

de Cauche de 16 centímetros de abertura y aumentos de 100 á 300 veces, no produce deformación alguna en el haz procedente de una estrella bajo una incidencia de más de 45 grados.,

La pérdida de luz ocasionada por la reflexión es escasa; según 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 operación tan luego como la superficie del espejo se deteriora. Pero, bajo 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 sería 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 León Foucault, expresa las esperanzas que había concebido éste del uso futuro del siderostato, esperanzas que el inventor no debía ver realizadas, por cuanto no se construyó el instrumento hasta después 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.,

Luego 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 reprodujera en una pantalla cuadrada una imagen fija y amplificada 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 móvil, 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.

CAPITULO II

LOS FAROS

I

SEÑALES MARÍTIMAS. - PRIMEROS FAROS DE REFLEXIÓN Ó CATÓPTICOS

Los antiguos no desconocieron el uso de los faros, como lo atestigua el fanal colocado en una elevada torre á la entrada del puerto de Alejandría y que, según parece, subsistía aún en el siglo XII; el islote en el que estaba construída dicha torre dió su nombre al edificio que lo transmitió 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.

Apenas 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 éstos 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; luego 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, dice León Rénard, se estableció esta clase de alumbrado en Cordouán; mas, aunque aquel faro tenía nada menos que veinticuatro lámparas, cada una con su correspondiente reflector, difundían éstas una luz tan escasa que los navegantes solicitaron con instancia que se adoptara de nuevo el sistema bárbaro usado en la Edad media., (*Los Faros.*)

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 Carcel, 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 Cordouán en 1791.

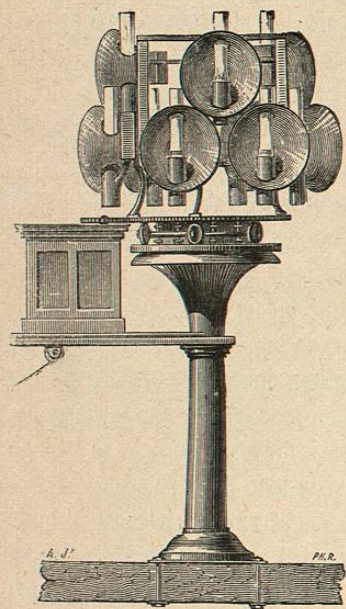


Fig. 627.—Faro catóptrico

Los aparatos catóptricos 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 627, 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 menos frecuentes, y distinguir de este modo entre sí los faros establecidos en diferentes puntos de la costa.

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 divisa 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 menos 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 menos de que no se aplique ya este sistema á los de primer orden ó de larga duración: en Francia sólo se los utiliza para alumbrar los pasos estrechos, los canales, ó como suplemento de la luz de otro sistema en una dirección en que el alcance de ésta es insuficiente.

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

II

FAROS DE REFRACCIÓN Ó DIÓPTRICOS. - APARATOS LENTICULARES DE FRESNEL

Más adelante veremos, cuando tratemos de los espejos ustorios, que á Buffón se le había 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 cual-

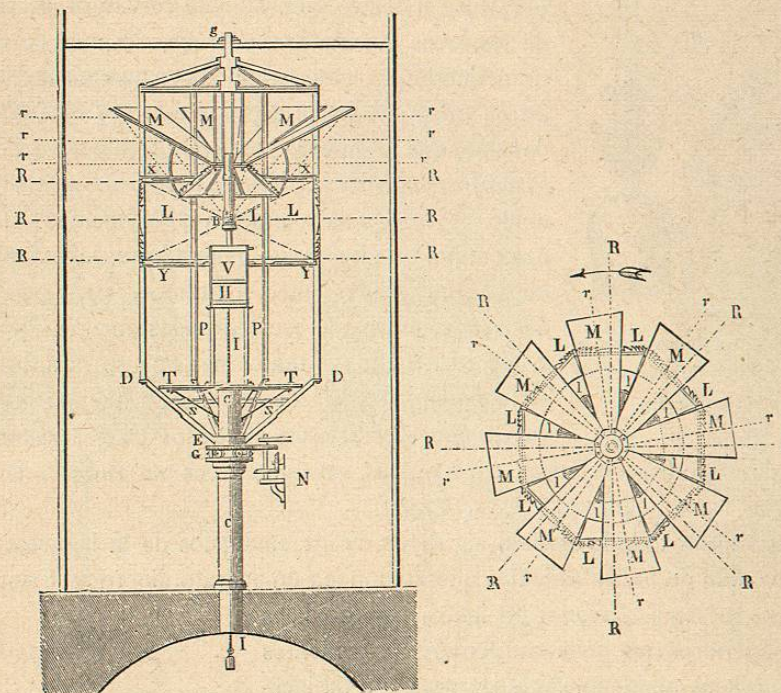


Fig. 628.—Primer aparato lenticular de Fresnel. Plano y elevación

quier masa de vidrio algo considerable, no se habían ejecutado en grande escala estas *lentes escalonadas*.

Fresnel, que por recomendación de Arago fué agregado á la comisión nombrada en 1819 para perfeccionar los faros, creyó que se podría sustituir ventajosamente á los reflectores parabólicos grandes lentes de vidrio. Y en efecto, por una parte, la imagen 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 y por base la abertura circular de un reverbero parabólico, 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 Buffón, pero introduciendo en ella dos modificaciones que pueden considerarse capitales. En primer lugar, hizo posible y práctica la construcción 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 s6lidamente por sus bordes. En segundo lugar, aprovech6 este sistema de fabricaci6n para introducir en la forma misma de las superficies refringentes un perfeccionamiento en el que Buff6n no haba pensado. Despu6s de dejar sentado que si el c6lebre naturalista no consigui6 que le construyeran una lente de escalones de tres pies de di6metro consisti6 en que no se le ocurri6 hacerla de muchos pedazos, Fresnel a6ade: "A lo que parece, tampoco haba echado de ver una gran ventaja que ofrece la ejecuci6n separada de la superficie de cada anillo, cual es la de corregir casi enteramente la aberraci6n de esfericidad, cuando se han multiplicado los anillos suficientemente, averiguando por el c6culo el centro y el radio de curvatura de cada uno de los arcos generadores. Porque, despu6s de concebir primeramente la lente terminada en una misma superficie esf6rica, supone que se deprime 6sta por escalones, pero de modo que las nuevas porciones de superficies esf6ricas sean *conc6ntricas* á la primera, lo cual no es el verdadero modo de corregir la aberraci6n de esfericidad. El c6culo nos ense6a que los arcos generadores de los anillos, no tan s6lo no deben tener el mismo centro, sino que los diferentes centros no est6n situados en el eje de la lente y que se alejan de 6l tanto m6s cuanto m6s disten á su vez del centro de la lente los arcos á que pertenecen, de suerte que, al girar 6stos alrededor del eje, no engendran porciones de superficies esf6ricas conc6ntricas, sino superficies por el estilo de las que los ge6metras llaman anulares."

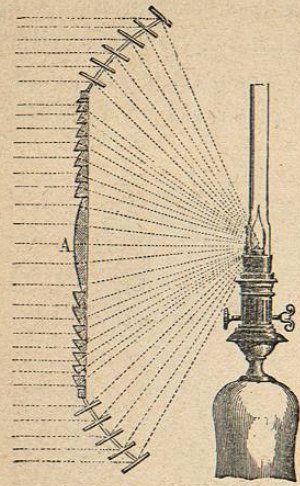


Fig. 629. — Marcha de los rayos en un faro lenticular de Fresnel, de lentes y espejos inclinados.

porciones de superficies esf6ricas conc6ntricas, sino superficies por el estilo de las que los ge6metras llaman anulares."

A fin de utilizar todo lo posible los rayos de luz emanados de la l6mpara situada en el foco com6n de todas las lentes que componen un aparato di6ptrico, Fresnel hizo de modo que fuesen á convergir en lentes trapezoidales los rayos superiores que pudieran perderse; estas lentes estaban colocadas alrededor de la l6mpara con tal inclinaci6n que los rayos se reflejaban horizontalmente en *rr* por medio de espejos *MM* en forma de abanico, 6 iban á reforzar los haces *RR* de las lentes verticales. La figura 628 presenta el plano y la elevaci6n de un aparato lenticular tal como Fresnel lo construy6 en un principio. Despu6s, 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 reflexi6n se efectuara horizontalmente, y, tambi6n á series de prismas en que los rayos luminosos sufren una reflexi6n total. Las figuras 629 y 630 presentan la marcha de los rayos en uno y otro sistema.

Asi pues, la reflexi6n y la refracci6n se utilizan por igual en estos aparatos, que llevan por esta raz6n el nombre de *faros catadi6ptricos*. Fresnel no se limit6 á hacer estas modificaciones capitales en el alumbrado de los faros, sino que tambi6n perfeccion6 las l6mparas con el auxilio de Arago, introduciendo en ellas los sistemas de me-

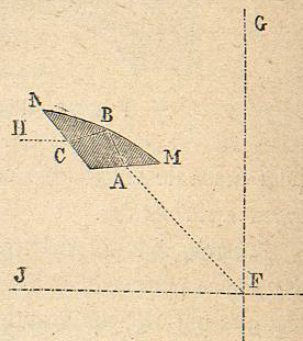


Fig. 630. — Reflexi6n total en los prismas de los faros catadi6ptricos

cheros m6ltiples 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 aplicaci6n al alumbrado de la entrada de los puertos, pero su salud gravemente quebrantada no le permiti6 realizarlas todas.

"Apenas haba comenzado la ejecuci6n de su primer aparato catadi6ptrico para los faros de puerto, dice su hermano L. Fresnel, cuando los incesantes progresos de la enfermedad org6nica, con la cual venia luchando penosamente hacia algunos a6os, pusieron fatal t6rmino á sus trabajos cientificos y administrativos. "Cu6ntas cosas habr6a podido hacer todav6a!," exclam6 dando el adi6s postrero á su excelente amigo Arago,

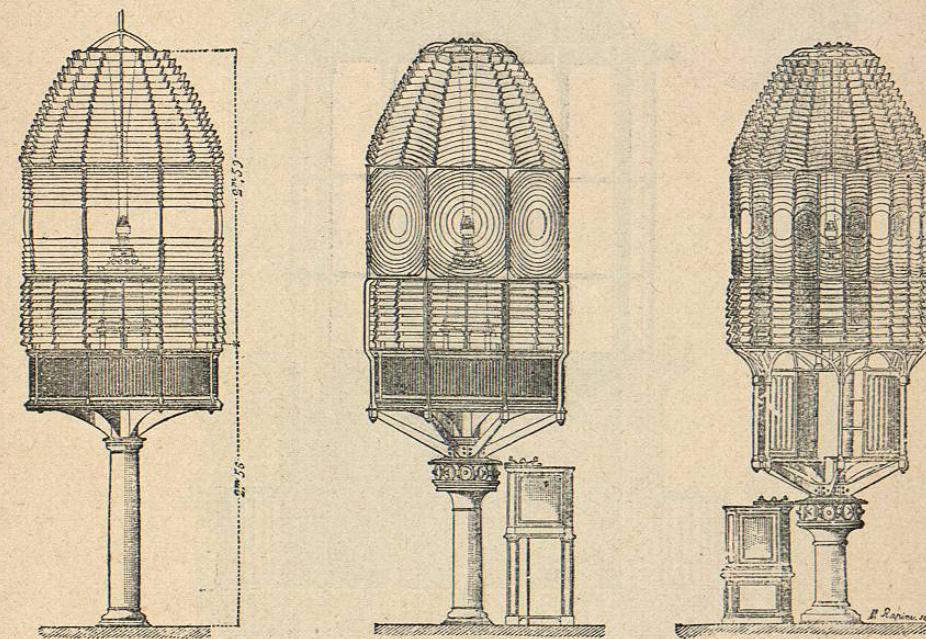


Fig. 631. — Aparato de primer orden de luz fija y blanca

Fig. 632. — Aparato de primer orden de eclipses de minuto en minuto

Fig. 633. — Aparato de luces rojas y blancas de eclipses de 20 en 20 segundos

que tan desinteresadamente le haba sostenido y animado en sus principios en la carrera de las ciencias. Esta suprema y dolorosa exclamaci6n del moribundo deb6 referirse principalmente á sus investigaciones sobre la teor6a de la luz, pues su nuevo sistema de faros pod6a considerarse como obra ya terminada bajo el punto de vista te6rico. Y en efecto, para el desarrollo de tan brillante invento bastaba s6lo perfeccionar los procedimientos de ejecuci6n y estudiar, bajo el concepto pr6ctico, las variantes que pod6an introducirse con provecho en las combinaciones de los elementos di6ptricos y catadi6ptricos ideados por Fresnel, combinaciones y estudios que legaba á los continuadores de sus trabajos." (*Introducci6n á las Memorias de A. Fresnel sobre los faros*) (1).

(1) Citemos tambi6n las palabras de E. Verdet, digno apreciador del genio de Fresnel. "Jam6s se agradecerá lo bastante el servicio que el inventor de los faros lenticulares ha prestado á su pa6s y á todo el mundo civilizado. Y precisamente por estos mismos servicios no puede menos de apenarnos una consideraci6n. Otros ingenieros habr6an ideado temprano 6 tarde las lentes escalonadas, las l6mparas de mechas conc6ntri-

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.

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

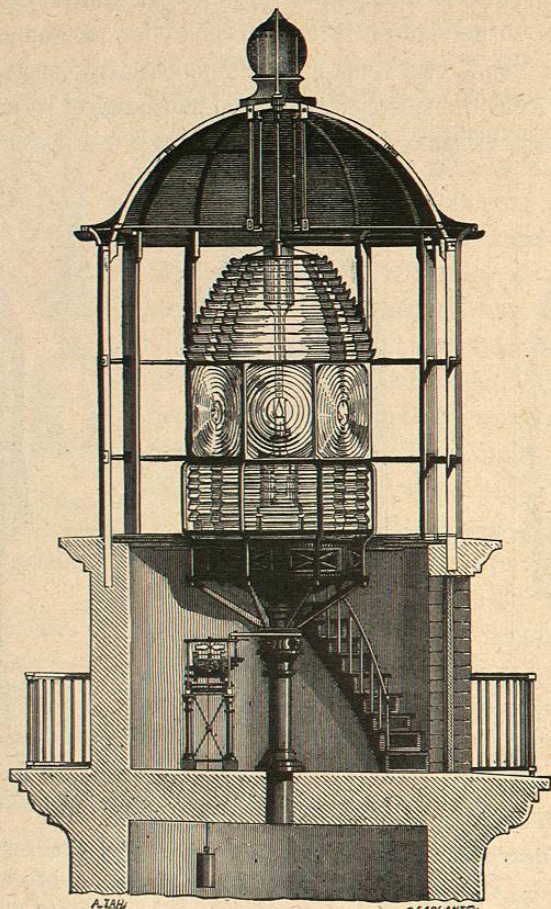


Fig. 634.—Aparato lenticular y linterna de un faro de primer orden

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 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

cas, 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.)

delante de las lentes, se puede variar también el color de las luces. Las figuras 631, 632 y 633 muestran cómo están dispuestos los aparatos para algunas de estas combinaciones. En las figuras 634, 635 y 636 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 Cordouán tiene, como se ve, un aspecto monumental y es enteramente de piedra. El de Nueva Caledonia es, por el contrario, de palastro y de

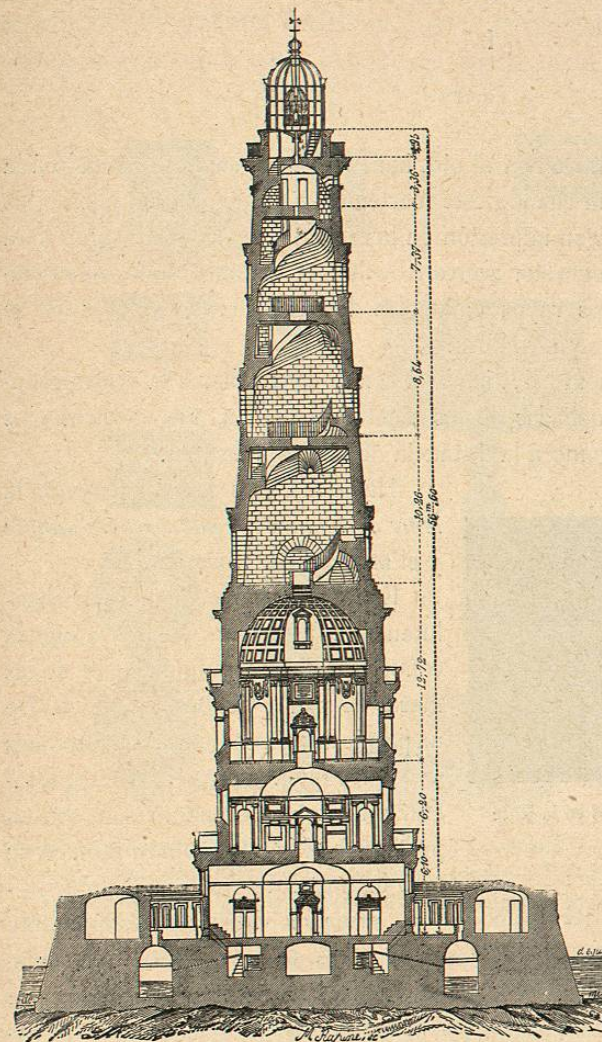


Fig. 635.—Interior del faro de Cordouán

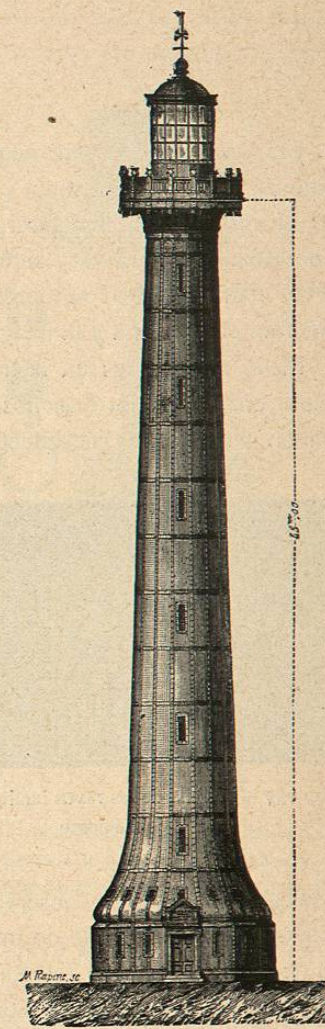


Fig. 636.—El faro de Nueva Caledonia

hierro fundido: construido en París, se le ha podido transportar ya fabricado al punto de su destino.

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.