

rayos solares la reflexion total, permitiendo dirigir la imágen siempre en el mismo sentido: dáse el nombre de *anteojo roto* al instrumento en que se ha introducido esta modificacion. Pero esto no es una solucion aplicable á los anteojos ecuatoriales, instrumentos cuyo eje se desvia uniformemente alrededor del eje del

mundo y va siguiendo la marcha del astro observado á medida que lo arrastra el movimiento diurno.

Con objeto de remediar este defecto y de evitar los inconvenientes que dejamos indicados, ideó Leon Foucault el instrumento á que dió el nombre de *siderostato*. Este no es en rigor

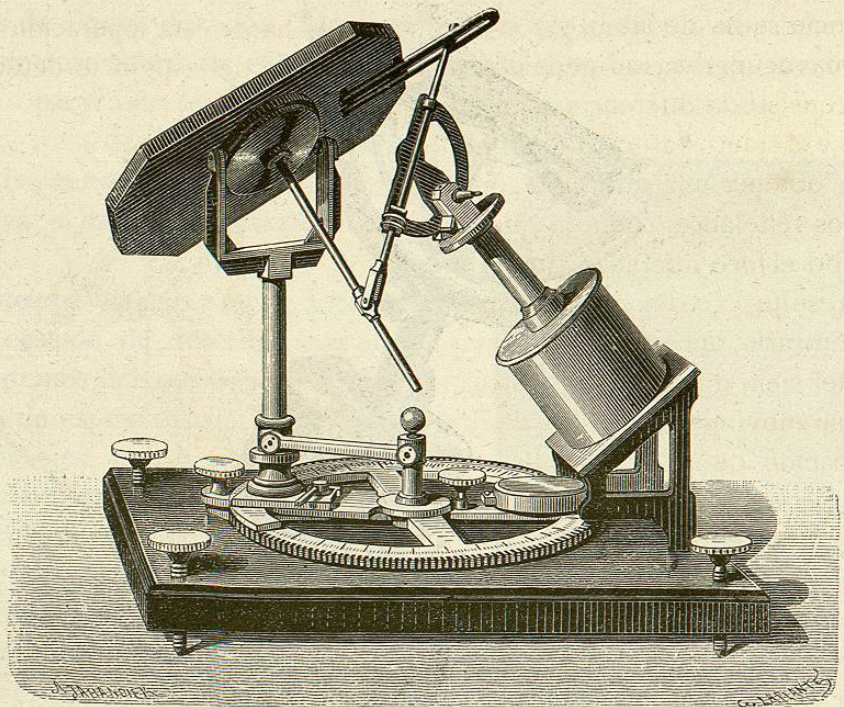


Fig. 219. — Heliostato de Leon Foucault

más que un anteojo astronómico cuyo eje óptico permanece invariable en posicion horizontal ante la cual refleja la imágen del punto del cielo que se trata de observar un espejo movido por un aparato de relojería y susceptible de ocupar á todo instante la posicion variable que exige el movimiento diurno. De este modo puede pasar el cielo entero, como quiera el observador, por delante del anteojo que permanece inmóvil, y aquél conserva aplicado el ojo, sin molestarse, al ocular del instrumento. Por consiguiente subsiste constante y horizontal la direccion del rayo reflejado.

Examinando la figura 220 se comprenderá fácilmente su disposicion.

El espejo puede girar alrededor de un eje horizontal sustentado sobre dos montantes verticales que giran á su vez sobre una corona de ruedas macizas en torno de un eje vertical. Dicho espejo está sostenido por una barra perpendicular á su superficie que penetra en un anillo sujeto por una grapa cuyo eje da la direc-

cion de los rayos incidentes del astro observado. Esta grapa está articulada en el otro extremo con la punta de un eje cilíndrico paralelo al eje del mundo y que, merced á una serie de ruedas y engranajes, gira sobre sí mismo con movimiento uniforme y con la velocidad angular del movimiento diurno.

Un círculo graduado permite fijar la direccion del eje de la grapa, de modo que el ángulo que esta forma con el eje del mundo sea igual á la distancia polar del astro. Dado el ángulo horario de este último para el momento en que el observador debe comenzar, se dispone el instrumento de modo que los rayos del astro vayan á caer en el plano que pasa por él y por el eje del anteojo, y el movimiento le deja allí en seguida mientras dura la observacion.

Conviene advertir que la longitud de la grapa es precisamente igual á la distancia que media entre su eje de articulacion y el eje horizontal del espejo, de lo cual resulta que reuniendo la línea los puntos medios de ambos ejes,

prolongada más allá del espejo, da la direccion de los rayos reflejados. Esta direccion es, pues, constante; por lo regular se la inclina algunos grados bajo el horizonte para poder observar en caso necesario los astros muy inmediatos á él.

Una de las grandes dificultades de la construccion del siderostato consistia en el espejo plano, cuya superficie se ha de labrar de modo que presente la mayor perfeccion geométrica posible. En esto consiste la diferencia esencial entre el heliostato y el siderostato. En el primero, lo principal es obtener una direccion constante para los rayos reflejados; como lo que se estudia es la luz y no el foco luminoso, importa poco que aquella resulte ó no deformada. El siderostato, por el contrario, debe dar una imágen exacta, idéntica, del cielo mismo, de los astros, de su figura y de su movimiento. El difícil problema de la realizacion de un plano óptico ha sido resuelto por Leon Foucault merced á un método cuyos elementos entregó el hábil cuanto malogrado físico á su amigo Ad. Martin.

Hé aquí cómo aprecia M. Wolf las ventajas del nuevo instrumento: «No hay observador, dice, que no tenga que luchar con las dificultades que ofrece el adaptar á un anteojo ecuatorial un gran espectroscopio, cámaras fotográficas, aparatos de proyeccion ó de estudios fotométricos. Todas estas dificultades desaparecen empleando el siderostato. Los instrumentos de los gabinetes de física, cualesquiera que sean su peso, forma y volúmen, se pueden colocar delante del anteojo como delante del porta-luz de la cámara oscura, y el astrónomo estudia la luz de todos los astros en las mismas condiciones en que el físico ha estudiado la luz solar. Merced á él, se pueden realizar fácilmente muchos experimentos que parecian imposibles, y particularmente los que requieren la estabilidad perfecta del instrumento de medicion: por ejemplo, las determinaciones de las posiciones absolutas de las rayas espectrales y de las dislocaciones de estas rayas, las medidas fotométricas, etc.

»El espejo del siderostato, probado en el estudio del cielo con el excelente anteojo de Cauche de 16 centímetros de abertura y aumentos de 100 á 300 veces, no produce deformacion alguna en el haz procedente de una es-

trella bajo una incidencia de más de 45 grados.»

La pérdida de la luz ocasionada por la reflexion es escasa; segun los experimentos de Foucault no asciende, con respecto á la plata bruñida de los espejos, á más de $\frac{1}{100}$ de la luz incidente. Además, el pulimento dura mucho tiempo, y como es fácil platearlos de nuevo, se puede hacer esta operacion tan luégo como la superficie del espejo se deteriore. Pero bajo

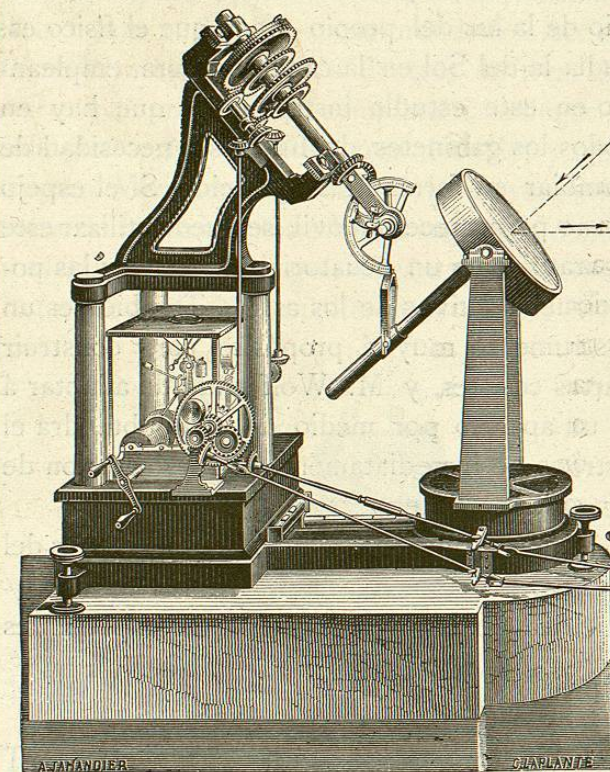


Fig. 220. — Siderostato

el punto de vista astronómico, el siderostato tiene un defecto más grave que el que puede resultar de la pérdida de luz: no se pueden explorar con él todas las partes del cielo, sino tan sólo las comprendidas entre el polo y el horizonte del lado del Sur. Para examinar las otras, seria preciso construir un siderostato de modo que reflejara los rayos al Norte.

Una nota de H. Saint-Claire Deville, inserta en el tomo de las obras de Leon Foucault, expresa las esperanzas que habia concebido éste del uso futuro del siderostato, esperanzas que el inventor no debia ver realizadas, por cuanto no se construyó el instrumento hasta despues de su muerte. El sabio y malogrado físico empieza por poner de relieve en estos términos la utilidad del siderostato:

«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, Teulère, 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.

Teulère 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 Teulère 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.

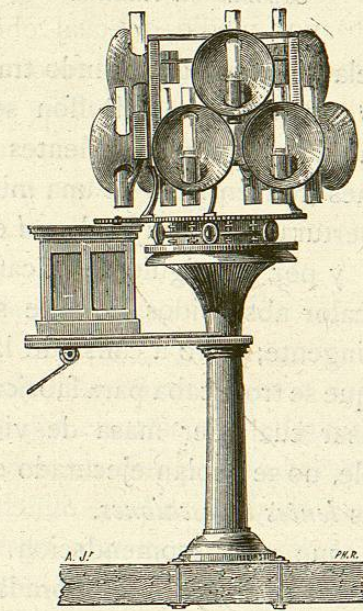


Fig. 221.—Faro catóptico

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