

CAPÍTULO VI

ÓPTICA

SUMARIO. — Propagación y velocidad de la luz. — Sombra y Penumbra. — Fotómetros. — Reflexión y refracción. — Espejos, lentes y prismas. — Descomposición y recomposición de la luz. — Espectroscopios. — Estructura del ojo. — Instrumentos de óptica. — La fotografía y sus aplicaciones á las ciencias.

129. *La luz.* — La luz es el agente físico que por su acción sobre la retina del ojo produce en nosotros el fenómeno de la visión.

Los antiguos tenían ideas muy curiosas acerca de la luz. Los pitagóricos decían «que el ojo proyecta fuera de sí una infinidad de rayos que, cual otros brazos invisibles, van á pulsar y examinar los objetos percibidos, resultando de aquí la imagen visual de esos objetos».

Los epicúreos creían que las imágenes que se forman en el ojo son emanación de los objetos.

Tuvo que llegar la época en que á falsas teorías sucediera el método de observación experimental para encontrar hipótesis más científicas: éstas fueron la de la emisión y la de las ondulaciones.

En la primera se admite que los cuerpos luminosos emiten en todas direcciones, bajo la forma de

partículas extremadamente tenues, una substancia imponderable que se propaga en línea recta con una velocidad casi infinita. Aquellas partículas penetraban en el ojo y al obrar sobre la retina causaban la sensación de la luz. Esta teoría fué sostenida por Newton.

La segunda hipótesis ó de las ondulaciones, sostenida por Grimaldi, Descartes, Huyghens, Young y Fresnel, considera que las moléculas de los cuerpos luminosos están animadas de un movimiento vibratorio infinitamente rápido que se comunica á un fluido muy sutil y elástico, llamado *éter* y difundido por todo el Universo. Una conmoción en un punto cualquiera del *éter* se propaga en forma de ondas esféricas luminosas, de manera idéntica á como se propaga el sonido en el aire.

Hay que hacer, sin embargo, una distinción: las vibraciones del *éter* en el caso del sonido se producen perpendicularmente á la superficie de la onda sonora, mientras que en el caso de la luz las vibraciones del *éter* se producen según la misma superficie de la onda, lo cual se expresa diciendo que las vibraciones son transversales.

130. *Cuerpos luminosos y opacos.* — Se da el nombre de cuerpos luminosos á los que emiten luz como el sol y las substancias ígneas; cuerpos opacos son aquellos que no se dejan atravesar por la luz, como las maderas y los metales; los metales, sin embargo, reducidos á hojas muy delgadas dejan pasar la luz. Cuerpos diáfanos ó transparentes son los que fácilmente dejan pasar la luz y á través de los cuales se pueden percibir los objetos como el agua, el aire y el vidrio. Por último, cuerpos translúcidos son los que permiten el paso de la luz, pero

no dejan ver los objetos colocados del otro lado como el vidrio apagado y el papel de China.

131. *Haz luminoso.*—Se llama haz luminoso un conjunto de rayos que tienen el mismo origen. Los rayos luminosos emitidos por una manantial luminoso forman un *haz paralelo*; los rayos luminosos salidos de un manantial luminoso artificial forman un *haz de luz divergente*.

Tomemos como manantial luminoso la flama L L

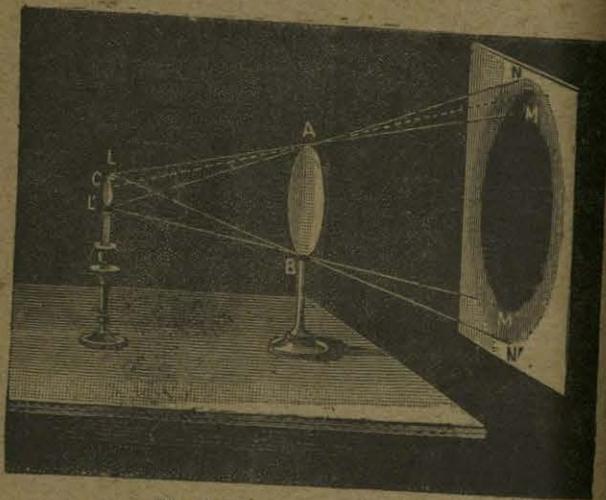


Fig. 171. Sombra y penumbra.

de una bujía delante de la cual colocamos una pantalla circular A B paralela á uno de los muros de la sala. Obtendremos sobre el muro una *sombra* circular M M' y alrededor de esta sombra se formará una *penumbra* N N' fuera de la cual el muro queda iluminado por toda la flama de la bujía.

La sombra es aquella parte en que un cuerpo opaco impide la llegada de la luz, y se obtiene gráficamente llevando las tangentes exteriores del cuerpo

luminoso á los bordes del cuerpo opaco; la penumbra es la zona sombría intermediaria entre la sombra y la luz, y se obtiene trazando las tangentes exteriores L N' y L' N.

132. *Leyes de la intensidad de la luz.*—1.^a La intensidad de la luz en una superficie dada, está en razón inversa del cuadrado de la distancia al foco luminoso.

2.^a La luz recibida oblicuamente es proporcional

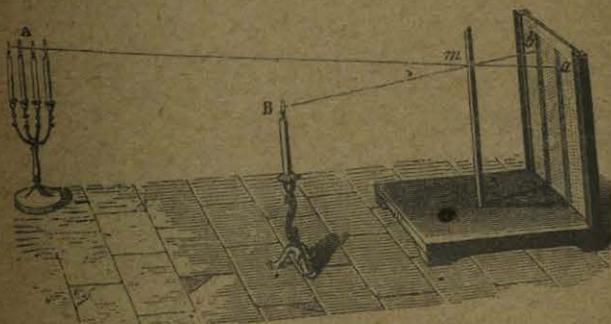


Fig. 172. Fotómetro de Rumford.

al seno del ángulo que forman los rayos luminosos con la normal de la superficie iluminada.

La primera ley se demuestra por medio de los *fotómetros*, aparatos que también sirven para medir las intensidades relativas de dos luces.

133. *Fotómetro de Rumford.*—El fotómetro de Rumford se compone de una pantalla de cristal despulido, fija sobre una plancha horizontal de madera. Delante de la pantalla está una varilla vertical *m* destinada á producir las sombras que se van á comparar. Supongamos que á cierta distancia de la pantalla colocamos una vela encendida. La luz de esta vela hará que la varilla produzca una sombra sobre el cristal despulido. Si á una distancia

doble colocamos otra vela igual, la varilla produce otra sombra, pero mucho menos intensa que la primera. Añadiendo velas á la que está colocada más lejos, veremos que al reunirse cuatro velas se igualan las intensidades de las dos sombras, lo que confirma la primera ley, pues al hacerse la distancia doble, el poder luminoso de cada vela se redujo á la cuarta parte y naturalmente necesitamos cuatro velas para obtener el efecto de una sola colocada

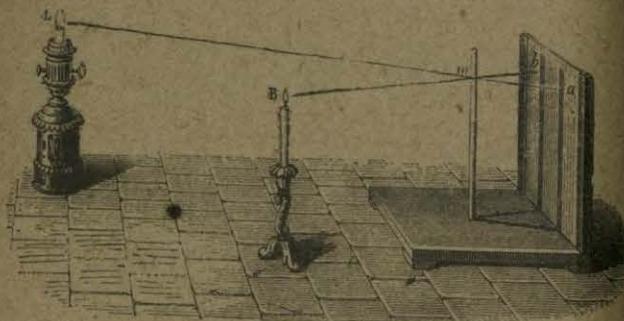


Fig. 173. Medida de las intensidades relativas de dos luces.

la distancia-unidad. Si la distancia se hace triple necesitaríamos nueve velas.

Para medir la intensidad relativa de dos luces se coloca una vela á una distancia que tomamos por unidad, 50 centímetros, por ejemplo, y en seguida vamos retirando la luz cuya intensidad tratamos de determinar, comparativamente á la de la vela. Supongamos que se trate de una lámpara y que hayamos tenido necesidad de colocarla á la distancia de 1^m50 para que las sombras proyectadas por la varilla sean iguales. Como la distancia á que se encuentra la lámpara es triple de la distancia á que se encuentra la vela, la intensidad de la lámpara

corresponderá á la de 9 velas. Llamemos i é i' á las intensidades de la lámpara y de la vela á la unidad de distancia, y d y d' sus distancias respectivas á las sombras proyectadas.

En virtud de la primera ley de la intensidad de la luz, la intensidad del quinqué á la distancia d es $\frac{i}{d^2}$ y la intensidad de la vela á la distancia d' , es $\frac{i'}{d'^2}$. Puesto que las intensidades de las sombras son iguales en la pantalla, tenemos que:

$$\frac{i}{d^2} = \frac{i'}{d'^2},$$

luego las intensidades de dos luces son directamente proporcionales á los cuadrados de sus distancias á las sombras proyectadas.

134. *Fotómetro de Bunsen.* — El fotómetro de Bunsen se compone sencillamente de un marco vertical de madera en el que está restirada una hoja de papel blanco. En el centro de esta hoja hay una manchita circular de aceite. Si colocamos una vela de un lado del fotómetro y observamos del mismo lado, veremos el papel brillante y la mancha opaca; si observamos el fotómetro del lado contrario á la vela, veremos el papel opaco y la mancha brillante; pero si iluminamos el papel de ambos lados con la misma intensidad, la mancha desaparece. En este hecho se funda el fotómetro de Bunsen. Colocando una vela de un lado á una distancia tomada como unidad y viendo á qué distancia habría que colocar del otro lado una luz para hacer desaparecer la mancha, se obtendría fácilmente la intensidad de esta luz con respecto á la de la vela.

135. *Propagación y velocidad de la luz.* — La luz

se propaga en línea recta cuando camina en un medio homogéneo.

Para convencerse de esto se coloca una frente a otra tres pantallas de metal pintadas de negro, tres del mismo tamaño y cada una lleva en el centro un agujero circular. Colocadas las tres pantallas paralelamente y con sus pies sobre una misma línea recta, previamente trazada sobre la mesa, es claro que los tres agujeros quedarán también en línea recta. Ahora bien, si frente al agujero de la primera pantalla colocamos la flama de una vela y dirigimos una visual por el agujero de la tercera pantalla, observaremos claramente la flama; pero basta desviar un poco la segunda pantalla para que la flama deje de percibirse, porque entonces los tres agujeros no están en línea recta.

Galileo fué quien por primera vez trató de medir la velocidad de la luz colocando dos lámparas a una distancia de dos kilómetros. En cada estación había un observador y estaba convenido que uno de éstos debía, en un momento dado, ocultar la luz con una pantalla y el otro observador ocultar su luz apenas viese desaparecer la otra. Galileo nunca pudo apreciar diferencia alguna de tiempo entre los dos fenómenos: las dos lámparas se apagaban á la vez.

El astrónomo dinamarqués Røemer fué quien en 1675 calculó en el Observatorio de París, la velocidad de la luz por medio de las ocultaciones del primer satélite de Júpiter y obtuvo para esa velocidad 308 millones de metros por segundo.

136. *Imágenes á través de las pequeñas aberturas.*—Cuando sobre una pantalla blanca se reciben los rayos luminosos que penetran en un cuarto obscuro

por una pequeña abertura, se observan claramente las imágenes de los objetos exteriores, nada más que invertidas. Además, la forma de estas imágenes es independiente de la forma del agujero. Si las imágenes se invierten se debe á que los rayos luminosos que proceden de los objetos exteriores se cruzan al pasar por el agujero, y como siguen propagándose en línea recta, puesto que no cambian de medio, los rayos salidos de los puntos más altos van á herir la pantalla en los más bajos y recíprocamente.

La demostración de que la imagen es indepen-

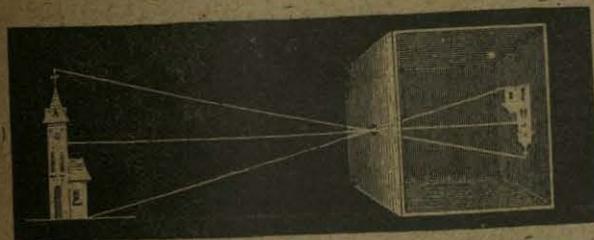


Fig. 174. Imagen á través de una pequeña abertura.

diente de la forma del agujero se hace sencillamente observando que en la sombra de los árboles todas las imágenes del Sol se ven circulares ó elípticas, mientras que los intersticios que quedan entre las hojas distan mucho de tener cualquiera de esas dos formas.

137. *Unidad de luz.*—Para medir las intensidades de los diversos focos es indispensable tener una unidad de luz que se llama *patrón*. La unidad de luz adoptada legalmente es la cantidad de luz que emite, en dirección normal, un centímetro cuadrado de platino fundido á la temperatura de solidificación.

REFLEXIÓN DE LA LUZ

138. Se entiende por *reflexión* el cambio de dirección que experimenta un rayo luminoso al chocar contra una superficie pulida.

Consideremos, por ejemplo, la superficie AB que sobre ella en el punto R caiga un rayo CR . Éste se refleja en la dirección RC . Levantando en R una línea RD perpendicular á la superficie AB quedarán formados dos ángulos CRD , que se

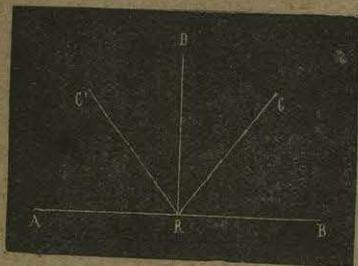


Fig. 175. Reflexión de la luz.

llama ángulo de incidencia y DRC ángulo de reflexión.

139. Las leyes que está sujeto el fenómeno de la reflexión son dos:

1.^a El ángulo de incidencia es igual con el ángulo de reflexión.

2.^a El rayo incidente y el rayo reflejado se encuentran en un mismo plano perpendicular á la superficie reflectora.

Estas leyes se demuestran por medio del aparato de Silbermann. Este aparato se compone de un círculo vertical graduado y sostenido por una columna y un tripié con tornillos de nivelación. El círculo lleva en su parte media un espejito ó cristal negro horizontal que va á servir de superficie reflectora.

Por la parte posterior del círculo pueden moverse dos reglas que llevan unos tubos pintados interiormente de negro y en cuyas bases hay unos taladros

por uno de los tubos debe pasar el rayo luminoso y por el otro se dirige la visual. Cada regla lleva un tornillo que permite fijarla sólidamente contra el círculo. Supongamos un rayo luminoso Mm que incide sobre el espejo y que por lo tanto se llama *rayo incidente*; el ángulo formado por este rayo con

la normal mA se llama *ángulo de incidencia* y puede ser medido directamente en el círculo desde A (donde está el cero) hasta B , donde suponemos que está 45° . Se aprieta el tornillo de esta regla y se mueve la otra regla hasta que dirigiendo una visual por E se vea la luz en el espejo. El rayo mE se llama *rayo reflejado*, y el ángulo formado por el rayo mE con la normal mA recibe el nombre de *ángulo de reflexión*. Una vez que vimos ya la luz reflejada, se aprieta el tornillo y se lee el ángulo AC , que resulta enteramente igual al ángulo AB . Aumentando ó disminuyendo el ángulo de incidencia, se ve que aumenta ó disminuye proporcionalmente el ángulo de reflexión, con lo que queda demostrada la ley.

La segunda ley se demuestra teniendo en cuenta que los ejes de los tubos están en un plano paralelo

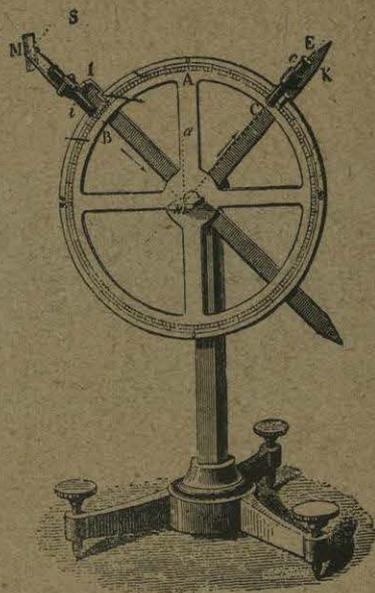


Fig 176. Aparato de Silbermann.

al plano del círculo, y siendo éste perpendicular al espejo, los rayos incidente y reflejado, que se confundido con los ejes de los tubos, estarán en plano perpendicular al espejo.

140. Otro procedimiento para la demostración de las leyes de la reflexión de la luz consiste en hacer uso de un círculo graduado M, en cuyo centro está fijo un anteojo que se puede mover en un plano paralelo al limbo. A cierta distancia se coloca un baño de mercurio que hace veces de superficie

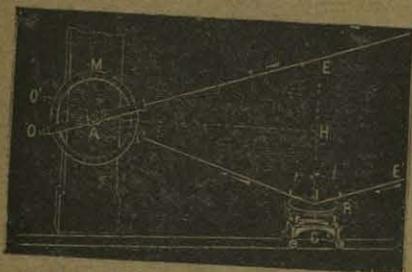


Fig. 177. Aparato para la reflexión.

reflectora y que se inclina perfectamente plana y horizontal. Se observa con el anteojo en una dirección OE una estrella de primera ó segunda magnitud. Se lee el ángulo HAE, y después se inclina el anteojo hasta distinguir la misma estrella, que al reflejarse en el mercurio envía el rayo IO'. Leído el ángulo IAH se ve que es enteramente igual al ángulo HAE. Vamos á deducir de aquí que el ángulo de incidencia E'IE es igual con el ángulo de reflexión EIA.

Comparemos los triángulos AEH y AHI. Son iguales por tener el lado AH común, los ángulos en H iguales por rectos y los ángulos en A iguales por lectura directa. Siendo los triángulos iguales, tenemos:

$$\text{ang. AEH} = \text{ang. AIH},$$

pero

$$\text{ang. AEH} = \text{ang. E'IH}$$

por alternos internos, luego:

$$\text{ang. E'IH} = \text{ang. AIH},$$

es decir, que el ángulo de incidencia es igual con el ángulo de reflexión.

141. *Reflexión irregular.*—No toda la luz incidente es reflejada con regularidad, sino que parte de ella es reflejada en todas direcciones: esta luz se llama difusa, y á ella se debe que podamos ver los cuerpos iluminados.

ESPEJOS

142. Con el nombre de *espejo* se conoce toda superficie pulida que al reflejar regularmente la luz reproduce la imagen de los objetos luminosos ó iluminados que se le presentan. Los espejos, según su forma, pueden ser planos, esféricos, parabólicos, cilíndricos, cónicos, etc.

Se llama *espejo plano* una superficie plana pulida como la de una placa de plata, de una placa de acero ó de hoja de lata. Los espejos que usamos en las habitaciones no son espejos planos en el sentido físico de la palabra, porque el espejo físico no debe tener espesor.

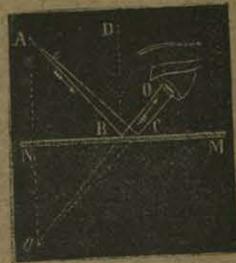


Fig. 178. Imagen en un espejo plano.

143. *Formación de las imágenes en los espejos planos.*—Supongamos un punto luminoso A que coloca frente á un espejo plano MN. El rayo luminoso AB se refleja en la dirección BO, formando el ángulo de reflexión DBO igual al de incidencia DBA. Bajemos del punto A una perpendicular al espejo y prolonguemos el rayo OB hasta que encuentre en un punto a á la prolongación de la normal. Los dos triángulos ABN y aBN son iguales por tener el lado NB común, los ángulos en B iguales por rectos y los ángulos en N iguales por ser complementarios respectivamente de los ángulos de incidencia y de reflexión. Siendo iguales los triángulos, tenemos que AN es igual con aN; luego la imagen de un punto luminoso colocado frente á un espejo plano se produce detrás del espejo á una distancia igual á la que hay del punto al espejo. Los espejos planos producen siempre imágenes *virtuales*, es decir, imágenes que no existen realmente en el espacio y que por lo tanto no se pueden recibir sobre una pantalla.

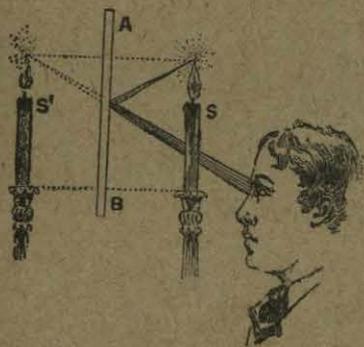


Fig. 179. Imagen de una vela en un espejo plano.

144. *Imágenes múltiples.*—Dijimos que los espejos propiamente dichos son aquellos que no tienen espesor; estos espejos, que son los metálicos, no producen más que una sola imagen. Pero los espejos de cristal, que tienen una cara plateada, presentan realmente dos superficies de reflexión: una es la

cara anterior de la lámina de vidrio, y otra la cara posterior plateada.

La primera superficie da una imagen *a* del punto A, otros rayos penetran al vidrio y al reflejarse en c sobre la capa plateada dan la imagen *a'*. Hay también otras imágenes que resultan de las reflexiones que sucesivamente experimenta la luz en la superficie interna de las caras superior é inferior del espejo, pero la intensidad de estas imágenes se va debilitando á causa de la refracción y de la difusión.

Observando la reflexión de una bujía en un grueso espejo



Fig. 180. Imágenes múltiples.

de cristal, llegan á verse claramente hasta seis imágenes, colocadas una detrás de otra.

145. *Caso de dos espejos inclinados.*—Si consideramos dos espejos planos que se cortan según un ángulo más ó menos agudo, se producen imágenes múltiples cuyo número aumenta con la inclinación de los espejos. El número de imágenes producido es igual al cociente que resulta de dividir los 360

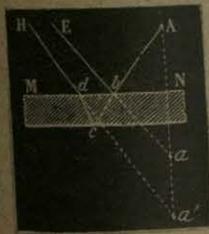


Fig. 181. Otras imágenes múltiples.

grados de la circunferencia por el número de grados de la abertura de los espejos y disminuido ese cociente de la unidad, lo que expresa la siguiente fórmula:

$$n = \frac{360}{a} - 1$$

en la que n representa el número de imágenes producidas y a el ángulo formado por los dos espejos.

Si los dos espejos forman un ángulo recto, se formarán tres imágenes del punto O ; una O' es formada por la prolongación del rayo reflejado DE , otra O'' por la prolongación del rayo reflejado CE y otra O''' formada por la prolongación del rayo reflejado BE que partido del punto O siguió la marcha OA , se reflejó según AB y se volvió á reflejar según BE . Si el ángulo de los espejos es de 45 grados se formarán siete imágenes, como lo representa la figura 183.

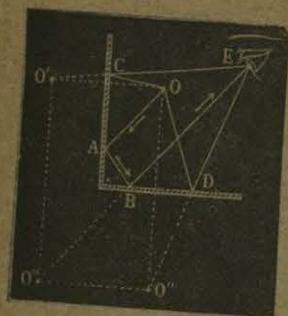


Fig. 182. Se producen tres imágenes.

146. *Espejos paralelos.* — Cuando se coloca un objeto luminoso ó iluminado entre dos espejos paralelos el número de imágenes es *teóricamente infinito*; pero en la práctica el número es



Fig. 183. Dos espejos á 45° producen siete imágenes

limitado porque las imágenes se van debilitando mientras mayor es el número de reflexiones.

ESPEJOS CURVOS

147. *Espejos esféricos.* — Hay varias clases de espejos curvos; pero los más usados son los *esféricos* y los *parabólicos*.

Se da el nombre de espejos esféricos á unos casquetes esféricos de metal, una de cuyas superficies está pulimentada. Si la cara interior es la brillante,

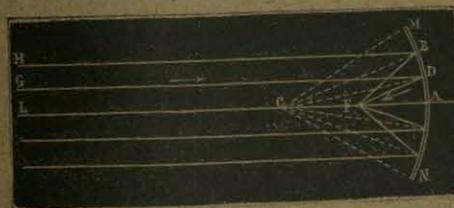


Fig. 184. Puntos y líneas de los espejos cóncavos.

el espejo se llama *cóncavo*, y si la exterior, el espejo se denomina *convexo*.

El centro C de la esfera á la cual pertenece el espejo se llama *centro de curvatura*, el punto A que es el centro del arco MN se llama el *vértice* ó *centro de figura* del espejo. La recta indefinida AL que pasa por el centro de curvatura y por el centro de figura, recibe el nombre de *eje principal*. Toda recta que pasa por el centro de curvatura, sin pasar por el centro de figura, se llama *eje secundario*. Por último, la *abertura* del espejo es el ángulo $M CN$ subtendido por el arco MN .

Las leyes de la reflexión de la luz se aplican a los espejos curvos como si fueran espejos planos. Para esto se considera al espejo curvo como formado por un número infinito de elementos planos muy pequeños, y la normal a la superficie curva en un punto dado se toma perpendicular al elemento correspondiente, ó, lo que es lo mismo, al plano tangente que lo contiene. En el caso de un espejo esférico la normal en un punto es precisamente el radio geométrico que á ese punto corresponde.

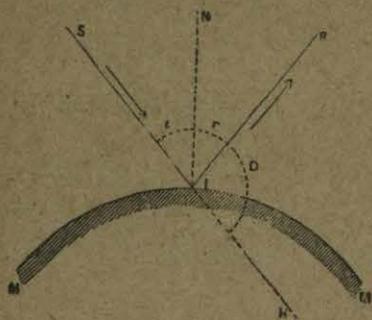


Fig. 185. La normal á un espejo esférico es el radio ó su prolongación.

148. *Focos.*—Cuando un haz de luz incide sobre un espejo cóncavo paralelamente al eje principal, todos los rayos, después de reflejarse, van á reunirse en un punto que está situado sobre el eje principal y que se llama el *foco principal* del espejo. Este foco siempre es *real*, es decir, que se puede ver dibujado sobre una pantalla. Supongamos un rayo S I paralelo al eje principal, y que al reflejarse va

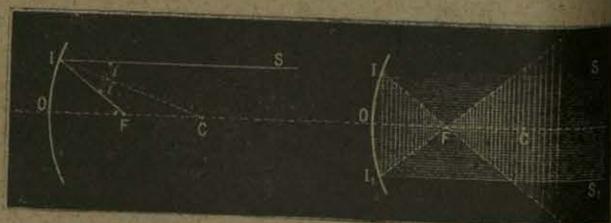


Fig. 186. El foco principal.

principal y que se llama el *foco principal* del espejo. Este foco siempre es *real*, es decir, que se puede ver dibujado sobre una pantalla. Supongamos un rayo S I paralelo al eje principal, y que al reflejarse va

á dar al punto F. Considerando el triángulo I F C, vemos que es isósceles, porque el ángulo I C F es igual al ángulo de incidencia S I C por alternos internos, y el ángulo F I C es también igual al ángulo de incidencia por ser el de reflexión. Luego si los ángulos I C F y F I C son iguales, los lados I F y F C también lo serán. Considerando un espejo de pequeña abertura se puede admitir que las líneas I F y O F son iguales, luego entonces el *foco principal* F estará colocado á la mitad del radio. La distancia O F se llama *distancia focal principal*. Llamando *f* á esta distancia y R al radio, tenemos

$$f = \frac{1}{2} R.$$

Si en el foco principal de un espejo se coloca un punto luminoso, todos los rayos reflejados formarán un haz paralelo al eje principal.

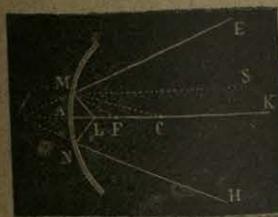


Fig. 188. Foco virtual.

149. *Focos conjugados.*—Si en lugar de considerar que el punto luminoso está colocado á una distancia muy grande, lo suponemos colocado sobre el mismo eje principal en el punto L, después de reflejarse en el espejo formará su imagen en el punto I que es donde el rayo reflejado encuentra al eje

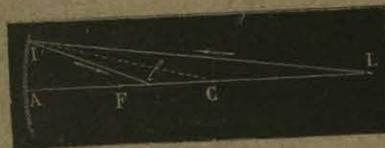


Fig. 187. El foco conjugado.

principal. Los puntos L y l se llaman *puntos conjugados*, porque así como en l se forma la imagen L, si colocamos el punto luminoso en l su imagen se producirá exactamente en L. Observaremos que el foco conjugado l se forma entre el foco principal F y el centro del espejo C. Si el punto L se acerca al centro C, el foco conjugado l se acerca igualmente al mismo centro. Cuando el punto luminoso L llegue á coincidir con el centro entonces el ángulo de incidencia es nulo y el rayo

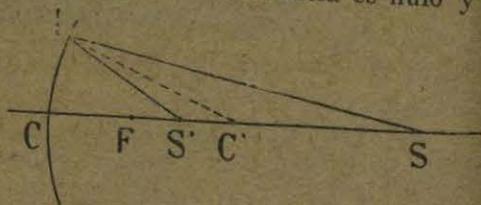


Fig. 189. Fórmula de los focos conjugados.

incidente al volver sobre sí mismo producirá sobre el punto luminoso el foco conjugado.

Supongamos ahora que el punto luminoso está situado entre el foco principal y el espejo. Entonces si prolongamos el rayo reflejado no irá á encontrar al eje principal; habrá, pues, que prolongarlo en sentido contrario, y el punto l donde encuentra al eje, detrás del espejo, será el *foco virtual*.

Fórmula de los focos conjugados. — Consideremos la figura 189. Siendo la normal IC' bisectriz del ángulo SIS', tenemos:

$$\frac{S'I}{SI} = \frac{S'C'}{C'S},$$

de donde:

$$S'I \times C'S = S'C' \times SI \dots \dots (1)$$

Pero suponiendo que los rayos caigan con débil inclinación sobre el espejo, tenemos que S'I se puede confundir con S'C', y que SI se puede confundir con SC. Entonces resulta, substituyendo en (1),

$$S'C \times C'S = S'C' \times SC.$$

Llamando p á la distancia del punto luminoso S al espejo, p' á la distancia del foco conjugado S' al espejo y f á la distancia focal, tenemos:

$$p'(p - 2f) = p(2f - p').$$

Ejecutando las multiplicaciones indicadas:

$$p'p - 2fp' = 2fp - pp'.$$

Pasando á $-pp'$ al primer miembro y $2/p'$ al segundo:

$$2pp' = 2fp + 2fp'.$$

Dividiendo por 2:

$$pp' = fp + fp'.$$

Dividiendo por el producto pp' , tenemos:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{p'} + \frac{1}{p}.$$

Esta es la fórmula de los focos conjugados. Despejando á p', resulta:

$$p' = \frac{fp}{p - f}.$$

Dividiendo los dos términos del quebrado por p, queda:

$$p' = \frac{f}{1 - \frac{f}{p}}$$

Conociendo la distancia del punto luminoso polo del espejo y la distancia focal del espejo, fácil determinar el punto en que se producirá imagen.

150. *Construcción de las imágenes en los espejos cóncavos.*—Los espejos cóncavos pueden producir imágenes reales e imágenes virtuales; las primeras son siempre invertidas y pueden ser más grandes o más pequeñas ó del mismo tamaño que el objeto; las segundas son siempre rectas y más grandes que el objeto.

151. *Objeto situado más allá del centro de curvatura.*

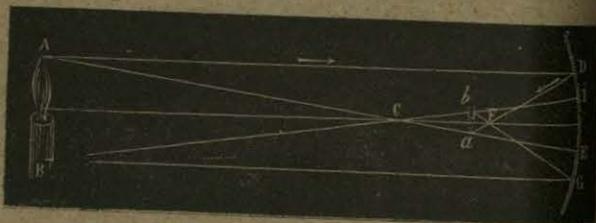


Fig. 190. Construcción de una imagen real más pequeña.

tura.—Consideremos un objeto AB situado perpendicularmente al eje principal de un espejo cóncavo y á una distancia mayor que el doble de la distancia focal principal. Empezamos por trazar los ejes secundarios AE y BI, y en seguida trazamos unos rayos paralelos al eje principal. Estos rayos al reflejarse pasan por el foco F y encuentran á los ejes secundarios en los puntos a y b. Juntando estos puntos tendremos en ab una imagen real, invertida y más pequeña que el objeto, y está situada entre el centro de curvatura y el foco principal.

152. *Objeto situado entre el centro y el foco.*—Si el

objeto está situado entre el centro y el foco, como por ejemplo un objeto ab (fig. 190), trazariamos los ejes secundarios bB y aA y al reflejarse los rayos paralelos al eje principal irían, después de pasar por el

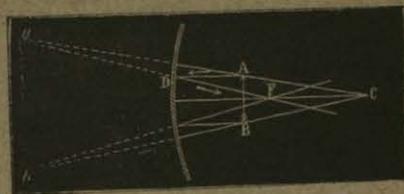


Fig. 191. Imagen virtual.

foco principal, á formar una imagen AB, real, invertida y más grande que el objeto.

Si el objeto se coloca en el foco, los rayos reflejados saldrán paralelamente al eje principal y la imagen se irá á formar en el infinito.

153. *Objeto situado entre el foco y el espejo.*—Si [el objeto AB está colocado entre el foco y el espejo, trazamos como en los casos anteriores los ejes secundarios AC

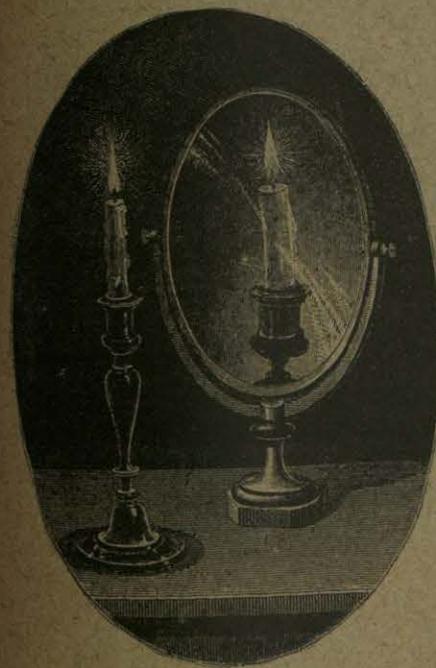


Fig. 192. Imagen de una vela en un espejo cóncavo.

y BC, y después llevamos unos rayos paralelos al eje