poco de nieve o simplemente echa sobre ella agua fría, como muestra la fig. 87, verá usted como el agua empieza a hervir ... ¡La nieve hace lo que el agua hirviendo no pudo hacer!

La cosa resulta más misteriosa, porque si se toca el frasco se nota que no está muy caliente. No obstante, vemos con nuestros propios ojos que el agua hierve dentro de él.

El secreto es el siguiente: cuando la nieve enfría el frasco, el vapor que hay dentro de él se condensa y forma gotas de agua. Pero como dentro del frasco no hay aire (o hay poco), porque fue expulsado mientras el agua hervía, resulta que este agua estará ahora sometida a una presión mucho menor. Por otra parte sabemos que cuando la presión disminuye el líquido puede hervir a menor temperatura. Por consiguiente, en nuestro frasco tenemos agua hirviendo, aunque no *está muy caliente*.

Si las paredes del frasco son delgadas, la condensación instantánea del vapor puede producir una especie de estallido, porque la presión del aire exterior, al no encontrar resistencia dentro del frasco,

puede aplastarlo (por eso la palabra "estallido" no es la más a propósito en este caso). Para evitar esto es preferible usar un frasco esférico (un matraz de fondo convexo, por ejemplo), en este caso aire presionará sobre una "bóveda".



Figura 88. Resultado asombroso del enfriamiento de la lata.

Este experimento es más seguro si se hace con una lata de las que sirven de envase al aceite.



Figura 89. "Experimentos científicos" de Mark Twain.

Después de hervir en una de estas latas un poco de agua, se le atornilla bien el tapón y se le echa por fuera agua fría. La lata llena de vapor será aplastada inmediatamente por la presión del aire exterior, puesto que dentro de ella el vapor se enfría y se condensa formando agua. La lata quedará abollada por la presión del aire lo mismo que si le hubieran dado un martillazo (fig. 88).

[Volver al inicio](#)

"SOPA DE BAROMETRO"

En su libro "A Tramp Abroad" (Viaje al extranjero) el humorista norteamericano Mark Twain cuenta un caso que le ocurrió durante su viaje a los Alpes, caso, claro está, inventado por él.

"Terminaron nuestros contratiempos; la gente pudo descansar y yo, por fin, pude dedicarme a la parte científica de la expedición. Ante todo quise determinar con el barómetro la altura del lugar donde estábamos. Pero, sintiéndolo mucho, no conseguí ningún resultado. Por mis lecturas científicas yo sabía que para obtener los datos necesarios había que hervir ... el termómetro o el barómetro. Pero como no recordaba exactamente cuál de los dos, decidí hervir ambos.

A pesar de todo no obtuve ningún resultado. Examiné ambos aparatos y me convencí de que estaban totalmente estropeados. Del barómetro no quedó más que la aguja de cobre y del termómetro pendía una gota de mercurio ...

Busqué otro barómetro. Estaba completamente nuevo y era magnífico. Lo herví durante media hora en un puchero, donde el cocinero hacía sopa de habas. El resultado fue sorprendente. El instrumento dejó de funcionar, pero la sopa tomó un gusto a barómetro tan fuerte, que el cocinero - que no era tonto - cambió su nombre en el menú. El nuevo plato fue muy elogiado por todos y yo di la orden de que cada día hicieran sopa de barómetro. El barómetro quedó completamente inutilizado, pero no lo sentí. Como no me sirvió para determinar la altura del lugar, ¿para qué lo quería?"

Ahora, dejando las bromas, procuremos contestar a la pregunta siguiente: ¿qué instrumento era el que había que "hervir", el termómetro o el barómetro?

El termómetro. ¿Por qué? Porque como hemos visto en el experimento anterior, cuanto menor es la presión que soporta el agua tanto más baja es su temperatura de ebullición. Como al subir a una montaña la presión atmosférica disminuye, al mismo tiempo deberá bajar la temperatura de ebullición del agua. Y, efectivamente, al variar la presión atmosférica se observan las siguientes temperaturas de ebullición del agua:

Presión barométrica en mm Hg.	Temperatura de ebullición, en °C
787,7	101
760	100
707	98
657,5	96
611	94
567	92
525,5	90
487	88
450	86

En Berna (Suiza), donde la presión atmosférica media es de 713 mm, el agua hierve en las vasijas abiertas a 97,5 grados, y en el Mont Blanc, donde el barómetro marca 424 mm, el agua hierve a 84,5 grados solamente. La temperatura de ebullición del agua desciende 3°C por cada kilómetro de elevación. Por lo tanto, si medimos la temperatura a que hierve el agua (o como dice Mark Twain, si "hervimos el termómetro") y *buscamos después en la tabla correspondiente*, podemos hallar la altura del lugar. Pero para esto hay que tener una tabla hecha de antemano, cosa de la que se olvidó Mark Twain.

Los instrumentos que se emplean para esto se llaman hipsómetros, son tan fáciles de transportar como los barómetros metálicos, pero proporcionan unos datos mucho más exactos.

El barómetro también puede servir para determinar la altura de un lugar, puesto que directamente, y sin "hervirlo", indica la presión atmosférica. Cuanto mayor sea la altura a que nos elevemos, menor será la presión. Pero en este caso también hay que tener tablas, indicadoras de cómo disminuye la presión del aire a medida que aumenta la altura sobre el nivel del mar, o conocer las fórmulas necesarias. Todo esto fue lo que se mezcló en la imaginación del humorista y le indujo a "hacer sopa de barómetro".

[Volver al inicio.](#)

¿ESTA SIEMPRE CALIENTE EL AGUA HIRVIENDO?

El bravo ordenanza Ben-Zouf, que el lector conoce seguramente por la novela de Julio Verne "Hector Servadac", estaba completamente seguro de que el agua hirviendo tiene siempre y en todas partes la misma temperatura. Es de suponer que habría seguido pensando así durante toda su vida si el azar no hubiera tenido a bien lanzarlo, junto con su jefe Servadac, a un ... cometa. Este astro caprichoso chocó con la Tierra, arrancó de ella el pedazo en que estaban precisamente ambos héroes, y se los llevó siguiendo su órbita elíptica. Fue entonces cuando el ordenanza pudo comprobar por experiencia propia que el agua hirviendo no está siempre igual de caliente. Este descubrimiento lo hizo inesperadamente, mientras preparaba el desayuno.

"Ben-Zouf echó agua en la cacerola, la puso en la plancha de la cocina y esperó a que empezara a hervir para poner a cocer los huevos, que le parecían huecos porque pesaban poco.

Antes de dos minutos ya estaba hirviendo el agua.

- ¡Diablos, cómo calienta el fuego! - exclamó Ben-Zouf.

- No es que el fuego caliente más - le dijo Servadac después de pensarlo -, lo que pasa es que el agua hierve antes.

Cogió un termómetro centígrado que había en la pared y lo metió en el agua hirviendo. El termómetro marcó sesenta y seis grados solamente.

- ¡Oh! - exclamó el oficial -. ¡El agua hierve a sesenta y seis grados, en vez de a cien!

- ¿Qué hacer, capitán?

- Te aconsejo, Ben-Zouf, que cuezas los huevos durante un cuarto de hora.

- Se van a poner duros.

- No, querido, apenas si estarán pasados por agua.

Este fenómeno se debía sin duda a la disminución de la altura de la capa atmosférica. La columna de aire sobre la superficie del suelo había disminuido casi en una tercera parte, por esto el agua, sometida a menos presión, hervía a sesenta y seis grados, en vez de a cien. Un fenómeno semejante ocurriría en la cumbre de una montaña que tuviera 11.000 m de altura. Si el capitán hubiera tenido un barómetro le habría podido demostrar esta disminución de la presión atmosférica".

No vamos a poner en duda las observaciones de nuestros héroes. Ellos afirman que el agua hirvió a los 66°C y nosotros admitimos esto como un hecho. Pero es muy extraño que pudieran sentirse tan bien en una atmósfera tan enrarecida.

El autor de "Servadac" lleva razón cuando dice que un fenómeno semejante podría observarse a la altura de 11.000 m. En estas condiciones, como confirman los cálculos⁶, el agua debe hervir a 66°C. Pero la presión atmosférica debería ser entonces de 190 mm de la columna de mercurio, es decir, exactamente la cuarta parte de la normal. En el aire enrarecido hasta un grado como éste casi no se puede respirar. Estas alturas están ya en la estratosfera. Y nosotros sabemos que pilotos que volaron a 7 u 8 kilómetros de altura, sin caretas de oxígeno perdieron el conocimiento por falta de aire, mientras que Servadac y su asistente no se sentían mal. Fue una suerte que Servadac no tuviera un barómetro a mano, de lo contrario el novelista se hubiera visto obligado a hacer que este instrumento marcara una cifra diferente de la que le correspondía de acuerdo con las leyes de la Física.

⁶ Efectivamente, si como dijimos antes (pág. 160) el punto de ebullición del agua desciende en 3°C por cada kilómetro que nos elevamos, para que la temperatura de ebullición descienda hasta 66°C hay que subir $34:3=11$ km aproximadamente.

Si nuestros héroes no hubieran caído en un cometa imaginario, sino en el planeta Marte, por ejemplo donde la presión atmosférica no es mayor de 60-70 mm, habrían visto hervir el agua a 45 grados.

Por el contrario, en el fondo de las minas profundas, donde la presión atmosférica es bastante mayor que en la superficie de la tierra, el agua hirviendo está muy caliente. En una mina que tenga 300 m de profundidad el agua hierve a 101°C y a la profundidad de 600 m lo hará a 102°C.

En las calderas de las máquinas de vapor el agua hierve a una presión muy elevada. Por ejemplo, a 14 atmósferas el agua hierve a ... ¡200°C! Y al revés, bajo la campana de una máquina neumática se puede hacer que el agua hierva a la temperatura ambiente normal, es decir, a 20°C.

La medicina aeronáutica y cósmica han puesto de manifiesto que la acción funesta de la altura sobre el organismo humano no se reduce a la falta de aire para la respiración. La disminución brusca de la presión atmosférica también es un fenómeno muy peligroso que puede ocurrir, por ejemplo, en el caso en que un meteoro deteriore el revestimiento de una nave cósmica. Si esto ocurre, los gases que se hallan disueltos en la sangre comienzan a desprenderse enérgicamente y la sangre hierve en realidad. Este mismo peligro amenaza a los buzos inexpertos si suben a la superficie demasiado de prisa. Este fenómeno se conoce con el nombre de "enfermedad de descompresión".

[Volver al inicio](#)

HIELO CALIENTE

Hasta ahora hemos hablado de agua que hierve estando "fría", pero hay otro fenómeno más interesante, el *hielo caliente*. Estamos acostumbrados a pensar que el agua no puede encontrarse en estado sólido a temperaturas mayores de 0°C. No obstante, las investigaciones llevadas a cabo por el físico norteamericano Bridgman demostraron que esto no es así. Si el agua está sometida a una gran presión puede pasar al estado sólido y permanecer en él a temperaturas considerablemente mayores de 0°C. Bridgman demostró que, en general, pueden existir varios tipos de hielo. El hielo que él denominó "hielo N° 5" se obtiene a la monstruosa presión de 20.600 atmósferas y permanece en estado sólido a la temperatura de 76°C. Si lo tocásemos nos quemaría las manos. Pero esto es imposible, porque se forma dentro de un recipiente especial del mejor acero, sometido a la presión de una poderosa prensa. Tampoco se puede ver. Las propiedades de este "hielo caliente" se estudian por medios indirectos. Un dato interesante es que el "hielo caliente" es más denso que el ordinario e incluso que el agua. Su peso específico es de 1,05. Este hielo podría hundirse en el agua, mientras que el ordinario, como todos sabemos, flota en ella.

[Volver al inicio](#)

EL CARBÓN PRODUCE FRÍO

El hecho de que el carbón produzca frío y no calor no es cosa excepcional, sino algo que cada día se hace en las fábricas de lo que se llama "hielo seco". En estas fábricas se quema el carbón en unas calderas y el humo que produce se depura, con la particularidad de que anhídrido carbónico que contiene es capturado por una solución alcalina. Esta solución se calienta después y el anhídrido carbónico puro que se desprende se somete a enfriamiento y presión hasta que pasa al estado líquido a una presión de 70 atmósferas. Este es el anhídrido carbónico líquido que se lleva en balones de paredes gruesas a las fábricas de bebidas efervescentes y que se utiliza también en otros menesteres industriales. Este líquido está tan frío que con él se puede helar el suelo, como se suele hacer en las obras de los

túneles del metropolitano. Pero hay muchos casos en que se necesita anhídrido carbónico sólido, es decir, lo que se llama "*hielo seco*".

El hielo seco, es decir, el anhídrido carbónico sólido, se obtiene del líquido, sometiéndolo a una evaporación rápida a baja presión. Los trozos de hielo seco se parecen más a la nieve prensada que al hielo y, en general, se diferencia bastante del agua en estado sólido. El hielo del anhídrido carbónico es más pesado que el ordinario y se hunde en el agua. A pesar de que su temperatura es extraordinariamente baja (78° bajo cero), si se coge un trozo con precaución no se nota frío en los dedos. Ocurre esto, porque el anhídrido carbónico gaseoso que se produce cuando el hielo seco se pone en contacto con los dedos protege nuestra piel de la acción del frío. Nuestros dedos corren el peligro de helarse únicamente si apretamos con ellos el pedazo de hielo seco.

El nombre de "hielo seco" expresa perfectamente la propiedad física fundamental de este hielo. Es verdad que nunca está húmedo ni humedece nada a su alrededor. Por la acción del calor pasa directamente al estado gaseoso, sin pasar por el estado líquido. El anhídrido carbónico a la presión normal no puede existir en estado líquido. Esta peculiaridad del hielo seco, además de su baja temperatura, lo hacen insustituible como cuerpo refrigerante en muchos casos prácticos. Los productos alimenticios conservados con hielo seco no sólo no se humedecen, sino que están mejor protegidos contra la putrefacción, puesto que el anhídrido carbónico gaseoso que se produce es un medio que impide el desarrollo de los microorganismos; por esta razón, estos productos ni se cubren de verdín ni tienen bacterias. Los insectos y los animales roedores tampoco soportan esta atmósfera. Finalmente, el anhídrido carbónico es extintor de incendios muy seguro. Varios trozos de hielo seco son suficientes para apagar una lata de gasolina que esté ardiendo. Por todo esto el hielo seco se consume mucho, tanto en la industria como para usos domésticos.

[*Volver al inicio*](#)

Capítulo 8

MAGNETISMO. ELECTRICIDAD

"LA PIEDRA AMANTE"

Este nombre tan poético fue el que los chinos le dieron al imán natural o piedra imán. La piedra amante (tshu-shi) - dicen los chinos -, atrae al hierro, lo mismo que una madre amorosa atrae a sus hijos. Es interesante que los franceses, que habitan el extremo opuesto del Viejo Mundo, le dieron al imán un nombre semejante, porque en francés la palabra "aimant" significa "imán" y "amante".

La fuerza de este *amor* de los *imanes* naturales es muy pequeña y por eso parece ingenuo que los griegos llamaran a la piedra imán "piedra de Hércules". Si los habitantes de la antigua Hellas se asombraban tanto de la modesta atracción del imán natural, ¿qué dirían ahora si viesen los imanes que en las fábricas metalúrgicas modernas levantan bloques que pesan toneladas enteras? Es verdad que éstos no son imanes naturales, sino "electroimanes", es decir, masas de hierro imanadas por la corriente eléctrica que pasa por un devanado que las rodea. Pero en ambos casos la naturaleza de la fuerza que actúa es la misma, el magnetismo.

No se debe creer que el imán influye solamente sobre el hierro. Existe toda una serie de cuerpos no ferrosos que también experimentan la acción de los imanes potentes, aunque en menos grado que el hierro. Los metales como el níquel, cobalto, manganeso, platino, oro, plata y aluminio son atraídos débilmente por el imán. Aún es más interesante la propiedad que tienen los cuerpos llamados diamagnéticos, por ejemplo, el zinc, el plomo, el azufre y el bismuto. Estos cuerpos son repelidos por los imanes potentes.

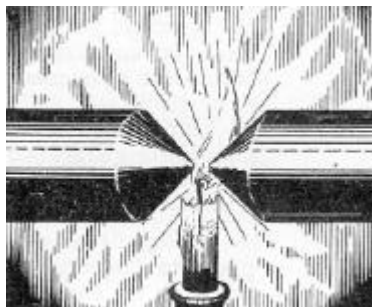


Figura 90. La llama de una vela entre los polos de un electroimán.

Los gases y los líquidos también son atraídos o repelidos por el imán, aunque muy débilmente. El imán tiene que ser muy potente para que pueda ejercer influencia sobre estas sustancias. El oxígeno puro, por ejemplo, es atraído por el imán. Si una pompa de jabón se llena de oxígeno y se coloca entre los polos de un electroimán potente, se nota como la pompa se alarga de un polo a otro estirada por las invisibles fuerzas magnéticas. La llama de una vela colocada entre los extremos de un imán potente cambia de forma, con lo cual pone de manifiesto su sensibilidad para con las fuerzas magnéticas (fig. 90).

[Volver al inicio](#)

EL PROBLEMA DE LA BRUJULA

Estamos acostumbrados a pensar que la aguja magnética siempre señala con uno de sus extremos hacia el norte y con el otro hacia el sur. Por esto parece absurda la pregunta que sigue:

¿En qué sitio de la esfera terrestre *los dos extremos* de la aguja magnética señalan al norte?

Y más disparatada aún resulta esta otra:

¿En qué sitio de la Tierra los dos extremos de la aguja magnética señalan hacia el sur?

El lector estará dispuesto a decir que en nuestro planeta ni existen ni pueden existir estos sitios. Pero sí, existen.

Recuerde usted que los polos magnéticos de la Tierra no coinciden con los geográficos y se dará cuenta de cuáles son los sitios a que se refieren las preguntas. ¿Hacia dónde señalará la aguja magnética situada en el polo sur geográfico? Uno de sus extremos señalará hacia el polo magnético más próximo y el otro en sentido contrario. Pero estando en el polo sur geográfico, cualquiera que sea la dirección que tomemos siempre iremos *hacia el norte*, puesto que en el polo sur geográfico no hay otra dirección, en torno a él todo es norte. Por lo tanto, la aguja magnética que se encuentre allí señalará con sus dos extremos hacia el norte.

Lo mismo ocurrirá con la aguja magnética que se sitúe en el polo norte geográfico, cuyos dos extremos señalarán al sur.

[Volver al inicio](#)

LINEAS DE FUERZA MAGNETICAS

La fig. 91 es reproducción de una fotografía. En ella se representa un curioso experimento. Un brazo descansa sobre los 6 polos de un electroimán y toda una serie de clavos grandes se mantienen de pie en él como si fueran cerdas. El brazo no siente en absoluto la acción de las fuerzas magnéticas; sus hilos invisibles pasan a través de él sin revelar su presencia. Pero los clavos de hierro se someten sumisamente a su acción y se colocan en un orden determinado, poniendo de manifiesto la dirección de las fuerzas magnéticas.

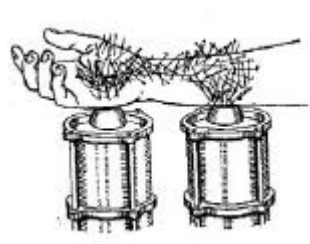


Figura 91. Las fuerzas magnéticas pasan a través del brazo.

El hombre no posee ningún órgano sensible a los campos magnéticos, por lo tanto, lo único que podemos hacer es imaginarnos las fuerzas que rodean a los imanes¹. Sin embargo, no es difícil descubrir

¹ Es interesante suponer lo que ocurriría si tuviéramos un sentido capaz de percibir directamente el magnetismo. Kreidl consiguió hacer que los cangrejos tuvieran una especie de sentido magnético. Le ayudó a esto el descubrimiento que hizo de que los cangrejos jóvenes se introducen en el oído piedrecitas pequeñas. Estas piedrecitas influyen con su peso sobre un filamento sensible que forma parte del órgano equilibrador del cangrejo. Piedras semejantes a éstas, llamadas otolitos, existen en el oído humano, cerca del órgano básico del oído. Estas piedrecitas, accionando verticalmente, indican la dirección de la gravedad. En lugar de ellas Kreidl colocó a los

indirectamente cómo se distribuyen estas fuerzas. Lo mejor para conseguir esto es emplear limaduras de hierro. Estas limaduras se echan, formando una capa uniforme, sobre un trozo de cartulina lisa (o sobre una lámina de vidrio), debajo de ella se coloca un imán ordinario y se agitan suavemente las limaduras dándole unos golpecitos a la cartulina. Las fuerzas magnéticas pasan sin dificultad a través de la cartulina o del vidrio y las limaduras de hierro se imanán; por eso, cuando golpeamos la cartulina, se separan por un instante de su superficie y pueden girar influidas por las fuerzas magnéticas y tomar la posición que en cada punto dado tomaría una aguja magnética, es decir, se orientan siguiendo las "líneas de fuerza" magnéticas. Como resultado, se obtiene que las limaduras forman filas que ponen de manifiesto la distribución de las líneas de fuerza invisibles.

Cuando colocamos sobre el imán nuestra cartulina con las limaduras y la agitamos, obtenemos el cuadro que muestra la fig. 92. Las fuerzas magnéticas crean un sistema complejo de líneas curvas. Puede verse cómo salen radialmente de cada polo del imán y cómo las limaduras se unen entre sí formando arcos más o menos largos entre ambos polos. Estas limaduras de hierro muestran de una manera gráfica lo que el físico ve ante sí mentalmente y que de forma invisible existe alrededor de cada imán. Las líneas formadas por las limaduras son tanto más densas y bien definidas cuanto más cerca están de un polo; por el contrario, se enrarecen y pierden nitidez a medida que se alejan de él.

[Volver al inicio](#)

¿CÓMO SE IMANA EL ACERO?

Antes de contestar a esta pregunta, que los lectores suelen hacer con frecuencia, hay que dejar bien sentada la diferencia que existe entre un imán y una barra de acero sin imanar. Cada uno de los átomos de hierro que entran en la composición del acero -esté o no imanado-, se puede representar como un imán pequeñísimo.

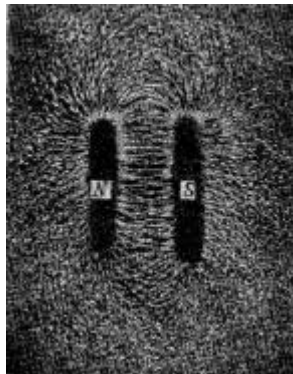


Figura 92. Distribución de las limaduras de hierro en un cartón puesto sobre los polos de un imán (de una fotografía).

cangrejos limaduras de hierro, cosa que ellos no notaron. Hecho esto, cuando se acercaba un imán al cangrejo, este último se colocaba en el plano perpendicular a la resultante de la composición de la fuerza magnética y de la gravedad. "Recientemente se han conseguido realizar en el hombre experimentos semejantes, aunque de otra forma. Para esto Köhler pegó pequeñas partículas de hierro en la membrana del oído, con lo cual este percibía las oscilaciones de la fuerza magnética como si fueran sonidos" (Prof. O. Wiener).

En el acero sin imanar estos imanitos atómicos se encuentran en desorden, por lo que la acción de cada uno de ellos es anulada por la de otro situado a la inversa (fig. 93, A). En el imán, por el contrario, todos los imanes elementales están ordenados, todos los polos de un mismo nombre están dirigidos en la misma dirección, como muestra la fig. 93, B.

¿Qué ocurre con un trozo de acero cuando se frota con un imán? La atracción del imán hace que todos los imanes elementales de la barra de acero giren y se coloquen de forma que todos los polos del mismo nombre se orienten en la misma dirección.

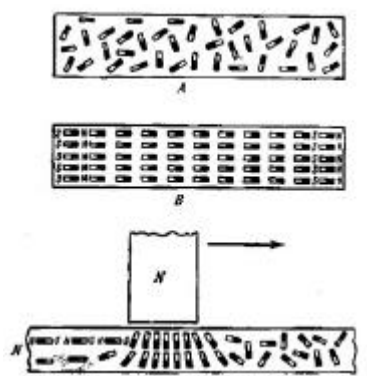


Figura 93. A, disposición de los imanes elementales en una barra no imanada; B, ídem en el acero imanado; C, acción del polo del imán sobre los imanes elementales del acero que se imana.

La fig. 93. C muestra gráficamente como se realiza lo que acabamos de decir. Los imanes elementales vuelven sus polos sur hacia el polo norte del imán y después, a medida que éste se va desplazando, se sitúan siguiendo la dirección de su movimiento, con los polos sur vueltos hacia el centro de la barra. Ahora se comprende con facilidad lo que hay que hacer con el imán para imanar una barra de acero. Hay que acercar uno de los polos del imán a un extremo de la barra y, apretándolo contra ella, pasarlo a lo largo hasta llegar al otro extremo. Este es uno de los procedimientos más simples y más antiguos de imanar, pero sirve únicamente para obtener imanes débiles de pequeñas dimensiones. Los imanes potentes se construyen aprovechando las propiedades de la corriente eléctrica. Ultimamente se ha conseguido crear aleaciones que poseen propiedades magnéticas decenas y hasta centenares de veces más intensas que las de los imanes naturales.

[Volver al inicio](#)

ELECTROIMANES COLOSALES

En las fábricas metalúrgicas se pueden ver grúas de electroimán que transportan cargas enormes. Estas grúas son insustituibles cuando se trata de elevar y transportar grandes cantidades de hierro en las fundiciones y acererías. Las grúas de electroimán transportan grandes bloques de hierro o partes de máquinas que pesan decenas de toneladas sin sujeción alguna. De la misma forma transportan, sin cajones ni embalajes, chapas de hierro, alambres, clavos, chatarra y otros materiales cuyo traslado por otro procedimiento sería mucho más difícil.

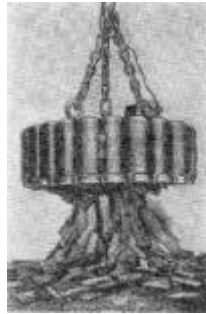


Figura 94. Una grúa de electroimán transportando planchas de hierro.

En las figs. 94 y 95 puede verse el buen servicio que prestan los electroimanes. Cuánto trabajo costaría recoger y transportar el montón de placas de hierro que de una sola vez recoge y transporta la grúa cuyo electroimán se ve en la fig. 94. En este caso no sólo tiene importancia la economía de fuerzas, sino también la comodidad del trabajo. En una sola fábrica metalúrgica, cuatro grúas de electroimán que puedan transportar diez raíles a la vez cada una, sustituyen el trabajo manual de doscientos obreros. Además, no hay que preocuparse de sujetar estas cargas a la grúa; mientras que la corriente eléctrica pase por el devanado del electroimán, ni un trozo de hierro se desprenderá de él. Pero si la corriente se interrumpe por cualquier causa, la avería es inevitable. Estos casos ocurrían al principio. "En una fábrica norteamericana - leemos en una revista técnica -, un electroimán elevaba los lingotes de hierro que llegaban en unos vagones y los echaba en un horno. De repente, en la central eléctrica del Niágara, que era la que suministraba a la fábrica, ocurrió algo y se interrumpió la corriente. La carga de metal se desprendió del electroimán y cayó sobre un obrero. Para evitar que puedan repetirse accidentes semejantes, y al mismo tiempo economizar energía eléctrica, en los electroimanes se están montando unos dispositivos especiales. Una vez que los objetos a transportar han sido elevados por el electroimán, bajan unas garras de acero laterales, que se cierran fuertemente, que son las que sostienen el peso en adelante. Durante el transporte se corta la corriente".

Los diámetros de los electroimanes representados en las figs. 94 y 95 tienen 1,5 m; cada uno de estos imanes es capaz de levantar 16 t (un vagón de mercancías). Un imán de éstos transporta al cabo del día más de 600 t de carga. Existen electroimanes que pueden elevar 75 t de una vez, es decir, ¡toda una locomotora!

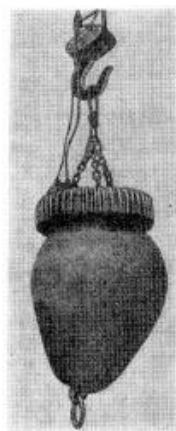


Figura 95. El electroimán de una grúa transportando un bloque de hierro de 6,5 t.

Es posible que algún lector viendo como trabajan estos electroimanes piense: qué cómodo sería transportar con imanes los lingotes *calientes* de hierro. Es una lástima, pero esto solamente se puede hacer hasta una temperatura determinada, puesto que *las propiedades magnéticas del hierro desaparecen cuando éste se caldea*. Si un imán se calienta hasta 800°C pierde sus propiedades magnéticas.

La técnica de elaboración de metales moderna emplea mucho los electroimanes como medios de sujeción y transporte de piezas de acero, hierro y fundición. Se han construido centenares de tipos diferentes de mandriles, platos, mesas y otros dispositivos magnéticos que hacen que el trabajo sea más fácil y rápido.

[Volver al inicio](#)

TRUCOS MAGNETICOS

Los ilusionistas emplean a veces la fuerza de los electroimanes para hacer sus trucos. Fácil es comprender los trucos tan sensacionales que se pueden hacer valiéndose de esta fuerza invisible. Dary, autor del libro "La electricidad y sus aplicaciones", reproduce el relato que hace un ilusionista francés de un espectáculo que dio en Argelia. A continuación recogemos la parte de este relato en que se habla de un truco que tuvo mucho éxito:

"En el escenario - cuenta el ilusionista -, hay un cajoncito pequeño, reforzado con herrajes, que tiene un asa en la tapa. Yo pido al público que suba a la escena uno de los espectadores más fuertes. A mi llamamiento responde un árabe de mediana estatura, pero de complexión fuerte, un verdadero Hércules árabe. Se presenta con aspecto vigoroso y presumido y se coloca a mi lado sonriéndose.

- ¿Es usted muy fuerte? - le pregunto, mirándolo de pies a cabeza.

- Sí - responde distraídamente.

- ¿Está usted seguro de que siempre será fuerte?

- Completamente seguro.

- Se equivoca. En un abrir y cerrar de ojos puedo dejarle sin fuerzas. Se quedará usted tan débil como un niño pequeño.

El árabe se sonrió incrédulamente.

- Venga usted aquí - le digo -; haga el favor de levantar este cajón.

El Hércules se agachó, levantó el cajón y preguntó:

- ¿Nada más?

- No. Espere usted un poco - le respondí yo.

Acto seguido, me puse serio, hice un gesto autoritario y en tono solemne dije:

- Ya es usted más débil que una mujer. ¿Puede usted levantar de nuevo el cajón?

El forzudo, sin preocuparse lo más mínimo de mis hechicerías, volvió a coger el cajón, pero ... éste se resiste, y a pesar de los esfuerzos desesperados que hace el árabe, ni se mueve; parece que está clavado en el sitio. La fuerza que hace el árabe bastaría para subir un peso enorme, pero todo en vano. Cansado, ahogándose y ardiendo de vergüenza, lo deja por fin. Comenzaba a creer en la fuerza de mi magia."

El secreto de la magia de este representante de los "civilizados" era muy sencillo. El cajón tenía el fondo de hierro y estaba puesto sobre una base que era a la vez el polo de un electroimán muy potente.

Mientras no había corriente eléctrica, el cajón se podía levantar sin dificultades; pero en cuanto aquella pasaba por el devanado del electroimán, dos o tres hombres no podían arrancarlo del sitio.

[Volver al inicio](#)

EL IMAN EN LA AGRICULTURA

En la agricultura también desempeña el imán un papel muy importante, ayudando a separar las semillas de las plantas de cultivo de las semillas de las hierbas malas. Las semillas de estas últimas son, por lo general, peludas y se adhieren a la lana de los animales que pasan junto a ellas y de esta forma se propagan hasta sitios muy distantes de la planta madre. Esta propiedad de las malas hierbas, adquirida en el transcurso de millones de años de lucha por la existencia, ha sido aprovechada por la técnica agrícola para separarlas de las semillas lisas de las plantas útiles, como el lino, el trébol y la alfalfa. Si las semillas mezcladas se rocían con polvos de hierro, los granitos del metal se adhieren a las semillas de las hierbas malas, por ser rugosas, pero no se pegan a las semillas útiles, que son lisas. Después, todas las semillas se someten a la acción de un imán suficientemente potente y de esta forma se separan automáticamente, puesto que el imán recoge de la mezcla aquellas semillas que llevan adheridas limaduras de hierro.

[Volver al inicio](#)

UNA MAQUINA VOLADORA MAGNETICA

Al principio de este libro hice alusión a la obra de Cyrano de Bergerac "Historia Cómica de los Estados e Imperios de la Luna". En este libro se describe una máquina voladora muy interesante, cuyo funcionamiento se basa en la atracción magnética. En esta máquina se marchó a la Luna uno de los héroes de la novela. Reproduzco íntegramente este pasaje:

"Mandé hacer un carrito ligero de hierro, me monté en él cómodamente y empecé a echar hacia arriba un imán esférico. El carro de hierro comenzó inmediatamente a subir. Cada vez que me acercaba al sitio hacia donde me atraía la esfera, volvía a tirarla para arriba. Pero el carro seguía subiendo incluso cuando yo tenía la esfera en las manos, puesto que tendía a acercarse a ella. Después de echar por alto el imán muchas veces y subir otras tantas el carro, llegué al sitio donde comenzó mi caída en la Luna. Y como en este momento yo tenía bien cogida la esfera-imán, el carro no me abandonó. Para no matarme al caer, lanzaba la esfera de forma que su acción frenaba la caída del carro. Cuando me hallaba a dos o tres centenares de brazas del suelo lunar, empecé a tirar la esfera en ángulo recto con la dirección de la caída, hasta que el carro llegó muy cerca de la superficie de la Luna. Entonces salté de él y descendí suavemente hasta la arena".

Nadie duda - ni el autor del libro ni sus lectores - que esta máquina voladora es absolutamente inútil. Sin embargo, pienso que no son muchos los que pueden decir correctamente por qué es irrealizable este proyecto. ¿Por qué no se puede tirar el imán estando montados en un carro de hierro? ¿Por qué el carro no ha de ser atraído por el imán? ¿Por qué?

No, el imán se puede echar hacia arriba y él a su vez puede atraer al carro, si tiene la suficiente potencia. Pero a pesar de todo la máquina voladora no se movería del sitio.

¿Ha intentado usted alguna vez tirar algo desde una barca a la orilla? Si lo ha hecho se habrá dado cuenta de que la propia barca se retira en sentido contrario. Sus músculos, al mismo tiempo que impulsaban el objeto en una dirección, empujaban a su cuerpo (y a la barca junto con él) en dirección contraria. Aquí se pone de manifiesto la ley de la igualdad de la acción y la reacción, de que ya hemos

hablado anteriormente. Al lanzar el imán ocurriría lo mismo. El pasajero, al tirar la esfera hacia arriba (con mucha fuerza, puesto que es atraída hacia el carro) empujaría inevitablemente al carro hacia abajo. Y cuando la esfera y el carro se volvieran a juntar, como resultado de la atracción mutua, se encontrarían otra vez en el sitio de partida. Por lo tanto, aunque el carro no pesara nada, lo único que se podía conseguir echando por alto el imán, es que oscilase en torno a una posición media; pero lograr que avanzara por este procedimiento es absurdo.

En la época de Cyrano de Bergerac (mediados del siglo XVII) aún no había sido formulada la ley de la acción y la reacción. Por esto, lo más probable es que el propio satírico francés no pudiera explicar claramente por qué era irrealizable su proyecto.

[Volver al inicio](#)

COMO EL "FERETRO DE MAHOMA"

En una ocasión ocurrió un caso muy curioso mientras trabajaba una grúa de electroimán. Uno de los trabajadores se dio cuenta de que el imán había atraído una bola de hierro pesada, que estaba sujeta al suelo por una cadena corta. La cadena impedía que la bola llegase al imán; entre éste y la bola quedaba un espacio como de un palmo menor. Resultaba un espectáculo extraordinario: ¡una cadena se mantenía en pie! La fuerza del imán resultó ser tan grande, que la cadena conservó su posición vertical cuando el obrero se colgó a ella². No lejos de allí había un fotógrafo que no perdió una ocasión tan oportuna. La fig. 96 es reproducción de aquella foto. Como puede verse, el obrero está colgado en el aire, lo mismo que el legendario féretro de Mahoma.

Y a propósito del féretro. Los creyentes musulmanes están convencidos de que el féretro con los restos del profeta se encuentra en el aire, suspendido entre el suelo y el techo del sepulcro, sin apoyo alguno. ¿Cómo es posible esto?

"Dicen -escribe Euler en sus *"Cartas sobre diferentes materias físicas"* -, que el féretro de Mahoma está sostenido por la fuerza de un imán; esto parece posible, puesto que hay imanes artificiales que levantan hasta 100 libras"³.

² Esto demuestra la enorme fuerza del electroimán, ya que la atracción de los imanes se debilita mucho al aumentar la distancia entre el polo y el cuerpo atraído. Un imán de herradura, que en contacto directo puede sujetar un peso de unos cien gramos, pierde la mitad de la fuerza si entre él y el peso se interpone una hoja de papel. Por esto no se suelen pintar los extremos de los imanes, a pesar de que la pintura evitaría su oxidación.

³ Esto fue escrito en el año 1774, cuando todavía no se conocían los electroimanes.



Figura 96. La cadena de hierro con el peso se mantiene derecha hacia arriba.

Pero esta explicación es inconsistente.

Si por este procedimiento (es decir, empleando la *atracción de un imán*) hubiera sido posible conseguir el equilibrio del fétro en un momento determinado, cualquier impulso, hasta el soplo más leve de aire, habría bastado para romper este equilibrio. Entonces el fétro se hubiese caído al suelo o se hubiera pegado al techo. Mantener el fétro inmóvil en estas condiciones es tan imposible como hacer que un cono descansa sobre su vértice, aunque teóricamente esto último es posible.

No obstante, un fenómeno como el del "fétro de Mahoma" se puede realizar por medio de imanes, pero no aprovechando las *atracciones* mutuas, sino al contrario, las *repulsiones* mutuas. (El hecho de que los imanes no sólo pueden atraerse, sino también repelerse, es cosa que olvidan hasta los que hace poco estudiaron Física.)

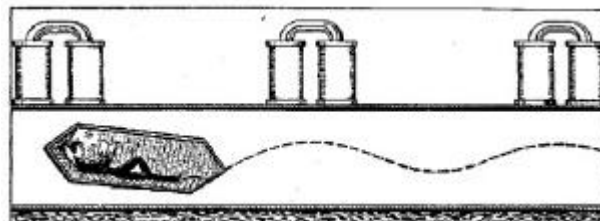


Figura 97. Un vagón que se mueve a gran velocidad sin rozamiento: "Ferrocarri" proyectado por el profesor B. P. Veinberg.

Como sabemos, los polos magnéticos de igual nombre se repelen entre sí. Por lo tanto, dos vigas imanadas, situadas de forma que sus polos de igual nombre se encuentren enfrentados entre sí, deberán repelerse, y si el peso de la viga superior se elige convenientemente, no es difícil conseguir que quede suspendida sobre la inferior, sin tocarla, y en equilibrio estable. Lo único que hace falta es poner unos

postes de material no magnético - por ejemplo, de vidrio -, que prevengan la posibilidad de que el imán superior gire en el plano horizontal. En estas condiciones sí se podría encontrar en el aire el legendario féretro de Mahoma.

Hechos de este tipo pueden realizarse aprovechando la *atracción* magnética, pero solamente cuando se trata de cuerpos que se mueven. En esta idea se basa un proyecto muy interesante de "ferrocarril" magnético (fig. 97), propuesto por el físico soviético B. P. Veinberg. Es un proyecto tan instructivo, que todo el que se interese por la Física debe conocerlo.

[Volver al inicio](#)

TRANSPORTE ELECTROMAGNETICO

En el "ferrocarril" propuesto por el profesor B. P. Veinberg los vagones serán *totalmente ingravidos*. Su peso será anulado por la atracción magnética. Por esto, que nadie se sorprenda al saber que estos vagones no se moverán rodando sobre raíles, ni flotando sobre agua, ni planeando en el aire. Irán volando sin apoyarse en nada, colgados de los hilos invisibles de las fuerzas magnéticas de unos poderosos imanes. No experimentarán ni el menor rozamiento y, por consiguiente, una vez puestos en movimiento conservarán su velocidad, por inercia, sin necesidad de locomotora. Esto se consigue del modo siguiente:

Los vagones se mueven dentro de un tubo de cobre en el que se hace el vacío, para que el aire no ofrezca resistencia al avance de los vagones. El rozamiento con el suelo se evita por el hecho de que *los vagones se mueven sin tocar las paredes*, suspendidos en el vacío por la fuerza de unos potentes electroimanes. Estos últimos se encuentran instalados sobre el tubo, distribuidos a determinadas distancias entre sí, a todo lo largo del camino. Estos electroimanes atraen hacia sí los vagones *de hierro* que se mueven por el tubo y no dejan que se caigan. La fuerza de los imanes está calculada de manera que el vagón de hierro se halla siempre entre el "techo" y el "suelo" del tubo, sin entrar en contacto con ellos. Cada electroimán atrae al vagón que pasa por debajo, pero éste no llega hasta el techo, ya que experimenta la acción de la gravedad. Cuando el vagón parece que va a tocar el suelo, se vuelve a elevar atraído por el electroimán siguiente ... De esta forma, atraído constantemente por los electroimanes, el vagón avanza rápidamente siguiendo una línea ondulada, sin rozamiento, sin empujones, en el vacío, lo mismo que un planeta en el espacio.

¿Cómo son los vagones? Los vagones tienen la forma de cigarro puro. Su altura es de 90 cm y su longitud de 2,5 m. Se cierran herméticamente - puesto que se mueven en el vacío -, y están provistos de aparatos que depuran el aire, lo mismo que los submarinos.

Los vagones se ponen en marcha por un procedimiento completamente diferente a todos los empleados hasta ahora. Se puede comparar únicamente con el disparo de un cañón. Y en efecto, los vagones se "disparan" lo mismo que un proyectil, con la única diferencia de que el "cañón" que se utiliza es electromagnético. El mecanismo de la estación de partida se basa en la propiedad que tienen los alambres arrollados en forma de carrete ("solenoides") de atraer una barra de hierro cuando por ellos se hace pasar la corriente eléctrica. Esta atracción es tan rápida, que la barra, (si la longitud del devanado y la intensidad de la corriente son suficientes) adquiere una velocidad enorme. Esta es la fuerza que lanzará los vagones del nuevo "ferrocarril". Y como dentro del túnel no existe rozamiento, la velocidad de los vagones no disminuye, con lo que pueden seguir su viaje por inercia hasta que no los pare el solenoide de la estación de destino.

A continuación damos algunos de los detalles publicados por el propio autor:

"Los experimentos que realicé en los años 1911-1913 en el laboratorio de Física del Instituto tecnológico de Tomsk, tuvieron lugar en un tubo de cobre (de 32 cm de diámetro) sobre el que se hallaban los electroimanes, y debajo de ellos, sobre una plataforma, el vagoncillo - un trozo de tubo de hierro con ruedas delante y detrás y con un tope, que era el que sufría el choque contra una tabla apoyada en un saco de arena cuando había que parar el vagón -- Este vagoncillo pesaba 10 kg. Se le podía comunicar una velocidad de cerca de 6 km por hora (mayor no podía ser porque lo impedían las dimensiones de la sala y las del anillo que formaba el tubo, que tenía 6,5 m de diámetro). Pero en el proyecto que he elaborado, si los solenoides de la estación de partida tienen una longitud de tres kilómetros, no será difícil comunicar a los vagones una velocidad de 800-1.000 km por hora. Y como en el tubo no hay aire, ni rozamientos con el suelo o el techo, no hay que gastar energía en mantener esta velocidad.

Aunque la construcción es cara, sobre todo el tubo de cobre, el hecho de que no existan gastos de energía en *mantener* la velocidad, ni maquinistas, conductores, etc., hace que el precio del transporte por kilómetro oscile entre varias milésimas y 1 ó 2 centésimas de kopeika. La capacidad de tránsito diario en una línea de doble tubo puede ser de 15.000 pasajeros o 10.000 toneladas de carga en cada dirección".

[Volver al inicio](#)

BATALLA DE LOS MARCIANOS CON LOS HABITANTES DE LA TIERRA

Plinio, el naturalista de la antigua Roma, transmite en uno de sus escritos una narración muy difundida en su época sobre la existencia, en un lugar de la India y a orillas del mar, de una peña imán que atraía con extraordinaria fuerza todos los objetos de hierro. Desgraciado del marino que se exponía a acercarse con su barco a esta peña. Todos los clavos, tornillos y grapas de hierro eran arrancados por la atracción y la nave se deshacía en una multitud de tablas sueltas.

Esta narración fue recogida después en los cuentos de las "Mil y una noches".

Naturalmente, esto no es más que una leyenda. Ahora sabemos que en realidad existen montañas magnéticas, es decir, montañas ricas en magnetita o piedra imán, como, por ejemplo, la famosa Magnitnaia Gorá (Monte Imán) a cuyo pie se alzan en la actualidad los altos hornos de Magnitogorsk. No obstante, la fuerza de la atracción de estas montañas es extraordinariamente pequeña. En cuanto a montañas o peñas del tipo que describe Plinio, ni existen ni han existido nunca en la Tierra.

Si hoy día se construyen barcos en los que no hay ni una sola pieza de hierro o acero, no es por temor a las peñas imán, sino para hacer más fácil el estudio del magnetismo terrestre. En los trabajos realizados de acuerdo con el programa del Año Geofísico Internacional (AGI) en los años 1957-1958 la Unión Soviética colaboró con un navío de este tipo (la goleta "Zariá"), no sujeto a la acción de las fuerzas magnéticas. En este barco todos los elementos de sujeción, los motores, las anclas, etc., no son de acero ni de hierro, sino de cobre, bronce, aluminio y otros metales no magnéticos.

El novelista científico Kurd Lasswitz utilizó la idea de la leyenda de Plinio en su novela "Auf Zwei Planeten" (En dos planetas), refundiéndola en un arma terrible a la que recurren los habitantes de Marte (llegados a la Tierra) en su lucha contra los ejércitos terrestres. Se trata de un arma magnética (o mejor dicho, electromagnética) que permite a los marcianos desarmar sin lucha a los habitantes de la Tierra antes de comenzar la batalla.

El novelista describe el episodio de la batalla entre marcianos y habitantes de la Tierra como sigue:

"Las filas relucientes de la caballería se lanzaron hacia adelante impetuosamente. Y parecía que la abnegación de las tropas obligaba ya a replegarse al poderoso enemigo (los marcianos - *Y. P.*), cuando entre sus naves aéreas se notó cierto movimiento. Se remontaron en el aire como si quisieran dejar el paso libre.

Pero al mismo tiempo descendió desde las alturas una masa oscura y extensa que hasta este momento no se había visto. Esta masa, que parecía un velo ondeante, estaba rodeada por todas partes de aeronaves y pronto se desplegó por todo el campo. La primera fila de jinetes entró en su esfera de acción y un momento después la extraña máquina se extendía sobre todo el regimiento. El efecto que causó fue sorprendente y monstruoso. Por el campo corrió un clamor de pánico. Hombres y caballos rodaron por el suelo hechos ovillos, mientras que en el aire flotaba una nube de picas, sables y carabinas que volaban estrepitosamente hacia la máquina y se adherían a ella.

El velo se deslizó hacia un lado y tiró a tierra el hierro recién recogido. Después volvió dos veces más. Parecía que segaba cuantas armas había en el campo. Ni una sola mano fue capaz de aguantar el sable o la pica.

Esta máquina era un nuevo invento de los marcianos que atraía con una fuerza irresistible todo lo que era de hierro o acero. Los marcianos utilizaban este imán volador para arrancar las armas de las manos de sus enemigos sin causarles ningún daño.

El imán aéreo pasó rauda en dirección a la infantería. En vano intentaron los soldados aferrarse a sus fusiles, la fuerza invencible del imán se los arrancaba de las manos. Los que no soltaron las armas volaron con ellas. En varios minutos estuvo desarmado todo el regimiento. La máquina se lanzó entonces en persecución de los regimientos que desfilaban por la ciudad, preparándoles la misma sorpresa.

La artillería corrió una suerte semejante".

[Volver al inicio](#)

LOS RELOJES Y EL MAGNETISMO

Al leer el trozo anterior es natural que nos preguntemos:

¿Es posible protegerse de la acción de las fuerzas magnéticas por medio de alguna barrera impenetrable para ella?

Sí, esto es posible. El fantástico invento de los marcianos podía haber sido neutralizado tomando previamente las medidas necesarias.

Aunque parezca extraño, el cuerpo impenetrable a las fuerzas magnéticas es el hierro, que tan fácilmente se imana. Una aguja magnética colocada *dentro* de un anillo de hierro no se desvía aunque fuera del anillo se ponga un imán.

Una *caja* de hierro puede proteger contra la acción de las fuerzas magnéticas el mecanismo de acero de un reloj de bolsillo. Si colocamos un reloj de oro sobre los polos de un imán de herradura potente, todas las piezas de acero de su mecanismo, y en primer lugar el muelle capilar del volante⁴, se imanar y el reloj deja de funcionar bien.

⁴ Siempre que el muelle no esté hecho de la aleación llamada invar, que tiene la propiedad de no imanarse aunque en su composición entra hierro y níquel.



Figura 98. ¿Por qué no se imana el mecanismo de acero de este reloj?

Si después de esto retiramos el imán, el reloj seguirá funcionando mal, puesto que las piezas de acero continúan estando imanadas y el reloj necesita una reparación radical, que incluye la sustitución de algunas piezas del mecanismo. Por esto, no aconsejamos hacer estos experimentos con relojes de oro; resultan demasiado caros.

En cambio, para los relojes cuyo mecanismo está bien cerrado con tapas de hierro o acero este experimento no representa ningún peligro, ya que las fuerzas magnéticas no pasan a través del hierro ni del acero. Un reloj de este tipo se puede acercar al devanado de una dinamo potente sin que la regularidad de su marcha se altere lo más mínimo. Para los electricistas los relojes baratos, con caja de acero, son ideales, mientras que los de oro o de plata se estropean fácilmente por la acción de los imanes.

[Volver al inicio](#)

UN MOVIL "PERPETUO" MAGNETICO

En la historia de los intentos que se han hecho para inventar el móvil "perpetuo" el papel que ha desempeñado el imán no ha sido el último. Los inventores fracasados procuraron utilizar el imán para construir un mecanismo que se moviera eternamente a sí mismo. He aquí uno de los proyectos de "mecanismos" de este tipo (descrito en el siglo XVII por John Wilkins, episcopo de Chester).

Un imán potente A se encuentra sobre un pedestal (fig. 99) en el que se apoyan dos planos inclinados M y N situados uno debajo del otro, con la particularidad de que el de arriba M tiene un pequeño agujero C en su parte superior, y el de abajo N está encorvado. Si en el plano inclinado superior - razonaba el inventor - se coloca una bolita pequeña B de hierro, la atracción del imán A hará que esta bolita ruede hacia arriba; pero al llegar al agujero se colará por él y caerá en el plano inclinado inferior N, por el que rodará hacia abajo, y después de pasar por la parte curvada D, del extremo inferior del plano N, volverá al plano M y será atraída de nuevo por el imán hacia arriba. De esta forma se repetirá el ciclo. Por lo tanto, la bolita correrá hacia arriba y hacia abajo ininterrumpidamente, realizando un "movimiento perpetuo".

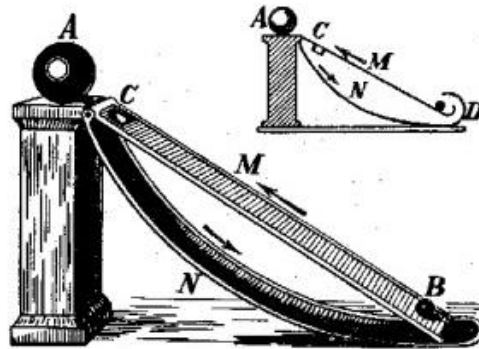


Figura 99. Otro "móvil perpetuo" ilusorio.

¿Por qué es absurdo este invento?

La contestación no es difícil. El inventor pensaba que la bolita, después de bajar rodando por el plano inclinado N, tendría suficiente velocidad para subir por la parte redondeada D. Esto ocurriría si la bolita estuviera sometida únicamente a la acción de la gravedad, en cuyo caso rodaría aceleradamente. Pero en realidad se mueve bajo la acción de dos fuerzas: una, la gravedad, y otra, la atracción magnética. Esta última, por las propias condiciones del proyecto, es tan considerable que puede hacer que la bola suba desde B hasta C. Por esto, la bolita no bajará por el plano N con movimiento acelerado, sino retardado y, si llega al extremo inferior, es seguro que no tendrá la velocidad suficiente para subir por la parte curva D.

Este proyecto salió a relucir muchas veces con distintas formas. Una de éstas, aunque parezca raro, fue patentada en Alemania en el año 1878, es decir, ¡treinta años después de haber sido formulada la ley de la conservación de la energía! El inventor enmascaró de tal forma la idea absurda que servía de base a su proyecto, que confundió a la comisión técnica encargada de conceder las patentes. Y aunque el reglamento establece que no deben concederse patentes a aquellos inventos que contradicen las leyes de la naturaleza, en esta ocasión fue patentado. El feliz poseedor de esta patente única en su género es seguro que se convenció pronto de la inutilidad de su creación, puesto que a los dos años dejó de pagar los impuestos y esta patente tan curiosa perdió su fuerza legal, es decir, el "invento" pasó a ser del dominio público, aunque a nadie le hizo falta.

[Volver al inicio](#)

UN PROBLEMA DE MUSEO

En los museos se presenta con frecuencia el problema de que hay que leer pergaminos antiguos, tan viejos, que pueden fracturarse o desgarrarse en cuanto se intenta separar unas páginas de otras con las manos, aunque se haga con la mayor precaución. ¿Cómo separar estas hojas?

La Academia de Ciencias de la URSS tiene un laboratorio especial que se dedica a la restauración de documentos y que se encarga de resolver este tipo de problemas. El caso que acabamos de mencionar se soluciona con ayuda de la electricidad. El pergamino se electriza; las páginas contiguas se cargan con electricidad del mismo signo y se repelen entre sí. De esta forma se pueden separar sin que se deterioren. Después ya es fácil para manos expertas abrirlas y pegarlas sobre papel resistente.

[Volver al inicio](#)

OTRO MOVIL "PERPETUO" IMAGINARIO

Entre los buscadores del movimiento perpetuo se ha generalizado mucho últimamente la idea de unir una dinamo con un motor eléctrico. Cada año llegan a mis manos cerca de media docena de proyectos de este tipo. Todos ellos se reducen a lo siguiente. Las poleas del motor eléctrico y de la dinamo se unen entre sí por medio de una correa sin fin y los hilos conductores de la dinamo se conectan al motor. Si se da un primer impulso a la dinamo, la corriente producida por ella pondrá en movimiento al motor y la energía de la rotación de este último, transmitida por medio de la correa sin fin a la polea de la dinamo, hará que ésta siga moviéndose. De esta forma - suponen los inventores -, estas dos máquinas se moverán la una a la otra y este movimiento no cesará hasta que no se desgasten.

La idea que acabamos de exponer atrae extraordinariamente a los inventores; pero todos los que intentaron ponerla en práctica vieron con sorpresa que ninguna de las dos máquinas funciona en estas condiciones. Era lo único que se podía esperar de este proyecto. Incluso en el caso ideal de que cada una de las máquinas que se unen tuviera un rendimiento del cien por ciento, solamente podrían funcionar sin interrupción si no existieran los rozamientos. La unión de una dinamo con un motor eléctrico (formando "grupo") es en esencia una máquina que, según el proyecto, debería moverse a sí misma. Si no existiera el rozamiento, este grupo, lo mismo que cualquier volante, se movería eternamente, pero este movimiento sería totalmente inútil, ya que en cuanto el "móvil" tuviera que realizar cualquier trabajo exterior se pararía en el acto. Tendríamos, pues un caso de "móvil perpetuo de segunda especie" pero no un motor de movimiento continuo. Como el rozamiento existe, el grupo no se moverá en absoluto. Es extraño que a las personas que se sienten atraídas por esta idea no se les ocurran otras más simples para conseguir este mismo fin, por ejemplo, unir dos poleas cualesquiera por medio de una correa sin fin y hacer que gire una de ellas. Guiándonos por la misma lógica que en el caso anterior, podemos esperar que la primera polea arrastre con su movimiento a la segunda y que ésta a su vez, al girar, mantendrá el movimiento de la primera. Lo mismo se pueden conseguir con una sola polea; una vez puesta en marcha, su parte derecha tirará de la izquierda y ésta girará y mantendrá el movimiento de rotación de la parte derecha. La ingenuidad de estos dos últimos casos es demasiado evidente y por eso estos proyectos no inspiran a nadie. No obstante, los tres "móviles perpetuos" que hemos descrito se basan en el mismo error.

[Volver al inicio](#)

UN MOVIL CASI PERPETUO

Para un matemático la expresión "casi perpetuo" no tiene sentido. El movimiento puede ser perpetuo o no perpetuo; "casi perpetuo" quiere decir, en esencia, que *no es perpetuo*. Pero en la vida práctica esto no es lo mismo. Muchos se darían por satisfechos si consiguieran tener un móvil que, aunque no fuera totalmente perpetuo, sino "casi perpetuo", fuera capaz de funcionar cerca de mil años por lo menos. La vida del hombre es corta y, por lo tanto, mil años para nosotros es lo mismo que la eternidad. En este caso, las personas de mentalidad práctica es seguro que considerarían resuelto el problema del móvil perpetuo y pensarían que ya no había por qué romperse más la cabeza con él.

A estas personas podemos darles una alegría haciéndoles saber que ya ha sido inventado un móvil capaz de moverse durante 1.000 años. Mediante el desembolso correspondiente, pueden tener un móvil de éstos casi eterno. Este invento ni ha sido patentado ni representa ningún secreto. El aparato a que nos referimos fue construido en el año 1903 por el profesor Strutt y se conoce generalmente con el nombre de "reloj de radio". Su estructura es bastante simple (fig. 100). Dentro de un recipiente de

vidrio, del que se ha extraído el aire, se cuelga de un hilo de cuarzo B (que no conduce la electricidad) un tubito pequeño A que contiene varias milésimas de gramo de una *sal de radio*. En el extremo del tubo hay dos hojas de oro semejantes a las de los electroscopios. Como sabemos, el radio emite rayos de tres tipos: alfa, beta y gama. En nuestro caso el papel principal lo desempeñan los rayos beta, que pasan con facilidad a través del vidrio y que están constituidos por un flujo de partículas con carga negativa (electrones). Las partículas que emite el radio en todas direcciones arrastran consigo la carga *negativa* y, por lo tanto, el tubito en que está el radio se va cargando *positivamente* poco a poco. Esta carga positiva pasa a las hojas de oro y hace que se separen.



Figura 100. Reloj de radio con "cuerda casi perpetua" para 1.600 años.

Al ocurrir esto, las hojas tocan las paredes del recipiente, pierden su carga (en los sitios correspondientes de las paredes hay pegadas unas tiras de hoja metálica, por las que sale la electricidad) y vuelven a juntarse. Pero pronto se acumula una nueva carga, las hojas se vuelven a separar, tocan de nuevo las paredes, les ceden su carga y se juntan otra vez para volver a electrizarse. Las hojas metálicas realizan una oscilación cada dos o tres minutos con la misma regularidad que un péndulo de reloj. A esto se debe la denominación de "reloj de radio". Este ciclo se repite años enteros, lustros, siglos, mientras el radio sigue emitiendo radiación. El lector comprenderá perfectamente que lo que tiene delante no es un móvil "perpetuo" sino simplemente un móvil "gratuito".

¿Durante cuántos años emite rayos el radio?

Se ha establecido que al cabo de 1.600 años la capacidad de radiación del radio se debilita hasta la mitad. Por esto, los relojes de radio marcharán sin interrupción mil años por lo menos, aunque las frecuencias de sus oscilaciones irán disminuyendo como consecuencia de la debilitación de la carga eléctrica. Si en los primeros tiempos de la Rusia hubieran hecho relojes de este tipo, hasta ahora seguirían marchando.

¿Tiene alguna aplicación práctica este motor "gratuito"?

No, porque su potencia, es decir, la cantidad de trabajo que realiza en un minuto es tan insignificante, que no puede accionar ningún mecanismo. Para conseguir resultados más o menos tangibles hay que disponer de unas reservas de radio mucho mayores. Teniendo en cuenta que el radio es un elemento muy escaso en la naturaleza y, por consiguiente, muy caro, hay que reconocer que un motor "gratuito" de este tipo resultaría francamente ruinoso, además de que representaría un peligro mortal para los que trabajasen con él, debido precisamente a su radiación.

Las reservas de energía encerradas en lo más profundo de los átomos, en el llamado núcleo atómico, son enormes. Su utilización puede proporcionar cantidades inagotables de energía. Este es un problema que se está resolviendo ante nuestros ojos.

[Volver al inicio](#)

EL GANSO INSACIABLE

Entre los juguetes infantiles hay uno, procedente de China, que despierta la curiosidad de todo el que lo ve. Se llama el "ganso insaciable" o "ganso de Khattabytch". A este gansito se le pone delante una tacita con agua; él se inclina, mete el pico en el agua, "bebe" y se pone derecho. Así permanece cierto tiempo. Después se va inclinando poco a poco, vuelve a meter el pico en el agua, "bebe" y otra vez se endereza. Este gansito es un representante típico de los motores "gratuitos". El mecanismo que origina su movimiento es muy ingenioso. El "cuerpo del ganso" (fig. 101) está formado por un tubo de vidrio que termina por su parte superior en una esferita que figura ser la cabeza con el pico.



Figura 101. El ganso insaciable.

El extremo inferior, abierto, de este tubo entra dentro de una ampolla esférica cerrada herméticamente. Esta ampolla se llena de un líquido cuyo nivel queda un poco más alto que el extremo abierto del tubo. Para que el ganso se "anime" hay que humedecerle la cabeza con agua. Una vez hecho esto conservará su posición vertical durante cierto tiempo, puesto que la ampolla inferior llena de líquido es más pesada que la cabeza. Pero observemos atentamente lo que ocurre después. Notamos que el líquido se va elevando por el tubo (fig. 102). Cuando llega al extremo superior, la parte de arriba consigue pesar más que la de abajo y el ganso se inclina hacia adelante y mete el pico en el agua. Cuando se pone horizontal, el extremo abierto del tubo queda más alto que el nivel del líquido que hay en la ampolla y el líquido del tubo vuelve a la ampolla. La "cola" se hace otra vez más pesada que la cabeza y el ganso retorna a su posición vertical. Con esto hemos comprendido el lado mecánico del problema, que

consiste en que el movimiento del líquido hace que varíe la distribución del peso con respecto al eje, es decir, produce un desplazamiento del centro de gravedad. Pero, ¿qué es lo que hace que el líquido suba por el tubo?

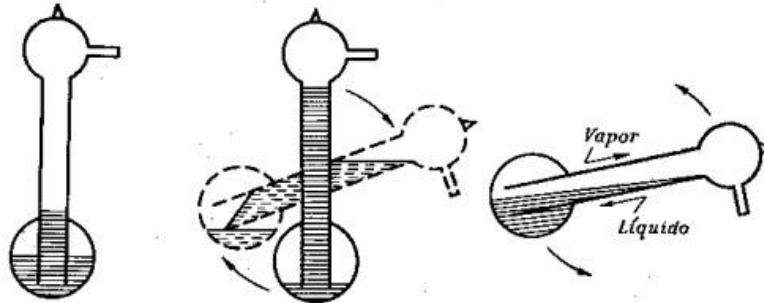


Figura 102. El "secreto" del ganso insaciable

El líquido que hay dentro del ganso - éter - se evapora con mucha facilidad a la temperatura ambiente y la presión que ejerce el vapor saturado del éter varía mucho al variar la temperatura.

Cuando el ganso está en posición vertical se pueden considerar separadamente dos zonas de vapor de éter: una, el tubo con la cabeza, y otra, la ampolla de la cola.

La cabeza del pato tiene una propiedad muy importante, que consiste en que cuando está húmeda su temperatura es algo inferior a la del medio ambiente. Esto es fácil de conseguir haciendo dicha cabeza de un material poroso que absorba bien el agua y que permita que la humedad se evapore intensamente: Recordemos ahora los razonamientos que hicimos en el capítulo séptimo. La evaporación intensa va acompañada de una disminución de la temperatura de la cabeza del ganso, en comparación con la del tubo y la de la ampolla inferior. Esto hace a su vez que disminuya la presión del vapor saturado en la ampolla superior, lo que da lugar a que la presión del vapor que se encuentra en la parte inferior, que es mayor, obligue al líquido a subir por el tubo. En estas condiciones se produce el desplazamiento del centro de gravedad y el cuerpo del ganso se pone horizontal. Mientras está en esta posición se realizan dos procesos independientes entre sí. En primer lugar, el ganso mete su "pico" en el agua y con esto humedece otra vez la funda de guata que lleva en la cabeza. En segundo lugar, se mezcla el vapor saturado que llena ambas partes, superior e inferior, se equilibra la presión (al mismo tiempo que la temperatura del vapor de éter se eleva un poco a costa del calor del aire circundante) y el líquido que había en el tubo desciende por su propio peso a la ampolla inferior. Después de esto el ganso se pone derecho.

Este juguete funciona sin parar mientras se moje la funda de guata que tiene en la cabeza y siempre que la humedad del aire en que se encuentra no sea excesiva. Esta última condición hace que la evaporación sea normal y, por lo tanto, que se produzca la disminución relativa de la temperatura de la cabeza. De esta forma, el movimiento de este ganso mágico se debe al calor del aire que lo rodea y que se renueva constantemente. Se trata, pues, de un móvil "gratuito", pero no "perpetuo".

[Volver al inicio](#)

¿CUANTOS AÑOS HACE QUE EXISTE LA TIERRA?

El estudio de las leyes de la desintegración de los elementos radiactivos ha puesto en manos de los investigadores un método seguro para calcular la edad de la Tierra.

¿Qué es la desintegración radiactiva? Esto es la transformación "espontánea" (es decir, que no está provocada por causas externas) de unos átomos en otros. Esta transformación es muy interesante porque no se deja influir por acciones externas. La disminución o el aumento de la temperatura, de la presión, etc., no ejercen ninguna influencia sobre la velocidad con que se desarrolla este proceso⁵. Los elementos como el uranio, el torio y el actinio, contenidos en algunos minerales, son los miembros iniciales de las correspondientes series de elementos radiactivos. Cada una de estas series es una sucesión de elementos radiactivos que se transforman unos en otros. El producto final de todas estas transformaciones, en los tres casos, es el plomo, que según de qué serie proviene se distingue un poco de su "peso atómico" ordinario. Así, si el átomo de plomo ordinario es 207 veces y pico más pesado que el de hidrógeno, el del plomo en que termina la serie del uranio es 206 veces, el de la serie del torio, 208 y el de la del actinio, 207. Por esto se pueden distinguir cada uno de los demás. Durante estas transformaciones los átomos que se desintegran emiten los llamados rayos alfa. Esta emisión es un flujo de partículas materiales cargadas, que son átomos de helio, gas inerte muy ligero. Estas partículas, que tienen una velocidad enorme en el momento de liberarse, pierden su carga positiva y se quedan en el mineral en forma de helio ordinario. Por esto se explica que exista helio en todos los minerales radiactivos.

Pero el cálculo de la edad de los minerales por la cantidad de helio que contienen puede dar unos resultados muy poco exactos, puesto que el helio tiene la propiedad de volatilizarse, como todos los gases ligeros. Parecía que el resultado más exacto del cálculo antedicho se podría obtener partiendo de la cantidad de plomo acumulada en el mineral. A principios de la década del 40 de nuestro siglo, el geólogo inglés Holmes, partiendo del cálculo cuantitativo de las variedades de plomo de distintos yacimientos, dedujo que la edad de la Tierra es de 3,5 millares de millones de años.

Pero en realidad lo que determinó Holmes no fue la edad de la Tierra, sino la de la corteza terrestre, basándose además en la hipótesis anticuada de que la Tierra se formó de una condensación de gases incandescentes desprendida del Sol.

En los años 1951-1952, el académico A. P. Vinográfov analizó detenidamente todos los datos disponibles y llegó a la conclusión de que no es posible determinar la edad de la corteza terrestre fundándose exclusivamente en los datos relativos al plomo. Lo único que se puede hacer es afirmar que esta edad no es mayor de 5 mil millones de años. Pero al mismo tiempo se han encontrado minerales cuya edad se ha calculado en 3 mil millones de años. Basándose en los datos sobre la velocidad de desintegración y en la cantidad existente de dos isótopos del uranio (cuyos pesos atómicos son respectivamente 235 y 238), se puede calcular que la edad de la Tierra es de 5-7 mil millones de años. Partiendo de estos y de otros datos, se puede admitir que la Tierra tiene 6 mil millones de años. La exactitud de este cálculo se confirma por el hecho de que este mismo resultado se obtiene por métodos totalmente distintos⁶.

Seis mil millones de años es una cifra descomunal comparada, no ya con la vida de un hombre, sino con la de toda la historia de la humanidad.

⁵ Para que existiera esta influencia sería necesaria una temperatura de decenas de millares de millones grados.

⁶ Los problemas relacionados con el origen de la Tierra y de los demás planetas y con sus edades, composición y estructura, se tratan de una forma muy comprensible en el libro de B. Y. Levin '*Origen de la Tierra y de los planetas*'. (N. de la R.)

[Volver al inicio](#)**LOS PAJAROS Y LOS CABLES DE ALTA TENSION**

Todo el mundo sabe lo peligroso que es para el hombre el contacto con los cables del tranvía o de las líneas eléctricas de alta tensión. Este contacto es mortal tanto para el hombre como para el ganado mayor. Se conocen casos en que la corriente ha matado vacas que han tropezado con cables caídos. ¿Cómo se explica entonces que los pájaros puedan posarse en los cables sin que les ocurra nada? Esto es un hecho que se puede ver a cada momento (fig. 103).

Para poder comprender estas contradicciones hay que tener en cuenta lo siguiente: el cuerpo del pájaro posado en el cable forma una especie de ramificación de la red, cuya resistencia es enorme en comparación con la de la otra rama (es decir, con la del trozo de cable que hay entre las patas del pájaro). Por esta razón, la intensidad de la corriente que pasa por esta ramificación (cuerpo del pájaro) es insignificante e inofensiva. Pero si este mismo pájaro, estando posado en el cable, tocara el poste con un ala, con la cola o con el pico, o tuviera contacto con tierra de cualquier forma, perecería electrocutado en el acto, puesto que la corriente pasaría a la tierra a través de su cuerpo. Esto ocurre con frecuencia⁷.

*

**

Fig. 103. Los pájaros se posan impunemente en los cables eléctricos. ¿Por qué?

Los pájaros tienen la costumbre de posarse en los soportes de las líneas de alta tensión y limpiarse el pico frotándolo con el cable conductor. Como el soporte no está aislado, el contacto del pájaro (que está en comunicación con tierra) con el cable (por el que pasa la corriente) resulta fatal. Una idea de lo frecuentes que son estos casos nos la puede dar el hecho de que en Alemania se tomaron medidas especiales para proteger a los pájaros. Con este fin se colocaron unas alcándaras en los soportes de las líneas de alta tensión para que los pájaros pudiesen posarse y limpiarse el pico sin peligro de morir electrocutados (fig. 104). En otros casos, los sitios peligrosos se proveen de dispositivos que impiden que los pájaros tengan contacto con ellos.

Las líneas de alta tensión son ya tan numerosas, que teniendo en cuenta los intereses de la agricultura y silvicultura es necesario tomar medidas para proteger las aves contra el exterminio por electrocución.

⁷ Los procesos mortales que se producen en un organismo vivo *dependen íntegramente de la intensidad de la corriente* que pasa por él. Pero como el organismo tiene una resistencia eléctrica determinada, la corriente que pasa por él viene determinada por la tensión con respecto al suelo. (*N. de la R.*)

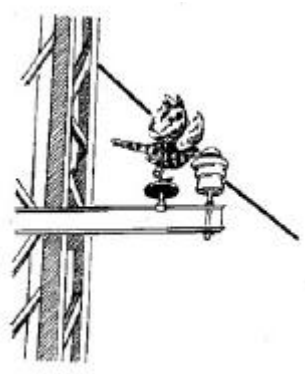


Figura 104. Alcándaras aisladoras para los pájaros en los soportes de las líneas de alta tensión.

[Volver al inicio](#)

A LA LUZ DE UN RELAMPAGO

¿Ha tenido usted ocasión de ver el cuadro que ofrece una calle populosa a la luz de un relámpago? Figúrese que le ha sorprendido una tormenta en una calle muy animada. A la luz de un relámpago notará usted un fenómeno extraño; la calle, en que hasta entonces todo era movimiento, parece que se petrifica en ese instante. Los caballos se paran en posturas forzadas, manteniendo las patas en el aire; los carruajes se inmovilizan y puede verse perfectamente cada uno de los radios de sus ruedas. La causa de esta aparente inmovilidad es la insignificante duración del relámpago. Los relámpagos, lo mismo que todas las descargas eléctricas duran poquísimos, tan poco, que esta duración no puede apreciarse con los medios ordinarios. Por procedimientos indirectos se ha podido comprobar que la duración de un relámpago oscila entre 0,001 y 0,02 segundos⁸. En un lapso tan pequeño poco es lo que se puede mover de forma sensible a la vista. Por esto no tiene nada de extraño que una calle bulliciosa parezca inmóvil a la luz de los relámpagos, puesto que en ella podemos ver solamente lo que dura menos de una milésima de segundo. En este tiempo cada radio de las ruedas de un carruaje que marche de prisa se pueden desplazar una fracción insignificante de milímetro, cosa que la vista percibe igual que la absoluta inmovilidad. Esta impresión es todavía más fuerte porque la sensación visual persiste en la retina mucho más tiempo que el que dura el relámpago.

[Volver al inicio](#)

¿CUANTO CUESTA UN RAYO?

En la época en que los rayos se atribuían a los "dioses" esta pregunta hubiera parecido una profanación. Pero ahora, cuando la energía eléctrica se ha convertido en una mercancía que se mide y se tasa lo mismo que otra cualquiera, no debe parecer absurdo que queramos saber lo que vale un rayo. El problema, pues, consiste en determinar la cantidad de energía eléctrica necesaria para que se produzca una descarga atmosférica y calcular su precio de acuerdo con la tarifa establecida para el alumbrado eléctrico.

Hagamos este cálculo. Según los datos más modernos el potencial de una descarga atmosférica es igual a 50 millones de voltios. La intensidad máxima de la corriente se calcula en 200 mil amperios (se

⁸ Los relámpagos entre dos nubes duran hasta 1,5 segundos. (*N. de la R.*)

determina por el grado de imanación que produce en una barra de acero la corriente que pasa por su devanado cuando el rayo cae en el pararrayos). La potencia en vatios se puede hallar multiplicando el número de voltios por el de amperios, pero al hacer esto hay que tener en cuenta que mientras se produce la descarga el potencial baja hasta cero; por lo tanto, al hacer el cálculo de la potencia de la descarga hay que tomar el potencial medio, es decir, la mitad de la tensión inicial. Según esto tenemos:

la potencia de la descarga = $50.000.000 \times 200.000 / 2$,
es decir,
 $5.000.000.000.000$ de vatios, o 5 mil millones de kilovatios.

Cuando vemos esta respetable serie de ceros pensamos que el precio del rayo vendrá expresado también por una cifra enorme. Pero para obtener la energía en kilovatios-hora (es decir, como figura en los recibos de la luz eléctrica), hay que tener en cuenta el tiempo. La enorme potencia que acabamos de calcular actúa durante cerca de una milésima de segundo.

En este tiempo se gastan $5.000.000.000.000 / 3.600.000.000 \cong 1.400$ kilovatios-hora. Cada kilovatio-hora cuesta, según la tarifa de la central eléctrica, 4 kopeikas. De aquí se deduce que un rayo costará:

$$1.400 \times 4 = 5.600 \text{ kopeikas} = 56 \text{ rublos.}$$

El resultado es sorprendente: un rayo, cuya energía es cien veces mayor que la necesaria para hacer un disparo de cañón de grueso calibre, costaría nada más que ... ¡56 rublos!

También es interesante conocer hasta que punto se ha aproximado la electrotecnia moderna a la posibilidad de producir artificialmente un rayo. En los laboratorios se han conseguido tensiones de 3-5 millones de voltios y chispas de 15 m de longitud. Ambos factores son solamente varias decenas de veces menores que los de los rayos naturales.

[Volver al inicio](#)

UN CHAPARRON DE TORMENTA EN CASA

En casa se puede hacer con facilidad una fuente pequeña con un tubo de goma, uno de cuyos extremos se sumerge en un cubo colocado en alto o se enchufa a un grifo.

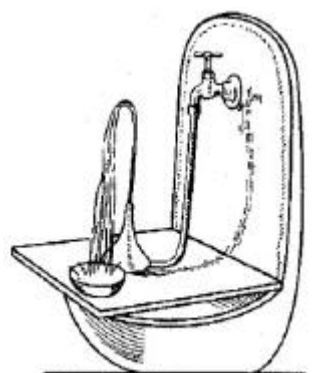


Figura 105. Un chaparrón de tormenta en miniatura.

El orificio de salida del tubo debe ser pequeño, para que resulte un surtidor de chorritos finos. Lo mejor para conseguir esto es poner como boquilla, en el extremo libre del tubo, un trocito de lápiz del que se haya sacado previamente la barra de grafito. Para mayor comodidad, el extremo libre del tubo se puede sujetar en un embudo invertido, como se muestra en la fig. 105.

Si esta fuente se regula de forma que el chorro suba verticalmente hasta medio metro de altura y se le acerca una barra de lacre o de ebonita (después de frotarla con un paño) veremos algo inesperado. Los chorritos que antes caían separados se unen ahora entre sí formando uno solo, el cual, al chocar con el fondo del plato que recoge el agua, produce un ruido considerable. Este ruido recuerda el sonido característico que producen los chaparrones de tormenta. "No cabe duda - dice el físico inglés Boys -, por esta misma causa son tan gruesas las gotas de lluvia durante las tormentas". En cuanto separamos la barra de lacre el chorro vuelve a desmenuzarse, y en lugar del sonido característico se vuelve a oír el suave murmullo del chorrito dividido.

En presencia de un público profano se puede demostrar este experimento como un truco de ilusionista, en el que la barra de lacre hará las veces de "varita de

El efecto que produce la carga eléctrica sobre la fuente se debe a lo siguiente: las gotitas de agua se electrizan por influencia, con la particularidad de que las partes de las gotas más próximas al lacre se electrizan positivamente y las opuestas, negativamente.

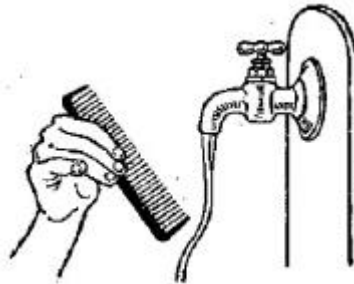


Figura 106. El chorro de agua se desvía cuando se le acerca un peine electrizado.

De esta forma, las partes de las gotas electrizadas con cargas de signo contrario se encuentran próximas entre sí y se atraen, con lo que hacen que se unan las gotas.

La acción de la electricidad sobre el chorro de agua se puede observar también de una forma más sencilla. Para esto no hay más que acercar un peine de ebonita (después de pasarlo por los cabellos) a un chorrito de agua fino, que a este propósito se deja salir del grifo del lavado. El chorro se hace compacto y se desvía sensiblemente en dirección al peine (fig. 106). Este fenómeno está relacionado con la variación que experimenta la tensión superficial en presencia de una carga eléctrica y es más difícil de explicar que el anterior.

Aunque de pasada, señalaremos también que los cuerpos se cargan fácilmente de electricidad por frotamiento. Las correas de transmisión, por ejemplo, se electrizan al rozar con las poleas. Las chispas eléctricas que saltan de estas correas constituyen un peligro de incendio en algunas industrias. Para evitar esto, las correas se platean. Una tenue capa de plata es suficiente para que las correas sean conductoras de la electricidad y las cargas no se acumulen en ellas.

[Volver al inicio](#)

Capítulo 9**REFLEXION Y REFRACCION DE LA LUZ. LA VISTA****UNA FOTOGRAFIA QUINTUPLA**

Una de las curiosidades del arte fotográfico son los retratos en que la persona se representa bajo cinco ángulos diferentes. La fig. 107, que es reproducción de una fotografía de este tipo, muestra estas cinco posiciones. Estas fotografías tienen la indiscutible ventaja, con respecto a las ordinarias, de dar una idea mucho más completa de los rasgos característicos del original. Todos sabemos cómo se preocupan los fotógrafos de darle a la cara del que se retrata el giro más conveniente. En nuestro caso se obtienen simultáneamente varios giros, entre los cuales es probable que se encuentre el más característico.

¿Cómo se hacen estas fotografías? Por medio de espejos, naturalmente (fig. 108).



Figura 107. Fotografía quintupla de una misma persona.

La persona que se va a retratar se sienta vuelta de espaldas a la cámara fotográfica A y tiene delante dos espejos planos C verticales que forman entre sí un ángulo igual a la quinta parte de 360° , es decir, 72° .

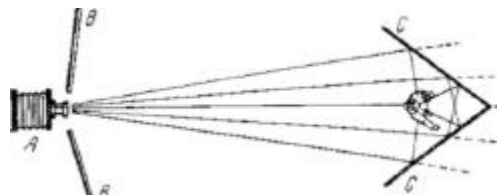


Figura 108. Procedimiento para obtener fotografías quintuplas. El objeto se coloca entre los espejos CC.

Este par de espejos debe producir 5 imágenes que forman ángulos distintos con la cámara fotográfica. Estas imágenes, junto con el objeto natural, son las que se fotografían. Los espejos, como no tienen marcos, no se ven en la foto. Para que la cámara fotográfica no se refleje e los espejos hay que ocultarla como se muestra en la figura detrás de otros dos espejos (BB), dejando entre ellos un pequeño espacio libre para el objetivo.

El número de imágenes depende del ángulo que forman entre sí los espejos. Cuanto menor sea este ángulo, mayor será el número de imágenes que se obtienen. Si el ángulo que forman es de $360^\circ / 4 = 90^\circ$ se obtienen 4 imágenes, si es de $360^\circ / 6 = 60^\circ$ se obtienen seis, si es igual a $360^\circ / 8 = 45^\circ$, ocho, etc. Pero cuando el número de imágenes es muy grande resultan pálidas y poco nítidas; por esto es preferible limitarse a las fotografías quintupla

MOTORES Y CALENTADORES SOLARES

Una idea muy seductora es la de utilizar los rayos solar, para calentar la caldera de un motor. Hagamos un cálculo sencillo. La energía que recibe del Sol por minuto cada centímetro cuadrado de la parte externa de la atmósfera que se encuentra formando un ángulo recto con la dirección de los rayos solares 1 sido calculada minuciosamente. Esta cantidad parece ser invariable, por lo que se llama "constante solar". El valor (redondeado) de esta constante es iguala 2 calorías por 1 cm² al minuto.

Esta ración de calor que el Sol nos manda regularmente no llega completa a la superficie de la Tierra, puesto que cerca de media caloría es absorbida por la atmósfera. Podemos, pues, considerar que cada centímetro cuadrado de la superficie de la Tierra (que esté iluminado perpendicularmente por los rayos solares) recibe cada minuto 1,4 calorías. Esto equivale a 14 000 calorías pequeñas por metro cuadrado o a 14 calorías grandes o kilocalorías por minuto, es decir, a cerca de 1/4 de kilocaloría por metro cuadrado al segundo. Como 1 kilocaloría, si se transforma íntegramente en trabajo mecánico, produce 427 kgm, los rayos solares que inciden perpendicularmente sobre una parcela de tierra de 1 m² podrían producir más de 100 kgm de energía por segundo, es decir, más de 1/3 de caballo de vapor.

Este es el trabajo que podría realizar la energía radiante del Sol en las condiciones más favorables, o sea, incidiendo perpendicularmente y transformándose cien por ciento en trabajo. Pero todos los intentos que se han hecho hasta ahora para aprovechar directamente el Sol como fuerza motriz distan mucho de reunir estas condiciones ideales. El rendimiento conseguido no es mayor de un 5 ó 6%. De todas las instalaciones llevadas a cabo la que ha alcanzado mayor rendimiento (15 %) es el motor solar del profesor Charles Abbot.

La energía solar es más fácil de utilizar como medio de calefacción que para producir trabajo mecánico. En la URSS se presta gran atención a este problema. Existe el Instituto del Sol (en Samarcanda) que realiza un gran trabajo de investigación. En Tashkent funciona un baño público solar que puede atender a 70 personas diarias. En esta misma ciudad se ha montado una instalación heliotérmica en el tejado de una casa. Esta instalación se compone de 20 calderas solares, calculadas para 200 cubos de agua, y cubre las necesidades de agua caliente de la casa. Según las declaraciones hechas por los heliotécnicos el Sol calentará estas calderas durante 7 u 8 meses al año. Los otros 4 ó 5 meses las calderas calentarán agua solamente los días despejados. El rendimiento medio de los calentadores de agua es relativamente alto, alcanza un 47 % (el rendimiento máximo llega hasta el 61 %) .

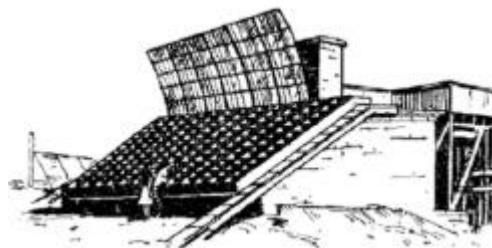


Figura 109. Almacén-refrigerador solar instalado en la URSS de Turkmenia.

En Turkmenia se han hecho las pruebas de un frigorífico solar. La temperatura de las baterías refrigeradoras de las cámaras del frigorífico fue de 2 ó 3° bajo cero, cuando la temperatura del aire circundante era de +42°C a la sombra. Este es el primer ejemplo de instalación de un frigorífico solar de tipo industrial (fig. 109).

Han dado magníficos resultados los experimentos de fundición solar del azufre (cuya temperatura de fusión es de 120°C).

Fig.

También merecen especial mención los destiladores solares para obtener agua potable instalados a orillas de los mares Caspio y de Aral, los elevadores de agua solares que han sustituido a las primitivas norias en el Asia Central, los desecadores solares de frutos y pescados, la cocina en que todo se prepara "a los rayos del Sol", etc. Todo esto no agota las posibilidades de aprovechamiento de los rayos solares atrapados artificialmente que han de desempeñar un papel importante en la economía nacional.

Durante los últimos años se han construido "baterías solares" de láminas semiconductoras que transforman la energía luminosa del Sol en energía eléctrica. Estas baterías se emplean mucho en los aparatos cósmicos. También se han hecho experimentos para emplear baterías de este tipo en la alimentación de receptores de radio portátiles.

EL SUEÑO DEL GORRO MARAVILLOSO

La leyenda del gorro maravilloso que hace invisible a todo el que se lo pone nos llega desde la más rancia antigüedad. Pushkin resucitó en su "Ruslán y Ludmila" las tradiciones más remotas y dio una descripción clásica del poder maravilloso de este gorro.

A impulsos de un capricho tentador,
 Ocurriósele un día a la doncella
 Ponerse el gorro de Chernomor ...
 Ludmila, al punto, vueltas le dio;
 Se lo puso derecho y ladeado,
 hasta que del revés lo colocó.
 ¡Y oh, maravilla de tiempos pasados!
 Ludmila del espejo se esfumó;
 Volvió a darle la vuelta, y ante ella
 Volvió a surgir la Ludmila primera;
 Se lo puso al revés: nada otra vez;
 Se lo quitó, ¡y de nuevo apareció!
 "Magnífico! ¡Muy bien, mi mago protector!
 Ahora estaré segura y sin temor..."

La posibilidad de hacerse invisible era la única defensa que tenía Ludmila en su prisión. Encubierta en su invisibilidad podía escapar a la vigilancia de sus guardianes. La presencia de la invisible prisionera sólo-era delatada por sus acciones:

Por doquier, a cada instante hallaban
 Sus fugaces y certeras huellas:
 Ya un fruto de los que sazonzaban
 Y entre el rumor de ramas se perdía,
 Y unas gotas de agua cristalina
 Que sobre el hollado prado caían,
 Y entonces, los del castillo averiguaban
 Que la princesa comía o bebía...
 Apenas despuntaba el alba
 Iba Ludmila a la cascada
 A lavarse en sus frías aguas.
 El propio Karl, en un amanecer,
 Desde el palacio divisó cierta vez
 Que una mano, invisible en la cascada,
 Chapoteante, el agua salpicaba ¹.

Hace ya mucho tiempo que han sido realizadas muchas ilusiones del pasado; no son pocas las maravillas legendarias que se han puesto al alcance de la ciencia. Se han perforado montañas, se capturan los rayos, se vuela en avión mejor que en la "alfombra maravillosa"... ¿No se puede inventar un gorro maravilloso o algo para hacerse invisible? Ahora pasaremos a hablar de esto.

EL HOMBRE INVISIBLE

El escritor inglés Wells en su novela "The Invisible Man" (El hombre invisible) intenta convencer a sus lectores de que hacerse invisible es algo perfectamente realizable. Su héroe (el autor de la novela nos lo presenta como "el físico más genial que ha existido en el mundo") descubrió un procedimiento para hacer invisible el cuerpo de las personas. A continuación reproducimos el episodio en que el inventor describe el fundamento de su descubrimiento a un médico amigo suyo.

"La visibilidad depende de la acción que producen los cuerpos visibles sobre la luz. Usted sabe que los cuerpos pueden absorber, reflejar o refractar la luz. Si un cuerpo ni absorbe, ni refleja, ni refracta la luz no puede ser visto. Podemos ver, por ejemplo, un cajón rojo opaco, porque su pintura absorbe cierta cantidad de luz y refleja (difunde) los demás rayos. Si este cajón no absorbiera en absoluto la luz, sino que la reflejara totalmente, nos parecería un cajón brillante, blanco, plateado. Si el cajón estuviera hecho de un brillante absorbería poca luz, su superficie total también reflejaría poca luz; solamente en algunos sitios, en las aristas, se reflejaría y refractaría, produciendo una visión luminosa de brillantes reflejos, algo así como un esqueleto luminoso. Un cajón de vidrio brillaría y se vería menos, puesto que en él la reflexión y la refracción serían menores. Pero si introducimos un trozo de vidrio ordinario en agua, o mejor aún en un líquido más denso que el agua, veremos que desaparece casi por completo, porque la luz que incide sobre él a través del agua se refracta y refleja muy débilmente. El vidrio se hace tan invisible como lo es un chorro de anhídrido carbónico o de hidrógeno en el aire por la misma causa.

¹ La versión española de estos versos es de Angel Herráiz, (N. del T.)

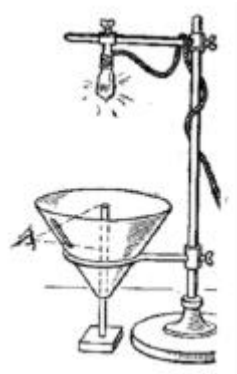


Figura 110. Una barra de vidrio invisible.

- Efectivamente - dijo Kemp (médico) -, todo esto es muy fácil y en nuestro tiempo lo sabe cada niño de la escuela.

- Pues, vea usted otro hecho que también conocen todos los escolares. Si un trozo de vidrio se machaca y convierte en polvo se hace mucho más visible en el aire, es decir, se convierte en polvo blanco opaco. Esto ocurre porque al machacarlo hacemos que se multiplique el número de facetas de vidrio en que se refleja y se refracta la luz. Una lámina de vidrio no tiene más que dos caras, mientras que en el polvo la luz se refleja y refracta en cada granito que atraviesa, por lo cual es muy poca la que consigue pasar a través del polvo. Pero si este vidrio blanco molido le echamos en agua desaparece en el acto. El vidrio molido y el agua tienen aproximadamente el mismo índice de refracción, por esto, cuando la luz pasa de ésta a aquélla se refleja y refracta muy poco. Sumergiendo el vidrio en un líquido cualquiera que tenga casi el mismo índice de refracción que él se hará invisible. De la misma manera, todo cuerpo transparente se hará invisible cuando se coloque en un medio que tenga el mismo índice de refracción que él. No hace falta cavilar mucho para convencerse de que el vidrio también se puede hacer invisible en el aire. Para esto lo único que hay que hacer es que su índice de refracción sea igual que el del aire, porque en estas condiciones cuando la luz pase del vidrio al aire no se refractará ni reflejará².

- Sí, sí -dijo Kemp- . Pero el hombre no es como el vidrio

- No, señor, es más transparente.

- ¡Qué sandez!

- ¡Y esto lo dice un naturalista! ¿Es posible que en diez años haya usted olvidado por completo la Física? El papel, por ejemplo, está formado por fibras transparentes, pero es blanco y opaco por

² También se puede hacer que un objeto transparente se haga totalmente invisible rodeándolo de paredes que difundan la luz de manera estrictamente uniforme. En estas condiciones, si miramos con un ojo el objeto a través de un orificio lateral pequeño, percibiremos de cada uno de sus puntos la misma cantidad de luz que si el objeto no existiera, puesto que no habrá ni reflejos ni sombras que denoten presencia.

Este experimento se lo puede hacer de la forma siguiente: Se hace un embudo de cartulina blanca que tenga medio metro de diámetro y se coloca, de la forma que puede verse en la fig. 110, a cierta distancia de una lámpara eléctrica de 25 bujías. Por la parte inferior se introduce una barrita de vidrio, que debe quedar completamente vertical.

Cualquier desviación de la posición vertical, aunque sea muy pequeña, puede hacer que la barra parezca oscura por el eje y clara por los lados o, al revés, clara por el eje y oscura por los costados. Estas dos formas de iluminación se truecan fácilmente entre sí en cuanto se varía la posición de la barra. Después de varios intentos se puede conseguir que la barra quede en la posición vertical correcta; entonces desaparecerá totalmente para el ojo que la observe a través de una rendija lateral cuya anchura no sea mayor de un centímetro. En estas condiciones se consigue la invisibilidad absoluta de la barra, a pesar de que su índice de refracción se diferencia mucho del índice del aire.

También se puede hacer invisible un objeto transparente, por ejemplo, un trozo de vidrio tallado, colocándolo dentro de un cajón pintado interiormente con pintura luminiscente.

la misma razón que hace que sea blanco y opaco el vidrio en polvo. Engrase usted el papel, llene de aceite los intersticios que hay entre sus fibras, para que la refracción y reflexión tenga lugar únicamente en sus superficies, y verá como el papel también se hace transparente como el vidrio. Lo mismo ocurre con las fibras del lienzo, de la lana, de la madera, de nuestros huesos, músculos, cabellos y nervios. En una palabra, todo lo que constituye al hombre, a excepción de la sustancia roja de la sangre y del pigmento oscuro de los cabellos, está formado por tejidos transparentes e incoloros. ¡Bien poco es lo que nos hace visibles unos a otros!"

Una confirmación de estos razonamientos puede ser el hecho de que los animales albinos (cuyos tejidos no contienen sustancias colorantes) que carecen de lana se caracterizan por tener un alto grado de transparencia. Un zoólogo que en el año 1934 encontró en Dietskoie Sielo cerca de Leningrado un ejemplar de rana albina, la describe así: "los tejidos que forman la delgada piel son transparentes lo mismo que los músculos; se ven las entrañas, el esqueleto ... A través de la pared ventral se ve bien como se contraen el corazón y los intestinos".

El héroe de la novela de Wells inventó un procedimiento para hacer transparentes todos los tejidos del organismo humano y las sustancias que lo colorean (pigmentos). Este procedimiento lo ensayó en sí mismo. El éxito fue inmenso; el inventor se hizo totalmente invisible. A continuación veremos lo que le ocurrió después.

EL PODER DEL HOMBRE INVISIBLE

El autor de la novela "El hombre invisible" demuestra con una gracia y consecuencia extraordinarias que el hombre invisible adquiere un poder casi ilimitado. Puede entrar en cualquier local y robar impunemente cualquier cosa; como no lo pueden coger por ser invisible, puede luchar con ventaja contra toda una multitud de gente armada. El hombre invisible, amenazando a todos los visibles con un castigo duro e inevitable, hace que se someta a él la población de toda una ciudad. Mientras él es inatrapable e invulnerable, puede hacer daño a los demás, los cuales, por mucho que se las ingenien, tarde o temprano son derrotados por el enemigo invisible. La excepcional situación de este hombre entre los demás hace que pueda dirigirse a la población de su ciudad dando órdenes como la siguiente:

"Desde ahora la ciudad no estará sometida al poder de la reina. Decidle esto a vuestro coronel, a la policía, a todo el mundo. ¡No hay más poder que el mío! El día de hoy es el primero del primer año de la nueva era, ¡la era del Invisible! Yo me proclamo Invisible Primero. El principio de mi reinado será misericordioso. El primer día no habrá más que una ejecución, para qué sirva de ejemplo. Será la ejecución de un hombre que se llama Kemp. Este hombre morirá hoy. Aunque se encierre, aunque se oculte, aunque se rodee de una guardia, aunque se ponga una coraza, ¡la muerte, invisible, va hacia él! Que tome medidas de precaución, esto sólo servirá para impresionar más a mi pueblo. ¡La muerte va hacia él! No le ayudes, pueblo, no sea que a ti también te alcance la muerte".

Y durante el primer tiempo el hombre invisible triunfa. Sólo a costa de un esfuerzo enorme consigue la población aterrorizada vencer al enemigo invisible que soñaba con convertirse en su soberano.

PREPARACIONES TRANSPARENTES

¿Son justos los razonamientos físicos que sirven de base a esta novela? Indudablemente. Todo objeto transparente sumergido en un medio también transparente se hace invisible en cuanto la diferencia entre sus respectivos índices de refracción es menor de 0,05. Diez años después de haber sido escrita la novela "El hombre invisible" el profesor de anatomía alemán V. Spalteholz realizó su idea, aunque no en organismos vivos, sino en preparaciones muertas. Estas

preparaciones transparentes de partes del cuerpo y hasta de animales enteros se pueden ver ahora en muchos museos.

El procedimiento para hacer las preparaciones transparentes elaborado (en 1911) por el profesor Spalteholz consiste en esencia en lo siguiente: el objeto a preparar se somete primeramente a un tratamiento especial - decoloración y lavado - y después se impregna en salicilato de metilo (que es un líquido incoloro con índice de refracción grande). Las preparaciones de ratas, peces, partes del cuerpo humano u otras semejantes, hechas por este procedimiento, se sumergen en un recipiente lleno de este mismo líquido.

En este caso no se tiende a conseguir una transparencia absoluta, puesto que entonces las preparaciones serían totalmente invisibles e inútiles para los anatomistas. Pero sí esto fuera necesario se podría conseguir.

Claro está que desde esto hasta la realización de la utopía de Wells, sobre el hombre vivo transparente hasta el extremo de ser completamente invisible, queda mucho camino por recorrer. Decimos esto, porque todavía hace falta; primero, hallar el procedimiento de impregnar con el líquido decolorante los tejidos del organismo vivo, sin alterar sus funciones, y segundo, porque las preparaciones del profesor Spalteholz son transparentes, pero no invisibles; los tejidos de estas preparaciones pueden ser invisibles mientras se encuentren sumergidas en recipientes con líquidos de la refrangibilidad correspondiente. Serán invisibles en el aire cuando su índice de refracción sea igual al de éste, pero hasta ahora no sabemos como conseguirlo.

Pero supongamos que con el tiempo se logra lo uno y lo otro y, por lo tanto, se consigue realizar el sueño del novelista inglés.

En la novela todo ha sido previsto y pensado por el novelista con tanta meticulosidad, que involuntariamente nos dejamos llevar por la persuasión de los acontecimientos que en ella se narran. Parece que el hombre invisible debe ser realmente el más poderoso de los mortales. Pero esto no es así.

Existe un pequeño inconveniente del que se olvidó Wells. Se trata de la cuestión siguiente:

¿PUEDE VER EL HOMBRE INVISIBLE?

Si Wells se hubiera hecho esta pregunta antes de comenzar su novela, la extraordinaria historia de "El hombre invisible" no hubiera sido escrita.

El poder ilusorio del hombre invisible queda anulado totalmente al llegar a este punto. ¿El hombre invisible tiene que ser ciego!

¿Por qué era invisible el héroe de la novela? Porque todas las partes de su cuerpo - y entre ellas los ojos - se hicieron transparentes y adquirieron un índice de refracción igual al del aire. Pero recordemos en qué consiste el papel de los ojos. El cristalino, el humor acuoso y otras partes transparentes del ojo refractan los rayos de luz de tal forma que sobre la retina se obtiene la imagen de los objetos que se hallan fuera. Pero si la refrangibilidad del ojo y la del aire fueran iguales desaparecería el origen de la refracción, porque cuando la luz pasase de un medio a otro de igual refrangibilidad los rayos no cambiarían de dirección y, por lo tanto, no podrían converger en un punto. Los rayos de luz deben pasar a través de los ojos del hombre invisible sin encontrar ningún obstáculo, sin refractarse ni detenerse en ellos, debido a la falta de pigmentos³ y, por consiguiente, no pueden producir en su conciencia ninguna imagen.

³ Para que la luz pueda producir una sensación cualquiera en un animal, los rayos deberán ocasionar en su ojo alguna variación, aunque sea muy pequeña, es decir, realizar algún trabajo. Para esto los rayos tendrán que detenerse en el ojo, aunque sólo sea en parte. Pero si el ojo es completamente transparente no puede detener los rayos, de lo contrario no sería transparente. Todos aquellos animales cuya defensa se basa en que son transparentes no tienen ojos o, si los tienen, no son del todo transparentes. "Directamente debajo de la superficie del mar describe el eminente

Quedamos, pues, en que el hombre invisible no puede ver nada.. Esto hace que todas sus ventajas sean inútiles para él. El terrible aspirante al poder andaría a tientas, pidiendo limosna, que nadie le podría dar, puesto que no verían al pedigüeño. En vez del más poderoso de los mortales nos encontramos con un pobre inválido condenado a una existencia miserable⁴.

Por lo tanto, en la búsqueda del "gorro maravilloso" es inútil seguir el camino señalado por Wells. Por esta vía ni el éxito más completo de nuestras investigaciones nos puede conducir al objetivo.

LA COLORACION PROTECTORA

Pero existe otra vía para resolver el problema del "gorro maravilloso". Este procedimiento consiste en pintar los objetos del color necesario para que pasen inadvertidos a la vista. La naturaleza recurre constantemente a este procedimiento dando a sus creaciones una coloración "protectora", la cual les permite defenderse de sus enemigos o hace más fácil su lucha por la existencia.

Lo que los militares llaman "enmascaramiento" o "camuflaje" se conoce en Zoología desde la época de Darwin con el nombre de "coloración protectora" o defensiva. En el mundo animal se pueden citar millares de ejemplos de este tipo de protección; nos encontramos con ellos a cada paso. Los animales que habitan en el desierto tienen en su mayoría la coloración amarillenta característica de éste; notamos este colorido en el león, en los pájaros, en los lagartos, en las arañas, en los gusanos, en todos los representantes de la fauna desértica. Por el contrario, los animales que habitan las llanuras nevadas del norte, sea el temible oso polar o el inofensivo gávido, fueron vestidos de blanco por la naturaleza, con lo cual pasan inadvertidos sobre el fondo blanco de la nieve. Las mariposas y las orugas que viven en la corteza de los árboles tienen su color particular, que reproduce con exactitud asombrosa el color de dicha corteza (la *Ocnieria* y otras).

Cada coleccionista de insectos sabe lo difícil que es encontrarlos debido a su "enmascaramiento". Intente usted coger un grillo verde que chirríe cerca de sus pies en un prado; no podrá distinguirlo sobre el fondo verde que lo absorbe sin dejar rastro.

Lo mismo ocurre con los habitantes del agua. Los animales marítimos que viven entre algas pardas tienen una "coloración protectora" parda que los hace imperceptibles a la vista. En las zonas de algas rojas el "color protector" imperante es el rojo. El color plateado de las escamas de los peces también es "protector". Este color protege a los peces de las aves rapaces que los miran desde arriba y de los peces carnívoros que los amenazan desde abajo, porque la superficie del agua parece un espejo no sólo cuando se mira desde arriba, sino también cuando esto se hace desde abajo, desde dentro del agua ("reflexión total"), y con este fondo de brillo metálico es con el que confunden las escamas plateadas de los peces. Las medusas y otros habitantes de las aguas, como gusanos, crustáceos, moluscos etc., en vez de tomar una "coloración protectora" prefieren ser totalmente incoloras y transparentes, con lo cual son invisibles en el medio incoloro y transparente en que se encuentran.

oceanógrafo Murray -, la mayoría de los animales son transparentes e incoloros-, cuando se sacan con la red se pueden distinguir únicamente por sus pequeños ojos negros, puesto que su sangre carece de hemoglobina (sustancia colorante) y es completamente transparente".

⁴ Es posible que el novelista cometiera adrede este descuido al concebir la novela. Wells suele recurrir en sus novelas fantásticas al truco literario siguiente: disimula ante el lector el defecto fundamental de su creación fantástica enmascarándolo con gran abundancia de detalles reales. En el prólogo de la edición americana de sus obras de ciencia ficción él mismo dice: "En cuanto se ha hecho el truco mágico, todo lo demás debe mostrarse de una forma verosímil y habitual. No hay que fiarse en la fuerza de las deducciones lógicas, sino en la ilusión creada por el arte"

Los "subterfugios" de la naturaleza superan en este sentido a la inventiva humana. Muchos animales pueden cambiar la tonalidad de su coloración protectora de acuerdo con las variaciones que sufre el ambiente que los rodea. El armiño blanco-plateado que pasa inadvertido sobre un fondo de nieve perdería todas las ventajas que le proporciona su coloración protectora si en cuanto se derrite la nieve no cambiara de pelaje. Pero precisamente cada primavera este animalejo blanco se cubre de piel rojiza y se confunde con el color del suelo libre de nieve. Cuando llega el invierno vuelve a encanecer y a ponerse su ropaje blanco como la nieve.

ENMASCARAMIENTO

El hombre ha copiado de la naturaleza el arte de hacer que su cuerpo pase inadvertido, es decir, de que se confunda con el fondo que lo rodea. Los vivos colores de los llamativos uniformes de otros tiempos, que tan pintorescos hacían los cuadros de batallas, han caído en desuso y han sido desplazados por los uniformes monocromos de color caqui. El color gris acerado de los modernos navíos de guerra también es una forma de enmascaramiento, que hacen que los buques sean poco perceptibles cuando tienen como fondo el mar.

El llamado "camuflaje táctico" o enmascaramiento militar de objetivos como las fortificaciones, cañones, tanques, barcos, así como el empleo de la niebla artificial y otras medidas semejantes, tienen por objeto confundir al enemigo. Los campamentos se enmascaran cubriéndolos con unas redes especiales en cuyas mallas se entrelazan manojos de hierba; los combatientes se ponen batas con manojos de estropajo teñido del color de la hierba, etc.

La aviación moderna también utiliza el enmascaramiento. Un avión pintado a manchas pardas, verde-oscuro y violáceas (correspondientes a los colores de la superficie de la tierra), cuando se observa desde otro avión más alto, es muy difícil de distinguir sobre el fondo que ofrece la superficie de la tierra. La parte inferior del avión se pinta de un color que mirado desde tierra sobre el fondo del cielo hace que no se vea, por ejemplo, celeste claro, rosa claro, y blanco. Estos colores se distribuyen por la superficie del avión formando manchas. Cuando el avión vuela a 750 m estos colores se confunden formando un fondo poco perceptible. A 3 000 m de altura estos aviones son prácticamente invisibles. Los aviones de bombardeo nocturno se pintan de negro.

Un enmascaramiento ideal para cualquier medio sería una superficie especular que reflejara el fondo. Un objeto con superficie de este tipo tomaría automáticamente el aspecto y el colorido del medio en que se encontrara; desde cierta distancia sería casi imposible de descubrir. Los alemanes emplearon esta idea durante la primera guerra mundial para camuflar los zeppelines. Muchos de estos dirigibles presentaban superficies de aluminio brillante, que reflejaban el cielo y las nubes, por lo que eran muy difíciles de descubrir si no los delataba el ruido de los motores. Así es como en la naturaleza y en el terreno militar se lleva a la práctica el sueño de las leyendas populares sobre el "gorro mágico".

EL OJO HUMANO DEBAJO DEL AGUA

Figúrese usted que puede permanecer debajo del agua el tiempo que quiera y que nada le impide tener los ojos abiertos. ¿Podría usted ver?

Lógicamente, como el agua es transparente, no debe haber ningún inconveniente para poder ver debajo de ella lo mismo que en el aire. Pero recuerde usted lo que dijimos de la ceguera del «hombre invisible», que no podía ver porque el índice de refracción de sus ojos y el del aire eran iguales. Pues, debajo del agua nos encontramos aproximadamente en las mismas condiciones que

el "hombre invisible" en el aire⁵. Examinemos las cifras siguientes y esto quedará más claro. El índice de refracción del agua es 1,34. Los índices de refracción de las distintas partes transparentes del ojo son:

de la córnea y del humor vítreo	1,34
del cristalino	1,43
del humor acuoso	1,34

Como puede verse, el cristalino tiene una refringencia que es 1/10 mayor que la del agua y las demás partes de nuestro ojo la tienen igual que esta última. Por esto, debajo del agua el foco de los rayos se encuentra detrás de la retina y a gran distancia de ella; por consiguiente, la imagen que se dibuja sobre la retina es poco nítida y sólo se puede distinguir con dificultad. Las personas muy miopes son las únicas que pueden ver debajo del agua más o menos normalmente.

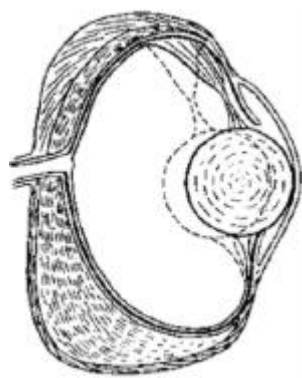


Figura 111. Corte del ojo de un pez. El cristalino tiene forma esférica y la acomodación no varía su formó. En lugar de variar la forma del cristalino varía su posición en el ojo, como indica la línea de puntos.

Si quiere usted formarse una idea concreta de cómo debemos ver los objetos debajo del agua, póngase unas gafas cuyas lentes tengan gran poder divergente (bicóncavas). En estas condiciones el foco de los rayos que se refractan en el ojo se desplaza mucho más atrás de la retina y todo lo que rodea a usted aparece con formas borrosas, como nubladas.

Si nos pusiéramos unas gafas con vidrios de gran poder de refracción, ¿no veríamos mejor debajo del agua?

El vidrio que se utiliza generalmente para hacer las lentes de las gafas daría poco resultado, porque su índice de refracción es 1,5, es decir, muy poco mayor que el del agua (1,34); estas gafas refractarían muy poco la luz debajo del agua. Hacen falta vidrios de calidad especial que tengan índice de refracción extraordinariamente grande (el llamado vidrio "flint pesado 0 denso" tiene un índice de refracción casi igual a dos). Con estas gafas podríamos ver debajo del agua poco más o menos claramente (sobre las gafas especiales para bucear se hablará más adelante). Ahora se comprende por qué los peces tienen un cristalino tan convexo. Su forma es esférica y su índice de refracción es el mayor entre todos los de los ojos de animales conocidos. Si esto no fuera así, los ojos no les servirían para nada a los peces, condenados como están a vivir en un medio transparente tan refringente.

⁵ Estos razonamientos se refieren a la visión directa, es decir, cuando los ojos no están protegidos con gafas especiales o máscara.

¿COMO VEN LOS BUZOS?

Si nuestros ojos en realidad casi no refractan los rayos de luz cuando están debajo del agua es lógico hacerse las siguientes preguntas:

1° ¿Cómo ven los buzos?

2° ¿Podían ver los tripulantes del "Nautilus" de Julio Verne el paisaje del mundo submarino?

Aunque estas preguntas parece que están relacionadas con lo dicho en el párrafo anterior, se trata de un nuevo problema que, como veremos, no es difícil de explicar. La respuesta a estas preguntas quedará clara si tenemos en cuenta que cuando nos encontramos debajo del agua sin el traje de buzo el agua nos baña directamente los ojos, pero con la escafandra (o en el camarote del "Nautilus") entre el agua y los ojos queda una capa de aire (y un vidrio plano). Esto hace que la cuestión varíe esencialmente. En este caso, los rayos de luz salen del agua, pasan a través del vidrio, llegan al aire y después de esto entran en el ojo. Cuando los rayos procedentes del agua inciden sobre el vidrio planoparalelo formando un ángulo cualquiera, de acuerdo con las leyes de la Óptica deben salir del vidrio sin cambiar de dirección; pero después, al pasar del aire al ojo se refractan y, por consiguiente, en estas condiciones el ojo funciona exactamente igual que cuando está fuera del agua. Así se explica lo que al principio parecía una contradicción. La mejor ilustración de lo que acabamos de decir es el hecho de que podemos ver perfectamente a los peces que nadan dentro de un acuario.

LAS LENTES DEBAJO DEL AGUA

¿Ha mirado usted en alguna ocasión objetos sumergidos en el agua a través de una lente convergente también sumergida? Si no se le ha ocurrido hacerlo hasta ahora, haga la prueba, le espera una sorpresa. La lente de aumento debajo del agua ... ¡casi no aumenta! Cuando la lente que se sumerge es divergente también se nota como pierde en gran parte su propiedad de disminuir. Si hace usted este mismo experimento no en el agua, sino en otro líquido que tenga un índice de refracción mayor que el vidrio, la lente convergente disminuirá los objetos y la divergente los aumentará.

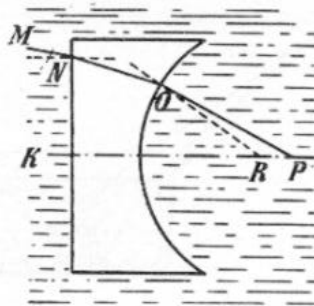


Figura 112. Las gafas para buceadores están formadas por lentes plano-cóncavas huecas. El rayo MN se refracta y sigue el camino MNOP, alejándose de la perpendicular de incidencia dentro de la lente y acercándose a ella (es decir a OR) fuera de la lente. Por eso esta lente actúa como un vidrio convergente.

Recuerde usted la ley de la refracción de los rayos de luz y verá como estas maravillas dejan de parecerle extraordinarias. La lente convergente aumenta en el aire porque el vidrio refracta más la

luz que el aire que lo rodea. Pero entre la refringencia del vidrio y la del agua hay poca diferencia; por esto, cuando introduce usted una lente en agua, los rayos de luz, al pasar de esta última al vidrio, no se desvían mucho. Esta es la razón de que las lentes convergentes aumenten menos debajo del agua que en el aire y de que las divergentes disminuyan menos.

El monobromo-naftaleno, por ejemplo, refracta los rayos más que el vidrio, por lo tanto, en este líquido las lentes convergentes disminuyen y las divergentes aumentan. De esta misma forma actúan debajo del agua las lentes huecas (o mejor dicho, de aire). Cuando estas lentes son cóncavas, aumentan, y cuando son convexas, disminuyen. Las gafas de bucear son de hecho lentes huecas (fig. 112).

LO QUE DEBE SABER TODO BAÑISTA

Los bañistas poco duchos corren con frecuencia peligros serios porque se olvidan de una consecuencia muy curiosa de la ley de la refracción de la luz. La refracción parece que sube todos los objetos sumergidos en el agua, es decir, da la sensación de que se encuentran menos profundos que en realidad. El fondo de un estanque, de un río o de cualquier depósito de agua parece casi una tercera parte menos profundo. Son muchas las personas que confiando en esta apariencia de pequeña profundidad ponen en peligro sus vidas. Esto deben saberlo en primer lugar los niños y las personas de poca estatura, para los cuales este error puede ser fatal.

La causa de esto es la refracción de los rayos de luz. La misma ley que hace que una cucharilla sumergida en un vaso de agua parezca quebrada, hace también que se eleve aparentemente el fondo (fig. 113).

Esto se puede comprobar fácilmente.

Ponga usted una escudilla o una taza sobre una mesa, coloque en su fondo una moneda y sienta a un amigo delante de ella de manera que la pared de la taza le impida ver la moneda. Pídale a su amigo que no mueva la cabeza y eche usted agua en la taza. Ocurrirá algo inesperado: ¡su invitado empezará a ver la moneda!



Figura 113, Imagen deformada de una cucharilla sumergida en un vaso de agua

Extraiga usted el agua con una jeringa y ... la moneda y el fondo volverán a descender (fig. 114). En la fig. 115 puede verse como ocurre esto.



Figura 114. Experimento con la moneda dentro de la taza

Al observador (cuyo ojo se encuentra sobre la superficie del agua, en el punto A) le parece que la parte m del fondo se encuentra más alta, porque los rayos se refractan al pasar del agua al aire y llegan al ojo como muestra la figura; en estas condiciones este último ve la parte m del fondo como si se encontrara en la prolongación de la visual, es decir, más arriba que m.

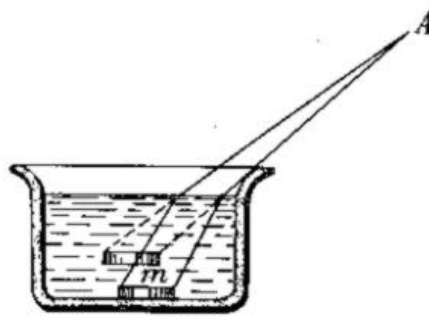


Figura 115. Explicación de por qué la moneda del experimento de la fig. 114 parece que sube

Esta es la causa de que cuando miramos el fondo plano de un estanque desde una barca, por ejemplo, nos parezca que el sitio más profundo está siempre debajo de nosotros, mientras que alrededor la profundidad es menor.

Es decir, el fondo del estanque nos parece cóncavo. Por el contrario, si desde el fondo de un estanque pudiéramos mirar un puente tendido sobre él, nos parecería convexo (como muestra la fig. 116; más adelante diremos cómo fue obtenida esta fotografía). En este caso los rayos pasan de un medio poco refringente (aire) a otro más refringente (agua) por esto el efecto es el contrario al que se produce cuando los rayos pasan del agua al aire. Por una causa semejante una fila de personas que estén, por ejemplo, junto a un acuario no les parecerá a los peces una fila recta, sino combada y con la parte convexa dirigida hacia ellos. Sobre cómo ven los peces, o mejor dicho, cómo deberían ver si tuvieran ojos humanos, hablaremos con más detenimiento un poco más adelante.

UN ALFILER INVISIBLE

Hinque usted un alfiler en una rodaja de corcho y póngala, con el alfiler hacia abajo, sobre la superficie del agua que hay en una escudilla.

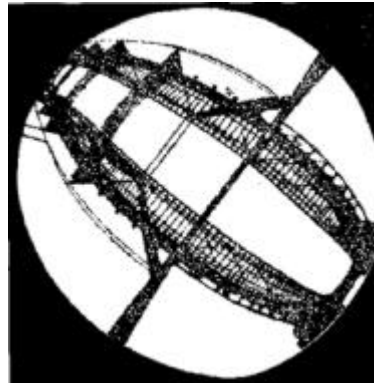


Figura 116. Así verá el observador subfluvial un puente de ferrocarril tendido sobre el río (de fotografía del profesor Wood).

Aunque la rodaja no sea demasiado grande, por mucho que incline usted la cabeza no logrará ver el alfiler, a pesar de que al parecer sea suficientemente largo para que el corcho no pueda ocultarlo a su vista (fig. 117).

¿Por qué no llegan los rayos de luz desde el alfiler hasta su ojo? Porque experimentan lo que se llama en Física "reflexión, total".

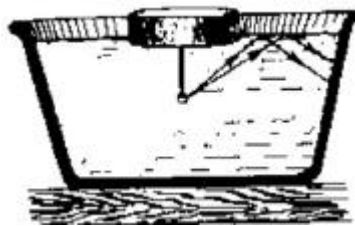


Figura 117. Experimento con el alfiler invisible debajo del agua,

Recordemos en qué consiste este fenómeno.

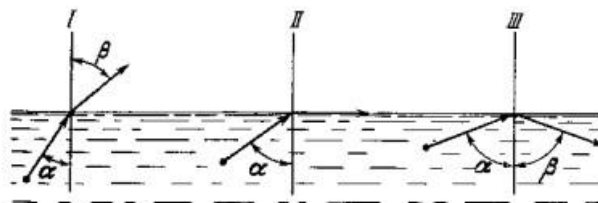


Figura 118.. Varios casos de refracción de un rayo al pasar desde el agua al aire. En el II caso el rayo incide formando el ángulo límite con la perpendicular de incidencia y sale del agua rasando su superficie. El III caso representa la reflexión total.

En la fig. 118 se puede ver el camino que siguen los rayos que pasan del agua al aire (o en general, de un medio más refringente a otro menos refringente) y al contrario. Cuando los rayos van del aire al agua se aproximan a la "normal de incidencia"; por ejemplo, un rayo que incida sobre el agua formando un ángulo β con la normal al plano de incidencia entrará en ella formando un ángulo α , menor que β (fig. 118, I; considerando las flechas dirigidas en sentido contrario). Pero, ¿qué ocurre cuando el rayo incidente. "resbala" por la superficie del agua e incide en ella

formando con la normal un ángulo casi recto? Este rayo penetra en el líquido formando un ángulo menor que el recto cuyo valor es de $48^{\circ}30'$.

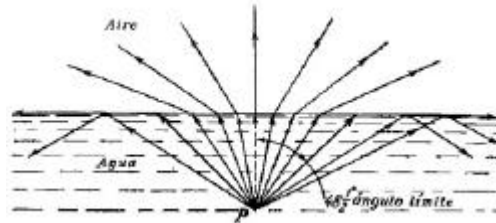


Figura 119. Los rayos que salen del punto P formando con la perpendicular de incidencia un ángulo mayor que el límite (que para el agua es igual a $48^{\circ}30'$ grados) no salen del agua, se reflejan totalmente hacia adentro.

Ningún rayo puede entrar en el agua formando un ángulo mayor de $48^{\circ}30'$ con la normal, éste es el ángulo "límite" para el agua. Estas correlaciones son bastante simples y hay que procurar asimilarlas bien para poder comprender las consecuencias tan inesperadas e interesantes que se deducen de la ley de la refracción y que vamos a examinar acto seguido.

Acabamos de saber que el conjunto de todos los rayos que inciden sobre el agua formando con la normal todos los ángulos posibles, una vez dentro de ella se "comprimen" dando lugar a un cono bastante estrecho cuyo ángulo de abertura es igual a $48^{\circ}30' + 48^{\circ}30' = 97^{\circ}$. Veamos ahora lo que ocurre cuando los rayos van en sentido contrario, es decir, del agua al aire (fig. 119). Según las leyes de la Óptica los caminos que siguen estos rayos son los mismos que en el caso anterior, pero en sentido contrario, y todos los rayos comprendidos en el cono de 97° saldrán al aire formando ángulos diferentes, que se distribuirán entre los 180° del espacio que hay sobre el agua.

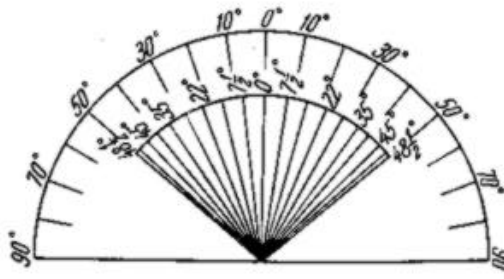


Figura 120. El arco de 180° del mundo exterior se reduce hasta 97° para el observador que está dentro del agua; esta reducción es tanto mayor cuanto más lejos se encuentra la parte del arco del punto del cenit (0°).

Pero, ¿adónde irá a parar cualquier rayo que procediendo de debajo del agua no se encuentre dentro del cono de 97° ? Pues, resulta que este rayo no saldrá del agua, sino que se reflejará totalmente en su superficie como en un espejo. En general, todo rayo luminoso procedente del interior del agua que incida en la superficie de ésta formando un ángulo mayor que el "límite" (es

decir, mayor de $48(30')$ no se refractará, sino que se reflejará, experimentando lo que según los físicos se llama la "reflexión total"⁶.

Si los peces estudiaran Física, la parte fundamental de la Óptica sería para ellos la que estudia la "reflexión total", puesto que en su visión submarina desempeña un papel de primera importancia. El hecho de que muchos peces tengan color plateado guarda probablemente relación con las peculiaridades de la visión submarina. Los zoólogos opinan que este colorido es el resultado de la adaptación de los peces al color de la superficie del agua que los cubre. Cuando se mira desde abajo, como ya sabemos, la superficie del agua parece un espejo, debido a la "reflexión total". Sobre un fondo como éste los peces de color plateado pasan inadvertidos a la vista de los peces carnívoros que los persiguen.

EL MUNDO VISTO DESDE DEBAJO DEL AGUA

Muchos no pueden figurarse lo extraordinario que parecería el mundo si lo miráramos desde debajo del agua. Aparecería ante el observador tan cambiado y desfigurado que no lo conocerla. Suponga el lector que está dentro del agua y que desde debajo de su superficie mira al mundo que está fuera. La nube que suspendida en el cielo se halla exactamente encima de su cabeza no cambiará de forma en absoluto, porque los rayos verticales no se refractan. Pero todos los demás objetos, cuyos rayos llegan a la superficie del agua formando ángulos agudos, los verá deformados, como comprimidos verticalmente. Esta deformación será tanto mayor, cuanto menor sea el ángulo que forma el rayo incidente con la superficie del agua. Esto se comprende, puesto que todo el mundo que se ve desde debajo del agua debe caber dentro del estrecho cono de 97° , es decir, los 180° del espacio exterior deben comprimirse hasta casi la mitad; por lo tanto, la imagen no tiene más remedio que desfigurarse.

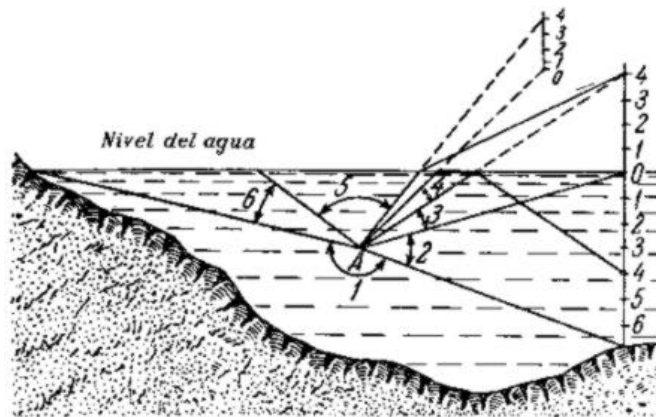


Figura 121. Esquema de cómo ve observador subfluvial situado en A el flujómetro que tiene una parte dentro y otra fuera del agua. Dentro del ángulo 2 ve borrosamente la parte sumergida del flujómetro, dentro del 3, su reflexión en la superficie interior del agua. Además ve la parte del flujómetro que sobresale del agua acortada y separada del resto por un espacio. Dentro del ángulo 4 se refleja el fondo. En el ángulo 5 ve todo el mundo exterior en forma de tubo cónico. Dentro del 6 ve el reflejo del fondo en la superficie inferior del agua y dentro del 1, la imagen borrosa del fondo.

⁶ La reflexión se llama total en este caso porque se reflejan todos los rayos incidentes, mientras que hasta en los espejos mejores (de magnesio o de plata pulimentada) reflejan solamente una parte de los rayos que llegan a ellos, absorbiendo los demás. En las condiciones indicadas el agua es un espejo ideal.

Los objetos cuyos rayos llegan a la superficie del agua formando con ella un ángulo de 10 grados se comprimen tanto en el agua que apenas se pueden distinguir.

Pero lo que más le llamaría la atención sería el aspecto de la propia superficie del agua; desde abajo esta superficie no parece plana, sino cónica. A usted le parecerá que se encuentra en el fondo de un enorme embudo cuyas paredes laterales (las generatrices) forman entre sí un ángulo algo mayor que el recto (97°). El borde superior de este embudo está rodeado de un anillo irisado con cinco orlas concéntricas: roja, amarilla, verde, azul y violeta. ¿Por qué? Porque la luz blanca del Sol es una mezcla de varios colores; cada uno de estos colores tiene su índice de refracción y, por lo tanto, su "ángulo límite". Esto hace que los objetos que se miran desde debajo del agua parezca que están rodeados de una aureola irisada.

¿Y qué se ve más allá de los bordes de este cono que comprende todo el mundo exterior? La brillante superficie del agua en la cual, lo mismo que en un espejo, se reflejan los objetos que están sumergidos en ella.



Figura 122. Así se ve desde debajo del agua un árbol medio sumergido (compárese con la fig. 121).

Los objetos que tienen una parte dentro del agua y otra parte fuera de ella adquieren una forma completamente desconocida a la vista del que los observa sumergido. Supongamos que en un río se halla sumergido un fluviómetro⁷ (fig. 121). ¿Qué verá un observador subfluvial situado en el punto A? Para aclararlo dividamos el espacio que puede observar - 360 grados - en varias partes y analicemos cada una de estas partes por separado. Dentro de los límites del ángulo 1 verá el fondo del río, si está suficientemente alumbrado. En el ángulo 2 verá la parte sumergida del fluviómetro, sin deformación. En el ángulo 3 verá reflejada, aproximadamente, esta misma parte del fluviómetro, es decir, verá invertida la parte de éste que está dentro del agua (recuérdese lo dicho sobre la "reflexión total"). Más arriba verá la parte emergente del fluviómetro, pero no como continuación de la sumergida, sino separada de ella y mucho más arriba. Es natural que al observador no se le ocurra pensar que esta regla suspendida en el aire es la continuación de la primera. Pero además, esta parte de la regla le parecerá muy comprimida, sobre todo en su parte inferior, donde las divisiones estarán mucho más próximas.

Si la orilla estuviera inundada por una crecida del río y en ella hubiera un árbol medio sumergido, desde debajo del agua se vería lo que representa la fig. 122.

⁷ Regla graduada que se utiliza para medir el nivel de los ríos. (N. del T.)

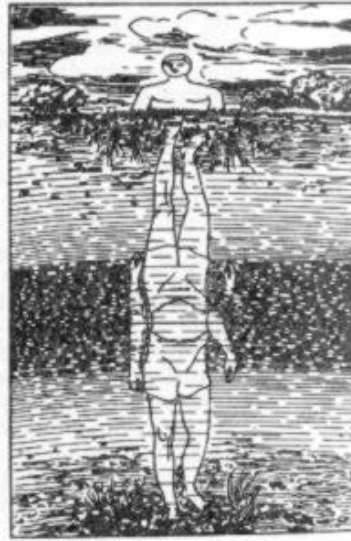


Figura 123. Así ve el observador que está debajo del agua a un bañista sumergido hasta el pecho (compárese con la fig. 121).

Y si en lugar del fluviómetro hubiera un hombre, visto desde debajo del agua aparecería como muestra la fig. 123. Así deben ver los peces a los bañistas. Para ellos, cuando vamos andando sobre un fondo poco profundo, nos duplicamos, es decir, nos convertimos en dos criaturas, una superior sin piernas, y otra inferior sin cabeza pero ... ¡con cuatro piernas! A medida que nos alejamos del observador acuático le parecerá que la mitad superior de nuestro cuerpo se comprime cada vez más en su parte inferior y a cierta distancia, la parte del tronco que sobresale del agua desaparecerá para él y sólo verá una cabeza planeando libremente en el aire.

¿Se puede comprobar prácticamente lo que acabamos de decir? Si intentáramos hacerlo buceando veríamos muy poco, incluso si nos acostumbráramos a tener los ojos abiertos. En primer lugar, porque la superficie del agua no tiene tiempo de serenarse en los pocos segundos que podemos permanecer debajo del agua, y si la superficie está agitada es muy difícil distinguir nada a través de ella. En segundo lugar, como ya hemos dicho antes, la refringencia del agua se diferencia muy poco de las partes transparentes de nuestro ojo, por lo que en la retina se obtiene una imagen sin nitidez y todo lo que nos rodee parecerá borroso. Por otra parte, si la observación se lleva a cabo desde una campana de buzo, con escafandra o desde la portilla de un submarino, tampoco se pueden conseguir los resultados apetecidos. En estos casos, como ya explicamos con anterioridad, aunque el observador se encuentra debajo del agua, las condiciones en que se halla no son las necesarias para la "visión submarina", porque la luz antes de llegar al ojo pasa por el vidrio y entra otra vez en el medio aéreo y, por consiguiente, experimenta la refracción contraria. Al ocurrir esto el rayo recobra su dirección anterior o recibe una nueva, pero en ambos casos tomará una dirección diferente de la que tendría en el agua. Por esto, la observación desde las ventanas de un local sumergido no puede dar una idea exacta de las condiciones de la "visión submarina". Sin embargo, para conocer que aspecto presenta el mundo desde debajo del agua no es necesario sumergirse. Las condiciones de la visión submarina se pueden estudiar por medio de una cámara fotográfica especial, llena de agua. En este caso, en lugar de objetivo se emplea una lámina metálica con un pequeño taladro. No es difícil comprender que, si todo el espacio comprendido entre este taladro y la placa sensible está lleno de agua, el mundo exterior debe representarse en la placa lo mismo que lo vería un observador sumergido. El físico norte-

americano Wood consiguió hacer por este procedimiento unas fotografías muy curiosas, una de las cuales es la que representa la fig. 116. En cuanto al por qué de la deformación aparente (para el observador sumergido) de los objetos que se hallan sobre el agua (por ejemplo, las líneas rectas del puente de ferrocarril de la fotografía hecha por Wood están arqueadas), ya hablamos de ella al explicar por qué el fondo plano del estanque parecía cóncavo.

Existe otro procedimiento para conocer directamente cómo verían el mundo los observadores sumergidos. Consiste en colocar un espejo en el fondo de un estanque tranquilo y darle la inclinación necesaria para observar en él las imágenes de los objetos que están fuera del agua.

Los resultados de estas observaciones confirman con todo detalle los razonamientos teóricos que hemos expuesto antes.

Tenemos, pues, que la capa de agua transparente situada entre el ojo y los objetos que se encuentran fuera de ella desfigura el cuadro del mundo exterior y le da rasgos fantásticos. Un ser que después de vivir en tierra firme se encontrase de repente dentro del agua no reconocería el mundo en que nació, puesto que al mirarlo desde el fondo del elemento acuático transparente lo vería completamente cambiado.

LOS COLORES EN EL FONDO DE LAS AGUAS

El biólogo norteamericano Beebe describe de una forma muy pintoresca la variación de las tonalidades de la luz debajo del agua:

"Nos sumergimos en el agua en la batisfera y el paso repentino del mundo amarillo-dorado al verde fue algo inesperado. Una vez que la espuma y las burbujas desaparecieron de las ventanas, nos inundó la luz verde; nuestros rostros, los balones, hasta las paredes ennegrecidas parecían teñidas por ella. Sin embargo, desde la cubierta parecía que nos íbamos a hundir en el ultramarino oscuro.

Lo primero que sienten los ojos en cuanto comienza la inmersión es la falta de los rayos templados⁸ del espectro (es decir, los rojos y anaranjados).

Parece que el rojo y el anaranjado son colores que no existieron nunca. Los tonos amarillos tampoco tardaron en ser absorbidos por los verdes. Aunque los alegres rayos templados forman solamente una pequeña parte del espectro visible, cuando a la profundidad de 30 metros y pico desaparecen, no queda más que el frío, las tinieblas y la muerte.

A medida que descendíamos fueron desapareciendo poco a poco las tonalidades verdes; a 60 metros de profundidad ya era imposible decir si el agua era verde-azulada o azul-verdosa.

A 180 metros todo parecía estar teñido de una luz azul densa brillante. Esta luz alumbraba tan poco que con ella no se podía leer ni escribir.

Cuando estábamos a 300 metros de profundidad intenté determinar si el color del agua era negro-azulado o gris-azulado oscuro. Es extraño que cuando desaparece el color azul no le sigue el violeta, es decir, el último del espectro visible. Por lo visto es absorbido antes de esto. Los últimos indicios del azul pasan a un color gris indefinido y éste, a su vez, al negro. A partir de este nivel queda vencido el Sol y eliminados los colores para siempre, hasta que llegue aquí el hombre y penetre con su rayo eléctrico lo que durante millares de millones de años fue completamente negro".

Este mismo investigador escribe lo siguiente sobre la oscuridad que existe en las grandes profundidades:

⁸ La palabra "templado" se emplea aquí en el sentido que la dan los pintores cuando hablan de la tonalidad de los colores. Se llaman "templados" el rojo y el anaranjado, para diferenciarlos de los "fríos", que son el azul y el celeste.

"A 750 metros de profundidad las tinieblas parecen más negras que lo que se puede imaginar, pero ahora (.a cerca de 1 000 metros) parecen más negras que lo negro. Todas las noches que nos queden por vivir en el mundo de arriba parecerán crepúsculos hasta cierto grado. Nunca más podré emplear la palabra "negro" completamente convencido".

EL PUNTO CIEGO DE NUESTRO OJO

Si le dicen que dentro de su campo visual hay un espacio que usted no ve en absoluto, a pesar de que lo tiene delante, lo más probable es que no lo crea. ¿Cómo es posible que durante toda la vida no nos hallamos dado cuenta de un defecto tan grande de nuestra vista? Sin embargo, no hay más que hacer un simple experimento para convencerse de que esto es así.

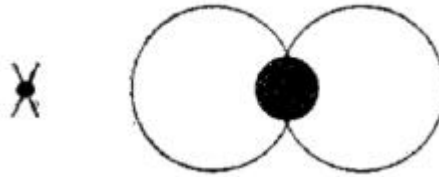


Figura 124. Dibujo para descubrir la mancha ciega.

Sostenga usted la fig. 124 a unos 20 centímetros de su ojo derecho (teniendo cerrado el izquierdo) y fíjese en la crucecita que hay a la izquierda. Vaya acercando despacito el dibujo al ojo y verá como forzosamente llega un momento en que la gran mancha negra que se encuentra en la intersección de las dos circunferencias desaparece sin dejar rastro. No la verá usted a pesar de que sigue estando dentro de la zona visible y de que las dos circunferencias situadas a la derecha y a la izquierda de ella se seguirán viendo perfectamente.

Este experimento lo realizó por vez primera en el año 1668 (aunque de una forma un poco diferente) el eminente físico Mariotte. Los cortesanos de Luis XIV se divertían mucho cuando Mariotte les hacía la demostración de la manera siguiente: sentaba a dos de aquellos aristócratas, uno frente a otro, a 2 m de distancia, y les decía que mirasen con un ojo cierto punto lateral, entonces cada uno veía sin cabeza al que tenía enfrente.

Aunque parezca extraño, hasta el siglo XVII nadie se había enterado de que en la retina existe un "punto ciego". Este es el punto de la retina por el cual el nervio óptico entra en el globo del ojo sin dividirse aún en las pequeñas ramificaciones provistas de los elementos sensibles a la luz.

Si no nos damos cuenta de este "agujero negro" que hay en nuestro campo visual es porque estamos acostumbrados. Nuestra imaginación llena este hueco con los detalles del fondo que lo rodean. Por ejemplo, en la fig. 124, cuando no vemos la mancha prolongamos mentalmente las líneas de las circunferencias y quedamos convencidos de que vemos perfectamente los sitios en que se cortan.

Si usa usted gafas puede hacer el experimento siguiente: pegue un pedacito de papel en uno de los cristales (no en el centro mismo, sino a un lado). Los primeros días el papelito le molestará bastante, pero al cabo de una o dos semanas se acostumbrará usted de tal manera que ni se dará cuenta de él. Esto es algo que saben muy bien todos los que por cualquier causa han tenido que llevar durante algún tiempo las gafas con un cristal roto. La fractura del vidrio sólo se nota los primeros días.

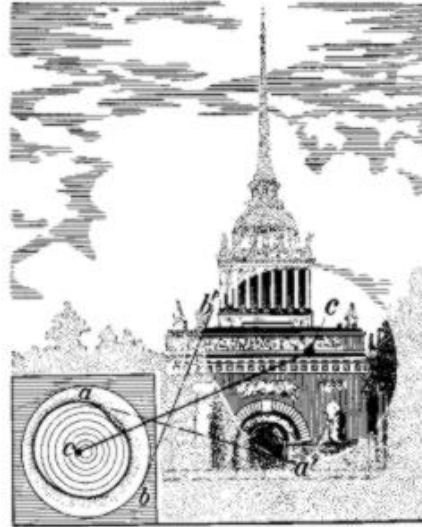


Figura 125. Cuando se mira con un ojo un edificio no vemos una parte pequeña C del campo visual, que corresponde a la mancha ciega c.

De la misma forma, la costumbre hace que no nos demos cuenta de la existencia del punto ciego del ojo. Hay que tener en cuenta además que el lugar del campo visual que cubre el punto ciego de un ojo no coincide con el que cubre el del otro, por lo tanto, cuando miramos con los dos ojos no existen lagunas en el campo visual común.

Y no piense usted que el punto ciego de nuestro campo visual es insignificante. Cuando miramos (con un ojo) una casa situada a 10 m de distancia, por ejemplo, el punto ciego nos impide ver una parte bastante considerable de la fachada. Esta parte tiene más de un metro de diámetro, es decir, se trata de un sitio en el que cabe una ventana. Y si miramos al cielo, el espacio que no vemos tiene un área igual a la de ... ¡120 discos de la Luna llena!

¿QUE TAMAÑO NOS PARECE QUE TIENE LA LUNA?

Y a propósito de las dimensiones aparentes de la Luna. Si pregunta usted a sus conocidos qué tamaño tiene la Luna, recibirá respuestas muy diversas. La mayoría le dirá que la Luna es tan grande como un plato, pero habrá quien piense que tiene el tamaño de un platito para confitura y otros la compararán con una guinda o con una manzana. A un escolar le parecía que la Luna era "como una mesa redonda para doce personas". Pero un literato puede asegurar que en el cielo brillaba una "luna de un arshín⁹ de diámetro".

¿A qué se debe esta diferencia en las apreciaciones de la magnitud de un mismo objeto?

Se debe a la diferencia en la apreciación de la distancia a que se encuentra, apreciación que tiene carácter inconsciente. Al que dijo que la Luna tenía el tamaño de una manzana le pareció que la distancia hasta ella era mucho menor que la que consideraron los que dijeron que era tan grande como un plato o como una mesa redonda.

Pero la mayoría de las personas se representan la Luna de] tamaño de un plato. De esto se puede hacer una deducción interesante. Si calculamos a qué distancia sitúa cada cual la Luna para que tenga estas dimensiones visuales (el procedimiento de cálculo se irá comprendiendo sobre la

⁹ Antigua medida de longitud rusa igual aproximadamente a 0,71 m. (N. del T.)

marcha) resulta que esta distancia no es mayor de 30 m¹⁰. He aquí a qué distancia tan corta colocamos inconscientemente nuestro astro nocturno.

En el error del cálculo de la distancia se basan muchas ilusiones ópticas. Yo recuerdo perfectamente un error de este tipo que experimenté en mi primera infancia, "cuando para mí eran nuevas todas las impresiones de la existencia". Yo, que había nacido en la ciudad, en un paseo que dimos por las afueras un día de primavera vi por vez primera un rebaño de vacas que estaban pastando en un prado. Como aprecié mal la distancia a que estaban, las vacas me parecieron enanas.



Figura 126. ¿Qué es el ángulo visual?

Nunca en mi vida he vuelto a ver vaquitas tan chicas y, claro está, ni las veré más.¹¹

Los astrónomos determinan el tamaño visual de los astros por medio del ángulo bajo el cual los vemos. El ángulo que forman las dos rectas trazadas hasta el ojo desde los extremos del cuerpo que se mira (fig. 126) se llama "magnitud angular" o "ángulo visual". Los ángulos se miden, como es sabido, en grados, minutos y segundos. Ningún astrónomo responderá a la pregunta sobre el tamaño de la Luna diciendo que su disco es igual a una manzana o a un plato; responderá que es igual a medio grado. Esto quiere decir que las líneas rectas trazadas desde los extremos del disco lunar hasta nuestro ojo forman un ángulo de medio grado. Esta forma de determinar las dimensiones visibles es la única justa y que no puede ocasionar equivocaciones.

La Geometría enseña¹² que todo objeto que se encuentre a una distancia del ojo igual a 57 veces su tamaño debe aparecer ante el observador bajo un ángulo de 1 grado. Por ejemplo, una manzana de 5 cm de diámetro tendrá la magnitud angular de un grado si la miramos desde una distancia igual a 5*57 cm. Si la distancia es el doble, veremos la manzana bajo un ángulo de 1/2 grado, es decir, tendrá el mismo tamaño que la Luna que vemos. Por esto, se puede decir que la Luna nos parece que tiene el tamaño de una manzana, pero con la condición de que esta última se encuentre a 570 cm del ojo. Si queremos comparar el tamaño visual de la Luna con el de un plato, tendremos que poner el plato a 30 metros de distancia. La mayoría de las personas no quieren creer que la Luna se ve tan pequeña, pero si colocamos una moneda de 10 kopeks¹³ a una distancia del ojo igual a 114 veces su diámetro veremos que tapa a la Luna exactamente, a pesar de que estará a casi 2 metros del ojo.

¹⁰ Este asunto y otros relacionados con él se tratan detalladamente en el libro de M. Minmart 'La luz y el color en la naturaleza'.

¹¹ Entre las personas mayores también se producen ilusiones semejantes. Prueba de esto es el siguiente fragmento de la narración de Grigoróvich 'Labrador'.

"Los alrededores se veían como en la palma de la mano; los árboles parecía que estaban al lado mismo del puente; la casa, la loma y el bosquecillo de abedules se veían ahora junto a la aldea. Todo esto -la casa, el huerto y los árboles- tenía ahora el aspecto de esos juguetes en que el musgo representa los árboles y unos trocitos de espejo, el río".

¹² Los lectores que se interesen por los cálculos geométricos concernientes al ángulo visual pueden encontrar explicaciones y ejemplos en mi libro 'Geometría Recreativa'.

¹³ El diámetro de esta moneda es igual aproximadamente a 1,7 cm. (N. del T.)

Si nos dicen que dibujemos en un papel un círculo que represente al de la Luna observado a simple vista, nos parecerá que el problema no está bien definido, puesto que este círculo puede ser mayor o menor según a qué distancia se encuentre del ojo. Pero las condiciones quedarán determinadas si fijamos la distancia a que generalmente mantenemos los libros, los dibujos, etc. cuando los leemos, es decir, a la distancia de visión perfecta. Esta distancia es igual para el ojo normal a 25 cm.

Calculemos, pues, que tamaño debe tener un círculo representado, por ejemplo, en este libro para que sus dimensiones visuales sean iguales a las del disco lunar. Este cálculo es fácil, no hay más que dividir la distancia de 25 cm por 114. La magnitud que se obtiene es bien pequeña; ¡poco más de 2 mm! Aproximadamente la anchura de la letra "o" de los tipos con que está impreso este libro. Es increíble que la Luna y el Sol - que tiene la misma magnitud angular que ella - se nos presenten bajo un ángulo visual tan pequeño.

El lector se habrá dado cuenta de que después de mirar al Sol en nuestro campo visual se siguen viendo durante bastante tiempo circulitos de colores. Estos círculos, llamados "huellas ópticas", tienen la misma magnitud angular que el Sol. Pero sus dimensiones aparentes varían. Cuando miramos al cielo tienen el tamaño del disco solar, pero si dirigimos nuestra vista a un libro abierto ante nuestros ojos, la "huella" del Sol ocupará en la página el sitio de un circulito de cerca de 2 mm de diámetro, cosa que confirma la exactitud de nuestro cálculo.

DIMENSIONES VISIBLES DE LOS ASTROS

Si queremos representar en el papel la constelación de la Osa Mayor conservando las magnitudes angulares obtendríamos lo que muestra la fig. 127.

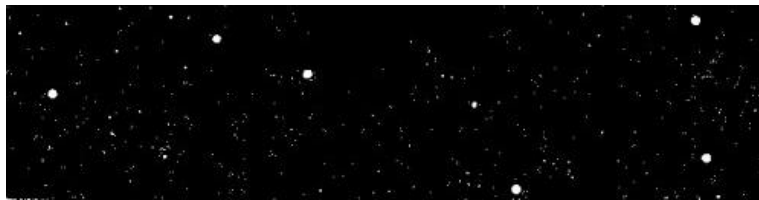


Figura 127. La constelación de la Osa Mayor conservando dimensiones angulares. El dibujo debe mirarse desde 25 cm de distancia.

Si miramos esta figura desde la distancia de la visión perfecta veremos esta constelación tal como se dibuja en el firmamento. Esto es lo que podríamos llamar el mapa de la Osa Mayor conservando las dimensiones angulares. Si el lector conoce bien la impresión visual que produce esta constelación - no solo su forma, sino precisamente la impresión visual directa -, cuando observe esta figura le parecerá que vuelve a sentir esta impresión. Conociendo las distancias angulares que hay entre las estrellas principales de todas las constelaciones (que se dan en los calendarios astronómicos y en los manuales amplios), se puede dibujar "al natural" todo un atlas astronómico. Para esto hay que tener papel milimetrado y considerar que cada grado corresponde en el papel a 4,5 mm (la superficie de los circulitos que representan las estrellas debe ser proporcional a su brillo).

Ocupémonos ahora de los planetas. Sus dimensiones visuales, lo mismo que las de las estrellas, son tan pequeñas que a simple vista parecen puntos radiantes. Esto es comprensible puesto que ni un solo planeta (a excepción de Venus en el período de brillo máximo) se presenta a simple vista bajo un ángulo visual mayor de 1 minuto, es decir, de la magnitud límite de los objetos que

podemos distinguir, en general, como cuerpos que tienen dimensiones (cuando este ángulo es menor los cuerpos nos parecen puntos sin configuración).

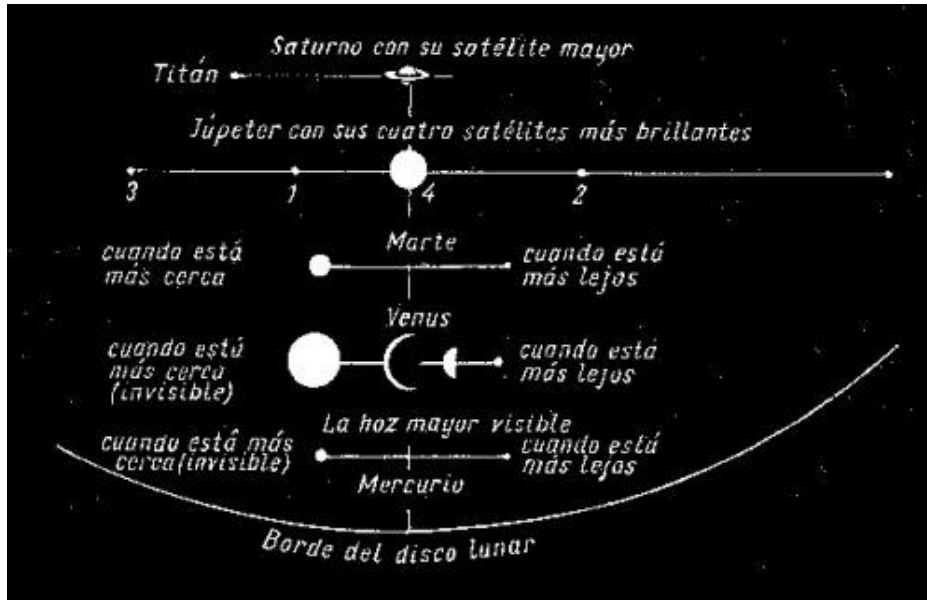


Figura 128. Si este dibujo se mira desde 25 cm de distancia los discos de los planetas que figuran en el se ven con las mismas dimensiones que cuando se observan estos planetas con un telescopio de 100 aumentos.

A continuación se dan las dimensiones de algunos planetas en segundos angulares. Frente a cada planeta figuran dos cifras, la primera corresponde a cuando esta mas cerca de la Tierra y la segunda a cuando esta mas lejos.

	Segundos
Mercurio	13-5
Venus	64-10
Marte	25-3 1/2
Júpiter	50-30 1/2
Saturno .	20 1/2-15
Anillos de Saturno.	48-35

En el papel no es posible dibujar estas magnitudes "al natural", porque incluso un minuto entero, es decir, 60 segundos, a la distancia de visión perfecta, responde nada mas que a 0,04 mm, magnitud que es imperceptible a simple vista. Por esto, los discos de los planetas los representaremos como se ven con el telescopio de 100 aumentos. En la fig. 128 puede verse la representación hecha con este aumento de los planetas que figuran en la tabla. El arco inferior representa el borde del disco de la Luna (o del Sol) visto con un telescopio de 100 aumentos. Sobre el esta Mercurio cuando se encuentra menos alejado de la Tierra. Mas arriba se ve Venus en varias fases; cuando este planeta esta mas cerca de nosotros no se ve, ya que la parte que mira

a la Tierra es la que no esta iluminada¹⁴; después comienza a verse como una hoz estrecha, este es el mayor de todos los "discos" planetarios; en las demás fases va disminuyendo Venus, hasta que su disco completo llega a tener un diámetro 6 veces menor que el de la hoz estrecha. Sobre Venus esta representado Marte. A la izquierda se ve cuando esta mas cerca de la Tierra; así es como lo vemos con el telescopio de 100 aumentos. ¿Que se puede distinguir en un disco tan pequeño? Imagínese el lector este circulito aumentado 10 veces y tendrá una idea de como ve Marte un astrónomo que estudie este planeta con un potente telescopio de 1 000 aumentos.

¿Se pueden acaso distinguir con seguridad, en un espacio tan pequeño, detalles como los celebres "canales" o notar la leve variación del color debida, al parecer, a la vegetación que hay en el fondo de los "océanos" de este mundo? Por eso no es extrañar que los testimonios de unos astrónomos se diferencien mucho de las declaraciones de otros y que unos consideren ilusiones ópticas lo que otros aseguran ver perfectamente¹⁵.

El gigante Júpiter ocupa con sus satélites un sitio muy destacado en nuestra tabla. Su disco es mucho mayor que los de los demás planetas (exceptuando la hoz de Venus) y sus cuatro satélites principales se esparcen por una línea que casi es igual a la mitad del disco lunar. Júpiter se representa aquí cuando esta mas cerca de la Tierra. Finalmente nos encontramos con Saturno, que con sus anillos y con la mayor de sus lunas (Titán) representa un objeto bastante apreciable en los momentos en que se halla mas próximo a nosotros.

Después de lo que acabamos de decir, el lector comprenderá claramente que cada objeto que vemos nos parece tanto mas pequeño cuanto mas cerca nos imaginemos que esta. Y al contrario, si por cualquier causa exageramos la distancia que hay hasta el objeto, nos parece que este tiene unas dimensiones proporcionalmente mayores.

A continuación incluimos un relato de Edgar Poe en el que se describe una ilusión óptica de este tipo. Aunque parezca inverosímil, esta narración no es fantástica. Yo mismo fui en una ocasión víctima de una ilusión casi igual, y creo que muchos de nuestros lectores recordaran casos semejantes de su vida.

"LA ESFINGE". NARRACION DE EDGAR POE

"Durante la época de la terrible epidemia de cólera que hubo en Nueva York fui invitado por uno de mis parientes a pasar dos semanas en su apartada casa de campo. Hubiéramos pasado el tiempo muy bien a no ser por las terribles noticias que llegaban de la ciudad diariamente. No había DIA que no nos trajese la noticia del fallecimiento de alguna de nuestras amistades. Llegó un momento en que ya temíamos recibir el periódico. Hasta el viento del sur nos parecía que estaba saturado de muerte. Este helado pensamiento acabo apoderándose de mi alma. Mi huésped era una persona de temperamento mas tranquilo y procuraba animarme.

Al atardecer de un DIA caluroso estaba yo sentado, con un libro en las manos, junto a una ventana abierta desde la que se veía un cerro lejano mas allá del río.

¹⁴ En esta posición solamente se puede ver en momentos muy poco frecuentes, cuando se proyecta sobre el disco solar en forma de circulo negro (lo que se llama "el paso de Venus")

¹⁵ Los datos modernos sobre Marte y otros planetas no se limitan a las observaciones visuales. Las mediciones llevadas a cabo con aparatos muy sensibles y por medio de las sondas interplanetarias permiten sacar conclusiones bien definidas y completamente ciertas de las condiciones físicas que existen en los planetas y en sus satélites. (Nota de la R.)



Figura 129. "... El monstruo descendía de la cumbre del cerro".

Mis pensamientos hacia tiempo que se habían apartado del libro para entregarse a la melancolía y a la desesperación que reinaba en la ciudad vecina.

Levante la vista, mire distraídamente hacia la desnuda falda del cerro y vi algo singular: Un monstruo repugnante descendió ligero desde la cumbre y desapareció en el bosque que había al pie. En el primer instante, al ver al monstruo, dude del estado de mi juicio o por lo menos de mis ojos, hasta que pasados unos minutos me convencí de que no deliraba. Pero si describo este monstruo (que vi perfectamente bajar del cerro) mis lectores no me creerán fácilmente.

Comparando el diámetro de este ser con el diámetro de los árboles mas corpulentos, me convencí que era mayor que cualquier buque de línea. Digo buque de línea, porque la forma del monstruo recordaba a la de un barco. El casco de un buque de setenta y cuatro cañones puede dar idea bastante clara de su configuración. Las fauces del monstruo se encontraban en el extremo de una trompa de sesenta o setenta pies de largo cuyo grosor era igual, aproximadamente, al del cuerpo de un elefante corriente. La base de esta trompa estaba cubierta por una masa tupida de cabellos erizados de la cual salían dos colmillos brillantes, torcidos hacia abajo y lateralmente, parecidos a los del jabalí, pero incomparablemente mayores. A ambos lados de la trompa tenía dos cuernos rectos gigantescos, de unos treinta o cuarenta pies de largo, que parecían de cristal, porque, a los rayos del sol, deslumbraban. Su cuerpo era cuneiforme con el vértice hacia abajo. Tenía dos pares de alas superpuestas, que medirían cada una cerca de 300 pies. Estas alas estaban profusamente sembradas de laminas metálicas, cada una con nueve o diez pies de diámetro. Pero lo que mas llamaba la atención en este horrible ser era la imagen de una calavera que le cogía casi todo el pecho y que se destacaba claramente sobre su oscura superficie, porque su color era muy blanco, como si la hubiesen pintado.

Mientras yo contemplaba aterrorizado a este horrible animal, y sobre todo a la siniestra figura que tenía en el pecho, el abrió las fauces y lanzó un gemido estruendoso ... Mis nervios no resistieron. Cuando el monstruo desapareció en el bosque, al pie del cerro, yo me desplome sin conocimiento en el suelo ...

Cuando recobré el sentido, mi primer deseo fue contar a mi amigo todo lo que había visto. Este, después de oírme hasta el fin, se echo a reír a carcajadas, pero después se puso muy serio, como si pensara que me había vuelto loco.

En este momento volví a ver el monstruo y con un grito se lo mostré a él. Miró en aquella dirección, pero me aseguró que no veía nada, a pesar de que yo le explique la situación del animal mientras descendía por el cerro.

Me tape el rostro con las manos. Cuando las volví a separar había desaparecido el monstruo.

Mi huésped empezó a preguntarme sobre el aspecto que tenía la bestia. Cuando le hice la descripción detallada tomó aliento, como si se hubiera librado de una carga pesada, se acercó a la biblioteca y cogió un libro de Historia Natural. Después me pidió que le dejase el sitio, porque junto a la ventana se distinguían mejor los caracteres pequeños con que estaba impreso el libro. Se sentó en la silla y, mientras abría el libro, me dijo:

- Si no me hubiera usted descrito tan detalladamente al monstruo es probable que nunca le hubiese podido explicar de qué se trataba. Pero ahora, permítame que empiece leyéndole la definición que da este libro del género Sphinx de la familia Crepusculariae, orden Lepidóptera, clase Insecta:

"Dos pares de alas membranosas cubiertas de pequeñas escamas coloreadas, con brillo metálico; los órganos bucales están formados por un alargamiento de los maxilares inferiores; a sus lados hay unos palpos o tentáculos rudimentarios vellosos; las alas inferiores están unidas a las superiores por fuertes cerdas: las antenas tienen forma de retoño; el vientre es afilado; la esfinge de la calavera causa a veces miedo supersticioso entre el vulgo por el sonido quejumbroso que emite y por la figura de la calavera que tiene en el pecho¹⁶.

Al llegar aquí cerró el libro y se inclinó hacia la ventana tomando la misma posición que yo tenía cuando vi al "monstruo".

-¡Ah, aquí lo tiene! - exclamó -, va subiendo por la falda del cerro y hay que reconocer que tiene un aspecto muy interesante. Pero ni es tan grande ni está tan lejos como usted se imaginaba, ¡sube por un hilo que alguna araña debió tender en la ventana!"

POR QUE AUMENTA EL MICROSCOPIO?

"Porque varía la marcha que llevan los rayos de una forma determinada que se explica en los libros de Física" - esto es lo que se suele escuchar como respuesta a la pregunta que encabeza este artículo. Pero en esta respuesta se alude solamente a una causa lejana; la esencia de la cuestión no se menciona. ¿En qué consiste la causa principal de que los microscopios y los telescopios aumenten?

Esto no lo supe yo a través de los libros, sino que lo comprendí casualmente cuando todavía iba a la escuela. Fue entonces cuando en una ocasión noté un fenómeno extraordinariamente interesante y que me preocupó mucho. Estaba yo sentado junto a una ventana cerrada y miraba a la pared de ladrillos de la casa que había al otro lado del estrecho callejón. De repente retrocedí aterrado: desde la pared de ladrillos - ¡lo vi perfectamente! - me miraba un ojo humano gigantesco, de varios metros de anchura. En aquel tiempo yo no había leído aún la narración de Edgar Poe antes citada y no me imaginé que aquel ojo pudiera ser el reflejo del mío, que yo mismo proyectaba sobre la pared lejana y que por eso me parecía aumentado de acuerdo con la distancia.

Cuando comprendí lo que había ocurrido, pensé que quizá se podría hacer microscopio basado en esta ilusión óptica. Y, precisamente, cuando fracasé en este intento quedó claro para mí en qué consiste la esencia de la acción amplificadora del microscopio. No es que parezca que el objeto que se observa tiene grandes dimensiones, sino que lo observamos bajo un gran ángulo visual y, por consiguiente - y esto es lo más importante -, su imagen ocupa más sitio en la retina de nuestro ojo.

¹⁶ Esta mariposa se clasifica ahora en el género Acherontia. Es una de las pocas mariposas capaces de emitir sonidos - una especie de silbido que recuerda el chillido de los ratones -, y la única que lo produce con los órganos bucales. Su voz es bastante fuerte, por lo que se puede oír a varios metros. En nuestro caso el sonido podía parecer mas fuerte aun, puesto que el observador consideraba mentalmente que el origen del mismo se encontraba a gran distancia (véase "Física Recreativa", libro 1, cap. X, "Curiosidades del oído").

Para comprender la gran importancia que tiene en este caso el ángulo visual debemos prestar atención a una peculiaridad de nuestro ojo, que consiste en que todo objeto o parte del mismo que se nos presenta bajo un ángulo menor de un minuto es confundido por la vista con un punto, en el cual no distinguimos ni forma ni partes. Cuando el objeto está tan alejado del ojo, o es tan pequeño, que todo él, o alguna de sus partes, se nos presenta bajo un ángulo visual menor de $1'$, no percibimos los detalles de su estructura.

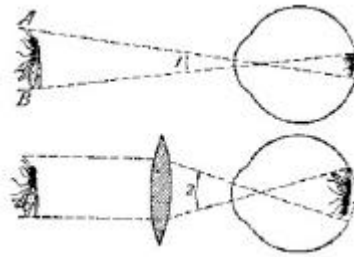


Figura 130. La lente aumenta la imagen que se forma en la retina del ojo.

Esto ocurre porque con este ángulo visual la imagen del objeto que se forma en el fondo del ojo (o la imagen de cualquiera de sus partes) no ocupa simultáneamente una multitud de extremos de las fibras nerviosas (bastoncitos y conos), sino que cabe por completo en uno de estos elementos sensibles y, por lo tanto, los detalles de la forma y de la estructura desaparecen y vemos un punto. El papel del microscopio y del telescopio consiste en que, variando la marcha de los rayos que parten del objeto que se examina, nos lo muestran bajo un ángulo visual mayor, lo que hace que la imagen que se forma en la retina se extienda, ocupe más extremos de fibras nerviosas y que podamos distinguir en el objeto detalles que antes se confundían en un punto. Cuando decimos que un microscopio o telescopio es "de 100 aumentos" esto significa que dicho aparato nos muestra los objetos bajo un ángulo visual 100 veces mayor que aquel con que lo vemos sin él. Si el instrumento óptico no aumenta el ángulo visual, no produce ninguna amplificación, aunque parezca que vemos el objeto más grande. El ojo que yo vi en la pared de ladrillos me pareció enorme, pero no aprecié en él ni un solo detalle más de los que puedo ver mirándome al espejo. La Luna, cuando está cerca del horizonte nos parece mucho más grande que cuando está alta en el cielo, pero, ¿podemos distinguir algo en este disco aumentado, aunque sólo sea una manchita, que no veamos cuando la Luna está en su posición más elevada?

Si volvemos al caso del aumento descrito por Edgar Poe en su narración "Esfinge" podemos convencernos de que en este caso tampoco fueron descubiertas nuevas particularidades en el objeto aumentado. El ángulo visual no varió. La mariposa se ve bajo el mismo ángulo tomándola con referencia al bosque lejano o al marco de la ventana. Y si no varía el ángulo visual, la amplificación del objeto, por mucho que asombre a nuestra imaginación, no nos ofrecerá ni un solo detalle nuevo. Edgar Poe, como verdadero artista, es fiel a la naturaleza hasta en este punto de su narración. ¿Se ha fijado usted cómo describe al "monstruo" en el cerro? En la enumeración que hace de los miembros del insecto no añade ni un rasgo nuevo, con respecto a los que presenta la mariposa de la "muerte" cuando se observa a simple vista. Compare usted las dos descripciones - que no sin intención se incluyen en el relato - y verá que sólo se diferencian por las expresiones literarias (láminas de 10 pies son las escamas; cuernos gigantes, las antenas; colmillos de jabalí, los palpos, etc.), pero en la primera no hay ni un solo detalle que no se pueda distinguir a simple vista.

Si la acción del microscopio se limitara a una ampliación como ésta sería un aparato inútil para la ciencia y se convertiría en un simple juguete curioso. Pero nosotros sabemos que esto no es así, que el microscopio abrió al hombre un nuevo mundo ensanchando enormemente los límites de nuestra vista natural.

Aunque vista aguda nos dio naturaleza,
Un límite cercano tiene su fuerza,
Puesto que a ver no alcanza muchas
criaturas
Que por ser diminutas quedan ocultas.

Esto escribía el primer naturalista ruso, M. Lomonósov, en su "Carta sobre la utilidad del vidrio". Pero en los "tiempos presentes" el microscopio nos ha descubierto la estructura de los seres invisibles más pequeños:

¡Cuántos miembros delicados tienen: articulaciones, corazón,
tendones
Y nervios que guardan en sí las fuerzas del animal!
¡No son menos que los que hay en la vorágine de la ballena!
Admiración causa el gusanillo, ¡qué tantas son las partes que lo
componen!
¡Cuántos secretos nos ha revelado el microscopio:
Partículas invisibles, finos tendones del cuerpo ...!

Ahora podemos comprender claramente por qué nos revela el microscopio "secretos" que no pudo ver en su monstruo-mariposa el observador de la narración de Edgar Poe. Este por qué como ya hemos dicho - consiste en que el microscopio no nos muestra simplemente los objetos aumentados, sino que nos permite verlos bajo un ángulo visual grande; a esto se debe que en la pared trasera del ojo se forme una imagen aumentada del objeto que actuando sobre un número mucho mayor de extremos de filamentos nerviosos proporciona a nuestra conciencia un gran número de impresiones visuales independientes. Resumiendo, podemos decir que el microscopio no aumenta los objetos, sino la imagen que producen sobre el fondo del ojo.
Fig.

SUGESTIONES VISUALES

Hablamos con frecuencia de "ilusiones ópticas", "ilusiones acústicas", pero estas expresiones no son justas. Los sentidos no se equivocan. Sobre esto el filósofo Kant dijo muy acertadamente lo que sigue: "Los sentidos no nos engañan, no porque siempre juzgan bien, sino porque no juzgan en absoluto".



Figura 131. ¿Qué figura es más ancha. la de la izquierda o de la derecha?

Entonces, ¿qué es lo que nos engaña cuando se producen las llamadas "ilusiones" de los sentidos? Nos engaña, como es natural, aquello que en cada caso puede juzgar, es decir, nuestro propio cerebro. Efectivamente, una gran parte de las ilusiones ópticas dependen exclusivamente de que nosotros, al mismo tiempo que vemos, razonamos inconscientemente, con lo que incurrimos en un error involuntario. Pero éstos son errores o engaños del juicio y no de los sentidos. Hace ya dos mil años que el poeta Lucrecio escribía:

Nuestros ojos no pueden comprender la naturaleza de los objetos,
Por lo tanto vio les achaquemos los errores de juicio.

Veamos, por ejemplo, un caso corriente de ilusión óptica: la figura de la izquierda (fig. 131) parece más estrecha que la de la derecha, aunque los cuadrados que limitan a las dos son iguales. La causa de este error consiste en que la altura de la figura de la izquierda la apreciamos sumando inconscientemente los espacios que hay entre las rayas y por eso nos parece mayor que su anchura. En la figura de la derecha este mismo razonamiento inconsciente hace que nos parezca la anchura mayor que la altura. Por esta misma causa parece que la altura del dibujo representado en la fig. 132, es mayor que su anchura.

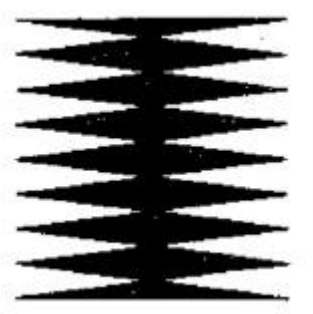


Figura 132. ¿Qué es mayor en esta figura, la altura o la anchura?

UNA ILUSION UTIL PARA LOS SASTRES

Si la ilusión óptica que acabamos de describir se desea aplicar a figuras más grandes que las que puede abarcar de una vez el ojo, los resultados son otros. Todos sabemos que si una persona pequeña y gruesa se pone un vestido con rayas horizontales no parece más delgada, sino al contrario, más gruesa. Y al revés, si se pone un vestido con rayas y pliegues longitudinales (verticales) parece hasta cierto punto más delgada.

¿Cómo se explica esta contradicción? Por el hecho de que al mirar el vestido nuestra vista no puede abarcarlo de una vez sin mover los ojos; involuntariamente tenemos que seguir con la vista la dirección de las rayas, con lo cual los músculos oculares realizan un esfuerzo. Y como estamos acostumbrados a relacionar el esfuerzo que realizan los músculos del ojo con la idea de los objetos grandes, que no caben en el campo visual, pensamos inconscientemente que en la dirección de las rayas las dimensiones del objeto (de la persona con el vestido) son mayores que en realidad. Cuando miramos un dibujo rayado pequeño ocurre lo contrario, porque nuestros ojos no se mueven y los músculos no se cansan.

¿CUAL ES MAYOR?

En la fig. 133 se ven varias elipses, ¿cuál es mayor, la de abajo o la interior de arriba? Cuesta trabajo desechar la idea de que la de abajo es mayor que la de arriba. No obstante las dos son

iguales, pero el hecho de que exista la elipse exterior que rodea a la de arriba crea la ilusión de que esta última es menor que la de abajo. La ilusión es mayor por el hecho de que el conjunto de la figura no nos parece plano, sino espacial, como si fuera un balde; por eso convertimos involuntariamente las elipses en circunferencias comprimidas por la perspectiva y las rectas laterales nos parecen las paredes del balde.

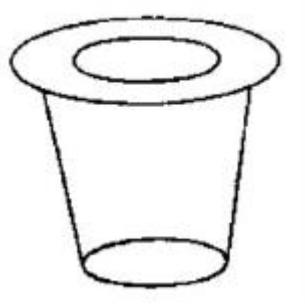


Figura 133. ¿Qué elipse es mayor, la de abajo o la interior de arriba?

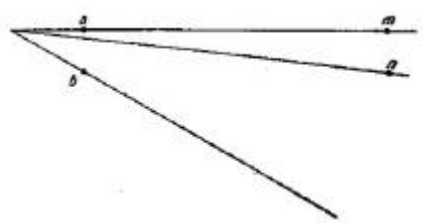


Figura 134. ¿Qué distancia es mayor, ab o mn ?

En la fig. 134 la distancia entre los puntos a y b parece mayor que la que hay entre m y n . La presencia de la tercera recta, que parte del mismo vértice, hace que la ilusión sea mayor.

LA FUERZA DE LA IMAGINACION

La mayoría de las ilusiones ópticas, como ya hemos dicho, se deben a que no nos limitamos a mirar, sino que al mismo tiempo razonamos inconscientemente. "Miramos no con los ojos, sino con el cerebro" - dicen los fisiólogos. Y usted mismo estará de acuerdo con esto cuando conozca algunas de las ilusiones en las que la imaginación del que mira toma parte consciente en el proceso de la visión.

Mire usted la fig. 135.

Si enseña usted este dibujo a otras personas y les pregunta qué es lo que representa, recibirá tres tipos de respuestas diferentes: unos dirán que es una escalera; otros que un hueco o rebajo en la pared y los terceros responderán que es una tira de papel plegada como un "acordeón" y estirada diagonalmente sobre un cuadrado blanco.

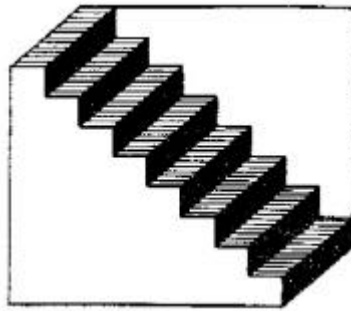


Figura 135. ¿Qué se ve aquí, una escalera, un rebajo en la pared o una tira de papel plegada como un acordeón?

Y aunque parezca raro, ¡las tres respuestas son justas! Usted mismo puede convencerse de esto si mira al dibujo dirigiendo la vista de distintas maneras. Primero dirija usted su vista a la parte izquierda de la figura y verá usted una escalera. Si después corre la vista de derecha a izquierda, verá el rebajo en la pared. Finalmente, si la mira usted siguiendo la dirección de la diagonal, desde el ángulo inferior de la derecha al superior de la izquierda, verá una tira de papel plegada en forma de "acordeón".

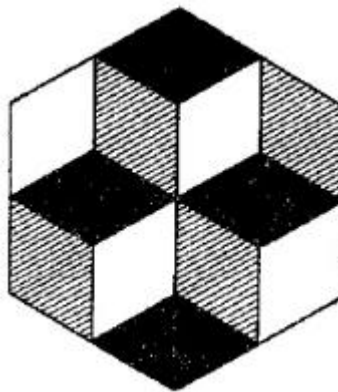


Figura 136. ¿Cómo están dispuestos estos cubos ¿Dónde hay dos cubos, arriba o abajo?

Por otra parte, cuando este dibujo se mira durante mucho tiempo se cansa la atención y empiezan a verse sucesivamente cada una de las tres cosas antedichas, sin que en ello intervenga la voluntad.



Figura 137. ¿Qué línea es más larga, AB o AC.

La figura 136 tiene estas mismas propiedades.

La ilusión que produce la fig. 137 es muy interesante: nos dejamos llevar por la impresión de que la distancia AB es más corta que AC. Sin embargo son iguales.

OTRAS ILUSIONES OPTICAS

No todas las ilusiones ópticas son fáciles de explicar. Algunas veces ni siquiera se puede uno imaginar qué género de deducciones inconscientes son las que se realizan en nuestro cerebro y dan lugar a distintas ilusiones ópticas. Por ejemplo, en la fig. 138 se ven perfectamente dos arcos enfrentados entre sí por sus lados convexos. Ni siquiera dudamos de que esto es así. Pero no hay más que aplicar una regla a estos arcos supuestos, o mirarlos a lo largo llevándose el dibujo a la altura de los ojos, para convencerse de que son líneas rectas. Explicar esta ilusión no es fácil. A continuación damos a conocer varios ejemplos más de este tipo de ilusiones. En la fig. 139, la recta parece estar dividida en partes desiguales; médalas usted y verá que son iguales. En las figs. 140 y 141 unas rectas paralelas parece que no lo son. En la fig. 142 un círculo da la sensación de que es un óvalo.

Es interesante el hecho de que las ilusiones ópticas representadas en las figs. 139, 140 y 141 dejan de engañar la vista cuando se miran a la luz de una chispa eléctrica. Seguramente estas ilusiones están relacionadas con el movimiento de los ojos, que a la luz del breve destello de la chispa no tiene tiempo de realizarse.

He aquí otra ilusión no menos interesante. Fíjese usted en la fig. 143 y diga: ¿Qué trazos son más largos, los de la parte izquierda o los de la derecha?

Los de la izquierda parecen más largos, aunque unos y otros son iguales¹⁷ Esta ilusión se conoce con el nombre de ilusión de la "pipa".

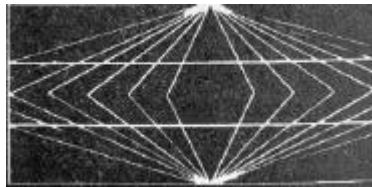


Figura 138. Las líneas de en medio que van de derecha a izquierda son rectas paralelas, a pesar de que parezcan dos arcos con sus partes convexas enfrentadas. La ilusión desaparece: 1) Si se coloca la figura a la altura de los ojos y se mira de forma que la vista resbale a lo largo de las líneas; 2) si se pone la punta de un lapicero en un punto cualquiera de la figura y se fija la vista en ese, punto.



Fig. 139. ¿Son iguales los seis segmentos en que está dividida esta recta?

¹⁷ Este dibujo puede servir de ilustración al principio geométrico que dice que el área de las dos partes de la "pipa" son iguales.

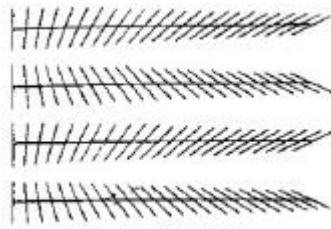


Fig. 140. Estas rectas paralelas parece que no lo son.

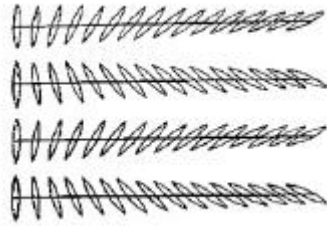


Fig. 141. Variante de la ilusión óptica de la fig. 140.

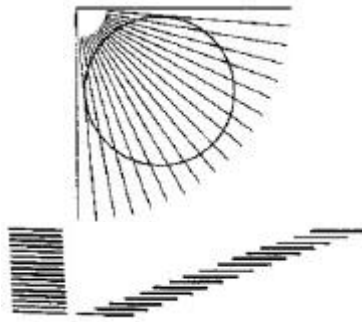


Fig. 142. ¿Es esto una circunferencia?



Fig. 143. La ilusión de la "pipa". Las rayas de la derecha parecen más cortas que las de la izquierda, aunque todas son iguales.

Se han dado muchas explicaciones a estas curiosas ilusiones, pero todas ellas son poco convincentes y por eso no las exponemos aquí. Lo que sí es indudable es que la causa de estas ilusiones es el razonamiento inconsciente, el "pícaro filosofar" involuntario de la mente, que nos impide ver lo que existe en realidad¹⁸.

¿QUÉ ES ESTO?

Cuando mire la fig. 144 lo más probable es que no acierte a comprender lo que representa. "Nada más que una rejilla negra" - dirá usted. Sin embargo, si pone usted el libro en posición vertical, se retira de él 3 ó 4 pasos y vuelve a mirar esta figura desde lejos, verá usted un ojo humano. Cuando se aproxime se encontrará otra vez delante de una rejilla sin expresión...

Pensará usted que se trata de algún "truco" hábil ideado por algún grabador. Sin embargo, no es más que un ejemplo burdo de la ilusión óptica que se experimenta cada vez que miramos las ilustraciones que se llaman "tramadas", "reticuladas" o de "autotipia" (fototipografía).

¹⁸ A los que se interesan por las ilusiones ópticas me permito recomendarles el pequeño álbum 'Ilusiones Ópticas' en que he reunido más de 60 ejemplos de distintas ilusiones de este tipo.

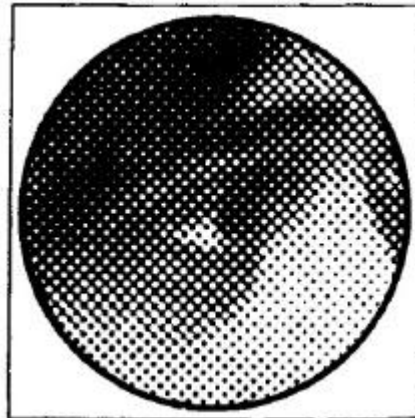


Figura 144. Cuando se mira esta figura desde lejos se distingue en ella fácilmente el ojo y la nariz de un perfil femenino que mira hacia la derecha.

Las ilustraciones de los libros y de las revistas nos parecen continuas, pero si se miran con una lupa vemos una retícula como la que representa la fig. 144. Esta figura, que seguramente le habrá interesado, es una reproducción ampliada unas 10 veces de un trozo de ilustración tramada ordinaria. La única diferencia consiste en que cuando la trama es fina se confunde formando un fondo continuo a corta distancia, es decir, a la que mantenemos generalmente el libro cuando leemos. Cuando la trama es gruesa esta confusión del punteado se produce cuando se mira desde una distancia mayor. El lector comprenderá sin dificultad lo que acabamos de decir si recuerda los razonamientos que hicimos con respecto al ángulo visual.

UNAS RUEDAS EXTRAORDINARIAS

¿Ha tenido usted ocasión de observar a través de las rendijas de una valla o, mejor aún, en la pantalla del cine los radios de las ruedas de un carro o de un automóvil cuando éste marcha rápidamente? Si es así, se habrá dado cuenta de que ocurre un fenómeno extraño: el automóvil se mueve a una velocidad vertiginosa, mientras que sus ruedas apenas giran, o no giran en absoluto. Es más, ¡algunas veces giran en sentido contrario!

Esta ilusión óptica es tan rara, que deja perplejos a todos los que la notan por vez primera. Se explica de la siguiente forma. Si seguimos el movimiento de rotación de una rueda a través de las rendijas, corriendo la vista a lo largo de una valla veremos los rayos de manera discontinua, es decir, a intervalos de tiempo iguales, puesto que las tablas de la valla los ocultarán a nuestra vista a cada instante. Lo mismo ocurre en la película cinematográfica, la cual reproduce la imagen de la rueda de manera discontinua, o sea, en momentos aislados (24 cuadros por segundo). En estas condiciones pueden ocurrir tres casos que ahora vamos a examinar sucesivamente.

En primer lugar, puede ocurrir que durante el intervalo entre dos cuadros la rueda tenga tiempo de dar un número entero de vueltas - que lo mismo da que sean 2 que 20 -. En este caso los radios de la rueda tomarán en el cuadro siguiente la misma posición que tenían en el anterior. En el siguiente intervalo la rueda vuelve a dar un número entero de vueltas (puesto que ni el tiempo que dura el intervalo ni la velocidad del automóvil varían) y la situación de los radios en el nuevo cuadro vuelve a ser la misma. Y como siempre vemos los radios en la misma posición, llegamos a la conclusión de que la rueda no gira en absoluto (columna del centro de la fig. 145).

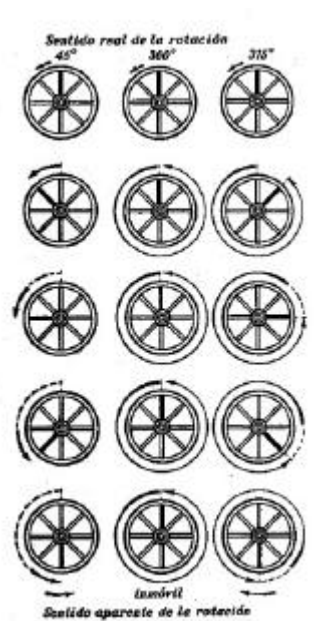


Figura 145. Explicación del movimiento enigmático de las ruedas que se ven en el cine.

En el segundo caso, durante el intervalo entre dos cuadros la rueda tiene tiempo de dar un número entero de vueltas y una pequeña parte de vuelta más. Cuando se observan sucesivamente estas imágenes nadie piensa en el número entero de vueltas, vemos simplemente que la rueda gira despacio (cada vez en una pequeña fracción de vuelta). El resultado es que parece que el automóvil marcha muy de prisa y las ruedas giran muy despacio.

El tercer caso consiste en que durante el intervalo entre dos cuadros la rueda gira un poco menos de una vuelta completa (por ejemplo, gira 315° como se ve en la tercera columna de la fig. 145). Entonces, un radio cualquiera parecerá que gira en sentido contrario. Esta impresión engañosa persiste hasta que la velocidad de rotación de la rueda no varía.

Dicho esto nos queda añadir unas pequeñas consideraciones a las explicaciones dadas. En el primer caso supusimos para abreviar que la rueda daba un número entero de vueltas; pero como todos los radios son iguales, basta con que la rueda gire un número entero de espacios interradiales para que el efecto sea el mismo. Esto mismo ocurre en los demás casos.

Pero pueden ocurrir otras curiosidades. Si en la llanta de la rueda hay una señal y los radios son todos iguales, puede parecer que la llanta gira en una dirección y los radios en otra. Si la señal se encuentra en uno de los radios, estos últimos pueden moverse en dirección contraria a la de la señal, es decir, parece que la señal salta de un radio a otro.

Cuando en el cine proyectan escenas corrientes, esta ilusión casi no perjudica la impresión natural. Pero si se trata de explicar en la pantalla cómo funciona un mecanismo, esta ilusión óptica puede dar lugar a serias incomprensiones y hasta tergiversar la idea básica del funcionamiento de la máquina.

Un espectador atento, cuando ve en la pantalla que las ruedas de un auto en marcha están paradas aparentemente, puede contar el número de radios y formarse con facilidad un juicio aproximado de cuántas vueltas dan las ruedas en un segundo. Para esto hay que tener presente que la película avanza con una velocidad de 24 cuadros por segundo. Si la rueda del automóvil tiene 12 radios, el número de vueltas por segundo será igual a $24:12$, e-, decir, 2 o, lo que es lo mismo, 1 vuelta cada $1/2$ segundo. Este será el número mínimo de vueltas posibles; pero puede ser también un

número entero de veces mayor (es decir, dos, tres, etc.). Teniendo en cuenta el diámetro de la rueda, se puede deducir la velocidad del automóvil. Por ejemplo, si la rueda tiene 80 cm de diámetro, en el caso que examinamos la velocidad podrá ser de cerca de 242 18 km/h (o de 36 km./h, 54 km/h, etc.).

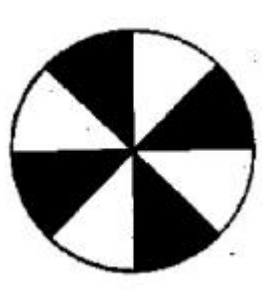


Figura 146. Disco para determinar la velocidad con que gira un motor.

Esta ilusión óptica se emplea en la técnica para calcular el número de revoluciones de los árboles que giran a gran velocidad. Explicaremos en qué consiste este procedimiento. La intensidad de la luz de una lámpara que se alimenta con corriente alterna no es constante; esta luz se debilita cada centésima de segundo, aunque en condiciones normales no nos damos cuenta de este parpadeo. Pero Figurémonos que con esta luz se ilumina el disco giratorio representado en la fig. 146. Si el disco gira a razón de $\frac{1}{4}$ de vuelta por centésima de segundo, ocurre algo insólito: en lugar del círculo gris uniforme que se ve de ordinario, el ojo distingue los segmentos blancos y negros lo mismo que si el disco estuviera parado.

Supongo que el lector comprenderá por qué ocurre este fenómeno, después de lo que hemos dicho sobre la ilusión de las ruedas del automóvil. También es fácil imaginar cómo se puede aplicar este fenómeno para determinar el número de vueltas que da el árbol.

UN "MICROSCOPIO DE TIEMPO"

En el libro primero de "Física Recreativa" se describe la "cámara lenta", basada en el empleo del tomavistas cinematográfico. Aquí hablaremos de otro procedimiento para obtener un efecto análogo, que se basa en el fenómeno que hemos examinado en el artículo anterior.

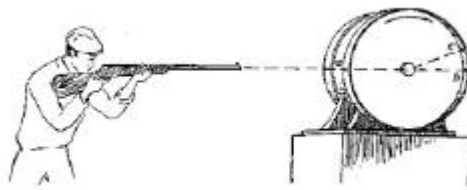


Figura 147. Medición de la velocidad de una bala.

Ya sabemos que cuando el círculo con sectores negros (fig. 146) da 25 vueltas por segundo y se ilumina con una lámpara que produce 100 destellos por segundo, da la sensación visual de que no se mueve. Figurémonos ahora que el número de destellos se hace igual a 101 por segundo. En el intervalo entre dos destellos consecutivos, de esta última frecuencia, el disco ya no tiene tiempo de girar un cuarto de vuelta completa y, por lo tanto, el sector correspondiente no llega hasta su posición inicial.

El ojo percibirá este sector como si se hubiera retrasado en una centésima de circunferencia. Al destello siguiente parecerá que se retrasa en otra centésima de circunferencia y así sucesivamente. Por consiguiente, nos parecerá que el disco gira hacia atrás a la velocidad de una vuelta por segundo, es decir, el movimiento se retrasa 25 veces.

No es difícil imaginarse lo que hay que hacer para poder ver este retraso de la rotación, no en sentido contrario, sino en la dirección normal. Para esto, en vez de aumentar el número de destellos hay que disminuirlo. Por ejemplo, si el número de destellos por segundo es 99, el disco parecerá que gira hacia adelante dando una vuelta por segundo.

Tendremos, pues, un "microscopio de tiempo" de 25 retrasos. Pero pueden conseguirse retrasos mucho mayores. Si, por ejemplo, se hace que el primero de destellos sea 999 en 10 segundos (es decir, 99,9 por segundo), parecerá que el disco da una vuelta en 10 segundos, es decir, estará retrasado en 250 veces.

Por este procedimiento se puede retrasar a nuestra vista, en el grado que se quiera, cualquier movimiento periódico rápido. Esto da la posibilidad de estudiar cómodamente las particularidades que presentan mecanismos muy rápidos, retrasando su movimiento con nuestro "microscopio de tiempo" 100, 1 000, o cuantas veces sea necesario¹⁹.

Para terminar explicaremos un procedimiento para medir la velocidad de las balas disparadas que se basa en la posibilidad de determinar exactamente el número de revoluciones de un disco giratorio. En un árbol que puede girar rápidamente se monta un disco de cartón con sectores pintados de negro y provisto de un amplio borde, es decir, formando una especie de caja cilíndrica abierta (fig. 147). El tirador apunta de manera que la bala pase a lo largo del diámetro de la caja, con lo que la bala atravesará el borde en dos sitios. Si la caja estuviera quieta, ambos orificios se encontrarían en los extremos de un diámetro. Pero como la caja gira, mientras la bala recorre el espacio que hay entre una parte del borde y la contraria, la caja tiene tiempo de girar cierto ángulo, por lo que la bala no saldrá por el punto b, sino por el c. Conociendo el número de revoluciones de la caja, su diámetro y la longitud del arco bc se puede calcular la velocidad de la bala. Esto es un problema geométrico que puede resolver cualquier lector que sepa algo de matemáticas.

EL DISCO DE NIPKOW

Una aplicación magnífica de la ilusión óptica es el llamado "disco de Nipkow", que se empleó en las primeras instalaciones de televisión.

¹⁹ En este principio se basan algunos instrumentos que se utilizan en la práctica, entre ellos los estroboscopios y los estroboscógrafos, que se utilizan para medir la frecuencia de procesos alternativos muy rápidos. Los estroboscopios proporcionan mediciones extraordinariamente exactas (por ejemplo, la precisión del estroboscopio electrónico llega hasta una 0.001%). (N. de la R.)

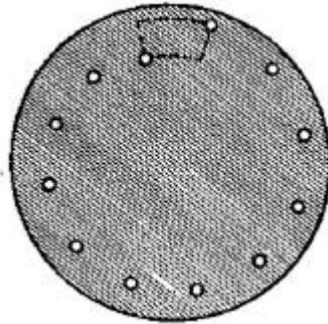


Figura 148

En la fig. 148 puede verse un disco continuo cerca de cuyos bordes se hallan repartidos una docena de agujeros de 2 mm de diámetro; estos agujeros están situados a distancias iguales siguiendo una línea espiral de forma que la aproximación de cada agujero al centro del disco, con respecto al anterior, es igual a su propio diámetro.

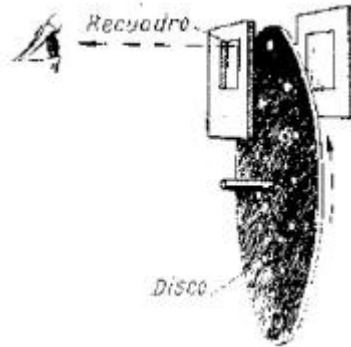


Figura 149

Este disco parece que no representa nada nuevo. Pero montémoslo sobre un eje, coloquemos delante de él un recuadro y detrás de él pongamos una fotografía que tenga las mismas dimensiones que dicho recuadro (fig. 149). Si en estas condiciones hacemos que el disco gire rápidamente se producirá un fenómeno muy interesante: La fotografía, que estaba tapada por el disco en reposo, comienza a verse perfectamente en el recuadro delantero cuando el disco gira. Si la rotación del disco es lenta, la foto se ve borrosa, y si se para el disco deja de verse por completo, es decir, se puede ver únicamente lo que se divisa a través de un pequeño agujero de 2 mm de diámetro.

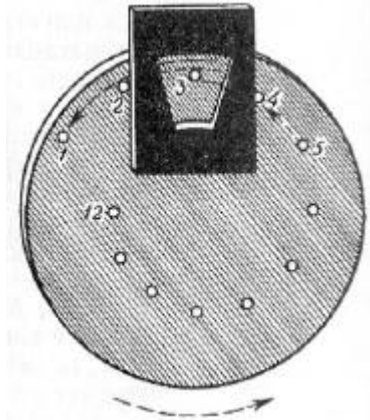


Figura 150

Veamos en que consiste el efecto misterioso de este disco. Hagamos que el disco gire despacio y sigamos atentamente el paso sucesivo de cada agujero por delante del recuadro. El agujero que está más alejado del centro pasa junto al borde superior del recuadro; si el movimiento es rápido, a través de este agujero se ve toda la franja superior de la foto. El agujero siguiente, que está un poco más bajo que el primero, al pasar rápidamente por delante del recuadro descubre una segunda franja de la foto, que es contigua a la primera (fig. 150); el tercer agujero hace que se vea una tercera franja y así sucesivamente. A esto se debe que cuando el disco gira rápidamente se vea toda la fotografía. Parece que frente al recuadro se recorta en el disco un espacio que tiene las mismas dimensiones que aquél.

El disco de Nipkow lo puede hacer cualquiera. Para que gire rápidamente se puede arrollar al eje un cordón y tirar después de su extremo libre, o, mejor aún, utilizar un motor eléctrico pequeño.

¿POR QUÉ SON BIZCAS LAS LIEBRES?

El hombre es uno de los pocos seres vivientes cuyos dos ojos están dispuestos para ver simultáneamente un objeto cualquiera. El campo visual de su ojo derecho casi coincide con el del izquierdo.

La mayoría de los animales, por el contrario, miran con cada ojo separadamente. Ven los objetos con menos relieve que nosotros, pero su campo visual es mucho más amplio.

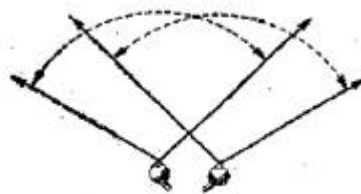


Figura 151. Campo visual de los dos ojos del hombre.

En la fig. 151 se muestra el campo visual de hombre. Cada uno de sus ojos abarca horizontalmente un ángulo de 120', pero ambos ángulos casi se superponen entre sí (se supone que los ojos están fijos).

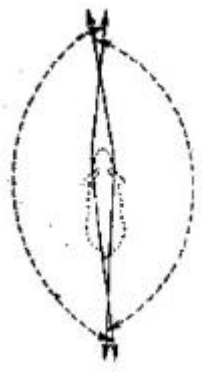


Figura 152. Campo visual de los dos ojos de la liebre.

Compárese este dibujo con el de la fig. 152, en que se representa el campo visual de una liebre. Este animal tiene los ojos muy separados y ve lo que hay delante y lo que hay detrás de él. Los campos visuales de sus ojos se cubren entre sí por delante y por detrás. Ahora está claro por qué es tan difícil acercarse a una liebre sin que se asuste. No obstante, como se desprende del dibujo, la liebre no ve lo que tiene delante del mismo hocico; si quiere ver un objeto muy próximo tiene que girar la cabeza.

Casi todos los animales ungulados y rumiantes tienen la facultad de la visión "multilateral".

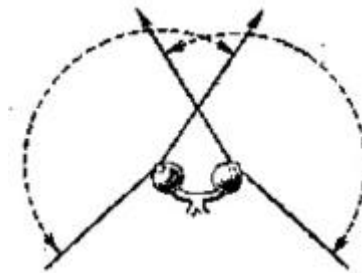


Figura 153. Campo visual de los ojos del caballo.

En la fig. 153 se ve la disposición de los campos visuales del caballo. Estos campos no se cubren entre sí por detrás, pero el animal no tiene más que volver un poco la cabeza para ver los objetos que hay detrás de él. Las imágenes visuales son en este caso menos nítidas, pero el animal puede vigilar hasta el menor movimiento que pueda producirse en torno a él. Los animales feroces, que son rápidos y atacan en general por sorpresa, no tienen la facultad de ver a su alrededor. Estos poseen visión "binocular", que les permite determinar exactamente la distancia a que tienen que saltar.

¿POR QUE EN LA OSCURIDAD TODOS LOS GATOS SON PARDOS?

Un físico diría que "en la oscuridad todos los gatos son negros", puesto que cuando no hay luz no se ve ningún objeto. Pero el refrán no se refiere a la oscuridad absoluta, sino a la ordinaria, es decir, a una iluminación débil. El refrán dice exactamente que "de noche todos los gatos son pardos". El sentido inicial y directo de este refrán es que, cuando hay poca luz, el ojo humano deja de distinguir los colores y todas las cosas parecen pardas.

¿Es verdad esto? ¿Es posible que tanto una bandera roja como las hojas verdes de los árboles parezcan pardas? Esto es fácil de comprobar. Todo el que haya intentado distinguir el color de

los objetos en la semioscuridad se habrá dado cuenta de que las diferencias de colores desaparecen y todas las cosas parecen más o menos grises-oscuras; lo mismo un cobertor rojo, que el papel azulado de la pared o que las flores violetas y las hojas verdes.

"Los rayos solares - leemos en "La Carta" de Chéjov - no penetraban a través de las cortinas, la habitación estaba oscura hasta tal punto que todas las rosas del ramo grande parecían del mismo color".

Los experimentos físicos exactos confirman totalmente esta observación. Si una superficie pintada se ilumina con una luz blanca débil (o una superficie blanca se ilumina con luz color) y se hace que la intensidad de ésta vaya aumentando paulatinamente, el ojo percibirá al principio un color gris sin ninguna tonalidad. Cuando la luz aumente hasta un grado determinado el ojo comenzará a notar que la superficie tiene color. Este grado de iluminación se llama "umbral inferior de percepción de los colores".

De esta forma, el sentido literal y exacto del refrán (que existe en muchos idiomas) es el de que por debajo del umbral inferior de percepción de los colores todos los objetos parecen pardos. Se ha descubierto que también existe un umbral superior de percepción de los colores. Cuando la iluminación es extraordinariamente brillante el ojo humano vuelve a ser incapaz de distinguir los matices de los colores; entonces todas las superficies de color parecen blancas.

¿EXISTEN RAYOS DE FRÍO?

Hay personas que piensan que lo mismo que hay rayos que calientan, hay también rayos que enfrían, es decir, rayos de frío. Piensan así basándose en algunos hechos, como, por ejemplo, Un trozo de hielo propaga a su alrededor el frío lo mismo que una estufa calienta el espacio que la rodea. ¿No es esto acaso una demostración de que del hielo parten rayos de frío, lo mismo que de la estufa rayos de calor?

No. Estos razonamientos son falsos. Los rayos de frío no existen. Las cosas que están junto al hielo se enfrían, pero no por la acción de los "rayos de frío", sino porque los cuerpos calientes ceden más calor por radiación que el que ellos mismos reciben del hielo. Tanto los cuerpos calientes como los fríos irradian calor, pero los cuerpos calientes ceden por este procedimiento más calor, que el que pueden recibir de los cuerpos fríos, es decir, como el calor que afluye a ellos es menor que el gasto, se enfrían.

Existe un experimento muy espectacular que puede hacer pensar en la existencia de los rayos de frío. Junto a las dos paredes más lejanas de una sala larga se colocan dos espejos cóncavos, grandes. Si en lo que se llama "foco" de uno de estos espejos se coloca una fuente de calor poderosa, los rayos que emite se reflejan en este espejo y van a parar al otro, donde después de reflejarse se concentran en su "foco". Si en este sitio se pone un papel oscuro, comenzará a arder. Esto demuestra claramente que existen los rayos de calor. Pero si donde estaba la fuente de calor ponemos un trozo de hielo, resulta que un termómetro puesto en el foco del otro espejo acusa un descenso de temperatura. ¿Quiere esto decir que el hielo emite rayos de frío que después de reflejarse en ambos espejos se concentran sobre la ampolla del termómetro?

No. Y en este caso también se puede explicar el fenómeno sin admitir la existencia de los rayos de frío. Ocurre lo siguiente:

La ampolla del termómetro cede por radiación más calor que el que recibe del hielo y, por lo tanto, se enfría. Como vemos, no hay por qué admitir la existencia de los rayos fríos. En la naturaleza no existen rayos de frío; todos los rayos comunican energía al cuerpo que los absorbe. Por el contrario, los cuerpos radiantes (es decir, los que emiten rayos) se enfrían.

Capítulo 10**SONIDO. MOVIMIENTO ONDULATORIO****EL SONIDO Y LAS ONDAS DE LA RADIO**

El sonido se propaga aproximadamente un millón de veces más despacio que la luz, y como la velocidad de las ondas de la radio es igual a la velocidad de propagación de las vibraciones luminosas, la velocidad del sonido es un millón de veces menor que la de las ondas de la radio. De aquí se deduce una cosa muy interesante cuya esencia quedará aclarada en el problema siguiente:

¿Quién escuchará antes el primer acorde de un pianista, el espectador de la sala de conciertos que se encuentra a 10 metros del piano o un radioescucha que junto a su aparato oye la transmisión en su casa, a 100 kilómetros de la sala?

Aunque parezca extraño, el radioescucha oye el acorde antes que el espectador que se encuentra en la sala, aunque el primero está 10000 veces más lejos del instrumento musical. Efectivamente, las ondas de la radio recorren la distancia de 100 km en:

$$100 / 300\,000 = 1 / 3\,000 \text{ seg}$$

El sonido recorre la distancia de 10 m en:

$$10 / 340 = 1 / 34 \text{ seg}$$

De donde se deduce que para transmitir los sonidos por radio se necesita cien veces menos tiempo que para transmitirlos a través del aire.

[Volver al inicio](#)

EL SONIDO Y LAS BALAS

Cuando los tripulantes del proyectil de Julio Verne salieron disparados hacia la Luna, les preocupó mucho el no haber oído el sonido del disparo del cañón colosal que los lanzó. Pero no podía ocurrir de otra forma. Por muy ensordecedor que fuera el estampido, su velocidad de propagación (lo mismo que la de otro ruido cualquiera en el aire) era igual a 340 m/seg solamente, mientras 250 que el proyectil avanzaba con una velocidad de 11.000 m/seg. Se comprende que el sonido del disparo no podía llegar a los oídos de los tripulantes, puesto que el proyectil adelantaría al sonido¹.

Pero en realidad, ¿qué se mueve más de prisa, las balas y los proyectiles o el sonido? ¿No puede el sonido del disparo avisar a la víctima de que se aproxima el proyectil?

Los fusiles modernos le comunican a la bala una velocidad casi tres veces mayor que la del sonido en el aire, es decir, de cerca de 900 m por segundo (la velocidad del sonido a 0°C es igual a 332 m/seg.). Es verdad que el sonido se propaga uniformemente, mientras que la bala tiene un movimiento retardado. No obstante, durante la mayor parte de su trayectoria la bala tiene más velocidad que el sonido. De esto se deduce directamente que si durante un tiroteo oye usted un disparo o el silbido de una bala puede estar tranquilo, esta bala ya no le hará daño. La bala adelanta al sonido, por eso, si alcanza a su víctima, esta última recibirá el impacto antes que el sonido del disparo llegue a su oído.

[Volver al inicio](#)

¹ Muchos aviones modernos desarrollan velocidades mayores que la del sonido. (N. de la R.)

UNA EXPLOSION IMAGINARIA

La competición de velocidades entre el cuerpo que vuela y el sonido que produce nos obliga a veces a cometer errores involuntarios que con frecuencia no corresponden en absoluto a la realidad del fenómeno.

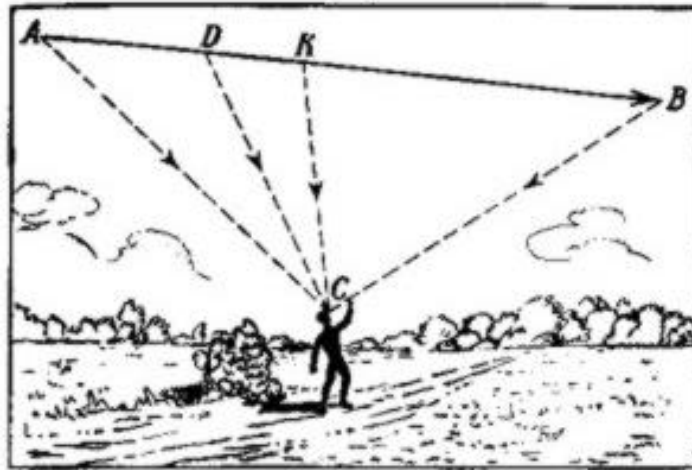


Fig. 154. Explosión ilusoria de un bólido.

Un ejemplo curioso es el de un bólido (o el de un proyectil) que pasa volando muy alto sobre nuestras cabezas. Los bólidos que proceden del espacio interplanetario penetran en la atmósfera de la Tierra, a pesar de ser frenados por la resistencia del aire, tienen velocidades enormes que son decenas de veces mayores que la velocidad del sonido.

Cuando los bólidos cortan el aire suelen producir un ruido parecido al de un trueno. Figúrese el lector que nos encontramos en el punto C (fig. 154) y que sobre nosotros pasa un bólido siguiendo la línea AB. El sonido que produce el bólido en el punto A nos llegará (a C) cuando aquél se encuentre en el punto B, y como el bólido tiene una velocidad mucho mayor que la del sonido, puede llegar al punto D y mandarnos desde allí un ruido que llegue a nosotros antes que el procedente del punto A. Por esto oiremos antes el sonido que viene del punto D y después el que llega del A. Pero como desde el punto B también nos llega el sonido después que del D, es de suponer que habrá un punto K sobre nuestras cabezas desde el cual el ruido del bólido nos llegará antes que desde ningún otro punto. Los aficionados a las matemáticas pueden calcular la posición de este punto estableciendo una relación determinada entre la velocidad del bólido y la del sonido.

De lo antedicho se deduce lo siguiente: Lo que oímos en este caso no se parece en nada a lo que vemos. Para los ojos el bólido aparece en el punto A y desde aquí sigue la línea AB. Pero para el oído el bólido hace su aparición en el punto K, que se halla aproximadamente sobre nuestras cabezas, y después oímos al mismo tiempo dos sonidos que se van apagando en dos direcciones opuestas, es decir, de K a A y de K a B. En otras palabras, oímos algo parecido a lo que ocurriría si el bólido se dividiera en dos partes que salieran lanzadas en direcciones opuestas. Pero no se produjo ninguna explosión. Esto demuestra hasta qué punto pueden ser engañosas las sensaciones acústicas. Es posible que muchos de los casos de explosiones de bólidos declarados por "testigos presenciales" no fueran más que ilusiones acústicas de este tipo.

[Volver al inicio](#)

SI LA VELOCIDAD DEL SONIDO DISMINUYERA...

Si el sonido en lugar de propagarse en el aire a 340 m por segundo lo hiciera mucho más despacio, las impresiones acústicas falsas se observarían con más frecuencia.

Supongamos, por ejemplo, que el sonido recorre en un segundo 350 mm en lugar de 340 m, es decir, que su velocidad es menor que la de un peatón y que usted está sentado en un sillón y escucha lo que dice un amigo que tiene la costumbre de dar paseos 252 por la habitación mientras habla. En las condiciones normales estos paseos no impiden escuchar la conversación, pero cuando la velocidad del sonido es de 340 mm, usted no puede entender nada de lo que dice su amigo; los sonidos pronunciados antes serán adelantados por otros nuevos, los cuales se mezclaran con ellos dando lugar a una confusión de ruidos carentes de todo sentido.

Cuando su huésped se vaya acercando, los sonidos de sus palabras llegarán a usted al revés, es decir, primero oirá usted los acabados de pronunciar, después los emitidos antes, luego los dichos con mayor antelación y así sucesivamente, puesto que el que habla adelanta a sus propios sonidos y va siempre delante de ellos pronunciando otros nuevos.

[Volver al inicio](#)

LA CONVERSACION MAS LENTA

Si usted cree que la verdadera velocidad del sonido en el aire - la tercera parte de un kilómetro por segundo - es suficiente en todos los casos, ahora cambiará usted de opinión.

Supóngase que entre Moscú y Leningrado en lugar del teléfono eléctrico se empleara un tubo acústico como los que antiguamente unían las dependencias de los grandes establecimientos comerciales o como los que se empleaban en los buques para comunicar con la sala de máquinas. Usted se encuentra en Leningrado, en uno de los extremos de este tubo de 650 kilómetros de longitud, y un amigo suyo está en Moscú, en el otro extremo. Usted pregunta y espera la respuesta. Pasan 5, 10, 15 minutos y la respuesta no llega. Se impacienta usted y piensa que puede haberle ocurrido algo a su interlocutor. Pero estos temores son infundados, lo que ocurre es que su pregunta no ha llegado todavía a Moscú, se encuentra a la mitad del camino. Antes de que su amigo escuche su voz y pueda contestarle pasará otro cuarto de hora. Pero su respuesta tardará en ir de Moscú a Leningrado media hora, por lo menos, así es que la contestación a su pregunta llegará al cabo de una hora.

Si quiere puede comprobar este cálculo: de Leningrado a Moscú hay 650 km; el sonido recorre 1/3 de kilómetro por segundo, por lo tanto, tardará en recorrer la distancia entre las dos capitales 2 160 y pico segundos, o sea poco más de 35 minutos. En estas condiciones, aunque estuvieran todo el día hablando, desde por la mañana hasta por la noche, no lograrían intercambiar más de diez frases².

[Volver al inicio](#)

DE LA FORMA MAS RAPIDA

A pesar de todo hubo tiempos en que un procedimiento de transmitir las noticias como éste hubiera parecido rapidísimo. Hace cien años acababa de inventarse el telégrafo eléctrico y aún no se soñaba con el teléfono, por lo tanto, una transmisión de noticias a 650 km que tardara nada más que varias horas se hubiera considerado ideal por su rapidez.

² El autor omite conscientemente la amortiguación de las vibraciones acústicas con la distancia, lo que en realidad dificultaría la conversación, puesto que en el otro extremo del tubo no se oiría nada. (N. de la R.)

Cuentan que cuando se coronó al zar Pablo I³ la noticia del momento en que comenzó la ceremonia en Moscú se transmitió a Leningrado (antes San Petersburgo) de la forma siguiente: A lo largo de todo el camino entre las dos capitales se puso un soldado cada 200, m; cuando sonó la primera campanada de la catedral, el primer soldado hizo un disparo al aire; cuando el soldado inmediato oyó esta señal descargó su fusil, lo mismo hizo el tercero y así sucesivamente hasta que al cabo de tres horas la señal llegó a Leningrado. Tres horas después de sonar la primera campanada en Moscú tronaban las salvas de las baterías de la fortaleza de Pedro y Pablo que estaban a 650 km de distancia.

Si el sonido de las campanas de Moscú hubiera podido oírse en Leningrado directamente, habría tardado en llegar, como ya sabemos, nada más que media hora. Quiere decir, que de las tres horas que se emplearon en transmitir la señal, dos horas y media se invirtieron en que los soldados percibieran el sonido e hicieran los movimientos necesarios para disparar. Aunque este retraso fuera insignificante, miles de estos pequeños intervalos sumaron en total dos horas y media. De un modo parecido funcionaba antiguamente el telégrafo óptico, que transmitía señales luminosas hasta la estación más próxima, la cual las retransmitía a la siguiente, etc. El sistema de transmisión por señales luminosas fue utilizado por los revolucionarios rusos en tiempos del zar para prevenir en casos de peligro a los reunidos clandestinamente. Una cadena de revolucionarios iba desde el lugar de la reunión hasta el cuartel de la policía y en cuanto se notaba cualquier movimiento alarmante se daba la señal por medio de destellos con linternas eléctricas.

[Volver al inicio](#)

EL TELEGRAFO DE TAMBOR

Los habitantes de algunas regiones de Africa, América Central y Polinesia emplean todavía las señales acústicas para transmitir las noticias.



Fig. 155. Este árbol ahuecado sirve a los indígenas del archipiélago de Nuevas Hébridas para transmitir señales acústicas

Las tribus más primitivas utilizan para esto unos tambores especiales, con los cuales transmiten las señales acústicas a distancias enormes. Una señal convencional escuchada en un sitio, se repite en otro y así sucesivamente en adelante y en poco tiempo se pone en conocimiento de una región inmensa una noticia importante (figs. 155 y 156).

³ En el año 1796. (N. del T.)



Fig. 156. Indígena de las islas Fidji hablando por medio del "telégrafo" de tambor.

Durante la primera guerra Italoabisinia el negus Menelik II conocía rápidamente todos los movimientos de los italianos; esta circunstancia asombraba al estado mayor italiano, que no sospechaba que el enemigo poseía el telégrafo de tambor.

Cuando empezó la segunda guerra Italoabisinia el decreto de movilización general publicado en Addis Abeba fue transmitido por un procedimiento semejante. Al cabo de varias horas era conocido hasta en las aldeas más remotas del país.

Lo mismo ocurrió durante la guerra Anglobóer, donde el "telégrafo" de los cafres transmitía todas las noticias militares a todos los habitantes de Capland con rapidez extraordinaria, de manera que adelantaban en varios días a los comunicados oficiales que llegaban por correo.

Algunos viajeros (Leo Frobenius) atestiguan que algunas tribus africanas tienen tan bien organizado el sistema de señales acústicas que puede considerarse que poseen un telégrafo más perfecto que el óptico que usaban los europeos antes del eléctrico.

He aquí lo que sobre esto decía una revista. R. Gasseden, arqueólogo del Museo Británico, se encontraba en la ciudad de Ibadan, en el interior de Nigeria. Un sordo ruido de golpes de tambor no dejaba de oírse ni de día ni de noche. Una mañana escuchó el científico como los negros conversaban entre sí muy animadamente. Cuando les pregunto qué ocurría, le respondió un sargento que "un gran barco de los blancos se había hundido y que muchos blancos se habían ahogado". Esta era una noticia transmitida en el lenguaje de los tambores desde la costa. El científico no le dio a esta noticia ni la menor importancia. No obstante, a los tres días recibió un telegrama retrasado (a causa de una interrupción en las comunicaciones) en el cual le notificaban la pérdida del "Lusitania". Entonces comprendió que la noticia de los negros era cierta y que había "resonado" en la lengua de los tambores a través de todo el territorio que hay desde El Cairo hasta Ibadan. Esto era tanto más sorprendente por el hecho de que las tribus a través de las cuales se transmitió esta noticia hablan dialectos completamente distintos y algunas de ellas estaban en guerra entre sí.

[Volver al inicio](#)

NUBES SONORAS Y ECO AEREO

El sonido no sólo se refleja en obstáculos sólidos, sino también en formaciones tan delicadas como son las nubes. Es más incluso el aire completamente transparente también puede reflejar en ciertas condiciones las ondas sonoras; estas condiciones se dan cuando por una causa cualquiera su aptitud para conducir el sonido se diferencia de la que tiene la masa de aire circundante. Aquí ocurre un fenómeno semejante al que en óptica se llama "reflexión total". El sonido se refleja en un obstáculo invisible y oímos un eco enigmático que llega no sabemos de donde.

John Tyndall descubrió casualmente este hecho tan curioso citando realizaba experimentos con señales acústicas a orillas del mar. "El eco se producía en un aire completamente transparente -

escribe Tyndall -, . Este eco venía hacia nosotros como por encanto, desde unas nubes acústicas invisibles".

Este ilustre físico inglés llamó nubes acústicas a las zonas de aire transparente que hacen que se reflejen los sonidos engendrando el "eco del aire". A continuación reproducimos lo que dice sobre este particular:

"Las nubes acústicas flotan constantemente en el aire. No tienen la menor relación ni con las nubes ordinarias ni con la niebla o la bruma. La atmósfera más transparente puede estar llena de nubes de este tipo. De esta forma pueden producirse ecos aéreos que, en contra de lo que generalmente se piensa, se pueden originar cuando la atmósfera está más clara. La existencia de estos ecos aéreos está demostrada por las observaciones y los experimentos. Pueden ser originadas por corrientes de aire más o menos calientes o que contengan una cantidad de vapor distinta".

La existencia de nubes acústicas, opacas al sonido, nos explica algunos fenómenos enigmáticos que se observan a veces durante las batallas. Tyndall cita el siguiente fragmento de las memorias de un testigo de la guerra Franco-Prusiana de 1871:

"La madrugada del día 6 era todo lo contrario de la del día anterior. Ayer hacía un frío penetrante y había una niebla que no dejaba ver nada a media milla de distancia. Pero el 6 fue un día despejado, claro y transparente. Ayer estaba el aire cargado de sonidos, mientras que hoy reina un silencio como el de la Arcadia, que no conocía las guerras. Nos mirábamos unos a otros asombrados. ¿Es posible que haya desaparecido París, sus fuertes, sus cañones, los bombardeos, sin dejar ni rastro? ... Fui a Montmorency, desde donde se abría ante mis ojos el amplio panorama del lado norte de París. Pero también aquí la calma era absoluta... Me encontré con tres soldados y empezamos a discutir la situación. Ellos se inclinaban a creer que habían comenzado las negociaciones de paz, ya que desde la madrugada no habían oído ni un sólo disparo ... Yo seguí adelante, hasta Gonesse. Allí me enteré de que las baterías alemanas disparaban enérgicamente desde las 8 de la mañana. Por el lado sur comenzó el bombardeo a esa misma hora. ¡Y desde Montmorency no se oía ni un sólo ruido! ... Todo esto dependía del aire, que hoy conducía el sonido tan mal, como ayer lo conducía bien".

Fenómenos parecidos se observaron durante las grandes batallas de la guerra 1914-1918.

[Volver al inicio](#)

SONIDOS SILENCIOSOS

Hay personas que no oyen sonidos tan agudos como el chirriar de los grillos o el chillido de los murciélagos. Estas personas no son sordas, su órgano del oído funciona normalmente, pero no pueden oír los tonos muy elevados. Tyndall aseguraba que algunas personas no oyen ni el canto del gorrión.

En general, nuestro oído no percibe ni mucho menos todas las vibraciones que se producen a nuestro alrededor. Si un cuerpo realiza menos de 16 vibraciones por segundo no oímos el sonido. Si el número de vibraciones es mayor de 15-22 mil por segundo, tampoco oímos el sonido. El límite superior de la percepción de los tonos varía según las personas; para los ancianos desciende hasta 6 mil vibraciones por segundo. Por esto ocurre el fenómeno tan extraño de que un tono alto y estridente que una persona oye perfectamente, para otra no existe en absoluto.

Muchos insectos (por ejemplo, el mosquito, el grillo) emiten sonidos cuyos tonos responden a 20 mil vibraciones por segundo; estos tonos existen para unos oídos, pero para otros no. Las personas insensibles a los tonos elevados disfrutan de un silencio absoluto donde otras oyen un verdadero caos de sonidos estridentes. Tyndall narra como en una ocasión observó un caso de éstos mientras paseaba en Suiza con un amigo: "Los prados que había a ambos lados de la

carretera estaban llenos de insectos que, para mi oído, inundaban el aire con sus chirridos agudos, pero mi amigo no oía nada de esto; la música de los insectos quedaba fuera de los límites de su oído".

El chillido del murciélago es toda una octava más bajo que el chirriar de los insectos, es decir, las vibraciones del aire que produce son dos veces menos frecuentes. Pero hay personas para las cuales el límite de percepción del sonido se encuentra todavía más bajo y, por lo tanto, los murciélagos son para ellas seres mudos.

Por el contrario, los perros, como pudo comprobarse en el laboratorio del académico Pávlov, perciben sonidos cuyo número de vibraciones alcanza hasta 38 mil por segundo, pero esto ya entra en el campo de las vibraciones "supersónicas" o ultrasonoras.

[Volver al inicio](#)

EL ULTRASONIDO AL SERVICIO DE LA TÉCNICA

La física y la técnica modernas tienen medios de producir "sonidos silenciosos" cuyas frecuencias son mucho mayores que las que hemos mencionado anteriormente. El número de vibraciones de estos "ultrasonidos" puede llegar hasta 100 000 000 000 000 por segundo. La frecuencia máxima que se ha conseguido obtener es igual, actualmente, a 1 000 000 000 de vibraciones por segundo. Uno de los procedimientos para obtener vibraciones ultrasonoras se basa en la propiedad que tienen las láminas de cristal de cuarzo cortadas de una manera especial de electrizarse superficialmente cuando se comprimen⁴. Por el contrario, si las superficies de una de estas láminas se cargan periódicamente, bajo la acción de las cargas eléctricas la placa se contrae y se dilata sucesivamente, es decir, vibra. Así se producen las vibraciones ultrasonoras. La lámina se carga con un generador de haz electrónico como los que se usan en radiotecnica, cuya frecuencia se regula de acuerdo con el llamado período propio de las vibraciones de la lámina⁵.

Aunque los ultrasonidos son silenciosos para nosotros, su acción se revela por medio de otras manifestaciones bastante apreciables. Así, por ejemplo, si una lámina vibrante se sumerge en una vasija con aceite, en la superficie del líquido sometido a las vibraciones ultrasonoras se levanta una prominencia de 10 cm de altura y las gotitas de aceite se proyectan hasta una altura de 40 cm. Si en este baño de aceite se introduce el extremo de un tubo de vidrio de un metro de largo, sentiremos que la mano que sostiene el otro extremo se quema. En la piel quedarán huellas de esta quemadura. Si el extremo del tubo que se halla en estado vibratorio se pone en contacto con una madera, producirá en ella un orificio quemado. Tenemos, pues, que la energía del ultrasonido se transforma en calorífica.

El ultrasonido se está estudiando minuciosamente por los investigadores soviéticos y de otros países. Estas vibraciones ejercen acciones muy enérgicas sobre los organismos vivos. Las fibras de las algas se rompen, las células animales revientan, los glóbulos de la sangre se destruyen. Los peces y las ranas sometidos a la acción del ultrasonido durante 1-2 minutos, mueren. La temperatura del cuerpo de los animales y la de la experimentación se eleva, por ejemplo, la de los ratones llega a 45°C. Las vibraciones ultrasonoras se emplean en medicina; los ultrasonidos comparten de esta forma la suerte de los rayos ultravioletas invisibles sirviendo de agentes terapéuticos.

⁴ Esta propiedad de los cristales se llama piezoelectricidad

⁵ Los cristales de cuarzo son fuentes de ultrasonido que resultan caras y poco potentes, por lo que se emplean principalmente en los laboratorios. En la técnica se emplean materiales sintéticos artificiales, como la cerámica de titanato de bario. (N. de la R.)

El ultrasonido se utiliza muy eficazmente en la metalurgia para descubrir las heterogeneidades, sopladuras, grietas y otros defectos que pueda haber dentro del metal. El procedimiento que se sigue para obtener la "radiografía" ultrasonora del metal consiste en lo siguiente: el metal que se ensaya se moja en aceite y se somete a la acción de las vibraciones ultrasonoras; las partes no homogéneas del metal difunden el sonido y producen una especie de sombras sonoras, con lo cual, la configuración de los defectos se dibuja tan claramente sobre el fondo de las ondulaciones uniformes que cubren la capa de aceite, que la figura que se obtiene se puede hasta fotografiar⁶. Con el ultrasonido se pueden examinar por transparencia capas metálicas de más de un metro de espesor, cosa imposible de realizar con los rayos X, con la particularidad de que pueden descubrirse faltas de homogeneidad muy, pequeñas (de hasta un milímetro). Ante las vibraciones ultrasónicas se abren indudablemente amplias perspectivas".⁷

[Volver al inicio](#)

LAS VOCES DE LOS LILIPUTIENSES Y DE GULLIVER

En la película soviética "El Nuevo Gulliver" los liliputienses hablan con voces de tono alto, que concuerdan con el tamaño de sus pequeñas laringes, y el gigante Petia habla con voz de bajo. Mientras se filmó la película los artistas que hablaron por los liliputienses fueron adultos, mientras que el que hizo de Gulliver fue un niño. ¿Cómo se consiguió después variar el tono de las voces? Mi sorpresa no fue chica cuando el director de escena Ptushkó me dijo que los que habían interpretado los papeles habían hablado con sus voces naturales; la variación del tono se consiguió al filmar por medio de un procedimiento original basado en las propiedades físicas del sonido.

Para hacer que las voces de los liliputienses fueran altas y la de Gulliver baja, el director cinematográfico registró las de los artistas que hacían de liliputienses retardando el movimiento de la película, y la voz de Petia, al contrario, acelerando su movimiento. La proyección de la película en la pantalla se hacía con la velocidad normal, No es difícil figurarse lo que ocurría entonces. Las voces de los liliputienses eran percibidas por los oyentes como una sucesión de vibraciones sonoras cuya frecuencia era mayor que la natural, por lo que el tono se elevaba. La voz de Petia, por el contrario, se percibía como una sucesión de vibraciones cuya frecuencia era menor y, por consiguiente, su tono se hacía más bajo. Como resultado, los liliputienses de "El Nuevo Gulliver" hablan con un tono una quinta más alto que el de la voz de una persona adulta y Gulliver - Petia - con un tono una quinta más bajo que el normal.

Así se utilizó de una forma particular la "cámara lenta" para el sonido. Este mismo fenómeno se observa cuando en un gramófono se pone la placa a una velocidad mayor o menor que la correspondiente a la grabación (78 r.p.m. o 33 r.p.m.).

[Volver al inicio](#)

¿PARA QUIENES SALEN LOS DIARIOS DOS VECES AL DIA?

⁶ El método de localización ultrasónica de los defectos fue propuesto en el año 1928 por el científico soviético S. V. Sokolov. Ahora, se utilizan receptores especiales de las vibraciones ultrasónicas que sustituyen al aceite y facilitan las mediciones. (N. de la R.)

⁷ Es interesante constatar que el ultrasonido también existe en la naturaleza. En el sonido del viento y del oleaje del mar hay frecuencias que corresponden al campo del ultrasonido. Muchos seres vivos son capaces de radiar y captar ultrasonidos (las mariposas, las cigarras y otros).

Los murciélagos emplean el ultrasonido cuando vuelan, detectando los obstáculos que encuentran a su paso por medio de las señales reflejadas. (N. de la R..)

Ahora nos vamos a ocupar de un problema que a primera vista no guarda relación ni con el sonido ni con la Física en general. No obstante, ruego al lector que le preste atención, porque esto le ayudará a comprender lo que viene más adelante.

Es posible que usted se haya encontrado con este problema en alguna de sus múltiples variedades.

Desde Moscú sale cada medio día un tren para Vladivostok y desde Vladivostok sale cada medio día otro tren para Moscú. Supongamos que el viaje dura diez días. ¿Cuántos trenes de éstos se encontraría usted por el camino si viniese de Vladivostok a Moscú?

Lo más frecuente es que respondan: 10. Sin embargo usted no sólo se encontraría con los 10 trenes que salen de Moscú después de su partida, sino también con los que cuando emprendió el viaje ya iban de camino. Por consiguiente, la respuesta justa será 20 y no 10.

Sigamos. Cada tren que sale de Moscú lleva los números de los periódicos recién salidos. Si usted se interesa por las novedades de Moscú, en las estaciones comprará los periódicos que acaban de llegar. ¿Cuántos números nuevos de cada periódico comprará usted en los diez días de viaje?

Ahora no dudará usted en contestar: 20, puesto que cada tren que se encuentra lleva un número nuevo, y como son 20 los trenes, serán también 20 los números de los diarios. Su viaje dura nada más que 10 días, por consiguiente, leerá usted dos veces al día diarios nuevos.

La deducción es un poco inesperada y, usted quizá no la crea si no ha tenido ocasión de comprobarla en la práctica. Pero recuerde que durante el viaje de dos días Sevastópol-Leningrado puede usted leer cuatro números nuevos de los diarios de Leningrado, y no dos. Dos números que ya habían salido en Leningrado en el momento de partir de Sevastópol y otros dos que salen durante los dos días que dura el viaje.

Ahora ya sabe usted para quien salen los periódicos diarios de una capital dos veces al día: para todos los viajeros de los trenes de gran recorrido que van a esa capital.

[Volver al inicio](#)

EL PROBLEMA DE LOS SILBIDOS DE LAS LOCOMOTORAS

Si el lector tiene oído musical desarrollado es probable que haya notado cómo varía el tono (no la intensidad, sino el tono precisamente) del silbido de una locomotora cuando otro tren se cruza con el suyo. Mientras los dos trenes se van acercando es mucho más elevado que cuando los trenes, después de cruzarse, se alejan el uno del otro. Si los trenes van a 50 km por hora, la diferencia de altura de los sonidos llega hasta un tono completo.

¿Por qué ocurre esto?

No le constará trabajo comprenderlo si recuerda que el tono depende del número de vibraciones por segundo y compara este caso con lo que hemos dicho en el problema anterior. El silbato del tren que va a nuestro encuentro emite durante todo el tiempo un mismo sonido, que tiene una frecuencia determinada. Pero el número de vibraciones que percibe su oído no es igual cuando va usted al encuentro, cuando está usted parado y cuando se aleja de la fuente de las vibraciones. De la misma manera que cuando iba de camino para Moscú leía usted los diarios con mayor frecuencia que ellos salían en la capital, ahora, cuando va usted al encuentro de la fuente del sonido, percibe las vibraciones con mayor frecuencia que ellas salen del silbato de la locomotora. Pero en este caso no es necesario razonar, puesto que su oído recibe un número de vibraciones mayor y usted oye directamente un tono más alto. Cuando los trenes se alejan recibe usted menos vibraciones y oye un tono más bajo.

Si esta explicación no le ha convencido por completo, pruebe usted a seguir directamente (con el pensamiento, claro está) cómo se propagan las ondas que salen del silbato de la locomotora. Primero vea lo que ocurre cuando la locomotora está parada (fig. 157). El silbato produce ondas en el aire de las cuales, para simplificar, examinaremos solamente 4 (véase la línea ondulada superior). Cuando la locomotora está parada estas ondas se propagan, durante un lapso de tiempo determinado, a una distancia igual en todas las direcciones. La onda N° 0 llega al observador A al mismo tiempo que al observador B; después llegan simultáneamente a los dos observadores las ondas N° 1, N° 2, más tarde la N° 3 y así sucesivamente.

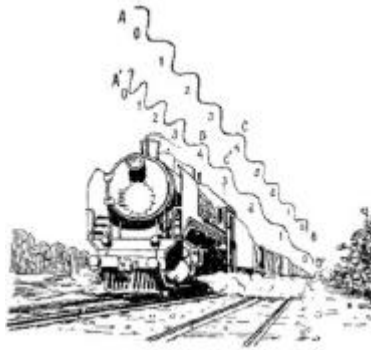


Fig. 157. El problema del silbido de las locomotoras. Arriba las ondas sonoras que emite la locomotora cuando está parada; abajo, ídem cuando se mueve de derecha a izquierda.

Los oídos de ambos observadores reciben igual número de impulsos por segundo y, por lo tanto, oyen un mismo tono.

Otra cosa es lo que ocurre cuando la locomotora se mueve desde B hacia A (la línea ondulada inferior). Supongamos que en un momento determinado el silbato se halla en el punto C' y que mientras emite cuatro ondas tiene tiempo de trasladarse hasta el punto D.

Comparemos ahora cómo se propagan las ondas sonoras. La onda N° 0, que salió en el punto C', llega simultáneamente a los dos observadores A' y B'. Pero la N° 4, emitida en el punto D, no llega a los dos al mismo tiempo, puesto que la distancia DA' es menor que la DB' y, por consiguiente, llegará antes a A' que a B'. Las ondas intermedias – N° 1, N° 2 y N° 3 – también llegan antes a A' que a B', pero el retraso será menor. ¿Qué resulta de todo esto? El observador que se encuentra en el punto A' percibe las ondas sonoras con más frecuencia que el observador que está en B'; el primero oye un tono más alto que el segundo. Al mismo tiempo, como puede verse en el dibujo, la longitud de las ondas que van hacia el punto A' será proporcionalmente menor que la de las que van hacia B'⁸.

[Volver al inicio](#)

EFECTO DOPPLER

El fenómeno que acabamos de describir fue descubierto en el año 1842 por el físico austriaco Christian Doppler y para siempre quedó asociado a su nombre. Este mismo fenómeno se observa también en la luz, debido a que también se propaga por ondas. El aumento de la frecuencia de las

⁸ Debe tenerse en cuenta que las líneas onduladas del dibujo no representan la forma de las ondas sonoras. Las partículas del aire vibran longitudinalmente (es decir, en la dirección en que se propaga el sonido) y no transversalmente. Aquí se han representado las ondas como transversales para facilitar la comprensión. Cada cresta de estas ondas corresponde a la compresión máxima de una onda longitudinal sonora.

ondas (que el oído recoge como una elevación del tono) es percibido por el ojo como un cambio de color.

La regla de Doppler proporciona a los astrónomos una magnífica posibilidad de determinar si una estrella se acerca o se aleja de nosotros y hasta de medir la velocidad con que se realiza este movimiento. Para estos cálculos se parte del desplazamiento lateral que experimentan las rayas oscuras que cortan la franja del espectro. El estudio detenido del sentido y de la medida en que se produce este desplazamiento de las rayas oscuras permitió hacer toda una serie de descubrimientos admirables. Gracias al efecto Doppler sabemos ahora que la estrella brillante Sirio se aleja de nosotros 75 km cada segundo. La distancia a que se encuentra esta estrella de nosotros es tan enorme que un alejamiento de millares de millones de kilómetros no produce variación sensible en su brillo aparente. Sin conocer el efecto Doppler no hubiéramos sabido nunca cómo se mueve este astro.

Este ejemplo demuestra con extraordinaria claridad que la Física es una ciencia verdaderamente universal. La Física aplica esta ley, que fue establecida para las ondas sonoras que alcanzan longitudes de varios metros, a las ondas luminosas, cuya longitud es de diezmillonésimas de milímetro solamente, y utiliza estos conocimientos para medir los raudos movimientos de soles gigantescos allá en las lejanías increíbles del mundo.

[Volver al inicio](#)

HISTORIA DE UNA MULTA

Cuando Doppler llegó a la conclusión de que la mutua aproximación o alejamiento del observador y la fuente del sonido o de la luz debe ir acompañada de la variación de las longitudes de las ondas sonoras a luminosas que se perciben, expuso la idea de que ésta es la causa de la coloración de las estrellas. Todas las estrellas - razonaba Doppler - son blancas de por sí; el hecho de que muchas de ellas parezcan de color se debe a que se mueven rápidamente con respecto a nosotros. Las estrellas blancas que se aproximan rápidamente envían a quienes las observan en la Tierra ondas acortadas que dan la sensación de que tienen color verde, celeste o violeta; las estrellas blancas que se alejan rápidamente, por el contrario, nos parecen amarillas o rojas.

Esta era una idea muy original, pero indudablemente errónea. Para que el ojo humano pudiera notar la variación del color de las estrellas debida a su movimiento hubiera sido necesario, en primer lugar, que las estrellas tuvieran unas velocidades enormes, del orden de decenas de millares de kilómetros por segundo. Pero esto tampoco habría sido suficiente, porque al mismo tiempo que los rayos azules de una estrella blanca que se aproximara a nosotros se transformaban en violetas, los verdes se transformarían en azules, el lugar de los ultravioletas lo ocuparían los rayos violetas, y los infrarrojos ocuparían el de los rojos. En una palabra, las partes componentes de la luz blanca seguirían existiendo, por lo que a pesar de este corrimiento de todos los colores del espectro el ojo humano no podría percibir ninguna variación de la coloración general. Otra cosa es el desplazamiento que experimentan las rayas oscuras del espectro de las estrellas que se mueven con relación al observador. Estos desplazamientos pueden captarse perfectamente por medio de instrumentos muy exactos y permiten determinar la velocidad con que se mueven las estrellas siguiendo el rayo visual. (Un buen espectroscopio puede determinar hasta la velocidad de una estrella que se mueva a 1 km por segundo solamente.)

El célebre físico Robert Wood recordó el error de Doppler en una ocasión en que un policía pretendió multarle por no haber detenido su automóvil (que iba a mucha velocidad) ante la luz roja del semáforo. Según cuentan, Wood comenzó entonces a convencer al guardia urbano de que cuando se va a gran velocidad en dirección a la señal, la luz roja se percibe como verde. Si el

policía hubiera sabido Física no le habría sido difícil calcular que para que se confirmasen las palabras del científico la velocidad del automóvil tenía que ser increíble, es decir, de 135 millones de kilómetros por hora.

Aquí está el cálculo. Llamando λ a la longitud de la onda emitida por la fuente (en este caso el farol de señales), λ' a la longitud de la onda percibido por el observador (el profesor en su automóvil), v a la velocidad del automóvil y c a la de la luz, tendremos que la relación entre estas magnitudes que establece la teoría es:

$$\lambda / \lambda' = 1 + v / c$$

Sabiendo que la longitud de onda más corta que puede tener la luz roja es igual a 0,0063 mm, que la mayor longitud de onda que puede tener la luz verde es igual a 0,0056 mm y que la velocidad de la luz es igual a 300 000 km por seg tenemos:

$$0,0063 / 0,0056 = 1 + v / 300\ 000$$

de donde la velocidad del automóvil será:

$$v = 300\ 000 / 8 = 37\ 500 \text{ km por seg}$$

o 135 000 000 km por hora.

Si Wood hubiera ido a esta velocidad, en una hora y pico hubiera estado más lejos del policía que el Sol.

Aseguran que por fin le pusieron la multa por "ir a más velocidad de la permitida".

[Volver al inicio](#)

CON LA VELOCIDAD DEL SONIDO

Supongamos que hay una orquesta tocando la música y que nosotros nos alejamos de ella con la velocidad del sonido, ¿qué oiremos?

Antes de responder volvamos al ejemplo del viajero y los diarios. Si una persona va en un tren correo desde Leningrado a otro punto, en los quioscos de las estaciones verá siempre los mismos diarios de Leningrado, es decir, los que se publicaron en Leningrado el día de su partida. Esto se comprende fácilmente, puesto que los diarios van en el mismo tren que el pasajero y los periódicos más frescos llegan en los trenes que vienen detrás.

Sobre esta base podemos deducir que cuando nos alejamos de la orquesta con la velocidad del sonido oiremos constantemente una misma nota, la que dio la orquesta en el momento en que comenzamos a movernos.

Pero esta contestación es falsa. Si nos alejamos con la velocidad del sonido las ondas sonoras se encontrarán en reposo con respecto a nosotros y no podrán accionar sobre el tímpano de nuestro oído, por consiguiente, no podremos oír ningún sonido. En estas condiciones pensaríamos que la orquesta no toca.

¿Y por qué la comparación con los diarios nos dio otra respuesta? Pues, sencillamente, porque en este caso hemos empleado mal el razonamiento de analogía. La realidad es que el pasajero que en todas partes ve un mismo diario debe pensar (si se olvida de que va de viaje) que en la capital han dejado de publicarse los diarios desde que él se marchó. Para él las editoriales de 266 estos

diarios han dejado de existir, lo mismo que dejaron de existir los sonidos para el oyente que se aleja con la velocidad del sonido.

Es curioso el hecho de que en este problema se enredan a veces hasta los propios científicos, aunque en realidad no es tan complicado. En una discusión conmigo - que entonces estudiaba en la escuela - un astrónomo (ya fallecido) no estaba conforme con esta resolución del problema anterior y aseguraba que al alejarnos con la velocidad del sonido debemos oír durante todo el tiempo un mismo tono. Intentaba demostrar que estaba en lo cierto con los razonamientos siguientes (reproduzco un trozo de su carta) :

"Supongamos que suena una nota de altura determinada. Esta nota suena así desde hace ya mucho tiempo y seguirá sonando indefinidamente. Una serie de observadores situados en el espacio la oirán sucesivamente y, admitámoslo, sin que se debilite. ¿Por qué no podría usted escuchar esta nota si se trasladara al sitio donde está cualquiera de estos observadores, con la velocidad del sonido o con la del pensamiento si quiere?

Exactamente igual demostraba que si un observador se aleja de un relámpago con la velocidad de la luz verá constantemente este relámpago:

"Figúrese-me escribía que en el espacio hay una serie infinita de ojos. Cada uno de ellos percibirá la sensación luminosa después que el anterior. Suponga que usted puede encontrarse mentalmente y de manera sucesiva en el sitio en que está cada uno de estos ojos: es evidente que todo el tiempo verá usted el relámpago".

Está claro que ninguna de estas dos afirmaciones es cierta. En las condiciones que hemos indicado ni oiríamos el sonido ni veríamos el relámpago. Esto se puede comprobar aplicando la fórmula de la páginas anteriores, en la que en este caso $v = -c$ y, por consiguiente, la longitud de la onda a percibir λ' será igual a infinito, lo que es lo mismo que decir que no existe la onda.

[Volver al inicio](#)

* * * * *

Aquí termina la "Física Recreativa". Si su lectura ha infundido en el lector el deseo de conocer más de cerca el inabarcable campo de la ciencia de donde ha sido extraído este puñado policromo de conocimientos sencillos, la tarea del autor ha sido cumplida, su objetivo logrado y puede poner con satisfacción el último punto después de la palabra fin.

CIEN PREGUNTAS AL LECTOR DEL LIBRO SEGUNDO DE "FISICA RECREATIVA"

1. ¿Se puede ver desde un globo cómo gira la Tierra?
2. Un piloto suelta un peso durante el vuelo ¿caerá este peso verticalmente?
3. ¿Qué se puede hacer para que las personas que viajan por ferrocarril se puedan bajar, sin peligro, de los trenes en plena marcha?
4. ¿Son iguales la acción y la reacción cuando un buque cortahielo rompe el hielo con su proa?
5. ¿Por qué vuelan los cohetes? ¿Podría volar un cohete encendido si estuviera en el vacío?
6. ¿Hay animales que se mueven como los cohetes?
7. Varias fuerzas cuyas direcciones son diferentes están aplicadas a un mismo cuerpo, ¿se moverá el cuerpo?
8. ¿Por qué resiste más una bóveda que un techo plano?
9. ¿Cómo mueve el aire a los barcos de vela?
10. ¿Se podrá levantar la Tierra si tuviéramos una palanca muy larga y un punto de apoyo?
11. ¿Por qué sujetan los nudos a la cuerda con que están hechos?
12. ¿Si no existiera rozamiento, se podrían utilizar los nudos?
13. ¿Qué ventajas y que inconvenientes reportaría la falta de rozamiento?
14. Un cepillo de barrer se pone sobre el espaldar de una silla y se consigue que esté en equilibrio, ¿qué parte pesará más, la más corta o la más larga?
15. ¿Por qué no se caen los trompos?
16. ¿En qué caso no se sale el agua de un cubo invertido?
17. ¿En qué caso una bola libre no rueda hacia abajo por un plano inclinado?
18. ¿Dónde es mayor la fuerza de la gravedad, en Moscú o en Leningrado?
19. ¿Por qué no notamos la atracción mutua que existe entre los objetos que hay en una habitación?
20. ¿A qué distancia podría usted saltar si se encontrara en la Luna?
21. ¿Si en la Luna se disparara un fusil moderno apuntando verticalmente hacia arriba, hasta qué altura llegaría la bala? La velocidad inicial de la bala es de 900 m/seg.
22. ¿Si hiciéramos un pozo que atravesara la Tierra siguiendo un diámetro y dejáramos caer en él una pesa, dónde se pararía esta última si el aire no le ofreciera resistencia?
23. ¿Cómo hay que hacer un túnel a través de una montaña para que no lo inunde el agua de la lluvia?
24. ¿Se puede conseguir que un cuerpo lanzado desde la Tierra no vuelva a caer en su superficie?
25. ¿En qué aguas no se hunden los que no saben nadar?
26. ¿Cómo rompen el hielo los rompehielos?
27. ¿Llegan hasta el fondo del mar los barcos que se hunden?
28. ¿En qué ley física se basó el salvamento del rompehielos "Sardakó"?
29. ¿Quién introdujo en la lengua rusa las palabras "gas", "materia", "atmósfera" y "barómetro"?
30. ¿En qué consiste el problema de los depósitos? ¿Resuelven bien este problema los libros de la escuela?
31. ¿Se puede hacer un recipiente del que salga el líquido siempre a la misma velocidad?
32. ¿Si a los hemisferios de Magdeburgo se hubiesen enganchado 8 elefantes por cada lado, en lugar de 8 caballos, hubieran conseguido separarlos? Se supone que los elefantes son cinco veces más fuertes que los caballos.
33. ¿Cómo se explica el funcionamiento del pulverizador?
34. ¿Por qué se atraen entre sí los barcos que navegan juntos?
35. ¿Qué papel desempeña en la natación la vejiga natatoria de los peces?

36. En Física se distinguen dos tipos de Corrientes de líquidos, ¿cuáles son?
37. ¿Por qué forma remolinos el humo que sale de las chimeneas de las fabricas?
38. ¿Por qué ondean las banderas cuando hace viento?
39. ¿Por qué se forman ondas en las arenas de los desiertos?
40. ¿Hasta qué altura hay que elevarse en la atmósfera para que la presión disminuya en la milésima parte?
41. ¿Se puede aplicar la ley de Mariotte cuando el aire está a 500 atmósferas de presión?
42. ¿Cuándo son más bajas las temperaturas que marca el termómetro, cuando hace viento o cuando no lo hace?
43. ¿Por qué se soporta peor el frío cuando hace viento?
44. ¿Refresca siempre el viento cuando hace calor?
45. ¿Por qué enfrían el agua las jarras refrigerantes (botijos)?
46. ¿Cómo se puede hacer una nevera sin nieve?
47. ¿Puede resistir nuestro organismo 100°C de calor?
48. ¿Por qué se soporta mejor el calor de 36°C en Tashkent que el de 24°C en Leningrado?
49. ¿Para qué sirve el tubo de vidrio de las lámparas de petróleo?
50. ¿Por qué no se apaga la llama de las lámparas de petróleo o de las velas con los productos de la combustión?
51. ¿Cómo ardería una llama si no existiera la gravedad?
52. ¿Cómo se calentaría el agua en un infiernillo si no existiera la gravedad?
53. ¿Por qué se apaga el fuego con agua?
54. ¿En qué se basa el procedimiento de apagar los incendios de las estepas o praderas haciendo que arda la hierba?
55. ¿Se puede hacer que hierva el agua calentándola al baño María?
56. ¿Se helaría el agua de una botella si la metiésemos en una mezcla de agua con hielo?
57. ¿Puede hervir el agua a la temperatura ambiente?
58. ¿Qué hay que hacer para determinar con un termómetro la presión atmosféricas
59. ¿Existe el hielo "caliente"?
60. ¿Qué imanes tienen más fuerza, los naturales o los artificiales?
61. ¿Qué metales atrae el imán, además del hierro?
62. ¿Hay metales que son repelidos por el imán?
63. ¿Influye el imán sobre los líquidos y los gases?
64. ¿En qué punto de la Tierra la aguja magnética señala al norte (o al sur) con sus dos extremos?
65. ¿Qué atracción es mayor, la que el imán ejerce sobre el hierro o la que el hierro ejerce sobre el imán?
66. ¿Qué órgano sensorial percibe la acción de las fuerzas magnéticas?
67. ¿Puede levantar una grúa de electroimán lingotes de hierro caldeados?
68. ¿Por qué se estropean los relojes de oro cuando se acercan un imán? ¿Qué relojes no se estropean en estas condiciones?
69. ¿Qué es el "reloj de radio"? ¿Se puede considerar este "reloj" como un "móvil perpetuo"?
70. ¿Cómo se halla la edad de los minerales y de la Tierra por medio de la desintegración radiactiva?
71. ¿Cómo se explica que los pájaros puedan posarse impunemente en los cables de alta tensión?
72. ¿Cuánto tiempo dura un relámpago?
73. ¿Qué ángulo deben formar dos espejos para que un objeto produzca en ellos siete imágenes?
74. ¿Qué diferencia hay entre un motor solar y un calentador solar?
75. ¿Qué es la "heliotecnia"?

76. ¿Por qué es redondo el cristalino del ojo de los peces?
77. ¿Se podría leer un libro debajo del agua? (Directamente, no con escafandra de buzo o en un submarino.)
78. ¿Quién ve mejor los objetos sumergidos en el agua, un buzo con escafandra o una persona que bucee sin máscara?
79. ¿Pueden disminuir las imágenes las lentes convergentes? Y las divergentes, ¿pueden aumentarlas?
80. ¿Por qué parece a simple vista que los estanques son menos profundos que en realidad?
81. ¿Qué es el "ángulo límite"?
82. ¿Qué es la "reflexión total"?
83. ¿Beneficia a los peces su color plateado?
84. ¿Qué es la "mancha ciega" del ojo? ¿Cómo se puede demostrar que existe esta mancha?
85. ¿Qué es el "ángulo visual"?
86. ¿A qué distancia del ojo hay que poner una kopeika para que tape por completo a la Luna? (La kopeika es una moneda que tiene aproximadamente 1,5 cm de diámetro.)
87. ¿Cuánto se separan entre sí los lados de un ángulo de 1' a la distancia de 10 m de su vértice?
88. El diámetro de Júpiter es aproximadamente 10 veces mayor que el de la Tierra. ¿A qué distancia se encuentra este planeta si el ángulo bajo el cual se observa es igual a 40'?
89. ¿Cómo deben entenderse las expresiones "este microscopio es de 300 aumentos" o "este telescopio acerca 500 veces"?
90. ¿Por qué vemos en el cine que cuando un auto va hacia adelante sus ruedas se mueven hacia atrás?
91. ¿Qué hay que hacer para que una polea que gira nos parezca que está inmóvil?
92. ¿Es verdad que las liebres pueden ver lo que tienen detrás sin volver la cabeza?
93. ¿Es verdad que "de noche todos los gatos son pardos"?
94. ¿Qué se propaga más de prisa, una señal de radio o un sonido en el aire?
95. ¿Qué velocidad es mayor, la de la bala o la del sonido del disparo?
96. ¿Qué vibraciones acústicas no percibe el oído?
97. ¿Qué aplicaciones técnicas tienen los sonidos silenciosos?
98. ¿Qué es una "nube acústica"?
99. ¿Cómo varía el tono del silbido de una locomotora que se aproxima?
100. ¿Qué oiríamos si nos alejásemos de una orquesta a la velocidad del sonido?