

«La disposición habitual de los instrumentos astronómicos, sean anteojos ó telescopios, no permite que se adapten á ellos fácilmente los aparatos necesarios para el estudio de las propiedades de la luz de los astros (fotometría, fotografía, polarización, espectroscopia). Además, la inestabilidad de los ecuatoriales aumenta cuando se adaptan á ellos aparatos con frecuencia pesados y excéntricos que los desequilibran. El siderostato tiene por objeto remediar estos inconvenientes y facilitar al astrónomo el estudio de la luz del propio modo que el físico estudia la del Sol en la cámara oscura, empleando en este estudio instrumentos que hay en todos los gabinetes de física, sin necesidad de cambiar su forma ni su posición. Si el espejo plano permanece inmóvil, se puede utilizar este aparato como un ecuatorial para medir las posiciones relativas de los astros. También es un instrumento muy á propósito para construir cartas celestes, y M. Wolf trata de adaptar á él un aparato por medio del cual obtendrá el astrónomo inmediatamente la reproducción de las cartas celestes.»

Luégo añade, recordando las esperanzas del inventor:

«Una de las aplicaciones más importantes

del siderostato era la que quería darle M. Foucault para el estudio permanente del Sol. Se proponía colocar en una de las salas más concurridas de un observatorio un aparato que produjera en una pantalla cuadrada una imagen fija y ampliada del Sol. La aparición y la forma de las manchas, el paso de un asteroide por el disco solar, hubieran sido objeto de estudios continuos, hechos sin detrimento de la vista por todas las personas á quienes sus ocupaciones obligan á cruzar de continuo por dicha sala.

» M. Foucault quería emplear, para fotografiar el Sol, juntamente con el siderostato, un objetivo de larguísimo foco acromatizado para los rayos químicos. Un segundo espejo casi normal al haz refractado lo recibiría á una distancia igual á la longitud focal y haría que la imagen fuese á formarse en la pared anterior de la cámara oscura junto al mismo objetivo. El observador estaría así al alcance de la imagen y del espejo movable, á pesar de lo considerable de la distancia focal del objetivo.»

No habrá ciertamente quien no desee que este instrumento, puesto en manos de observadores ilustrados y hábiles, justifique las esperanzas que había hecho concebir, facilitando los descubrimientos y los trabajos astronómicos.

## CAPÍTULO II

### LOS FAROS

#### I

##### SEÑALES MARÍTIMAS.—PRIMEROS FAROS DE REFLEXION Ó CATÓPTICOS

Los antiguos no desconocieron el uso de los faros, como lo atestigua el fanal colocado en una elevada torre á la entrada de Alejandría y que, según parece, subsistía aún en el siglo XII; el islote en el que estaba construida dicha torre dió su nombre al edificio que lo trasmitió á su vez á todas las luces encendidas en las costas para seguridad de los navegantes. Aunque había pocos faros en la Edad media, se han multiplicado conforme ha ido adquiriendo desarrollo la navegación, y hoy alumbran con sus variadas

luces todas las costas frecuentadas por los buques de todas las naciones.

Apénas hace un siglo que se ha procurado aprovechar las leyes de la reflexión y refracción de la luz para aumentar el alcance y el brillo de las luces de los faros. En otro tiempo no consistían estos más que en simples fogatas encendidas en lo alto de una torre y expuestas á la intemperie. Empezóse por reemplazarlos con lámparas resguardadas por vidrios; luégo se procuró hacer llegar á la mayor distancia posible su resplandor por medio de reflectores de metal bruñido, creándose de este modo los aparatos conocidos con el nombre de *faros de reflexión* ó *faros catópticos*. Al principio su

éxito fué bastante mediano; las lámparas eran defectuosas, y los reflectores, de forma esférica, tan sólo recibían una pequeña fracción de los rayos de luz, ó no los proyectaban en la dirección conveniente. «En 1782 se estableció esta clase de alumbrado en Cordouan; más, aunque aquel faro tenía nada ménos que veinticuatro lámparas, cada una con su correspondiente reflector, difundían una luz tan escasa que los navegantes solicitaron con instancia que se adoptara de nuevo el sistema bárbaro de la Edad media.» (*Los Faros*, por Leon Rénard.)

Un ingeniero del siglo pasado, Teulére, sustituyó á los espejos esféricos otros de forma parabólica, propuesta ya por Lavoisier. Los espejos de esta clase despiden la luz de una lámpara situada en su foco, á modo de haz cilíndrico formado de rayos paralelos, cuya intensidad no disminuye por consiguiente con la distancia. El espesor de las capas de aire ó de las brumas atmosféricas es lo único que causa alguna atenuación en esta luz. El mismo inventor reemplazó también las lámparas ordinarias por las de doble corriente de aire que Argaut acababa de inventar, y más adelante por las lámparas Cárcel, en las que el aceite va á parar al mechero de un modo continuo merced á un mecanismo de relojería, con lo cual se aumentó el brillo y la constancia de las luces que el aparato reflector proyectaba á larga distancia.

Teulére distribuyó sus veinticuatro espejos en tres círculos superpuestos, é hizo de modo que dieran vueltas alrededor de una lámpara cuyo mechero permanecía en el eje de rotación, de suerte que la luz llegaba sucesivamente á todos los puntos del horizonte. El objeto de este movimiento de rotación consistía en repartir la luz con toda la uniformidad posible en todos los azimuts, y no, como se ha dicho, en producir alternativamente ocultaciones y destellos. No es por tanto exacto decir que Teulére ha sido el inventor de los *faros de eclipses*, pues este perfeccionamiento se introdujo por primera vez en Suecia en el faro de Marstrand. Allí, dice L. Fresnel, en vez de apelar al uso de pantallas que ocasionan una pérdida notable de efecto útil, se obtenían fases bien marcadas haciendo girar todos los reverberos. Estos eran tres, colocados horizontalmente en triángulo equilátero alrededor de un eje vertical, de suerte

que por efecto de su movimiento uniforme de rotación, producían en todos los azimuts una serie regular de *destellos* que alternaban con eclipses.» Borda estableció en Dieppe, en 1784, un faro de esta clase, y otro en la torre de Cordouan en 1791.

Los aparatos catópticos se componen por lo regular de grupos de espejos parabólicos, provisto cada cual de una lámpara en su foco. Un mecanismo de relojería pone en movimiento todo el conjunto, que viene á ser el representado en la figura 221, y el cual comprende tres series de reflectores, agrupados de tres en tres, de suerte que una rotación completa hace llegar á cada punto del horizonte tres destellos y tres eclipses. Variando la velocidad del movimiento se puede hacer que los eclipses sean más ó ménos frecuentes, y distinguir de este modo entre sí los faros establecidos en diferentes puntos de la costa.

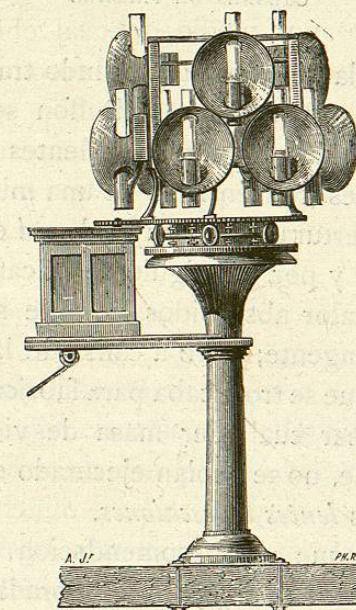


Fig. 221.—Faro catóptico

El alcance de los espejos parabólicos es muy grande. Los experimentos hechos por Biot y Arago prueban que un espejo de 81 centímetros de abertura da una luz que se divide con un buen anteojo á cuarenta leguas de distancia. Sin embargo, la pérdida de luz por efecto de la reflexión ó por la absorción de los rayos en la superficie del metal equivale por lo ménos á la mitad de los rayos incidentes. Además, la superficie bruñida de los espejos se deteriora rápidamente por la acción de los vapores salinos

que contiene el aire en la inmediación del mar. Estos inconvenientes han sido causa de que se abandonen poco á poco los faros catóptricos, ó cuando ménos de que no se aplique ya este sistema á los de primer orden ó de larga duracion: en Francia sólo se los utiliza para alumbrar los pasos estrechos, los canales, ó como suplemento de la luz de otro sistema en una direccion en que el alcance de esta es insuficiente.

Pero no se les hubiera podido desechar á no ser por la invencion de los aparatos lenticulares, en que la reflexion ha sido sustituida total ó parcialmente por la refraccion en la proyeccion de la luz: los faros provistos de estos aparatos llevan el nombre de *faros dióptricos*, invencion que debemos al ilustre Fresnel y que tan sólo data de 1822.

## II

## FAROS DE REFRACCION Ó DIÓPTRICOS.—APARATOS LENTICULARES DE FRESNEL

Más adelante veremos, cuando tratemos de los espejos ustorios, que á Buffon se le habia ocurrido la idea de construir lentes formadas de porciones concéntricas de una misma lente de gran abertura, disminuyendo así el espesor del vidrio, y por consiguiente la cantidad de rayos de calor absorbidos durante su paso al medio refringente; pero á causa de las dificultades con que se tropezaba para fabricar, fundir, tallar y alisar cualquier masa de vidrio algo considerable, no se habian ejecutado en grande escala estas *lentes de escalones*.

Fresnel, que por recomendacion de Arago fué agregado á la comision nombrada en 1819 para perfeccionar los faros, creyó que se podria sustituir ventajosamente á los reflectores parabólicos grandes lentes de vidrio. Y en efecto, por una parte, la imágen luminosa reflejada por el espejo más perfecto apenas da la mitad del brillo directo del cuerpo iluminador; por otra parte, como la casi totalidad del cono de rayos directos tiene por vértice el mechero de la lámpara focal, se pierde su efecto útil en el mar. Fresnel pensó pues en poner un aparato refractor lenticular en vez de los aparatos catóptricos; y para disminuir el espesor central del tambor dióptrico, ocurriósele la misma idea que á Buffon, pero introduciendo en ella dos modificaciones

que pueden considerarse capitales. En primer lugar, hizo posible y práctica la construccion de lentes escalonadas de gran abertura, formándolas de muchos pedazos que es fácil labrar separadamente, y uniendo todas las partes de la lente con una masilla de cola de pescado gracias á la cual se las adhiere sólidamente por sus bordes. En segundo lugar, aprovechó este sistema de fabricacion para introducir en la forma misma de las superficies refringentes un perfeccionamiento en el que Buffon no habia pensado. Despues de dejar sentado que si el célebre naturalista no consiguió que le construyeran una lente de escalones de tres piés de diámetro consistió en que no se le ocurrió hacerla de muchos pedazos, Fresnel añade: «A lo que parece, tampoco habia echado de ver una gran ventaja que ofrece la ejecucion separada de cada anillo, cual es la de corregir casi enteramente la aberracion de esfericidad, cuando se han multiplicado los anillos suficientemente, averiguando por el cálculo el centro y el radio de curvatura de cada uno de los arcos generadores. Porque, despues de concebir primeramente la lente terminada por una misma superficie esférica, supone que se deprime esta por escalones, pero de modo que la nuevas porciones de superficies esféricas sean *concéntricas* á la primera, lo cual no es el verdadero modo de corregir la aberracion de esfericidad. El cálculo nos enseña que los arcos generadores de los anillos, no tan sólo no deben tener el mismo centro, sino que los diferentes centros no han de estar situados en el eje de la lente sino que se alejan de él tanto más cuanto más disten á su vez del centro de la lente los arcos á que pertenecen, de suerte que al girar estos alrededor del eje, no engendran porciones de superficies esféricas concéntricas, sino superficies por el estilo de las que los géometras llaman *anulares*.»

A fin de utilizar todo lo posible los rayos de luz emanados de la lámpara situada en el foco comun de todas las lentes que componen un aparato dióptrico, Fresnel hizo de modo que fuesen á converger en lentes trapezoidales los rayos superiores que pudieran perderse; estas lentes estaban colocadas al rededor de la lámpara con tal inclinacion que los rayos se reflejaban horizontalmente en *rr* por medio de espejos *MM* en forma de abanico, é iban á

reforzar los haces *RR* de las lentes verticales. La figura 222 presenta el plano y la elevacion de un aparato lenticular tal como Fresnel lo construyó en un principio. Despues, en lugar de recoger en lentes inclinadas y en sus espejos reflectores los rayos que no caen sobre las lentes verticales, los hizo llegar á series de coronas de espejos de cristal azogado, convenientemente inclinadas para que la reflexion se

efectuara horizontalmente, y tambien á series de prismas en que los rayos luminosos sufren una reflexion total. Las figuras 223 y 224 presentan la marcha de los rayos en uno y otro sistema.

Así pues, la reflexion y la refraccion se utilizan por igual en estos aparatos, que llevan por esta razon el nombre de *faros catadióptricos*. Fresnel no se limitó á hacer estas modificacio-

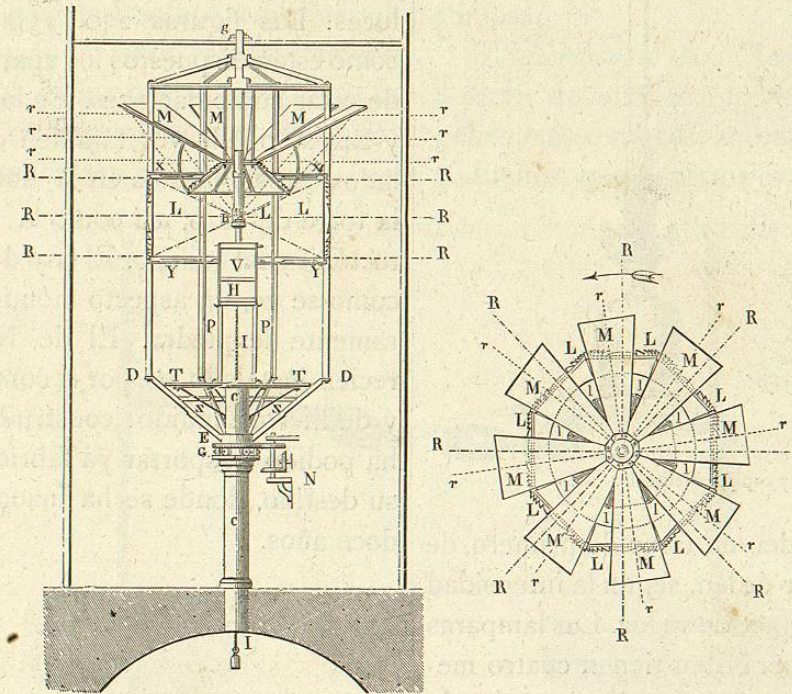


Fig. 222.—Primer aparato lenticular de Fresnel. Plano y elevacion

nes capitales en el alumbrado de los faros, sino que tambien perfeccionó las lámparas con el auxilio de Arago, introduciendo en ellas los sistemas de mecheros múltiples ideados por Rumford, y combinando con ellos oportunamente el sistema Carcel, á fin de dar á la luz toda la intensidad y regularidad posibles, cualidades tan preciosas en asunto de tal naturaleza.

Fresnel proyectaba introducir otras modificaciones en sus aparatos lenticulares, y especialmente en su aplicacion al alumbrado de la entrada de los puertos, pero su salud gravemente quebrantada no le permitió realizarlas todas.

«Apénas habia comenzado la ejecucion de su primer aparato catadióptrico para los faros de puerto, dice su hermano L. Fresnel, cuando los incesantes progresos de la enfermedad orgánica, con la cual venia luchando penosamente

te hacia algunos años, pusieron fatal término á sus trabajos científicos y administrativos.— ¡Cuántas cosas habria podido hacer todavía!— exclamó dando el adiós postrero á su excelente amigo Arago, que tan desinteresadamente le habia sostenido y animado en sus principios en la carrera de las ciencias. Esta suprema y dolorosa exclamacion del moribundo debia referirse principalmente á sus investigaciones sobre la teoria de la luz, pues su nuevo sistema de faros podia considerarse como obra ya terminada bajo el punto de vista teórico. Y en efecto, para el desarrollo de tan brillante invento, bastaba sólo perfeccionar los procedimientos de ejecucion y estudiar, bajo el concepto práctico, las variantes que podian introducirse con provecho en las combinaciones de los elementos dióptricos y catadióptricos ideados por Fresnel, combinaciones y estudios que legaba á los continuadores de sus trabajos.»

(Introducción á las Memorias de A. Fresnel sobre los faros) (1).

Digamos ahora algunas palabras sobre los medios empleados para dar variedad á las luces de los faros y para que los marinos puedan reconocer los puntos de la costa á cuya vista se encuentran.

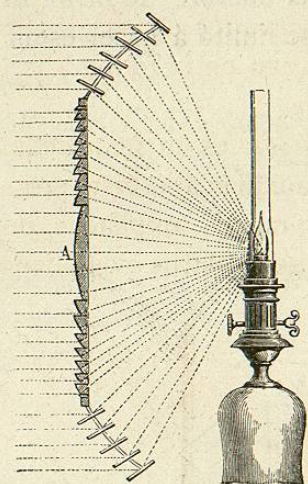


Fig. 223.—Marcha de los rayos en un faro lenticular de Fresnel, de lentes y espejos inclinados

Los faros se dividen en faros de primero, de segundo y de tercer orden, según la intensidad de su brillo y el alcance de su luz. Las lámparas de los faros de primer orden tienen cuatro mechas concéntricas; los de segundo tres y los de tercero dos. El brillo varía en la relación de los números cuatro, dos y uno, y equivale á veinte, diez y cinco lámparas Carcel. Posteriormente se ha conseguido todavía mejor resultado.

Esto en cuanto á las intensidades. Pero á igualdad de intensidad, se distinguen las luces por el número de los eclipses y la duración de los intervalos que los separan, y también por el color de la luz de los destellos. Hay *luces fijas*, producidas por un aparato lenticular de forma

(1) Citemos también las palabras de E. Verdet, digno apreciador del genio de Fresnel. «Jamás se agradecerá lo bastante el servicio que el inventor de los faros lenticulares ha prestado á su país y á todo el mundo civilizado. Y precisamente por estos mismos servicios, no puede menos de apenarnos una consideración. Otros ingenieros habrían ideado temprano ó tarde las lentes escalonadas, las lámparas de mechas concéntricas, los faros de eclipses, etc.; pero Fresnel era el único que podía continuar la revolución que había iniciado en la ciencia. ¿Quién sabe lo que hubiera hecho si hubiese podido proseguir sin interrupción y exento de todo cuidado, el desarrollo de sus fecundas ideas?» (Introducción á las obras de A. Fresnel.)

cilíndrica, y luego *luces de eclipses* de destellos blancos, encarnados ó verdes, combinados de diverso modo. El aparato lenticular se compone entonces de un tambor octógono formado principalmente de ocho lentes sencillas de escalones. La rotación más ó menos rápida del sistema produce una sucesión de destellos y eclipses de duración variable. Por último, mediante unos cristales de colores puestos delante de las lentes, se puede variar también el color de las luces. Las figuras 230, 231 y 232 muestran cómo están dispuestos los aparatos para algunas de estas combinaciones. En las figuras 238, 239 y 240 se puede ver también cómo están instalados estos aparatos en la linterna que corona la torre del faro, así como la estructura arquitectónica del edificio. El faro de Cordouan tiene, como se ve, un aspecto monumental y es enteramente de piedra. El de Nueva Caledonia, recién instalado, es, por el contrario, de palastro y de hierro fundido: construido en París, se le ha podido transportar ya fabricado al punto de su destino, donde se ha inaugurado hace unos doce años.

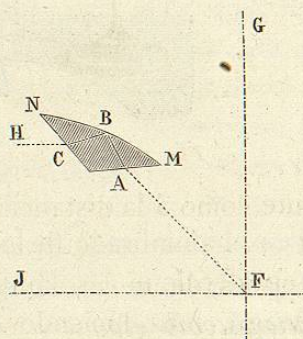


Fig. 224.—Reflexión total en los prismas de los faros catadióptricos

En estos últimos tiempos, se ha introducido en el alumbrado de los faros otra innovación, que consiste en haber sustituido la luz de una lámpara ordinaria por la eléctrica, aumentando así la intensidad y alcance de las luces de los faros. Pero como el aparato dióptrico continúa siendo el mismo, no necesitamos ocuparnos aquí de este nuevo sistema, del cual trataremos más extensamente en el libro consagrado á las aplicaciones de la electricidad, describiendo entonces el modo de alumbrado, la naturaleza de la luz y las máquinas que la producen.

### CAPITULO III

#### EL MICROSCOPIO

##### I

##### LALENTE

Un objeto sumamente pequeño envía al ojo, hallándose por supuesto situado á la distancia de la visión distinta y aún cuando esté fuertemente alumbrado, un haz de luz que es muy poco intensa para que su impresión en la retina produzca una imagen clara y determinada. Para

esto sería menester acercarlo á los ojos, aumentando así su diámetro aparente; pero entonces los rayos emanados de sus diferentes puntos no se reunirían en la retina y la imagen sería confusa.

El *microscopio* es un instrumento destinado á servir de auxiliar á la vista produciendo imágenes más ó menos ampliadas de los objetos pequeños, que nuestros ojos pueden ver entón-

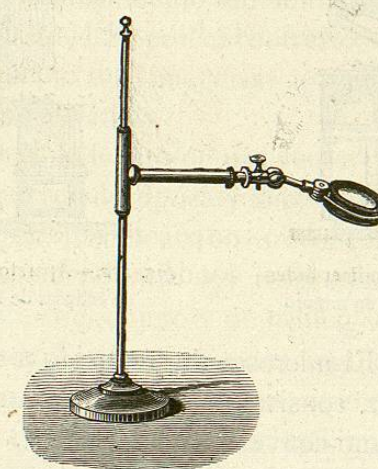


Fig. 225.—Porta-lente

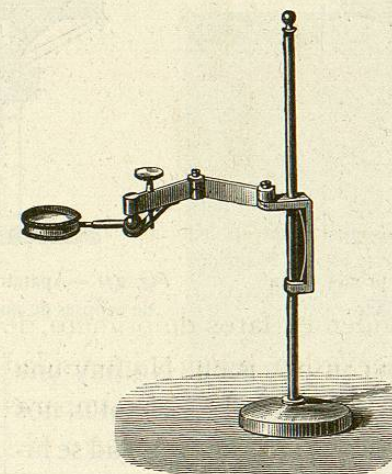


Fig. 226.—Otro modelo de porta-lente

ces claramente como á la distancia de la visión distinta.

Hay dos clases de *microscopios*: la *lente de aumento* ó *microscopio simple* y el *microscopio compuesto*.

Es muy probable, cuando no absolutamente probado, que los antiguos conocían el poder amplificador de las masas de vidrio de forma esférica. De un pasaje de una comedia de Aristófanes se deduce que los atenienses no igno-

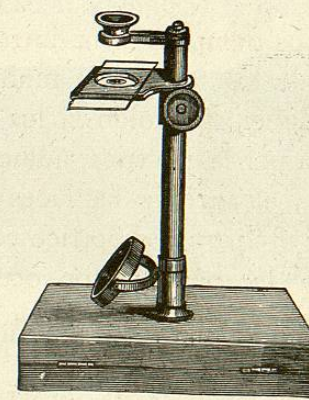


Fig. 227.—Microscopio simple

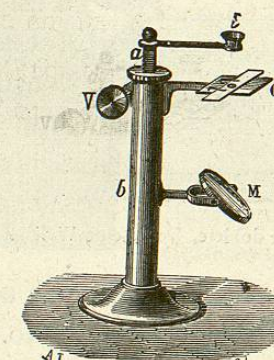


Fig. 228.—Otro microscopio simple

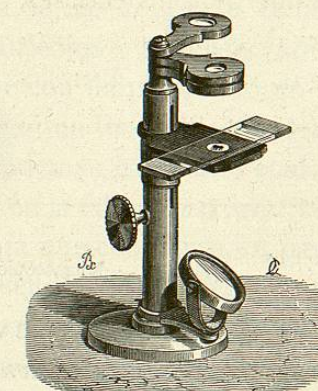


Fig. 229.—Anteojo compuesto

raban el modo de encender fuego con un pedazo de vidrio que concentraba en su foco los rayos del Sol. Las piedras preciosas grabadas que se conservan del tiempo de los romanos debieron

forzosamente de labrarse con el auxilio de instrumentos de aumento, los cuales consistían en pedazos de vidrio tallados ó fabricados en forma de lentes, ó tal vez en bolas huecas de cristal