

Las teorías de la mecánica celeste, profundizadas y desarrolladas de continuo, son el resultado magnífico de esta aplicación de la óptica á la astronomía (1).

Mas aun cuando las conquistas que los anteojos y telescopios han hecho por otros conceptos no parezcan tener gran importancia desde el punto de vista de la ciencia pura, tampoco dejan de ser brillantes y fecundas. Las primeras aplicaciones de los an-

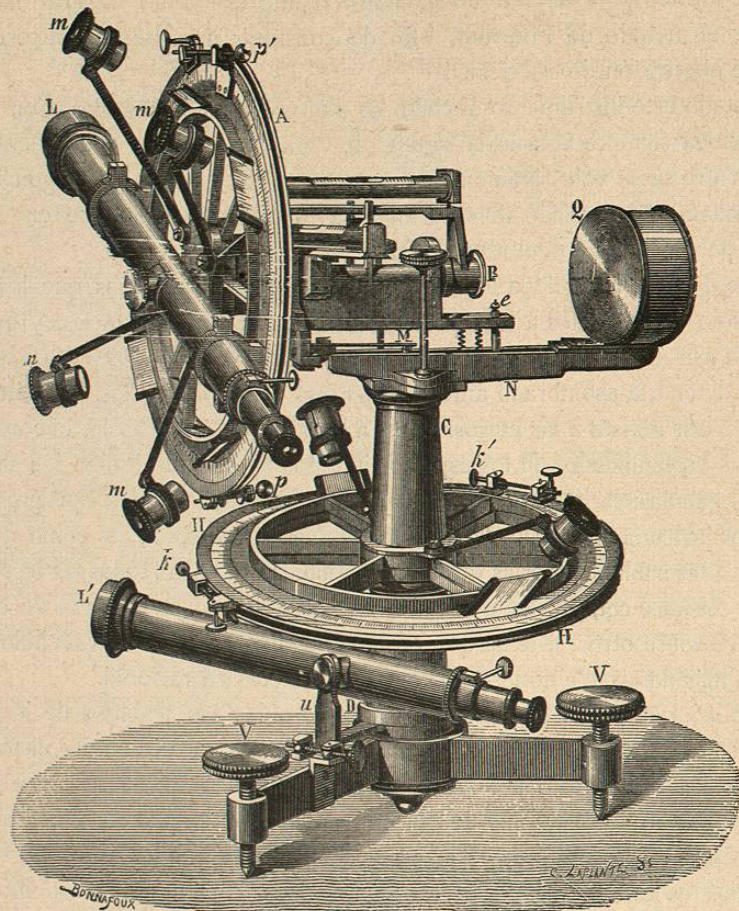


Fig. 683.—Teodolito de Gambey

A, círculo vertical graduado, móvil alrededor del eje horizontal B; L, anteojo ó alidada concéntrica que sirve para mirar la estrella cuya distancia zenital se quiere conocer, y que se lee en el círculo vertical; H, círculo horizontal ó azimutal graduado, en el cual se lee el ángulo trazado por el círculo vertical alrededor del eje C, cuando se han observado sucesivamente dos estrellas distintas; L', anteojo para mirar un punto remoto que sirve de referencia.

teojos, que en sus comienzos fueron de bien modesto alcance, ensancharon de pronto los límites del cielo circunscrito hasta entonces á los objetos visibles á la simple vista. Cuando tres siglos atrás asestó Galileo al cielo el anteojo que acababa de construir, se quedó sorprendido al ver el considerable aumento en el número de las estrellas, sobre todo junto á la Vía láctea, cuya verdadera composición le reveló aquel instrumento.

(1) Aparte de su aplicación á los estudios astronómicos, los anteojos son de un uso precioso en los trabajos en que se requiere medir ángulos con toda exactitud, como los de la geodesia. Propiamente hablando, los instrumentos son los mismos en una y otra ciencia, y los instrumentos comunes á ambas. Así es que los geodestas se sirven del anteojo meridiano como los astrónomos, sólo que su construcción está algo modificada con objeto de hacer portátil el instrumento. El *teodolito*, representado en la figura 683, sirve para me-

Las manchas del Sol, los satélites de Júpiter, las fases de Venus fueron otros tantos fenómenos nuevos que debían estudiar los astrónomos. Sucediéronse los descubrimientos unos á otros á medida que los ópticos conseguían aumentar el alcance de los instrumentos, y como era consiguiente, se inventaron nuevos métodos de investigación. En otro lugar hemos descrito los resultados que se obtuvieron de la aplicación del análisis espectral á la luz de los cuerpos celestes. A ellos hay que agregar los que ha dado la fotografía, de la que hablaremos en los capítulos siguientes. Estas dos ramas de la Óptica aplicada á la Astronomía han adquirido hoy tal desarrollo, que los astrónomos las consagran casi exclusivamente su tiempo y los recursos de sus observatorios.

## CAPITULO V

### EL ESTEREOSCOPIO

#### I

#### LA VISIÓN EN RELIEVE.—EL ESTEREOSCOPIO DE REFLEXIÓN DE WHEATSTONE

Cuando examinamos sin otro auxilio que el de nuestros ojos un árbol, un paisaje, un monumento, no tan sólo tenemos la sensación de un cuadro, es decir, una representación plana de los objetos que se pintan en nuestra retina, sino también la impresión clara y definida del relieve de los objetos, de sus distancias desiguales, de los espacios que los separan; la profundidad del espacio es una sensación intuitiva que resulta simplemente del fenómeno normal de la visión.

¿Cómo es que los cuadros pintados no producen semejante sensación, por grande que sea el mérito del artista que los ha ejecutado, y la fidelidad de la perspectiva, de los contornos de los objetos, del colorido y de sus tonos? Mucho talento se necesita para dar vida y movimiento á un cuadro, profundidad á un paisaje; pero, aunque el pintor lo consiga, la ilusión del relieve dista mucho de igualar á la Naturaleza.

Mucho tiempo ha transcurrido sin dar con la explicación de la diferencia que existe entre la representación plana y la vista real, ó sea la visión en relieve. Y sin embargo hay un medio muy sencillo de averiguar la causa. Si después de observar un objeto real con los dos ojos, se le examina con uno solo, sea el derecho ó el izquierdo, desaparece al punto el relieve, la sensación de profundidad, ó á lo menos se atenúa en gran parte. El paisaje real parece entonces una pintura cuyos varios términos se confunden. Sin embargo, esta diferencia entre la visión ordinaria ó binocular y la monocular es casi insensible respecto de los objetos remotos, y bastante marcada respecto de los próximos, llegando á su máximo con relación á los que están en primer término.

Sentado este primer punto, veamos qué sucede cuando se examina un objeto de

dir la altura angular de un punto ó de un astro sobre el horizonte, á la vez que para determinar su azimut, es decir, el ángulo que forma el plano vertical en el que se encuentra este punto en el momento de la observación con un plano que sirve de origen y que es, ora el plano meridiano, ó más bien un plano perpendicular al meridiano, el *primer vertical*. La leyenda de la figura bastará para que se comprenda cómo se consigue uno y otro objeto con el teodolito.



relieve con un solo ojo. Cualquiera puede comprobarlo de un modo muy sencillo. Tomemos por ejemplo un cubo, un dado ó una pirámide cuadrangular (fig. 684).

Situémoslos en el plano que pasa por la línea media de entrambos ojos, y miremos cada uno de ellos con los dos ojos: las dos figuras A y B representarán los dos objetos vistos de este modo. Cerremos el ojo izquierdo, y el aspecto cambiará. La cara lateral de la derecha del dado A' parecerá mayor, mientras que la de la izquierda habrá desaparecido; las caras laterales de la pirámide B' serán de desigual tamaño aparente, estando la mayor á la derecha. Si cerramos el ojo derecho sucederá lo contrario, como lo muestran las figuras A'' y B''.

Se pueden hacer mil experimentos análogos con los objetos más ó menos remotos que se tienen delante, reconociéndose que la vista, con el ojo derecho solo, descubre

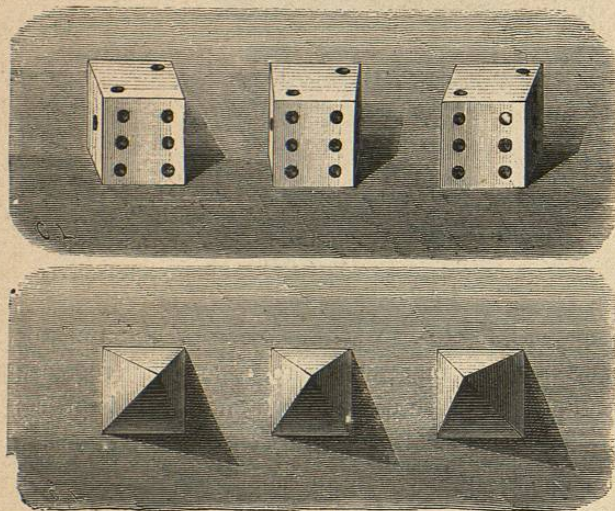


Fig. 684.—Diferencia entre la visión monocular y la bi-ocular

partes que permanecen ocultas cuando se mira únicamente con el izquierdo. Debe deducirse de esto que en cada retina, derecha é izquierda, se pinta una imagen diferente del mismo objeto, de suerte que debería resultar una doble imagen para la visión monocular. Pero la experiencia prueba que no es así, que estas dos imágenes se superponen produciendo una sola sensación en la que se encuentran reunidas las partes componentes de las imágenes. La vista completa ó normal envuelve los objetos en relieve, por decirlo así, y tanto más cuanto más próximos están.

Agréguese á esto la necesidad de acomodar el órgano visual, según las circunstancias, para ver bien los objetos, y se comprenderá la diferencia que hemos indicado entre la sensación que produce la vista binocular de los objetos reales y la del cuadro mejor pintado que representa los mismos objetos. En este último caso siempre se pinta la misma imagen en las dos retinas, y la visión de relieve, la *visión estereoscópica* (de las palabras griegas *stereos*, sólido, y *scopein*, ver) es imposible.

El invento de los instrumentos de óptica conocidos con el nombre de *estereoscopios* se debe al análisis de estos fenómenos. El célebre físico inglés Wheatstone fué el primero que concibió esta idea, realizándola en el pequeño aparato que lleva el nombre de *estereoscopio de reflexión*. Véase en qué consiste.

M y M' (fig. 685) son dos espejos situados verticalmente en ángulo recto sobre una tablita triangular, de modo que forman ángulos de 45° con los bordes de esta tablita. A los lados de la misma hay dos montantes A y A' provistos de correderas que pueden recibir así dos imágenes de la misma vista, del mismo objeto ó del mismo cuadro. Es evidente que estas imágenes se reproducirán en cada uno de los espejos y formarán dos imágenes virtuales, situadas en apariencia detrás de cada espejo simétricamente con relación al objeto mismo. Así por ejemplo,  $ab$  producirá la imagen  $a_1b_1$ , y los mis-

mos puntos  $a'b'$  del objeto de la derecha formarán otra imagen  $a'_1b'_1$ , que se superpondrá exactamente á la primera.

Así pues, si los dos ojos OO' están situados delante de cada espejo, y si un diafragma impide que cada uno de ellos vea la imagen producida en el espejo contiguo, las dos imágenes  $a_1b_1$  y  $a'_1b'_1$  parecerán partir de los mismos puntos del espacio, y se pintarán en las retinas de cada ojo como sucedería si éstos contemplasen un objeto real. Ahora, ¿qué se necesita para que haya identidad completa entre los fenómenos de visión del objeto real y de este mismo objeto pintado ó reproducido en un cuadro? Que las dos vistas separadas sean precisamente las que percibiría cada uno de los dos ojos, si las examinara respectivamente desde el punto de vista en que se ha colocado el artista.

Esta es una condición indispensable de la visión estereoscópica; si se realiza, se efectuará la superposición de las imágenes como en la Naturaleza misma, y se tendrá á la vista, no ya una superficie plana, sino una visión de relieve, tanto más perceptible y

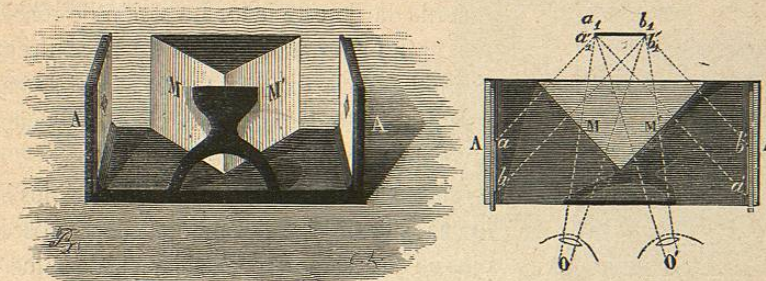


Fig. 685.—Estereoscopio de reflexión de Wheatstone

viva cuanto que los cuadros se reproducirán con mayor fidelidad, con todos sus detalles de sombras y matices. Si carecen de colorido, creeráse ver objetos de mármol, una verdadera reproducción escultórica de la Naturaleza (1).

No pasó mucho tiempo sin que se introdujese una modificación en el estereoscopio de reflexión de Wheatstone, ó por lo menos sin que Bréwster, basándose en su principio, inventara un instrumento más cómodo y más completo, modificado á su vez por los distinguidos ópticos franceses Soleil y Duboseq.

Pero antes de describir el estereoscopio de refracción, digamos algo acerca de un procedimiento muy sencillo para conseguir la visión estereoscópica de las imágenes. Para ello basta poner uno junto á otro los dos dibujos convenientemente reproducidos, é interponer un diafragma, una hoja de papel ó un cartón, ó una tablilla delgada, en la línea media, entre los dos ojos. A los pocos segundos, las dos imágenes se superponen y el relieve aparece. Pero es un ejercicio que cansa la vista, y los estereoscopios, tal como hoy se sabe construirlos, tienen marcada ventaja sobre este sistema elemental de estereoscopia.

(1) "Los efectos del estereoscopio se notan de la manera más sorprendente examinando dibujos que sólo representan contornos de cuerpos y superficies y que carecen completamente de todas las circunstancias favorables accesorias de color, sombra, etc.; á pesar de lo cual las líneas negras se destacan perfectamente del papel y parecen localizarse en el espacio. Los dibujos de estereotomía más complicados, los que representan cristales presentando á la vista una confusión de líneas casi inextricable, se resuelven como por encanto para ofrecer el aspecto del relieve." (Helmholtz, *Óptica fisiológica*.)



## II

ESTEREOSCOPIO DE REFRACCIÓN DE BRÉWSTER. — ESTEREOSCOPIO DE HELMHOLTZ. — SEUDOSCOPIO

Ocupémonos ahora del *estereoscopio de Bréwster* (fig. 686).

En él no se examinan las dos imágenes por su reflexión en la superficie de dos espejos, sino directamente, aplicando ambos ojos á los dos cristales, formados de dos porciones AA' de un prisma ó de una lente convergente.

Consideremos un mismo punto CC' del dibujo representado en cada vista estereoscópica; cada uno de estos puntos envía un haz de luz que se refracta en uno y otro prisma, resultando dos imágenes que se forman en el mismo punto C<sub>1</sub>, más allá del plano del dibujo. Lo propio sucede con todas las partes correspondientes del cuadro,

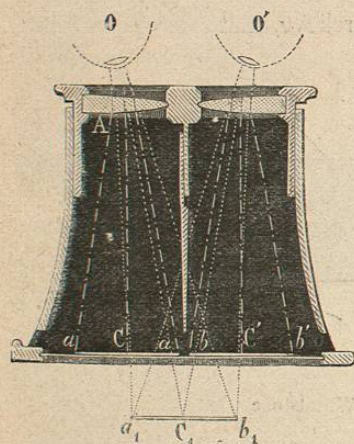


Fig. 686.—Vista interior del estereoscopio de refracción

de suerte que hallándose las dos vistas estereoscópicas representadas simultáneamente en  $a, b$ , la de la derecha impresiona la retina derecha, y la de la izquierda la de este lado. La visión de relieve resulta con gran perfección si las imágenes son reproducciones fotográficas exactas, y más aún si se han sacado rigurosamente de puntos de vista convenientes y en favorables condiciones de luz.

Es necesario iluminar por igual las dos imágenes, lo cual se consigue llevándose el estereoscopio á los ojos en dirección perpendicular á la de la luz, de modo que ésta penetre por cada lado del diafragma por la abertura practicada al efecto. Si las vistas fotográficas son sobre cristal y por tanto transparentes, bastará colocar el aparato de frente á la luz del día ó á la de una lámpara, en cuyo caso la cara posterior del estereoscopio lleva un cristal raspado que da paso á la luz tamizada por igual é intercepta las imágenes de los objetos exteriores.

El estereoscopio no comunica solamente la sensación del relieve, sino que también produce el efecto de las lentes convergentes ó de los anteojos de aumento, es decir, que agranda las imágenes, y por consiguiente facilita el estudio de sus detalles. Con este objeto, y á fin de hacer mayor la ampliación, se reemplazan los prismas con combinaciones de lentes, como la representada en la figura 687, ó sea el estereoscopio construido por el doctor Helmholtz, profesor de fisiología en Heidelberg. Aparte de la modificación introducida en los oculares, se distingue este instrumento por un mecanismo especial merced al cual se puede graduar la distancia de los dos oculares, ó aumentar ó disminuir como se quiera la distancia de los ojos ó de las lentes en los cuadros estereoscópicos. Esta disposición es útil, porque las imágenes estereoscópicas no siempre están colocadas de modo que la distancia de los puntos correspondientes sea igual á la de los ojos, ó que sean también iguales sus alturas sobre la línea de base. Por medio de tornillos se puede cambiar la posición de los oculares en su plano, ya lateralmente ó bien de arriba abajo. El movimiento de los tubos oculares tiene por objeto hacer que las imágenes fotográficas ocupen los focos de las lentes.

Los monumentos, los personajes, en una palabra, todos los objetos salientes aparecen en los estereoscopios con una verdad de relieve asombrosa que ilusiona por

completo. Mas, como observa Helmholtz y con razón, "la ventaja de la visión estereoscópica está en reproducir admirablemente objetos que se prestan mal á su imitación por medio del dibujo ó de la pintura,

como, por ejemplo, las peñas irregulares, los témpanos de hielo, los objetos microscópicos, los animales, los bosques, etc. En particular los glaciares, con sus profundas grietas iluminadas por transparencia al través del espesor del hielo, producen un efecto sorprendente en el estereoscopio. Una sola imagen da por lo común la idea de una aglomeración confusa de manchas grises, al paso que la combinación estereoscópica hace resaltar del modo más palpable las formas de las masas de hielo, así como los efectos de la luz transmitida y de la luz reflejada. La dificultad dimana ante todo de que unas formas tan irregulares como las de los témpanos no se pueden reproducir con nitidez, aun cuando estén sencillamente iluminadas por la luz incidente; pero más bien debe atribuirse á que la luz transmitida por el hielo modifica completamente las leyes ordinarias de las sombras. La representación estereoscópica de objetos brillantes, como el agua rizada por un ligero oleaje, produce también efectos asombrosos., (*Optica fisiológica.*)

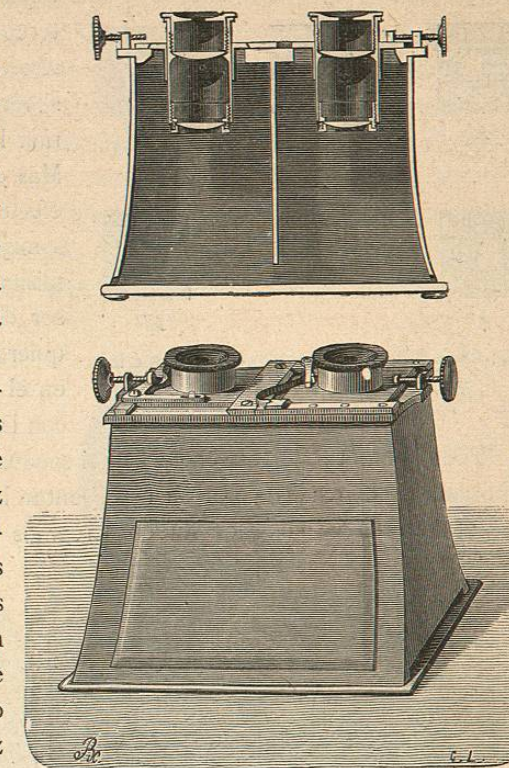


Fig. 687.—Estereoscopio de Helmholtz

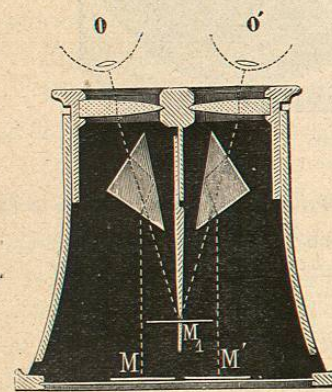


Fig. 688.—Seudoscopio

Se construyen estereoscopios en los cuales los rayos emanados de las dos imágenes, antes de penetrar en los prismas ó lentes oculares, sufren la reflexión total al través de dos prismas en ángulo recto, cuya cara hipotenusa (fig. 688) está situada paralelamente á la dirección de los rayos que llegan á ambos ojos. De esta disposición resulta que las dos imágenes parecen simétricas de lo que son en la Naturaleza; se sobreponen, pero de tal modo que la que está á la derecha se ve á la izquierda y reciprocamente. Las imágenes son, pues, inversas, y por consiguiente la perspectiva también lo es, ya por lo que hace á los relieves, ó ya á los huecos. Los objetos huecos parecen, pues, de relieve, y los de relieve huecos. Sin embargo, las sombras proyectadas contrarían á veces esta ilusión, así como otras circunstancias que contribuyen

no menos que la perspectiva ó las sombras á comunicar á la visión la sensación del relieve. Un ejemplo nos demostrará la razón de que el estereoscopio así dispuesto invierta la imágenes, y que por esta causa recibe el nombre de *seudoscopio*.

Consideremos una pirámide truncada vista por encima y supongamos que la luz