

ra que su eje principal sea paralelo á los rayos del astro; luégo, recibiendo la luz que sale de la

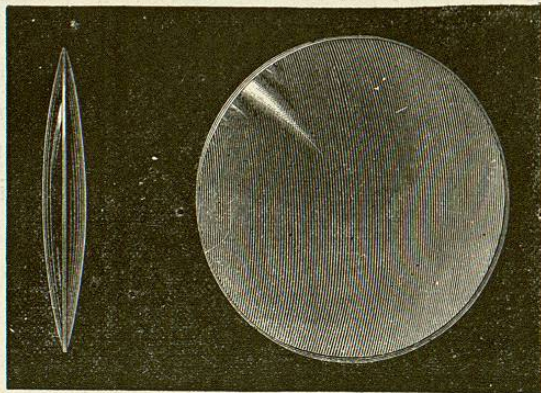


Fig. 76. — Anteojo ó lente de caras convexas

lente sobre una pantalla colocada al lado opuesto y á cierta distancia, percibiremos un círculo luminoso, cuya pureza y dimensiones dependen de la distancia de la pantalla á la lente. Reti-

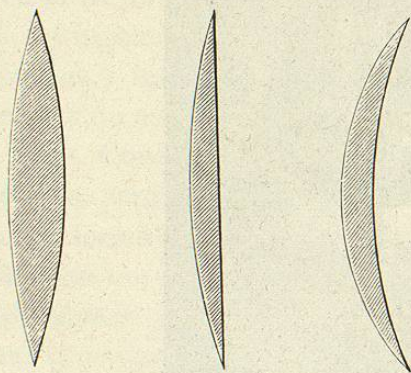


Fig. 77. — Lentes convergentes. Lente biconvexa; lente plano-convexa; menisco convergente

ra oscura, puede observarse en el aire la marcha convergente de los rayos, pues el cono luminoso se echa de ver por la iluminacion de las partículas de polvo que flotan en la cámara.

La convergencia de los rayos luminosos producida por las lentes biconvexas se explica fácilmente comparándola con la marcha de la luz refractada á través de un prisma. Sábese que el efecto producido por este último medio consiste en desviar el rayo luminoso hácia la base del prisma. Pues bien, podemos considerar una de dichas lentes como si estuviera formada por una serie de prismas superpuestos, cuyo ángulo es tanto más agudo cuanto más se aproximan al eje principal, siendo la desviacion más considerable tambien segun que el ángulo sea de mayor abertura. La figura 82 basta para dar cuenta de la convergencia de los rayos, y la práctica juntamente con la teoría demuestran que el

rándola ó aproximándola poco á poco, acabáremos por encontrar una posición tal que el brillo de dicho círculo llegará á su mayor esplendor, su pureza mayor y sus dimensiones más reducidas: sería un punto matemático si el foco luminoso fuese asimismo un punto. Este punto, al cual van á converger (1) despues de su refraccion los rayos paralelos al eje principal, se llama el *foco principal* de la lente: la distancia FA del foco á esta lleva el nombre de *distancia focal principal* y depende á la vez de la sustancia que la compone (es decir, del índice de refraccion de esta sustancia) y de la curvatura de sus superficies: mientras más pronunciada es esta última, ménos considerable es la distancia focal, lo que se expresa diciendo que la lente es de foco corto.

Si se coloca la lente en la rendija de la cámara

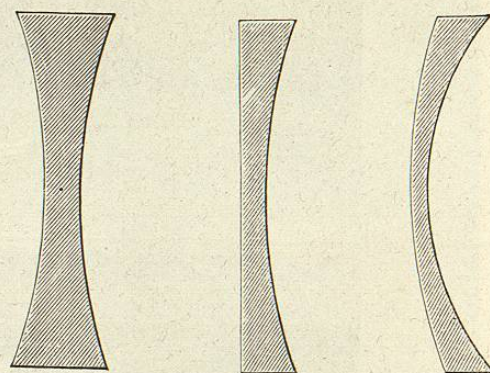


Fig. 78. — Lentes divergentes. Lente bicóncava; lente plano-cóncava; menisco divergente

punto de reunion está en el eje principal, con tal que los rayos pasen muy inmediatos al eje.

Examinemos las diferentes circunstancias que se presentan cuando el punto luminoso S se acerca progresivamente á la lente en el eje principal. La explicacion es la misma cuando los rayos luminosos en lugar de partir de un punto situado á una distancia infinita, proceden de una luz situada en el eje á una distancia finita; sólo que en este caso el foco no coincide con el foco principal. Mientras se encuentra este punto hácia un lado de la lente más allá de la distancia focal, su foco S' se forma en el eje más

(1) La convergencia de los rayos luminosos en un mismo punto no es rigurosa sino suponiendo á la lente infinitamente delgada, y su abertura sumamente pequeña. En la práctica no existe, y la falta de concurso de los rayos es lo que se llama *aberracion de esfericidad*. Los rayos que así se cruzan, en lugar de reunirse en un punto único, forman curvas que se llaman *cáusticas*. Estas *cáusticas por refraccion* son análogas á las de los espejos esféricos, ó *cáusticas por reflexion*.

allá del foco principal, y mientras más se aproxima, más se aleja este foco. Cuando sólo se halla separado de la lente el doble de la distancia focal, el foco correspondiente se encuentra precisamente á la misma distancia. Si se acerca aún á la lente, el foco continúa alejándose con

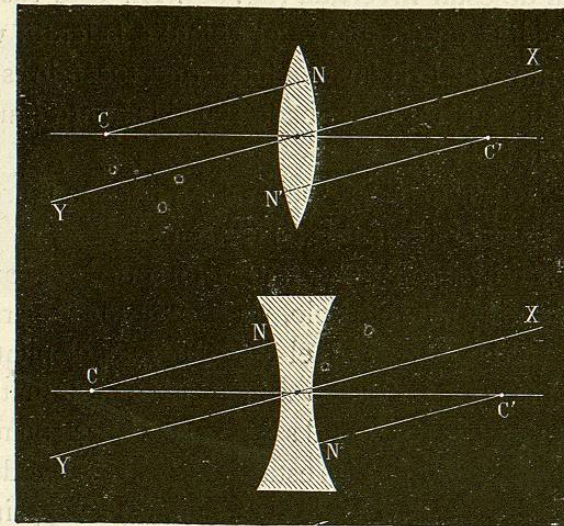


Fig. 79. — Eje principal y eje secundario. Radios de curvatura de las lentes

rapidez, hasta que el punto luminoso llega á la distancia focal con toda exactitud y desaparece su foco, ó, lo que es lo mismo, se aleja al infinito.

Hasta aquí la convergencia de los rayos luminosos se efectúa en realidad despues de salir de la lente; el foco es real, de lo que podemos cerciorarnos con facilidad recibiendo el cono luminoso en una pantalla, donde los rayos concentrados producirán una imagen del objeto, un punto luminoso si este objeto lo es. Además, los dos puntos del eje en donde se encuentran el objeto por una parte y el foco por otra, son recíprocos entre sí, es decir, que si el foco S' llega á ser el punto luminoso, la posición primera S marcará el nuevo foco (fig. 83). Por esta causa dan los físicos á tales puntos, que se determinan por el cálculo cuando se conoce la distancia focal principal, el nombre de *focos conjugados*. Al tratar de los espejos hemos visto que ocurría el mismo caso.

Prosigamos nuestro estudio.

El punto luminoso S parte del foco principal y se acerca á la lente; su distancia es menor que la focal (fig. 84). Entonces los rayos luminosos se alejan del eje ó divergen despues de su emergencia, de suerte que ya no hay foco real; pero el haz divergente prolongado hácia el mis-

mo lado que el objeto converge todavía en el eje, donde forma un foco virtual S'. Entonces ya no es posible recoger este haz en una pantalla, pero el ojo recibe los rayos luminosos como si emanaran de este foco, y la impresion que siente es la que le produciría una imagen del punto luminoso formado en S'. Cuanto más se acerca el objeto á la lente, más se aproxima tambien la imagen, y al llegar el objeto á ponerse en contacto con la superficie trasparente, la imagen llega al mismo tiempo que él.

La marcha de los rayos luminosos en una lente plano-convexa ó en un menisco convergente es la misma que en la lente biconvexa, y únicamente varía la distancia focal con la forma, el grado de curvatura y el espesor.

IV

IMÁGENES FORMADAS POR LAS LENTES

Todos estos resultados se demuestran por el cálculo, pero la práctica puede hacerlos patentes, y así lo efectuaremos examinando las imágenes reales y virtuales que se forman en los focos de una lente biconvexa ó, hablando en general, de una lente convergente, cuando se la pone delante de un objeto luminoso.

Hemos visto ya cómo se forma la imagen de un objeto cuya distancia puede considerarse como infinita y que envía á la lente un haz de rayos paralelos; por esto el Sol da una imagen en el foco principal de la lente. Si el objeto AB está á una distancia finita, pero superior al doble de la distancia focal principal, la imagen ab

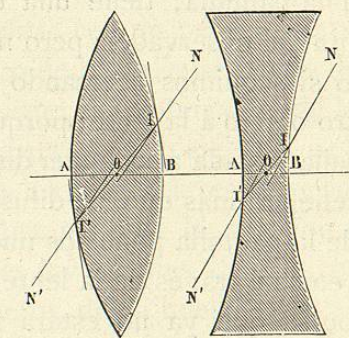


Fig. 80. — Ejes secundarios de las lentes. Centro óptico

se formará más allá del foco (fig. 85); será real, invertida y más pequeña que el objeto. Valgámonos de una bujía para hacer el experimento, y recibamos la imagen en una pantalla que acerquemos ó alejaremos de la lente, hasta que adquiera

ra toda la pureza apetecible. Cuanto más disminuye la distancia de la bujía, más se alejará y se agrandará la imagen, siempre real, hasta que sea precisamente igual al objeto mismo.

Si en este instante se miden las distancias que hay de la lente á la pantalla y á la bujía,

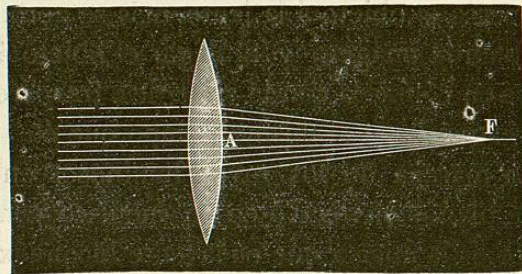


Fig. 81.—Marcha de los rayos paralelos al eje. Foco principal

se ve que son iguales entre sí, y cada una de ellas el doble de la distancia focal principal; si se continúa acercando la bujía á la lente, la imagen real se agranda y aleja, siendo por tanto sus dimensiones mayores que las del objeto (figs. 86 y 87): es menester alejar cada vez más la pantalla para recibir la imagen con pureza; pero entonces se observa una disminución en su brillo que se explica por la dispersión de los rayos luminosos salidos de la lente, en una superficie que crece con más rapidez que la cantidad de luz que recibe.

Cuando llega la vela á la distancia focal, la imagen desaparece, lo cual se comprende fácilmente, puesto que saliendo entonces los rayos paralelamente al eje, ya no hay convergencia. Hasta aquí la imagen ha sido siempre real, ó en otros términos, no ha habido dificultad para recibirla en la pantalla; tiene una existencia independiente del observador; pero no sucederá lo propio si seguimos acercando la bujía ó cualquier otro objeto á la lente; porque en este caso la pantalla situada á cualquier distancia no recibirá ni reflejará más que luz difusa. Pero si en el sitio de la pantalla ponemos nuestro propio ojo, veremos á través de la lente una imagen de la bujía, que ya no estará invertida, sino derecha y ampliada. ¿En qué consiste que el ojo reciba la sensación de una imagen que ya no tiene nada de real? No es difícil de comprender: los haces luminosos que cada uno de los puntos del objeto envía entonces á la lente, salen divergiendo del medio refringente; el ojo que los recibe experimenta la misma sensación

que si fuesen rayos emanados directamente de puntos luminosos situados al otro lado de la lente, pero á mayor distancia que el objeto á que pertenecen. De aquí resulta la amplificación de las dimensiones aparentes, y también la posición de la imagen, que, siendo ya virtual, deja de estar invertida (fig. 88). En este caso, á medida que se acerca el objeto á la lente, va disminuyendo la imagen hasta que, tocando ésta una de sus caras, se hace sensiblemente igual á aquel.

Esto por lo que respecta á las imágenes producidas por las lentes convergentes.

Las divergentes no tienen foco real: si consideramos, por ejemplo, un haz de rayos paralelos al eje, —ó sea el caso en que el punto luminoso está situado á una distancia infinita,—los rayos divergen al salir de la lente; su punto de reunión F (fig. 89) está situado en el eje delante de aquella; es lo que se llama foco principal, foco que ya no es real, sino virtual. El ojo, que recibe el haz luminoso al salir de la lente, experimenta la misma sensación que si en realidad hubiera un punto luminoso en el foco.

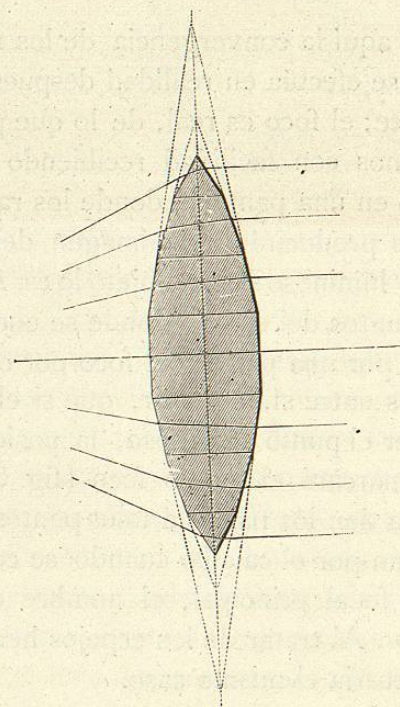


Fig. 82.—La lente considerada como un compuesto de prismas

Con las lentes divergentes tampoco hay nunca imagen real, por la razón de que alejándose unos de otros los rayos luminosos al salir del medio refringente, no tienen punto efectivo de reunión. Pero aplicándoles lo que acabamos de

decir respecto al caso en que la imagen dada por una lente convergente es recta y virtual, se comprenderá que las de las lentes divergentes serán asimismo rectas y virtuales. La figura 90 demuestra la razón de este último hecho, permitiendo comprender porqué las imágenes, que

son tanto más pequeñas cuanto más distante se halla el objeto, acaban por tener el tamaño de éste cuando llega á tocar la lente.

El uso de las lentes convergentes ó divergentes en los experimentos de física ó su apli-

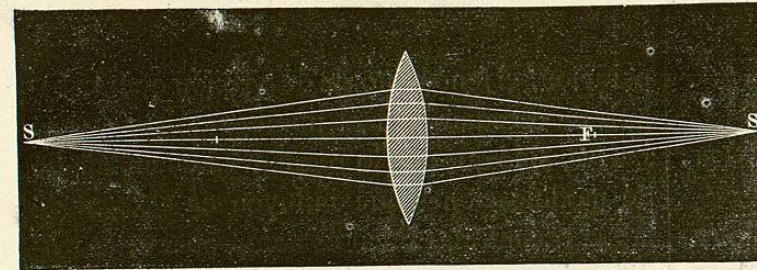


Fig. 83.—Marcha de los rayos emanados de un punto luminoso sobre el eje. Focos conjugados

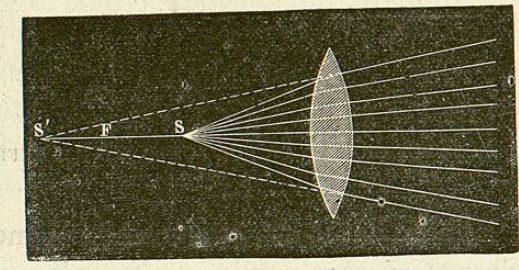


Fig. 84.—Marcha de los rayos emanados de un punto situado entre el foco principal y la lente. Foco virtual

cación á los instrumentos de óptica, requiere que se conozca su foco ó su distancia focal principal. Hay fórmulas mediante las cuales se puede calcular esta distancia cuando se conoce el índice de refracción que compone la lente, así como los radios de curvatura de las superficies que la terminan; pero también se puede deter-

minar esta distancia focal por medio de experimentos muy sencillos, si no muy exactos.

Véase cómo se procede cuando se trata de una lente convergente: se reciben los rayos del Sol paralelamente al eje, y luego, con una pantalla que se acerca ó se aleja, se busca la posición en la que la imagen circular proyectada en ella

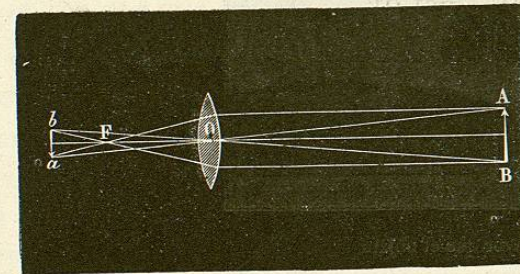


Fig. 85.—Imagen real, invertida y menor que el objeto

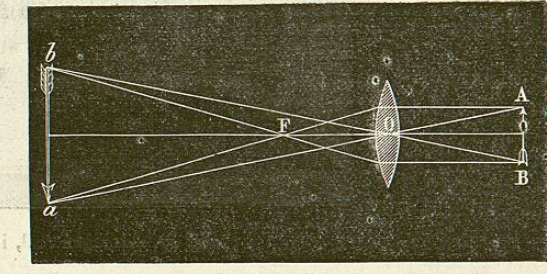


Fig. 86.—Imagen de un objeto situado á una distancia mayor de la lente que la distancia focal principal, y menor que el doble de esta distancia

es lo más pequeña posible. Cuando se ha dado con esta posición, la pantalla se encuentra precisamente en el foco principal.

También se puede apelar á otro medio. Se proyecta en una pantalla la imagen real de un objeto formado con auxilio de una lente, y se desvía la pantalla ó el objeto hasta que sus dimensiones sean iguales. Hemos visto que, en este caso, uno y otra están á la misma distancia de la lente, distancia que es doble de la focal principal. Tendremos, pues, esta última midiendo el intervalo comprendido entre el objeto y su imagen y tomando la cuarta parte.

Si se trata de una lente divergente, se cubre su superficie con un pedazo de papel negro ó con negro de humo, y se hacen dos agujeritos en un mismo círculo máximo de la superficie y á igual distancia del eje (fig. 91). Dirigiendo entonces los rayos solares sobre la lente, se busca con una pantalla la posición en la cual los dos haces divergentes IS, I'S', que pasan por los agujeros, dejan huellas S y S' cuya distancia es el doble de la de los agujeros. El intervalo OB comprendido entre la pantalla y el centro óptico de la lente es sensiblemente igual á la distancia focal buscada.