

## PARTE SEGUNDA

OPTICA.—APLICACION DE LOS FENOMENOS Y DE LAS LEYES DE LA LUZ

### CAPITULO PRIMERO

LA LUZ Y LA VIDA

#### I

#### LOS ESPEJOS

El uso de los espejos es muy antiguo. Sin necesidad de remontarnos á los tiempos de Moisés, y al pasaje del *Exodo* en que se trata de los espejos de las mujeres que permanecian á la entrada del tabernáculo, sabemos que los antiguos egipcios los usaban tambien. En Grecia y en Roma se adornaban las paredes de las habitaciones con placas bruñidas y relucientes de acero, oro, plata, obsidiana y piedra especular; y á juzgar por lo que se desprende de varios párrafos de Plinio y Aristóteles, no fueron desconocidos de los antiguos los espejos de cristal forrado de una lámina metálica.

Hasta el siglo xv no reemplazaron á los espejos de metal bruñido las placas de cristal azogado, habiéndose fabricado los primeros en Flandes, y despues en Venecia, que tanta fama alcanzó por su superioridad en esta clase de industria. En un principio, y por espacio de mucho tiempo, sus dimensiones fueron muy reducidas, pues el arte de construir grandes piezas data solamente de fines del siglo xvii, época en que se fundó la magnífica fábrica de Saint Gobain. Nadie ignora cuán difundidos están hoy, cuán general se ha hecho su uso, ya para el tocador, ó ya para la ornamentacion interior y aun para la exterior. Si las lunas de los espejos tienen el inconveniente de ser sumamente frágiles, tambien gozan de inmensa superioridad sobre los objetos metálicos, cual es la de ser inalterables ó poco ménos, al paso que

aquellos se oxidan, se empañan y exigen gastos crecidos para su mejor conservacion.

Hoy las fábricas de espejos producen lunas de grandes dimensiones y de tersura perfecta que no cede en nada á la belleza de la misma sustancia trasparente. Cuanto más blanca ó mejor dicho, cuanto más incolora es esta sustancia, tanto más perfecta es la luna, porque entónces los rayos luminosos, que deben atravesar dos veces su espesor para llegar á la vista, despues de reflejarse en la superficie bruñida del azogado, no cambian de tono y se debilitan muy poco á causa de dicho doble paso.

Digamos una palabra acerca de la superficie reflectora de las lunas ó cristales *azogados*, superficie que no es el cristal mismo, como es sabido, sino una lámina tenue de una amalgama de estaño, que se aplica á la cara posterior del cristal. Hé aquí cómo se efectúa esta operacion. Sobre una mesa de piedra bien lisa, rodeada de pequeños canales, se extiende la hoja de estaño, cubriéndola en seguida con un baño de azogue. Se limpia perfecta y cuidadosamente la luna y se la desliza sobre la capa de mercurio, de modo que se aparte á uno y otro lado el excedente del metal líquido; en seguida, poniendo algun peso sobre aquella, se consigue la adherencia de las dos láminas metálicas amalgamadas á la cara del cristal que pesa sobre ellas.

Esta operacion en que entra el azogue es pernicioso para la salud de los obreros que á ella se dedican, por lo cual se ha tratado de sustituir el azogado por el plateado, extendiendo al efecto sobre la superficie del cristal un com-

puesto de nitrato de plata, amoniaco y ácido tártrico. La plata tiene, como la amalgama de estaño, una gran potencia reflectora, pero el color de las imágenes resulta ligeramente amarillento.

En Bélgica, en otros países del Norte y aún en Francia hoy día se suelen colocar fuera de las ventanas de las habitaciones espejos que, pudiendo girar sobre su eje ó sobre unos goznes, se les da la posición que se desee, de modo que reflejen hácia el interior de la habitacion la imagen de lo que pasa por la calle. Estos espejos, de que se valen tambien los almacenistas y tenderos para vigilar desde detrás del mostrador los aparadores exteriores de sus establecimientos, se conocen con el nombre de *espías* (fig. 204).

Tambien se hace uso de grandes espejos azogados ó metálicos para hacer que penetre la luz del cielo en el interior de una habitacion oscura: por lo general, se ven estos reflectores en las calles angostas y sombrías de las grandes ciudades (fig. 205).

Cuando la luz se refleja en una superficie bruñida, pero trasparente, reproducense tambien las imágenes, pero muy débiles, porque una gran parte de la luz incidente atraviesa la sustancia. Hé aquí la razon de que los espejos ordinarios estén azogados por su cara posterior, resultando entónces las imágenes como sobre un cuerpo opaco sumamente bruñido. Pero tambien se puede hacer uso de las lunas sin azogar, que aún en este caso reflejan imágenes muy brillantes y de vivos colores, cuando los objetos que tienen delante están fuertemente iluminados y al propio tiempo el espacio que las rodea, sumido en una oscuridad relativa, recibe poca ó ninguna luz difusa. Tal es el principio de las apariciones fantásticas que se presentan en los teatros con el nombre de espectros, y á las que se apela con muy buen éxito en los dramas terroríficos.

Para ello se deja casi á oscuras la platea, y entre esta y el escenario se pone un gran cristal. Dando á éste una posición inclinada (fig. 206), refleja la imagen de una persona, fuertemente iluminada por una luz que se dirige de lleno sobre ella desde el foso. El actor, á quien el espectador ve directamente en el escenario, y la imagen virtual, pero animada, del personaje

que se halla en el foso, pueden mezclarse, confundirse, hasta el punto de producir en los espectadores la ilusion de que en realidad ha aparecido un fantasma inmaterial é impalpable. La necesidad de dar cierta inclinacion al cristal hace que el fantasma no parezca perfectamente en equilibrio, defecto que notan más especialmente los espectadores situados á los lados.

Antes de describir los instrumentos científicos basados en el fenómeno de la reflexion en la superficie de los espejos planos, mencionemos una aplicacion interesante y fácil de las leyes de la reflexion, la cual tiene por objeto medir las alturas verticales de los objetos, como

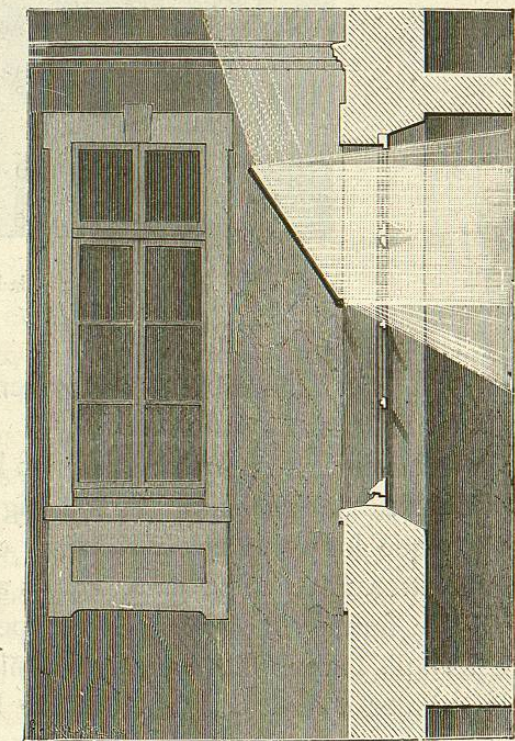


Fig. 205.—Reflector

árboles, casas, torres, etc. Colócase en el suelo y en posición perfectamente horizontal, un espejo plano entre el objeto cuya altura se ha de medir y el ojo. En seguida se aleja el observador siguiendo la línea que reúne el pié del objeto con el espejo hasta que ve en él la imagen A' de la cúspide A (fig. 207). En este momento fácilmente se comprende que la relacion entre la altura de la vista sobre el plano *b* y la de la altura de la cima A del árbol, es precisamente la que media entre la distancia horizontal *bo* y la distancia horizontal del pié del árbol en O. Una charca de agua no agitada por el viento produciría el mismo efecto, con una seguridad

más, la perfecta horizontalidad de la superficie reflectora.

En la *Primera Parte* de la Luz hemos descrito varias aplicaciones ingeniosas, recreativas ó útiles de la reflexion en los espejos planos, combinados entre sí de muchos modos: á ellos pertenecen el *anteojo mágico*, el *polemoscopio*, y el *kaleidoscopio*.

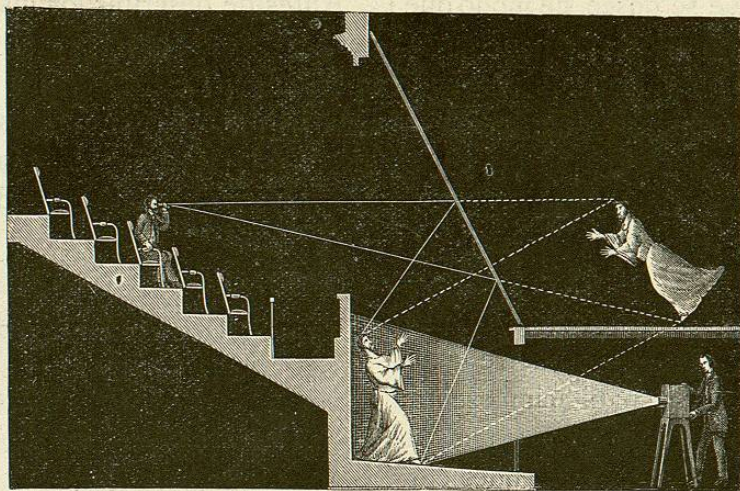


Fig. 206.—Colocacion de la luna sin azogar y posicion del fantasma

M. Bertin, en una conferencia que dió acerca de ellos en la Sorbona:

«Los pueblos del extremo Oriente, como los chinos y japoneses, no conocieron en lo antiguo más espejos que los metálicos, y aún hoy día no fabrican otros. Este objeto de tocador es allí de bronce, de forma y tamaño variados, pero siempre portátil. Tiene una de sus caras bruñida y por lo regular convexa, de suerte que las imágenes aparecen más pequeñas: la otra cara es plana y ligeramente cóncava, y va siempre adornada de figuritas de relieve de un trabajo más ó ménos perfecto y hechas ya al fundir el metal (fig. 208). Un corto número de estos espejos resultan al ser fabricados con una propiedad maravillosa, á saber: cuando da un rayo de sol en la superficie bruñida y se refleja en una pantalla blanca, trasmite á esta pantalla la imagen de los adornos que hay en la cara posterior. En el Japon, de donde se reciben ahora estos espejos, ni el fabricante que los hace ni el comerciante que los vende conocen sus propiedades; pero los chinos son sabedores de ellas hace ya mucho tiempo y las aprecian, por lo cual les dan un nombre que significa «espejos que se

## II

### LOS ESPEJOS MÁGICOS

En estos últimos tiempos se ha hablado con frecuencia de cierta clase de espejos, á los cuales se ha dado el nombre de *espejos mágicos*, porque presentan un fenómeno particular y maravilloso á primera vista. Véase cómo los describe

dejan atravesar por la luz (theu-kuang-kien).» Nosotros los llamamos *espejos mágicos*.

Arago presentó en 1844 á la Academia de Ciencias uno de estos espejos, de los que Brewster había propuesto doce años ántes una teoría, pero sin haber tenido el objeto en su poder y por consiguiente sin haber podido hacer ningun experimento. El físico francés dió en 1847 la verdadera explicacion del fenómeno. Vamos á resumirla brevemente, indicando ante todo cómo se hace el experimento.

Se puede utilizar simplemente la luz solar, exponer á los rayos del Sol la superficie bruñida del espejo, y recibir el haz reflejado en una pantalla blanca situada á cosa de un metro de distancia. El efecto es más intenso si se ilumina el espejo con luz divergente; el haz se dilata, puesto que la superficie del espejo es ligeramente convexa; se le puede recibir en una pantalla á mayor distancia: entónces la imagen del espejo aparece estampada en ella, y se ven con asombro los detalles de los adornos de relieve de la cara posterior del espejo, ó sea de la que no está iluminada, pareciendo estos detalles más luminosos que el fondo del espejo.

Un antiguo autor chino (del siglo XII) habia dado la siguiente explicacion del fenómeno; suponía que los relieves del reverso del espejo se habian reproducido en hueco en el anverso en el momento de fundirlo; que en estos huecos se habia introducido un bronce más fino que el del espejo, y que se habia bruñido en seguida la superficie, suponiendo debido el fenómeno á la desigualdad del poder reflector de los dos bronces. Brewster propuso sobre poco más ó ménos esta misma explicacion, pero posteriormente se ha reconocido que era inadmisibles, por cuanto la superficie del espejo está amalgamada.

Hé aquí la verdadera teoría de los espejos mágicos.

Person observó que la superficie bruñida del espejo no era regularmente convexa, y que sólo las partes correspondientes á los huecos del reverso del espejo tenían esta regularidad. Las partes de dicha superficie que corresponden á los relieves, es decir, á los contornos de los dibujos de la cara posterior, eran planas. Resulta de aquí que los rayos luminosos que dan en las partes convexas van divergiendo á formar una imagen, aunque tenue, y relativamente oscura, del espejo. Los rayos del haz que se reflejan en las partes planas salen de ellas paralelamente y las imágenes que forman en la pantalla son

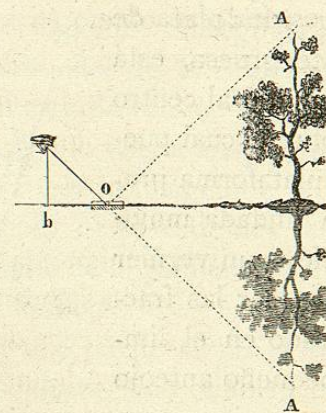


Fig. 207.—Medicion de la altura vertical de un objeto

más luminosas que las del fondo del espejo. Así se comprende que los dibujos se vean blancos en la pantalla.

La irregularidad de forma de que se trata procede del modo de fabricacion y del bruñido de los espejos. Segun M. Ayrton, ilustrado profesor de la Escuela de ingenieros de Yeddo,

hé aquí lo que practican los fabricantes de espejos japoneses:

«Al salir el espejo de la fundicion en forma de disco plano, y ántes de bruñirlo, se le raya desde luégo en todas direcciones con un punzon, presentando como es natural más resisten-

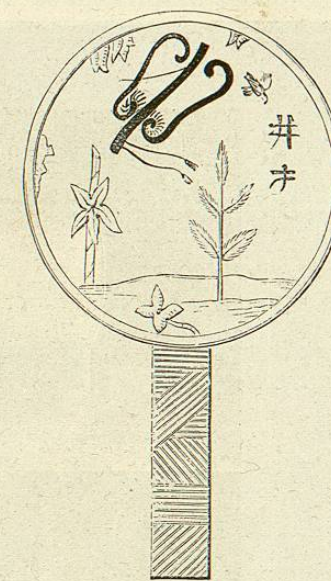


Fig. 208.—Espejo mágico japonés

cia en las partes gruesas que en las delgadas. Esta operacion le hace ante todo ligeramente cóncavo, y se torna convexo á causa de la reaccion elástica del metal, siendo esta convexidad más perceptible en las partes delgadas que en las que corresponden á los relieves del dibujo.»

Los experimentos recientes hechos por Govi en Italia y por Bertin y Duboscq en Francia han confirmado plenamente la explicacion dada por Person en 1847, y demostrado además que se puede aumentar la desigualdad de curvatura que engendra el fenómeno, sometiéndolo a una temperatura elevada, ó lo que da el mismo resultado, á una fuerte presion. Cuando se calienta el espejo por detrás, las partes delgadas se caldean con más rapidez que las gruesas; la presion produce el mismo efecto, y en ambos casos, son más marcadas las desigualdades de la superficie reflectora del espejo, siéndolo también el efecto mágico.

## III

### EL SEXTANTE

Dábase en otro tiempo el nombre de *octante* ó *cuadrante de reflexion* al instrumento que va-

mos á describir y del que se sirven los marinos para tomar las alturas de los astros ó las distancias angulares de la Luna y de las estrellas entre sí.

Inventólo Hadley en 1731, pero muchos sabios, entre ellos Newton, Hooke, Tomás God-

frey de Filadelfia y Harris, concibieron la idea de construir un instrumento semejante, basado en el mismo principio. Sin embargo, Hadley fué el primero que lo fabricó y que demostró su gran utilidad.

El sextante es una aplicacion de un princi-

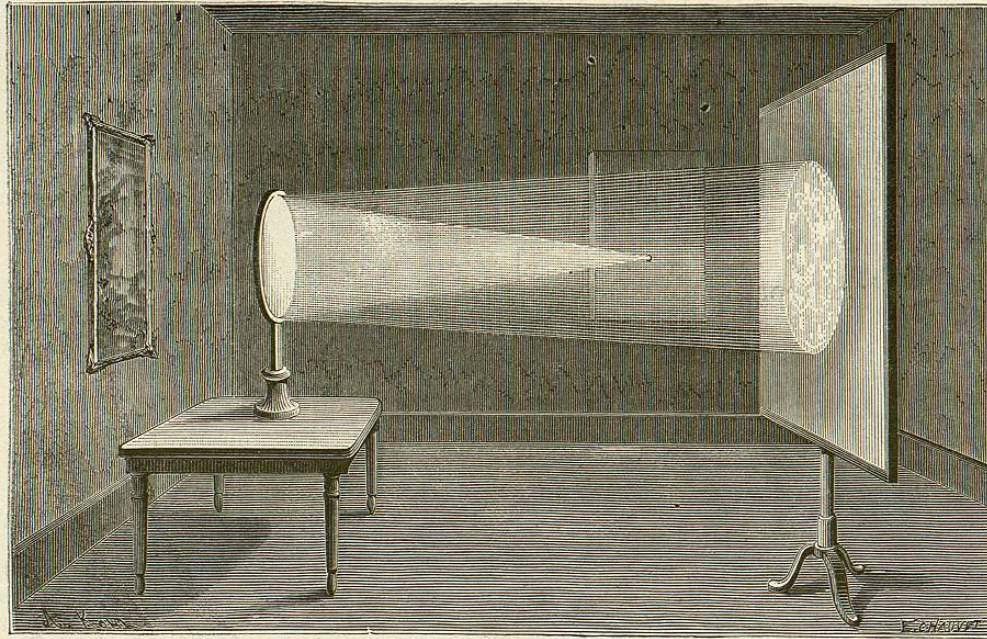


Fig. 210.—Experimento hecho con un espejo mágico

pio muy sencillo de geometría y de física, que es á su vez una consecuencia inmediata de las leyes de la reflexion de los rayos luminosos (1).

Cuando un rayo de luz ha pasado antes de llegar á la vista, por dos reflexiones sucesivas en dos espejos planos, el ángulo de desviacion de este rayo es rigorosamente doble que el ángulo de los dos espejos.

Sea SI un rayo luminoso emanado de un foco, por ejemplo de una estrella; cae en I sobre el espejo M, refléjase allí, sigue la direccion IP, y va á parar á otro espejo N, donde se refleja de nuevo, y siguiendo la direccion Po, llega entónces á la vista.

El ángulo IOP es doble que el ángulo  $a$  que forman entre sí los dos espejos.

Hé aquí ahora la descripcion del sextante tal como se emplea hoy.

Se compone de un sector circular cuyo arco está dividido con cuidado en unos 60 grados, de lo cual procede su nombre de *sextante*, pues

en otro tiempo sólo tenia 45 grados, ó sea la octava parte de la circunferencia, y de aquí su nombre primitivo *octante*: el que representa la figura 212 tiene 85 grados.

El arco, que es una placa de metal bastante gruesa, está sólidamente unido al centro del sector, sobre el cual puede girar una plataforma provista de una alidada movable, la cual lleva un vernier V que permite leer las fracciones de grado en el limbo:  $l$  es un pequeño anteojo de aumento que sirve para este último uso. En el centro del sector y en la prolongacion de la línea del cero de la alidada movable, hay un espejo azogado M colocado perpendicularmente, y por lo tanto se mueve á la par de la alidada. En uno de los lados del sector y en direccion exactamente paralela al rayo que va á parar al cero de las divisiones del arco hay otro espejo fijo M';

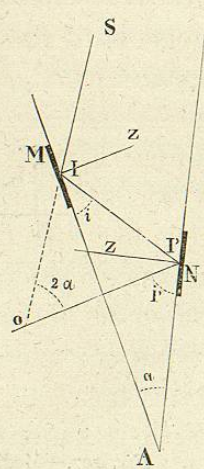


Fig. 211.—Principio teórico del sextante

(1) Ya hemos tenido ocasion de valernos de este principio al exponer el procedimiento ideado por Leon Foucault para medir la velocidad de la luz.

el cual sólo está azogado en la mitad inferior, siendo trasparente en la otra mitad.

Merced á un anteojo L fijado en el radio opuesto del sector se puede ver por transparencia en su foco un punto situado en direccion LS', y por reflexion otro punto luminoso doblemente reflejado en I sobre el primer espejo, y en I' sobre el segundo. Cuando estas dos imágenes coinciden, claro está que el án-

gulo de los rayos luminosos SI, S'I' es doble que el ángulo de los dos espejos, en virtud del principio anteriormente expuesto. Luego el ángulo de aquellos es entónces precisamente igual al que forma la alidada movable con el cero del sextante.

Ahora se comprenderá fácilmente cómo se hace uso del instrumento.

El observador lo coge por un mango con la

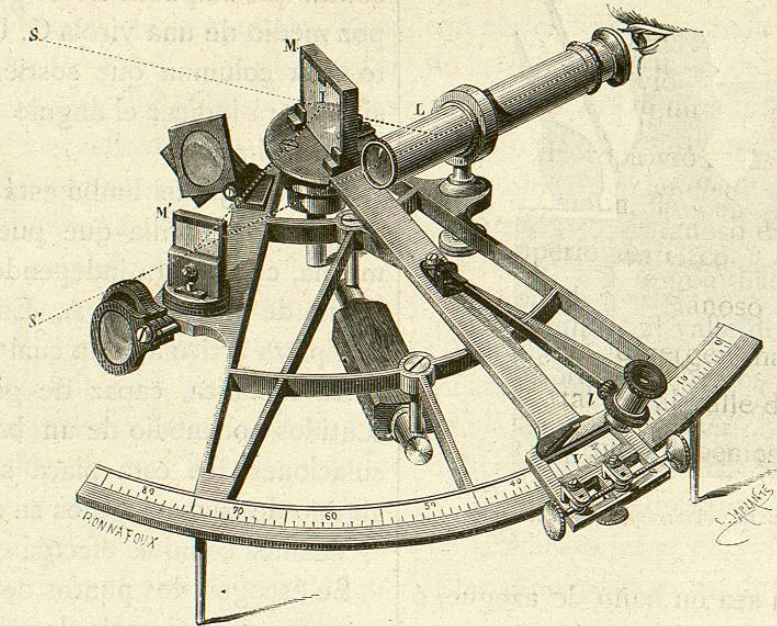


Fig. 212.—Sextante

mano derecha, y aplicando en seguida el ojo al ocular del anteojo, lo asesta á un objeto, por ejemplo á una estrella, al través de la parte no azogada del espejito. Enseguida hace girar el sextante alrededor de la línea de mira hasta que la otra estrella esté en el plano del sector. Entónces, dando vuelta á la alidada y al espejo mayor, hace que la imagen de la segunda estrella coincida, despues de dos reflexiones sucesivas, con la de la primera, en el centro del campo del anteojo.

«No tan sólo puede servir el sextante para observar la altura, sino tambien para medir la distancia angular de dos objetos situados en una posicion cualquiera relativamente al horizonte. No es menester instalarlo de ningun modo, pues se hacen las observaciones teniéndolo en la mano; así es que se le utiliza especialmente en el mar, por cuanto posee la preciosa propiedad de representar á la vez los dos objetos cuya distancia angular se desea conocer, y de reunirlos uno á otro como si no formaran más que un solo cuerpo, y esto á pesar

de los movimientos del buque y del observador. Con él se hacen hoy casi todas las observaciones astronómicas tan necesarias para los marinos, ya las del tiempo y de la latitud tomando la altura del Sol y de las estrellas, ó bien las de las longitudes geográficas midiendo las distancias lunares.» (Brünnow, *Tratado de astronomía práctica.*)

Cuando se quiere medir la distancia angular de una estrella á la Luna, se asesta el sextante directamente á la estrella, y en seguida se hace que la imagen del borde del disco luminoso llegue á ponerse en contacto con la de la estrella. Si se trata de la distancia del Sol á la Luna, se pone la imagen del primero en contacto con la de la segunda; pero entónces hay que colocar vidrios de colores delante de cada espejo para atenuar la intensidad de los rayos del Sol, estando estos vidrios sustentados por ejes paralelos al plano del sextante, y formando grupos de tres ó cuatro cuyo color se consigue oscurecer más y más de este modo.

Por último, si la distancia angular que se