

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 en 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 $\frac{1}{4}$ 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 $1\frac{1}{3}$ 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 %) .

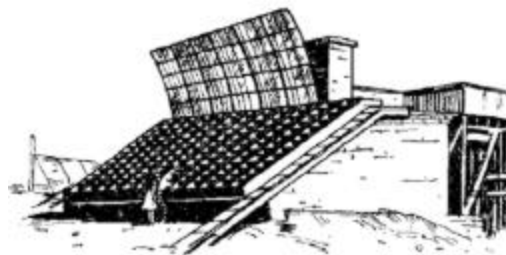


Figura 109. Almacén-refrigerador solar instalado en la URSS de Turkmenia.

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 salpicaba¹.

¹ La versión española de estos versos es de Angel Herráiz, (N. del T.)

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.



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 aquél 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 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

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.

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.

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

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-escribe el eminente 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"

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 *Ocneria* 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.

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-oscuros 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.

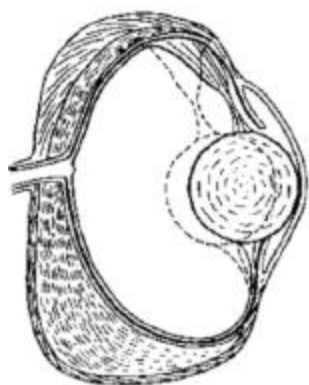


Figura 111. Corte del ojo de un pez. El cristalino tiene forma esférica y la acomodación no varía su formó. En lugar de variar la forma del cristalino varía su posición en el ojo, como indica la línea de puntos.

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?

⁵ Estos razonamientos se refieren a la visión directa, es decir, cuando los ojos no están protegidos con gafas especiales o máscara.

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.

¿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.

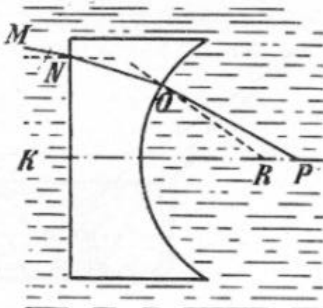


Figura 112. Las gafas para buceadores están formadas por lentes plano-cóncavas huecas. El rayo MN se refracta y sigue el camino MNOP, alejándose de la perpendicular de incidencia dentro de la lente y acercándose a ella (es decir a OR) fuera de la lente. Por eso esta lente actúa como un vidrio convergente.

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.

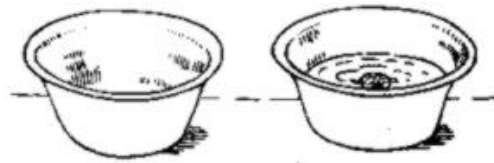


Figura 114. Experimento con la moneda dentro de la taza

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.

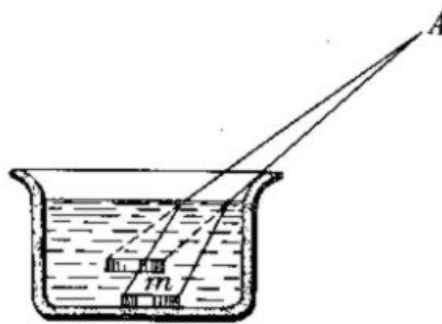


Figura 115. Explicación de por qué la moneda del experimento de la fig. 114 parece que sube

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.

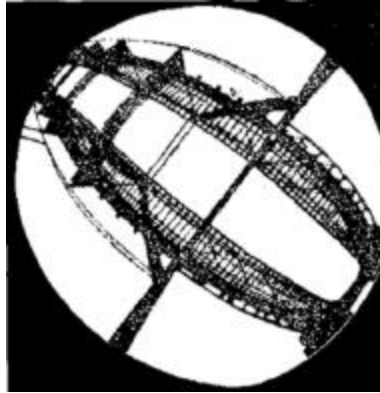


Figura 116. Así verá el observador subfluvial un puente de ferrocarril tendido sobre el río (de fotografía del profesor Wood).

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".

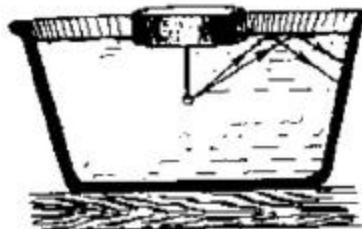


Figura 117. Experimento con el alfiler invisible debajo del agua,

Recordemos en qué consiste este fenómeno.

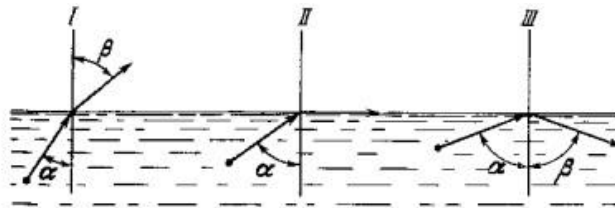


Figura 118.. Varios casos de refracción de un rayo al pasar desde el agua al aire. En el II caso el rayo incide formando el ángulo límite con la perpendicular de incidencia y sale del agua rasando su superficie. El III caso representa la reflexión total.

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 p con la normal al plano de incidencia entrará en ella formando un ángulo a , 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 $48^{\circ}30'$.

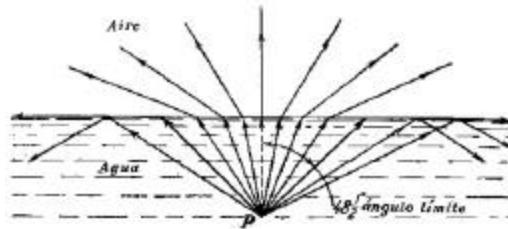


Figura 119. Los rayos que salen del punto P formando con la perpendicular de incidencia un ángulo mayor que el límite (que para el agua es igual a $48^{\circ}30'$ grados) no salen del agua, se reflejan totalmente hacia adentro.

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.

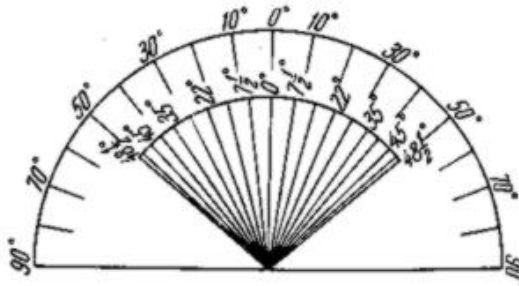


Figura 120. El arco de 180° del mundo exterior se reduce hasta 97° para el observador que está dentro del agua; esta reducción es tanto mayor cuanto más lejos se encuentra la parte del arco del punto del cenit (0°).

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 congo 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

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.

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 conocería.

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.

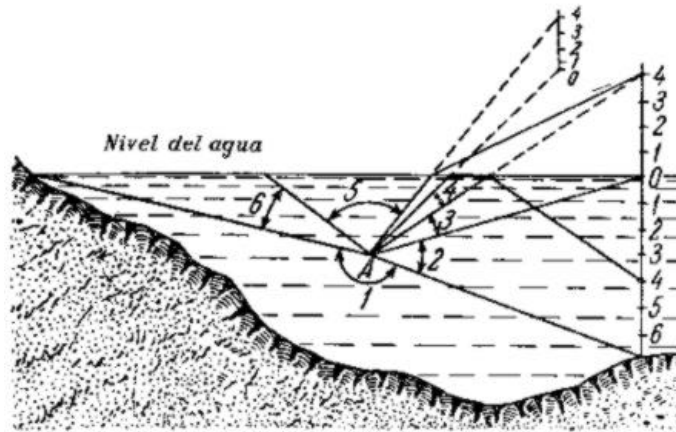


Figura 121. Esquema de cómo ve observador subfluvial situado en A el flujímetro que tiene una parte dentro y otra fuera del agua. Dentro del ángulo 2 ve borrosamente la parte sumergida del flujímetro, dentro del 3, su reflexión en la superficie interior del agua. Además ve la parte del flujímetro que 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.

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 flujómetro⁷ (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 flujómetro, sin deformación. En el ángulo 3 verá reflejada, aproximadamente, esta misma parte del flujómetro, 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 flujómetro, 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.)

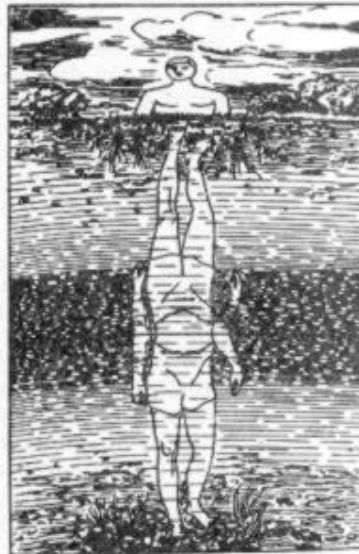


Figura 123. Así ve el observador que está debajo del agua a un bañista sumergido hasta el pecho (compárese con la fig. 121).

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 norteamericano 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:

"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".

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.

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.

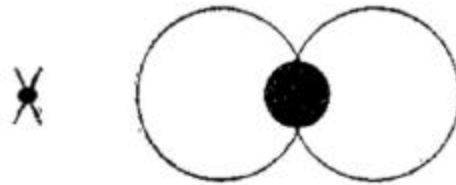


Figura 124. Dibujo para descubrir la mancha ciega.

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.

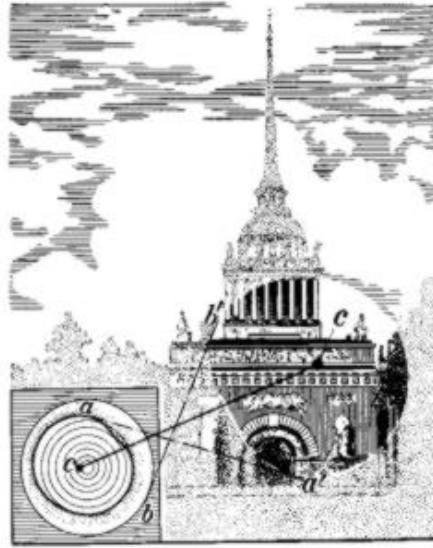


Figura 125. Cuando se mira con un ojo un edificio no vemos una parte pequeña C del campo visual, que corresponde a la mancha ciega c.

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 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

⁹ Antigua medida de longitud rusa igual aproximadamente a 0,71 m. (N. del T.)

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'.

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 vea 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.

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 quedaran 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, qué 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

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.)

bien pequeña; ¡ poco mas de 2 mm! Aproximadamente la anchura de la letra "o" de los tipos con que esta 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 ocupara en la pagina el sitio de un circulito de cerca de 2 mm de diámetro, cosa que confirma la exactitud de nuestro calculo.

DIMENSIONES VISIBLES DE LOS ASTROS

Si queremos representar en el papel la constelación de la Osa Mayor conservando]as magnitudes angulares obtendríamos lo que muestra la fig. 127.

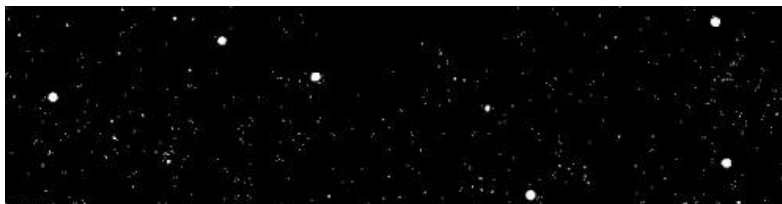


Figura 127. La constelación de la Osa Mayor conservando dimensiones angulares. El dibujo debe mirarse desde 25 cm de distancia.

Si mirarnos esta figura desde la distancia de la visión perfecta veremos esta constelación tal como se dibuja en el firmamento. Esto es lo que pudiéramos 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 Angulo visual mayor de 1 minuto, es decir, de la magnitud limite de los objetos que podemos distinguir, en general, como cuerpos que tienen dimensiones (cuando este Angulo es menor los cuerpos nos parecen puntos sin configuración).

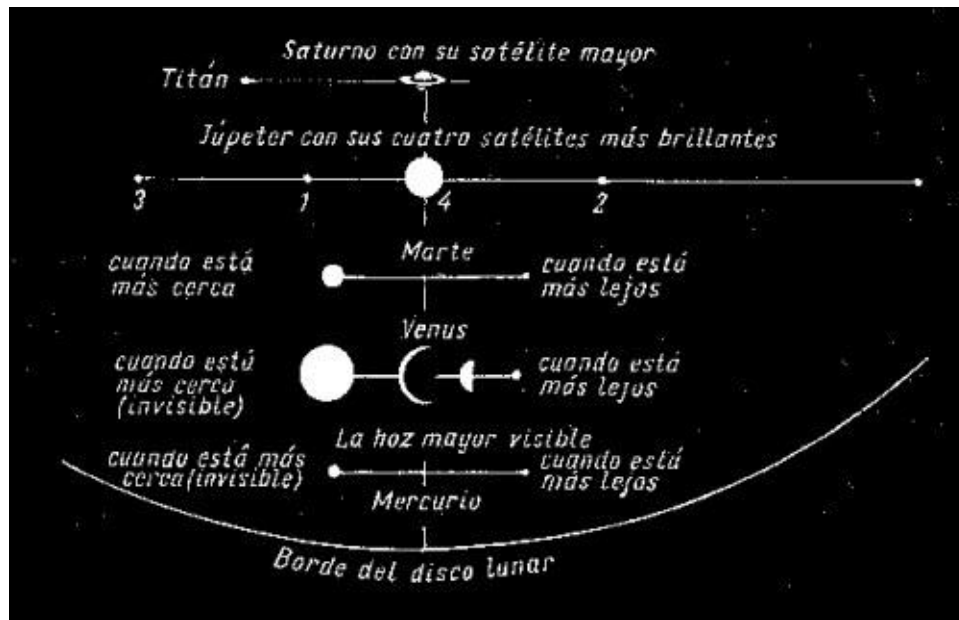


Figura 128. Si este dibujo se mira desde 25 cm de distancia los discos de los planetas que figuran en el se ven con las mismas dimensiones que cuando se observan estos planetas con un telescopio de 100 aumentos.

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

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")

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 extraño 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.



Figura 129. "... El monstruo descendía de la cumbre del cerro".

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.)

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 genero 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.

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.

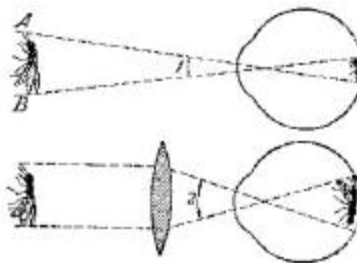


Figura 130. La lente aumenta la imagen que se forma en la retina del ojo.

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").

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 ampliación, 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 ampliación 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 gigantescos, 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".

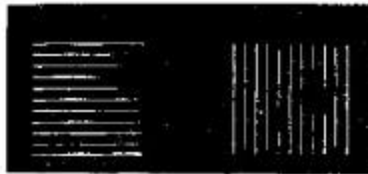


Figura 131. ¿Qué figura es más ancha. la de la izquierda o de la derecha?

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.

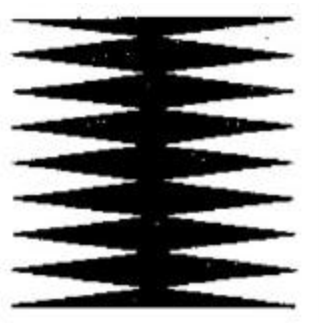


Figura 132. ¿Qué es mayor en esta figura, la altura o la anchura?

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?

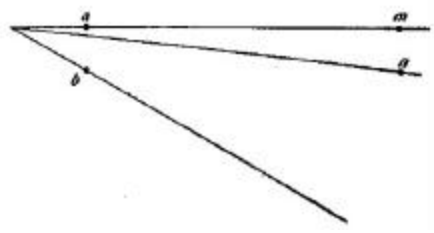


Figura 134. ¿Qué distancia es mayor, ab o mn ?

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.

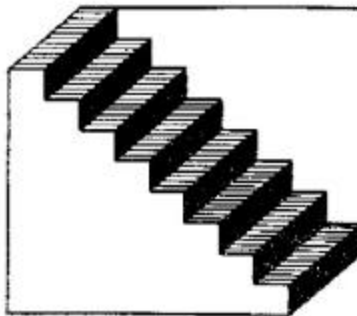


Figura 135. ¿Qué se ve aquí, una escalera, un rebajo en la pared o una tira de papel plegada como un acordeón?

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".

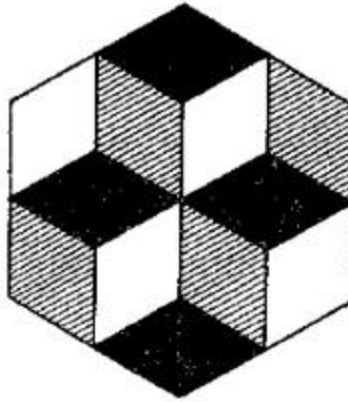


Figura 136. ¿Cómo están dispuestos estos cubos ¿Dónde hay dos cubos, arriba o abajo?

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".

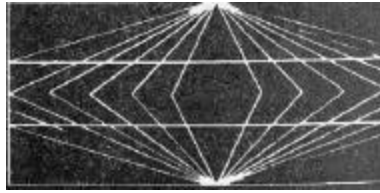


Figura 138. Las líneas de en medio que van de derecha a izquierda son rectas paralelas, a pesar de que parezcan dos arcos con sus partes convexas enfrentadas. La ilusión desaparece: 1) Si se coloca la figura a la altura de los ojos y se mira de forma que la vista resbale a lo largo de las líneas; 2) 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?

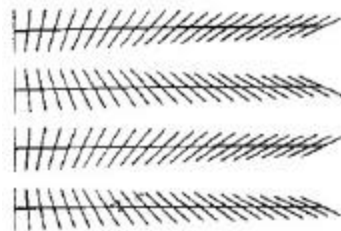


Fig. 140. Estas rectas paralelas parece que no lo son.

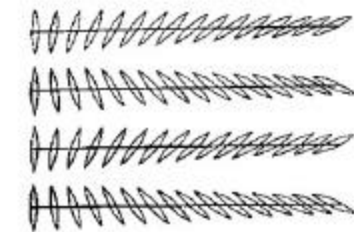


Fig. 141. Variante de la ilusión óptica de la fig. 140.

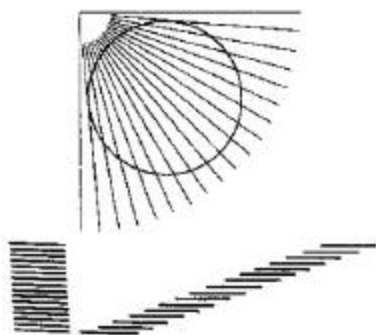


Fig. 142. ¿Es esto una circunferencia?

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

¹⁷ Este dibujo puede servir de ilustración al principio geométrico que dice que el área de las dos partes de la "pipa" son iguales.

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).

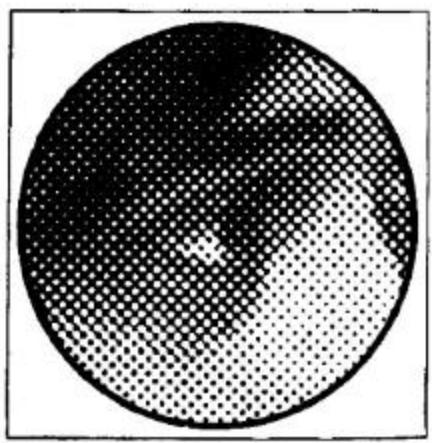


Figura 144. Cuando se mira esta figura desde lejos se distingue en ella fácilmente el ojo y la nariz de un perfil femenino que mira hacia la derecha.

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

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.

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 discontinuo, 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 240 absoluto (columna del centro de la fig. 145).

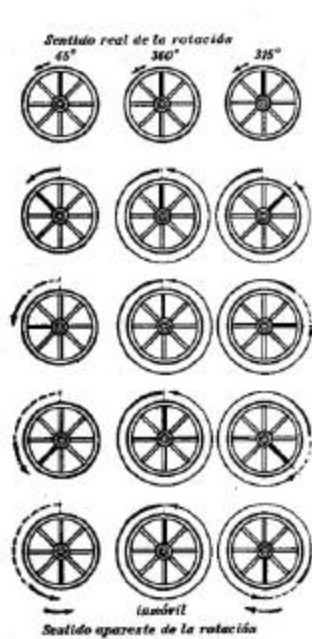


Figura 145. Explicación del movimiento enigmático de las ruedas que se ven en el cine.

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.).

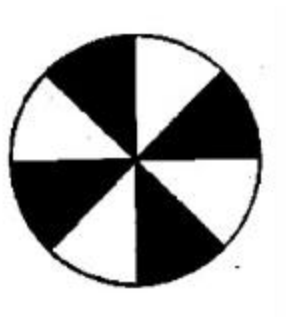


Figura 146. Disco para determinar la velocidad con que gira un motor.

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 $1/4$ 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.)

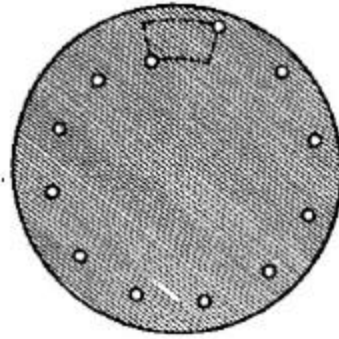


Figura 148

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.

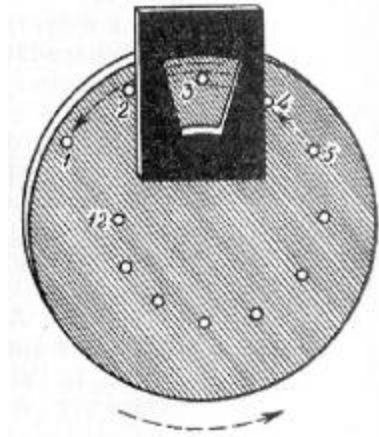


Figura 150

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 vivos 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).

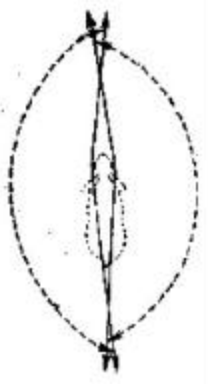


Figura 152. Campo visual de los dos ojos de la liebre.

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".

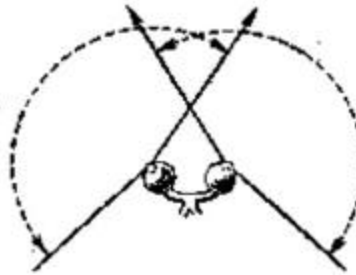


Figura 153. Campo visual de los ojos del caballo.

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-oscuros; 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.