

“Faro del Cabo de Palos”

Evaristo de Churruca Brunet

Revista de Obras Públicas vol. 13, tomo I,
nº 20, octubre de 1865, pp. 245-252

FARO DEL CABO DE PALOS.

APUNTES RELATIVOS Á SU CONSTRUCCION.

La importancia de la construccion exigida en la punta más avanzada del Cabo de Palos, para la instalacion de un faro de primer orden, me ha movido á escribir estas cortas lineas, haciendo una ligera descripcion de la obra y sus detalles principales, que, si bien nada podrán enseñar ni presentar de nuevo, servirán para darla á conocer á mis compañeros.

La obra consta de un edificio cuadrado de dos pisos, construido en su totalidad de sillería, de cuyo centro se eleva la torre, tambien de sillería, formada de un primer cuerpo prismático de seccion de octógono regular, y de un segundo en forma de columna, de modo que el primero, aunque oculto en su mayoría en el edificio, sirve de pedestal al segundo. El fuste de la columna es ligeramente cónico, la inclinacion ó el talud es de 0,^m02258 en un metro. El edificio tiene 20 metros de lado, y su altura, contando el pretil del terrado, es de 11,^m60.

El primer cuerpo de la torre tiene 12,^m5 de altura y 54,^m5 el segundo hasta el enrase de la cornisa, de modo que la altura de ambos es de 47,^m, á la cual, si se agrega 2,^m20 del torreón, 1,^m14 de la lámpara y 50,^m de desnivel entre el plano de emplazamiento y el mar, resultan 80,^m54 para la altura de la luz sobre el nivel de este.

La simple inspeccion de los planos darán una idea más exacta de la obra que cuantas descripciones pudiéramos hacer de ella, así no nos detendremos más en este punto, pasando inmediatamente á entrar en algunos pormenores de su construccion.

Cimentacion.

En construcciones como esta son pocas todas las precauciones que se puedan tomar, para asegurarse con toda certidumbre de las buenas condiciones del terreno sobre el que hay que fundar; pues por pequeño que sea el asiento que haga la obra, por efecto de la gran carga que actúa sobre su base, suele dar lugar por lo general á grietas, cuyos efectos, si son perjudiciales en una obra cualquiera, lo son con mayor razon en una torre de tan grande altura.

Cualquiera que conozca la costa comprendida entre Cartagena y el Cabo de Palos, no podrá menos de haber reconocido en muchos puntos las grietas y hendiduras de grandes masas que se notan en toda la formacion, debidas sin duda á sacudimientos interiores, algunos de los cuales como al que debe su existencia el mar Menor, son de una época geológica muy reciente.

Por este motivo, y teniendo en cuenta la continúa denudacion que produce el mar en esta parte de la costa, el Sr. Ingeniero Jefe de la provincia hizo presente á la superioridad la conveniencia de que reconociera el terreno una comision mixta de Ingenieros de Caminos y de Minas, dando en resultado de ella su informe facultativo.

Nombrados al efecto el Ingeniero encargado del servicio marítimo D. Carlos Mondejar y el Ingeniero Jefe de Minas D. Anselmo Tirado, hicieron un escrupuloso y detenido reconocimiento de toda la superficie del terreno, en cuya consecuencia emitieron su informe, del cual resulta: 1.º que el terreno accesible á las observaciones en el punto que se trata, está compuesto en primer lugar, de un potente banco de caliza metamórfica, que forma la costra ó superficie exterior del terreno, debajo una capa de caliza pizarrosa ó cal-sguito, de unos seis metros de espesor, y por bajo otras capas de marga rojiza y arcilla azulada. Todas estas capas, por lo que puede observarse en el escarpe que da al mar, parecen dirigirse de N. E. á S. O. y lo que es muy importante al objeto, afectan tener un fuerte buzamiento (de unos 75º) hácia el N. O., ó sea hácia tierra adentro. 2.º Que los accidentes geológicos que pueden sobrevenir al cerro son dos, debidos ambos á distintas causas.

El 1.º un hundimiento más ó menos repentino de su masa, comprendiendo en mayor ó menor parte el terreno de sus inmediaciones, por efecto de las mismas ignoradas causas que dieron lugar á la depresion, á que debe su existencia el mar Menor, en cuya proximidad se encuentra el mencionado cerro. El 2.º un desmembramiento lento y sucesivo de las rocas que le constituyan, producido por la denudacion que el mar obra incesantemente sobre las capas inferiores; hecho que allí mismo hay pruebas de que se viene aconteciendo, como se verifica en general, en mayor ó menor escala, en todas las costas elevadas.

Contra el primer accidente, que en realidad no hay razon alguna que le haga probable ni imposi-

ble, dicho se está que no hay precaucion ninguna que tomar, porque no está en la mano del hombre aumentar ni disminuir las causas que puedan producirle, ni aun siquiera sospechar los sitios que en tal caso podrian librarse del cataclismo. Pero por lo que respecta al 2.º, la cuestion es bien diferente; puesto que una vez determinado el talud que, atendido á la cohesion del terreno, deba tener la vertiente escarpada del cerro, todo queda reducido á cuidar, por los medios que se juzguen más á propósito, de que los efectos de aquella denudacion no disminuyan este talud de una manera perjudicial á la seguridad de la torre. La Comision hizo constar además, que las observaciones mencionadas se practicaron en vista de las indicaciones que ofrecia el terreno en el corte ó tajo casi vertical que cae al mar, por cuya razon no podian asegurar que los bancos continuasen con la misma inclinacion y espesor, y no presentasen dentro de su masa cavernas ú oquedades, como ocurre con frecuencia en esta clase de terrenos, segun se observa en otros puntos de la costa.

En vista de este informe, se exploró el terreno con una galería normal, á la inclinacion que se presumia tenian las capas, hasta una profundidad de 15^m,80, sin atravesar aun la capa de chischarza ó caliza metamórfica, la que confirma su mucha inclinacion, mayor todavía que la supuesta por la Comision. La roca se encontró siempre unida y compacta, y no apareció indicio alguno de solucion de continuidad. Juzgando ya mas que suficiente la potencia de la capa superior para resistir al peso de la torre, aun cuando no existiese la capa subsiguiente de cal squisto, que aparece con bastante potencia en el escarpe, se creyó que el terreno ofrecia todas las condiciones de seguridad apetecible.

Siguiendo en un todo el proyecto de cimentacion, que, en vista de lo anteriormente expuesto, redactó el Ingeniero D. Justo Gonzalez Molada, la primera operacion que se hizo fué desmontar la torre vigía antigua y la cabeza del cono hasta un plano de nivel elevado á 50^m sobre el mar, con lo cual se conseguia tener una esplanada suficiente para emplazar parte del edificio y depositar los materiales durante la construccion. En seguida se verificó el replanteo de la obra, colocando el centro del edificio á 59 metros del punto mas avanzado del escarpe y 72^m,56 del pié del mismo, resultando para las respectivas distancias al exterior del edificio 29^m, y 62^m,56, que comparadas con

la altura ya menciouada de 50^m, se observa que, para que la socavacion del mar llegará á interesar los muros del edificio, seria preciso, además del abandono completo de la conservacion, que las tierras formasen un talud de 24º próximamente, menos rígido que el que forman las arenas, lo cual no puede tener lugar en razon á que, además de tener los squistos y margas calizas mucha mayor consistencia que aquellas, existen al pié del tajo bloques de gran magnitud, que sirven de muy buena escollera para sujetar la entrada del mar é impedir el desligamiento de las tierras.

Para empotrar la torre en el terreno de una manera conveniente, se tuvo que abrir una excavacion hasta un plano cuatro metros inferior al de ereccion; el fondo se igualó y enrasó perfectamente con una capa de hormigon hidráulico de 0,20 de espesor, sobre el cual se sentó el macizo de sillería que constituye el cimiento. Su forma es la de un tronco de pirámide octogonal, cuyo lado de la base inferior tiene cuatro metros; sus caras están inclinadas á $\frac{1}{10}$, siendo su altura 5^m,80; todo de sillería bien labrada y sentada á baño de mortero.

Segun se ve en los planos, el faro está rodeado de un átrio ó terraza, que, al mismo tiempo que sirve de desahogo á los torreros, realza y embellece al edificio; para formarla ha sido preciso construir muros de sostenimiento en los lados que miran al N., y en parte de los del E. y O. son de mampostería con ángulos y un cordón general de sillería; están coronados por un pretil de ladrillo con zócalo y albardilla de aquel material, el cual circunda asimismo todo el átrio, dejando únicamente una abertura de 7 metros delante de la puerta de entrada. Los paramentos exteriores de estos muros tienen $\frac{1}{10}$ de talud, los interiores están por retiradas de un decímetro por cada metro de altura, teniendo todos ellos el cuarto de su altura por espesor en su base. Los cimientos, tanto de estos como los del edificio, no han ofrecido dificultad alguna por la gran consistencia de la roca relativamente á la presión que han de experimentar.

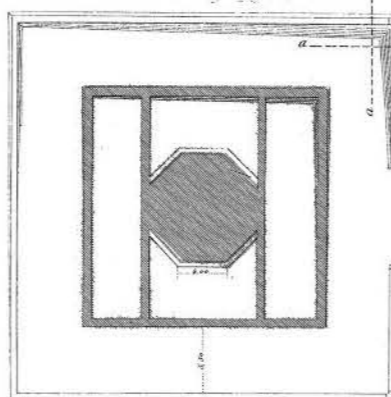
En la contrata de las obras de cimentacion iba incluido, y se ejecutó un camino de servicio de seis metros de anchura, necesario de todo punto para el transporte de materiales, y en particular las sillerías.

FARO DEL CABO DE PALOS

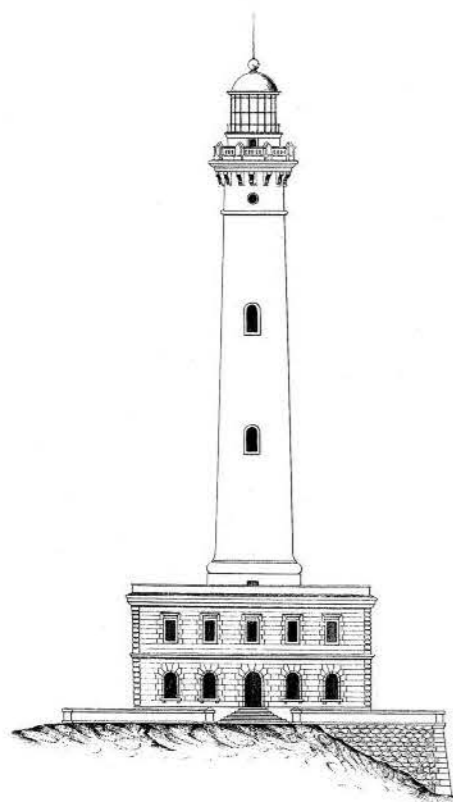
PERFIL Y PLANO DE LAS FUNDACIONES



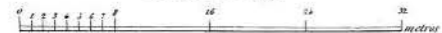
SECCION POR a b



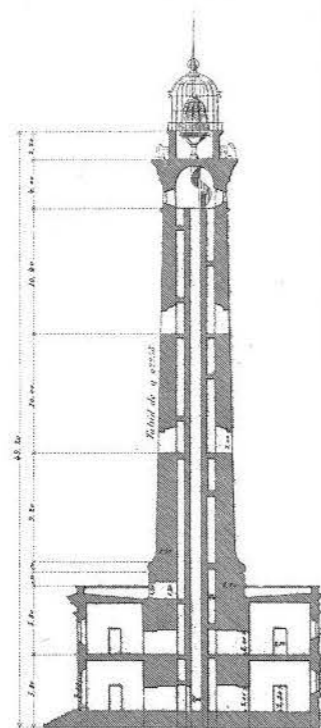
ALZADO



Escala de $\frac{1}{400}$

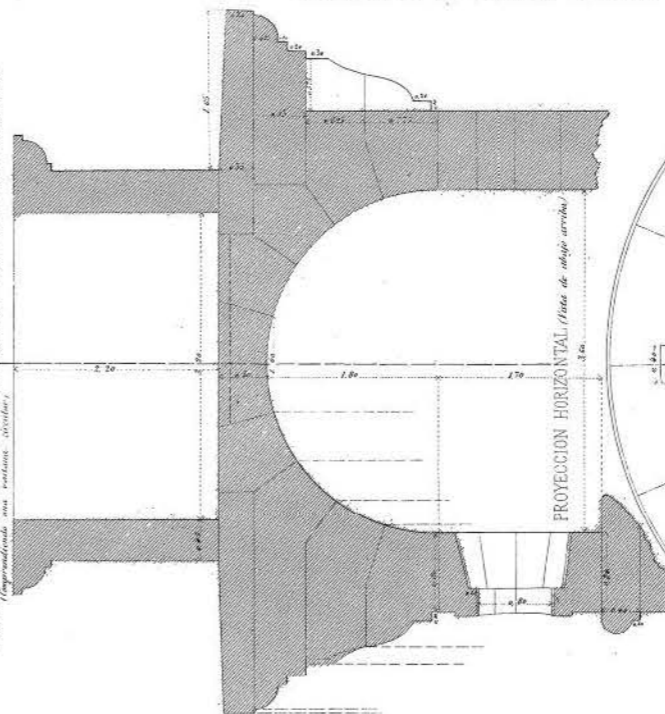


SECCION



DESPIEZO DE LA BÓVEDA ESFERICA

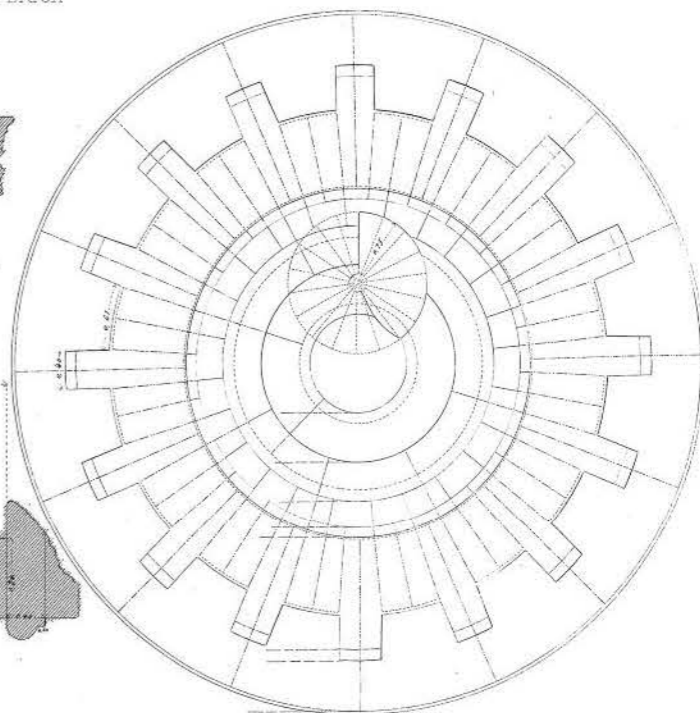
SECCION POR EL EJE DE UNA VENSILIA. SECCION POR ENTRE DOS VENSILIAS.



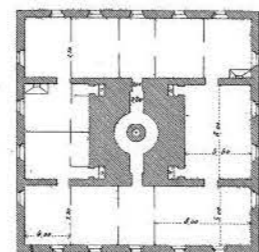
Escala de $\frac{1}{50}$



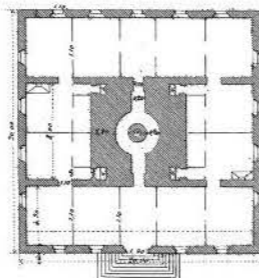
PROYECCION HORIZONTAL (Plan de abajó arriba)



PLANTA ALTA

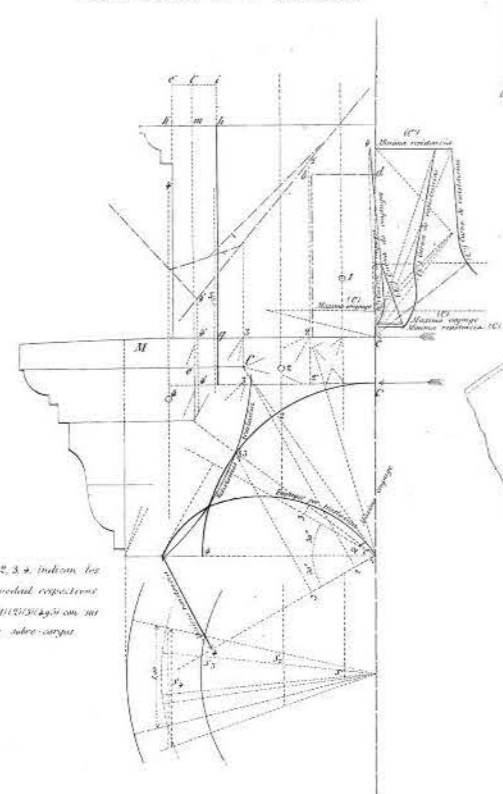


PLANTA BAJA



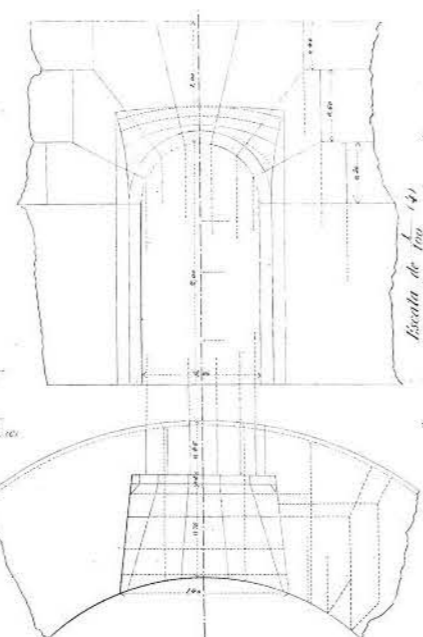
FARO DEL CABO DE PALOS

1. Determinación gráfica de los empujes y resistencias de la bóveda esférica de la antecámara

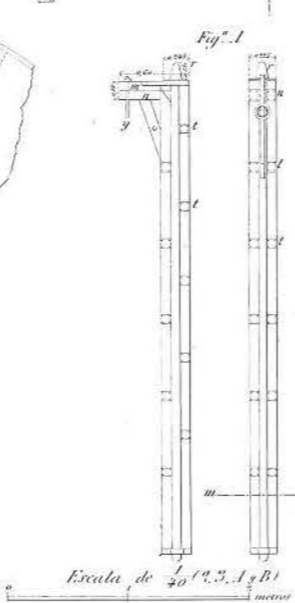
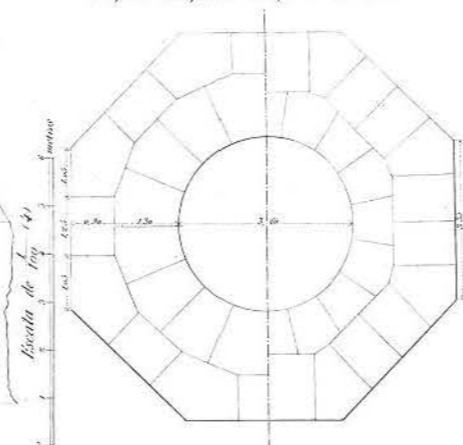


Escala de $\frac{1}{50}$ (1, 6, 7 y 8)

2. Despiece de las ventanas inferiores de la torre



4. Despiece del primer accepo de la torre



Proyección horizontal de la grua



Sección por AB



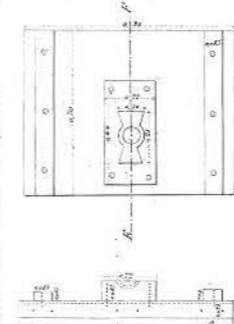
Detalle del pivote



(Sección por MM), Sección por CD



9. Paralela de la palatabrmas que lleva el tejado.

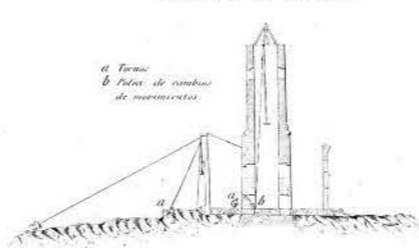


Sección por EF

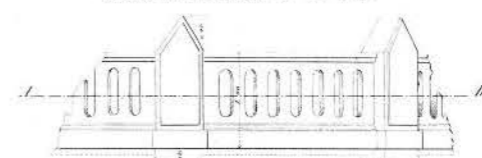


Escala de $\frac{1}{40}$ (9)

3. Elevación de materiales



6. Detalles del antepecho de la torre



Sección por CD



8. Sección por AB

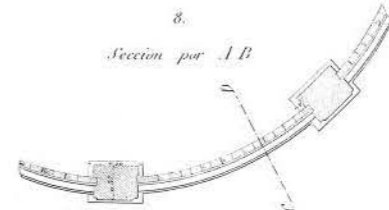
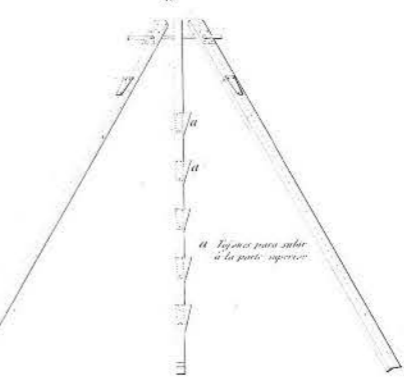


Fig. B



Proyección horizontal de un pie de la cubierta



Sección por XZ



Nota: Los círculos 1, 2, 3, 4, indican los centros de gravedad respectivos de las dovelas (1) (2) (3) (4) con sus correspondientes subes-carpas.

Construcción del edificio y torre.

Concluidas las obras de cimentación, ejecutadas bajo la dirección de los Ingenieros, Sres. Molada, Pardo y Tejada, se empezó á construir el edificio y torre, con arreglo al proyecto redactado por el Ingeniero D. Leonardo de Tejada, reformando el presentado anteriormente por el Ingeniero Sr. Mondejar, del cual únicamente se conservó, con algunas ligeras modificaciones, la distribución de las habitaciones.

Una de las cuestiones de mayor importancia en la construcción de obras de esta naturaleza es el medio que hay que adoptar para la elevación de los materiales. Bajo este punto de vista casi se puede asegurar que se habrán construido pocos faros de estas dimensiones con aparatos tan sencillos como los que se han empleado en el faro del Cabo de Palos, cosa que honra ciertamente á los contratistas, reuniendo además la circunstancia de no haber ocurrido durante la construcción ninguno de esos lamentables accidentes que suceden algunas veces en las obras.

Dos son los aparatos empleados. El 1.º, representado en la fig. A, ha servido para la elevación de la sillería del edificio y 1.º cuerpo de la torre; y el 2.º, fig. B, para todo el resto de la obra.

El primero es una percha compuesta de dos brazos, uno vertical y otro horizontal; el vertical lleva en su parte inferior una espiga de hierro (que sirve de pinote), la cual introducida en un tejuelo semi-esférico permite que gire libremente; en la parte superior lleva otra espiga, que sirve para fijar los cuatro vientos que sujetan el aparato; el árbol vertical se compone de un tablon de 0^m,245 por 0,075 de sección y 5^m,90 de altura, reforzado por ambos costados con dos medios tablones que hacen oficio de nervios, sujetos al primero por medio de los tacost, de modo que su sección transversal es la de una cruz de brazos próximamente iguales. El brazo horizontal avanza 0,48 del eje del anterior; se compone de un trozo de tablon *m*, ensamblado en la parte superior de la percha y reforzado por una sopanda *n* y una tornapunta *o*, y una banda de hierro embutida *p* que guarnece toda su cara superior, parte de la sopanda y el tornapunta, puesta con el doble objeto de hacer invariable el sistema y evitar las degradaciones producidas por el rozamiento de las cuerdas; en la extremidad lleva sujeto un anillo *q*, que sirve para

enganchar la polea. La espiga *r*, que es donde hemos dicho se fijan los vientos, lleva en la parte inferior una armadura de hierro que encasqueta y fija sólidamente todo el sistema.

El tejuelo va unido á un tablero que se coloca en la parte superior de la obra, el cual lleva un reborde que impide su resbalamiento por efecto de la componente horizontal del esfuerzo ejercido por el aparato, puesto que este nunca está completamente vertical. Este tablero está reforzado por dos traviesas colocadas en su cara superior, y un pedazo de tablon donde va embutido el tejuelo.

El segundo aparato es una cábría de tres piés, hecha con suma sencillez por medio de tres tablones de 5^m,50 de longitud y una sección de 0,15 × 0,075. En su parte superior están atravesadas por un pasador, de donde se engancha el cuadernal, teniendo guarnecidos los orificios por unas chapas de hierro que impiden se abra la madera por los esfuerzos que experimenta. Con un objeto análogo llevan sus piés unas cinchas que los abrazan, impidiendo por lo tanto se tienda la madera á continuación de las muescas que hay practicadas para fijar en los bordes inferiores de la torre.

Con objeto de hacer mas sólido el sistema, la parte superior de los tres tablones se enlazaba con unas vueltas de cuerda; hubiera convenido tambien enlazar sus piés con unas varillas de hierro que impidieran la trasmisión á la obra de los esfuerzos horizontales. Con un aparato tan sencillo se han elevado á grandes alturas sillares de mas de 2.400 kilogramos de peso.

Sin embargo cuando fué preciso elevar las grandes piezas que constituyen la bóveda esférica, se reforzó como medida de precaución con otros tres piés, unidos en la parte superior por medio de cuerdas.

Las piedras se traían desde la cantera en carros muy fuertes, y se descargaba al pié de obra; en seguida se llevaban al centro de la torre, bien en un pequeño carreton, si la piedra era de regulares dimensiones, ó bien con rodillos, si era muy grande, salvando el desnivel entre el exterior é interior del edificio por medio de un plano inclinado de madera, que se colocaba en la puerta de entrada.

Una vez ya en el interior, se enganchaba en el cuadernal por medio de una cuerda, que se enrollaba previamente en el sillar, y empezaba su ascension valiéndose de un torno colocado se-

gun indica la figura; cuando el sillar estaba en la parte superior se le recibía en un suelo formado por dos tablonos de canto, pendientes de los bordes superiores de la torre por medio de unas escuadras de hierro, y otros de plano que se colocaban encima, conduciéndolo en seguida con rodillos al punto donde se había de asentar. Por este sistema se elevaron todas las paredes de la torre, hasta cerrar la bóveda esférica de la antecámara, habiendo dejado para el último la construcción de la escalera; pues si no se hubiera procedido de esta manera, las piedras de los capi-alzados y de la mencionada bóveda no podrían haber sido elevadas por el pozo ú ojo de la escalera, que sólo tiene 1^m de diámetro.

El servicio de los operarios se hacía por una escala de cuerda, sujeta en la parte superior de la obra, en la cual, mediante alguna práctica, se subía y bajaba sin grandes dificultades.

La construcción de la escalera se ha podido hacer con toda exactitud; pues elevada ya la torre se han trazado los hélices con toda precisión, y el replanteo de las cajas para recibir los escalones se ha verificado sin error ninguno.

Las piedras para la escalera se han elevado por el interior del pozo, valiéndose de un torno colocado en la parte inferior y de un madero que, descansando sobre los vanos de la torre, llevaba unido á su mitad un cuadernal.

Antes de construir la bóveda esférica y para asegurarnos del grado de resistencia que podía ofrecer, determinaremos gráficamente los empujes y resistencias en todas las juntas, teniendo en cuenta la sobre-carga de cada dovela en particular, con arreglo al método que M. Michon expone para las bóvedas cilíndricas é indica ligeramente para las esféricas.

Para hallar el centro de gravedad de la sección de la clave y su sobre-carga, sustituimos al aparato un cilindro de piedra, del mismo diámetro que el trasdos de la clave, reduciendo la cuestión á la determinación del de la figura *l b d c e'*; esto, si bien no es exacto, simplifica mucho el problema.

La contra-clave no tiene sobre-carga, según se ve en la figura. La siguiente dovela experimenta el peso de la parte del sillar M y del torreon que descansa sobre él, así como también de la correspondiente á la linterna. Hemos supuesto que estos pesos se respetan de una manera proporcional á las partes de su base que cargan sobre la 3.^a y 4.^a dovela; sustituimos para mayor facilidad la moldura del torreon y la linterna por una figura de

sillaria de igual peso, y cuya sección es *h i i h'*, suponiendo además que la parte *h i l m* carga sobre la 3.^a dovela y *m l i h'* sobre la 4.^a; de modo que la sobre-carga de la 3.^a está representada por la figura *f e m l i h g*.

La 4.^a y 5.^a dovela, estando enlazadas por un salta-caballo, y habiendo por consiguiente una estrecha solidaridad entre ambas, las consideré para el caso como una sola.

Además, como todo el peso que carga sobre estas últimas contribuye á aumentar la estabilidad de la bóveda, consideré lo mas desfavorable que podía ocurrir, es decir, que toda la bóveda estuviera en el caso de las partes comprendidas entre las ménsulas, de modo que se han despreciado el peso de estas y el de las partes de molduras que cargan inmediatamente sobre ellas.

Con arreglo á estas hipótesis se han determinado los centros de gravedad 1, 2, 3, 4 respectivos de las áreas de los perfiles de todas las dovelas, con sus correspondientes sobre-cargas, los cuales se ven marcados en el dibujo con un pequeño círculo. Las líneas proporcionales á estas áreas ha habido que determinarlas por el cálculo, por no ser fácil obtenerlas por una construcción geométrica. Para la aplicación del método gráfico se ha sustituido á la bóveda esférica otra poligonal, formada por una reunión de bóvedas cilíndricas; para mayor sencillez hemos adoptado una, cuya longitud media en la base es 1^m; se sabe que por esta sustitución nos ponemos en un caso mas desfavorable que el que en realidad sucede.

Considerando que la rotura de la bóveda se verifique por rotación, se ve por la simple inspección del dibujo, que cuando el empuje se considera aplicado en C, su máximo está en la junta 2, y es producido por la clave y contra-clave. En este caso se ve asimismo que la mínima resistencia se encuentra en la junta 1, pero que es mucho mayor que el máximo empuje; por consiguiente la bóveda está en buenas condiciones de estabilidad. Cuando se toma el punto C' por el de aplicación del empuje, se observa que el máximo de este se halla en la junta 1, y es también menor que la mínima resistencia, la cual se encuentra en la punta de arranques.

Suponiendo que la rotura se verifique por traslación, el máximo empuje está en la junta 2, y la mínima resistencia en la de arranques, que según se ve es mucho mayor que aquel.

Las tres curvas de empujes nos indican por sus ordenadas negativas que en esta última junta no

REVISTA DE OBRAS PUBLICAS.

TORRES.	P. Kilógramos.	v. Metros.	u. Metros.	I.	ζ ₂	ζ ₁	ζ	$\frac{\zeta}{61}$
1 Lorient.....	1.717.600	5,57	55,55	126,55	0,85	5,58	7,4	2,07
2 Génova.....	6.615.880	4,50	56,00	494,67	2,08	2,29	6,2	2,71
5 Belle-Ile.....	2.405.584	5,49	28,62	104,87	1,69	5,53	5,8	1,74
4 Cabo de Palos.....	1.780.650	5,05	50,065	110,078	1,059	5,545	5,466	1,654
5 Planier.....	555.200	2,60	16,22	55,66	0,50	5,25	4,6	1,41
6 Pilier.....	568.451	2,50	15,56	21,98	0,66	5,26	4,4	1,55
7 Columna de Bouloque.,.	851.040	2,02	9,65	11,99	1,75	5,28	5,5	1,07

existe tendencia á que la bóveda caiga hácia adentro, en ningun caso de rotura que se considere.

En los dibujos que acompañan se ve el despiece, con arreglo al cual se ha aparejado la bóveda esférica; se ha tratado en lo posible de conciliar la solidez con las condiciones especiales de la cantera; el vano en forma de sector circular que se observa en la bóveda, es el correspondiente á una escalera de hierro; la clave ha sido preciso chafarla algo, para hacer mas cómoda la subida.

Asimismo acompañan los despieces de las capi-alzadas de las ventanas de la torre; su ejecucion ha presentado algunas dificultades por la extraordinaria dureza de la piedra, su contestura vidriosa y lo poco que se prestaba la cantera á la extraccion de grandes piezas.

Por no embarazar ni abultar mucho los planos, no se incluyen los despieces especiales que ha habido que verificar para el aparejo de los dinteles de las puertas de la torre, así como tampoco los planos del aljibe caserna para trabajadores, etc., incluido en la misma contrata.

Estando la obra casi terminada, se pensó y propuso á la Superioridad el sustituir á la barandilla de hierro de la galería que rodea al torreón, segun se ve en el proyecto aprobado, otra de piedra, con objeto de que hubiera mas armonía en el conjunto de la obra.

Prévia la autorizacion de la Direccion general se hizo esta modificacion, conforme en un todo con los detalles que acompañan.

La sillería empleada en la construccion de toda la obra, es procedente de las canteras de Salcinar, á 11 kilómetros de distancia. Es una caliza metamórfica de formacion siluriana. Posee una dureza extraordinaria y una contestura muy vidriosa, por lo cual se presta muy poco á labores delicadas.

La cubierta del edificio esta formada por cuarterones, cuya escuadria es de 0,25 por término medio, colocados á 0,50 de eje á eje. Los huecos precisamente entomizados están rellenos de yeso.

Enrasada así la superficie por la parte superior, se extendió una capa de 0,10 de hormigon hidráulico, sobre la cual se sentaron las baldosas, colocándolas á llaga abierta y sobre un lecho de mortero.

La cara inferior se enlució con yeso blanco, lo mismo que las paredes.

El suelo del piso principal está formado de una manera análoga que la cubierta, á excepcion de la capa de hormigon, que no tiene objeto en este caso.

Los pavimentos del faro son de losetas de la fábrica de Nolla de Valencia; su extraordinaria dureza, la regularidad con que están fabricadas y los bellos dibujos que forma, las hacen recomendables para toda clase de obras.

Terminarémós lo relativo á la construccion del faro presentando la tabla que el Sr. Saavedra inserta en su primera nota á la obra de M. Michon, interpolando en ella los valores de P, v, u, I, $\frac{\zeta}{2}$, $\frac{\zeta}{4}$, $\frac{\zeta}{4}$, $\frac{\zeta}{61}$ calculados para el faro que tratamos, suponiendo que la rotura se verificase por la parte inferior de la columna, ó sea por el asiento del toro.

El coeficiente de estabilidad ζ relativo al empuje del viento, se ha determinado suponiendo que el esfuerzo de este sea de 275 kilógramos por metro cuadrado.

La relacion $\frac{\zeta}{\zeta} = 1,654$, que es, digámoslo así, la medida de la solidez de la torre, nos muestra al compararla con la de otros faros, que no presenta la obra que tratamos una excesiva estabilidad.

El aparato del faro es giratorio con eclipses de minuto en minuto; es del sistema llamado holoptal en la parte central y superior; los prismas inferiores son fijos.

Con objeto de aumentar la duracion de los destellos, los ejes de las partes centrales y panales superiores están un poco desviados entre si.

Murcia 15 de Febrero de 1865.

EVARISTO DE CHURRUCA.