

cidas cuanto mayor es la distancia del objeto al espejo. Si la abertura de este es muy grande, se nota una deformación que está en relación de la amplitud de aquella. Cualquiera puede cerciorarse de esta circunstancia examinando

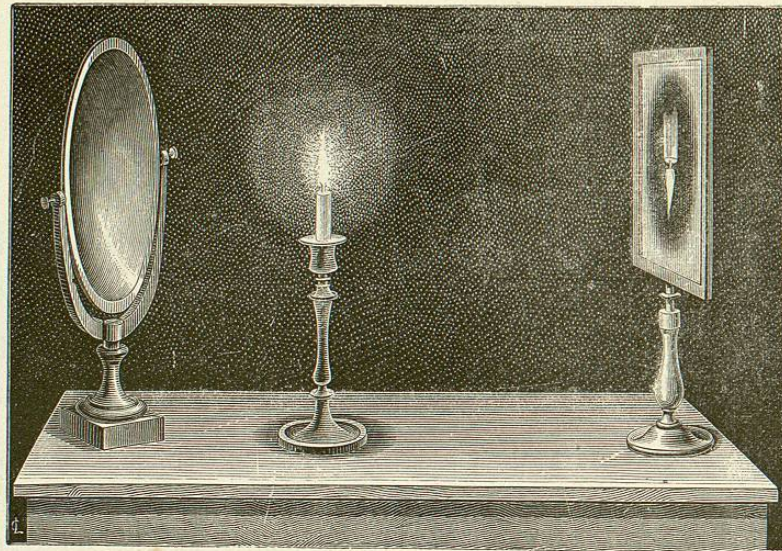


Fig. 38. — Espejo cóncavo: imagen invertida, mayor que el objeto

en cuya superficie se refleja todo el paisaje de alrededor.

También se hace mención en óptica de los espejos parabólicos cóncavos, que tienen la propiedad de concentrar los rayos paralelos al eje de la parábola en el foco de esta curva, cualquiera que sea la abertura del espejo, y que reflejan del mismo modo, en haces paralelos, toda la luz de un objeto luminoso situado en el foco. Los espejos esféricos no dan este resultado sino cuando su abertura es muy pequeña.

Para resolver los diferentes problemas relativos á los espejos esféricos convexos ó cóncavos, es preciso conocer su radio de curvatura, es decir, el radio de la esfera á que pertenecen. Ya se ha visto que este radio es el doble de la distancia focal, por consiguiente la cuestión se reduce á averiguar prácticamente la posición del foco, cosa fácil respecto de un espejo cóncavo, pues exponiéndolo á los rayos solares y recibiendo la imagen en una pantalla, se encuentra en seguida la posición en la que esta imagen tiene las dimensiones más reducidas: entonces la distancia focal es la de la pantalla al espejo.

Si el espejo es cóncavo, se cubre su superficie con una hoja de papel negro en la que se han abierto previamente dos agujeros p y p' .

una bola bruñida semejante á la representada en la figura 46. Por lo regular se coloca en los jardines esta clase de espejos esféricos (que son globos de cristal azogados interiormente, ó bien de cristal negro, llamados *globos heriscópicos*),

Entonces se vuelve el espejo hácia el sol, y por medio de una pantalla que tenga una abertura conveniente se busca la posición respecto de la

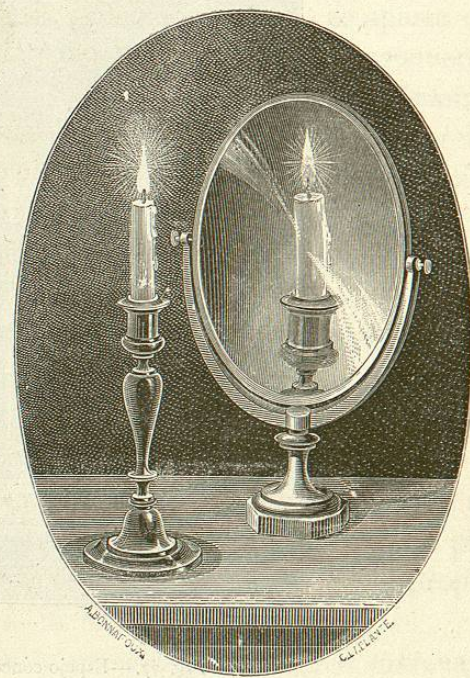


Fig. 39. — Espejo cóncavo: imagen virtual, recta y mayor que el objeto

cual el intervalo de las dos líneas R y R' de los haces reflejados por los puntos p y p' es doble que la distancia entre estos puntos. Entonces la distancia GA de la pantalla al espejo es igual á la focal, como fácilmente se prueba en

la figura por la comparación de los triángulos semejantes Fpp' y $FR'R'$.

Cuando se examina cuál es, para un espejo esférico, la marcha de los rayos reflejados procedentes de un punto luminoso situado en el

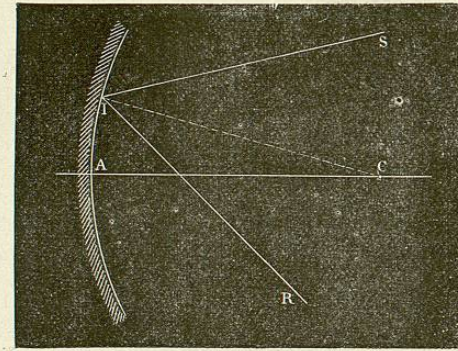


Fig. 40. — Marcha de un rayo luminoso en la superficie de un espejo cóncavo

eje á cualquier distancia, reconócese que estos rayos se cortan sucesivamente, primero en los diferentes puntos del mismo eje, y luego fuera de él, de suerte que los puntos de intersección forman una superficie que los geómetras llaman *caústica*. La luz se acumula en todos los puntos de esta superficie más que en cualquiera otra parte, estando su mayor concentración en el foco del punto dado. La caústica varía de forma con la posición y la distancia del punto luminoso; pero es posible comprobar prácticamente su existencia.

Hácese uso con este objeto de una pantalla de cartón blanco, recortada de modo que reproduce la forma del espejo al pasar por su centro. Expuesta á la luz del Sol ó á la de una lámpara, se nota en ciertas partes de la pantalla una luz más viva cuyos contornos indican la forma de la caústica, forma que es evidentemente la

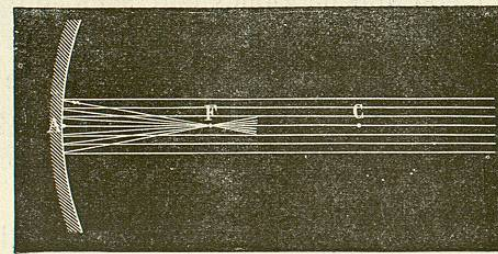


Fig. 41. — Espejo cóncavo: marcha y reflexion de los rayos paralelos al eje. Foco principal

misma, cualquiera que sea la posición de la pantalla alrededor del centro. Una placa circular de metal, bruñida interiormente, y puesta sobre un plano, indicaría del propio modo la forma de esta curva con respecto á un espejo

cilíndrico (figura 49). Brewster fué quien ideó este experimento.

Cuando se expone á los rayos del sol un vaso lleno de leche, ó mejor aún, lleno de tinta, como dice J. Herschel, se ve en la superficie líquida una línea curva brillante con un punto de retroceso hácia el foco: este punto es la intersección de la caústica del espejo cilíndrico cóncavo que forma el vaso con el plano que limita el líquido en la superficie superior (fig. 50).

VI

IMÁGENES EN LOS ESPEJOS CILÍNDRICOS Y CÓNICOS. — ANAMORFÓISIS

Los espejos cilíndricos convexos ó cóncavos producen imágenes en las que no aparecen alteradas las dimensiones de los objetos en el sentido de la longitud del cilindro ó de sus aristas, pero que en cambio sufren una mudanza en una dirección perpendicular á la primera, es

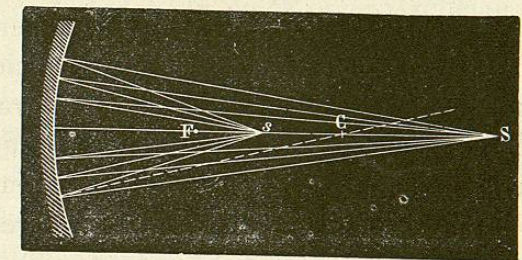


Fig. 42. — Espejo cóncavo: focos conjugados

decir, según las circunferencias de las secciones normales. Los rayos reflejados á lo largo de una misma arista siguen la marcha que emprenderían en un espejo plano; los que se reflejan en la circunferencia misma van por el rumbo que les haría tomar la reflexión en un espejo esférico. Si el cilindro es convexo, la imagen se estrechará; si cóncavo, tan pronto aparecerá más estrecha como más ancha, según la distancia del objeto al espejo.

Las imágenes producidas por reflexión en los espejos cónicos convexos, se deforman en el sentido de las circunferencias, y como el grado de curvatura cambia de la base al vértice, resulta que las dimensiones sufren una depresión lateral tanto mayor cuanto más cerca estén del vértice. Si la superficie cónica fuese cóncava, la forma de la imagen sería piramidal, pero en ciertas posiciones del objeto, sería ensanchada.

En todos estos espejos, la reflexión de los

rayos luminosos se efectúa siempre con arreglo á las leyes que hemos consignado; de suerte que se han podido hacer dibujos raros y disformes, en los que no se discierne forma alguna determinada y que, sin embargo, al reflejarse en espejos cilíndricos y cónicos, presentan una imagen que es representacion exacta de algun objeto conocido. Dase el nombre de *anamorfosis* á esta inversion de formas. En las tiendas de objetos de óptica ó de quincalla se venden cuadros cuyas líneas y colores se han combinado para producir imágenes regulares de paisajes, de personajes, de animales, etc., cuando se pone en el centro del cuadro el espejo cilíndrico ó cónico, para el cual se han trazado (figs. 51, 52 y 53).

VII

LUZ REFLEJADA CON IRREGULARIDAD Ó LUZ DIFUSA

Hasta aquí tan sólo nos hemos ocupado de la luz reflejada con regularidad en la superficie de los cuerpos pulimentados; y los fenómenos que origina esta reflexion demuestran suficientemente, segun dejamos dicho, que si el grado de pulimento fuese perfecto, el cuerpo reflector sería invisible para nosotros: se vería la imagen más ó ménos deformada de los objetos luminosos que rodean á dicho cuerpo, pero sin ver á este. Y si todos los cuerpos se hallasen en el mismo caso, á excepcion de los focos de luz, el ojo no divisaría más que una muchedumbre infinita de imágenes de cuerpos luminosos, por ejemplo, del Sol, sin ver otra cosa. Si en una cámara oscura se dirigen los rayos solares hácia un espejo, la superficie de este da una imagen deslumbradora del Sol, pero los demás puntos del cuerpo reflector son ligeramente visibles tan sólo á causa de la escasa fraccion de luz que se refleja irregularmente en su superficie. Esta luz difusa es la que permite ver el espejo desde todos los puntos de la cámara oscura (1).

La proporcion de luz especular y de luz di-

(1) Por consiguiente, un cuerpo no luminoso por sí mismo se hace visible merced tan sólo á la luz difusa que su superficie refleja por todas partes. Sin embargo, más adelante veremos que hay un gran número de sustancias que tienen la propiedad de emitir luz propia, cuando se las expone á los rayos de un foco luminoso más ó ménos intenso; tales son las sustancias llamadas fosforescentes. Quizás disfruten todos los cuerpos de la misma propiedad en grados muy diferentes, de suerte que tal vez deban su visibilidad en parte á la fosforescencia, y en parte también á la difusion de la luz.

fusa reflejada por un cuerpo varía, no tan sólo con el pulimento de la superficie, sino también con la naturaleza y color del cuerpo y además con el ángulo de los rayos incidentes. Una hoja de papel blanco mate refleja la luz en todas direcciones; pero su blancura es tanto más deslumbradora cuanto más perpendicularmente está expuesta al foco luminoso. Si el observador se coloca para examinar la superficie de la hoja en direcciones cada vez más oblicuas, la proporcion de la luz difusa disminuye, y por lo tanto el brillo de la superficie. En cambio el ojo recibe rayos más y más numerosos reflejados irregularmente, de suerte que poniendo la

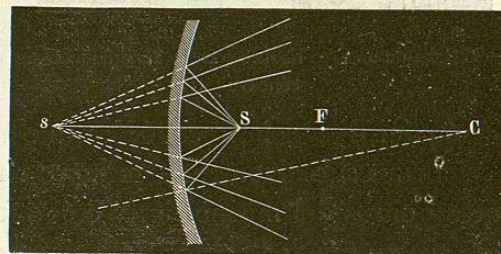


Fig. 43.—Espejo cóncavo: foco virtual

llama de una bujía muy cerca de la superficie de una hoja de papel, y observándola oblicuamente en direccion opuesta, se ve una imagen muy distinta de la llama, reflejada como en un espejo (fig. 54).

Al decir que la luz difusa es la luz reflejada irregularmente, esto no significa que los rayos de que se compone sigan al reflejarse otras leyes que la luz especular. La irregularidad á que nos referimos procede de las asperezas de la superficie de los cuerpos mates, rugosos, que reciben la luz con distintas incidencias y los reflejos en todas direcciones (fig. 55). Cuando se mira con mucha oblicuidad semejante superficie, las asperezas se ocultan unas á otras y crece el número de los rayos emanados de elementos paralelos á la direccion general de la superficie, lo cual explica la proporcion creciente de la luz reflejada con regularidad.

No es dudoso que la cantidad de luz reflejada especularmente varíe con el estado de la superficie de los cuerpos. Un trozo de cristal terso se convierte en un espejo, pero deslustrado, casi no refleja más que luz difusa. En el mismo caso se hallan la madera pulimentada, el mármol, el asta, y otra porcion de sustancias. Pero el *poder reflector*, aplicando este

nombre á la propiedad de reflejar especularmente la luz en mayor ó menor proporcion, varía á igualdad de pulimento con la naturale-

za de las sustancias y con el ángulo de incidencia. De cien rayos recibidos por el agua, el cristal, el mármol negro pulimentado, el azo-

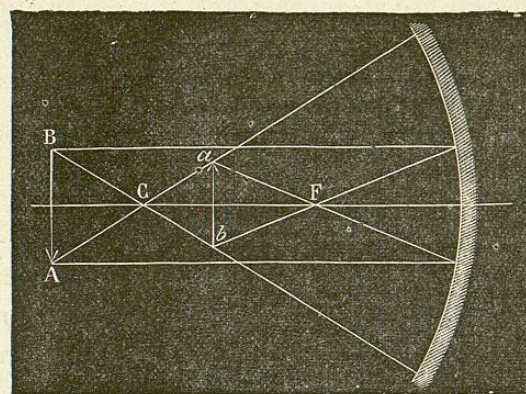


Fig. 44.—Espejo cóncavo: imágenes reales é invertidas de los objetos

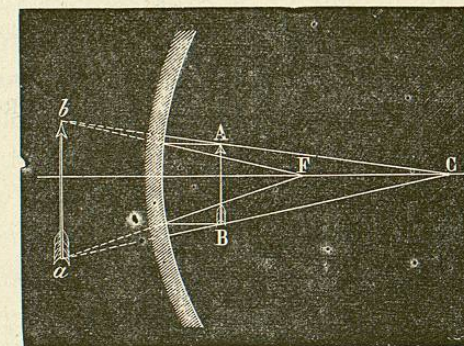


Fig. 45.—Espejos cóncavos. Imagen recta y real de los objetos

gue, el estaño de espejos, con una incidencia de 500, la primera refleja 72, el segundo 54, y el tercero 60 y el mercurio y el estaño de es-

más que de 2 ó 3 á lo sumo entre 60° y 90°; al paso que con esta última incidencia el mercurio refleja todavía 60 rayos sobre 100.

Los cuerpos de color oscuro reflejan muy poca luz. El negro de humo no refleja luz difusa, y si tan sólo una escasa cantidad de luz especular.

Cuando la reflexion de la luz tiene efecto en una superficie pulimentada, pero trasparente, reproducense también las imágenes, pero muy debilitadas, porque una gran parte de la luz incidente atraviesa la sustancia. Por esta causa los espejos se azogan por su parte posterior y entonces las claras imágenes que se forman en la capa metálica opaca de gran pulimento, amortiguan con su brillo las tenues imágenes producidas por la reflexion en la cara anterior del cristal.

Pero también se pueden emplear las lunas sin azogar, produciendo imágenes muy brillantes y de vivos colores, cuando los objetos que reflejan reciben mucha luz y al mismo tiempo el espacio que las rodea, sumido en una oscuridad relativa, recibe poca ó ninguna luz difusa. En esto se basa el principio de las apariciones fantásticas conocidas en el teatro con el nombre de *espectros*, acerca de lo cual indicaremos algo en las *Aplicaciones de la óptica*.



Fig. 46.—Imagen recta virtual en los espejos esféricos convexos

pejos 70. Si la incidencia aumenta, el número de rayos reflejados disminuye para los tres primeros cuerpos en progresion rápida, no siendo