

# REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS

PUBLICACION TECNICA DEL CUERPO DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

DIRECTOR

D. MANUEL MALUQUER Y SALVADOR

COLABORADORES

LOS INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

SE PUBLICA LOS JUEVES

Dirección y Administración: Plaza de Oriente, 6, primero derecha.

## Faro-baliza de los bajos del Llobregat.

**Antecedentes.**—Desde largo plazo ha venido discutiéndose la manera de variar el actual sistema de iluminación de la costa inmediata al puerto de Barcelona, sistema á todas luces insuficiente, ó mejor dicho peligroso, ya que para los buques procedentes del Oeste el faro del Llobregat se ve por encima de las tierras bajas que forman el delta del río Llobregat, y que se interponen en su ruta directa á la boca del puerto; y no es suficiente á evitar el peligro que corren de abordar estas tierras bajas ó los bajos á ellas inmediatos, la boya de campana allí fondeada que al no ser visible durante la noche ó en días de cerrazón, expone á los buques á varar en ellos ó los obliga á darles un gran resguardo, con la pérdida de tiempo consiguiente, cuando no con el peligro de retardar su entrada en puerto.

Para evitar tales peligros é inconvenientes se ha adoptado por fin la solución, sin duda racional y radicalísima, de poner el faro de recalada en Montjuich en el mismo sitio que hoy ocupa la luz provisional de ensayo y de marcar el peligro de las tierras bajas del delta y de los bajos fondos á ellas inmediatos, mediante la construcción de un faro-baliza construido dentro del mar en sitio conveniente para que cumpla los dos fines antes expuestos.

Para llevar á cabo este plan, cuya bondad debo encarecer desde el momento que las pruebas del faro de Montjuich con un potente foco eléctrico han desvanecido las dudas que se tenían respecto á la oportunidad de tal emplazamiento, el Ingeniero que suscribe tuvo la honra de presentar en fecha reciente el proyecto de nuevo edificio para el faro de Montjuich, y en este momento se honra también redactando el presente proyecto de faro-baliza de los bajos del Llobregat.

**Emplazamiento elegido.**—Para elegir el emplazamiento del faro-baliza del Llobregat en forma que cumpliera los fines de librar á los buques procedentes del Oeste de abordar las tierras bajas del delta ó los bajos inmediatos á ellas, permitiéndoles ceñir el resguardo á dar á tales peligros, al desvío estrictamente necesario de su ruta, el Sr. Ingeniero-Jefe de esta provincia de Barcelona, el Sr. Comandante de Marina y el Ingeniero que suscribe practicaron á bordo de uno de los barcos-bombas de la Junta de Obras del puerto un detenido reconocimiento y sondeo de la zona de mar fronteriza al delta y convinieron, de común acuerdo, en elegir un punto que, situado á 2.590 metros del faro del Llobregat, se define por el rumbo de 253° 54' centesimales. La sonda en este punto era el día en que se hizo la elección de 13 metros.

**Naturaleza del fondo.**—Al tratar este importante asunto he de empezar manifestando que no se han hecho sondeos para conocer la naturaleza del fondo porque su coste hubiera estado en relación con sus dificultades en sonda tan profunda y mar abierto; pero creo que no eran necesarios para el concepto general de este proyecto, es decir, para decidir con acierto el sistema de fundación, si bien hubieran sido muy convenientes para conocer con toda exactitud la cantidad de obra á ejecutar.

En efecto: respecto á la naturaleza del fondo en general no puede caber la menor duda de que es de arena más ó menos fina, porque separándose de la zona de influencia directa del río Llobregat se encuentra por todas partes esta naturaleza del terreno; pero naturalmente que en la zona próxima al río se ha de sentir la influencia de las avenidas de éste que llevando al mar aguas cargadas de légamo ha de depositarlo en parte en el fondo hasta que temporales sucesivos van removiéndolo y transportándolo á otros lugares.

Obsérvase, pues, que toda la parte fronteriza á la costa presenta esta capa de légamos depositada sobre el terreno arenoso del fondo del mar, capa de légamos que aumenta de espesor á medida que se acerca á la desembocadura del río. Esta capa de légamos no constituye un terreno fangoso fácilmente compresible, como lo prueba que los elementos de fondeo de la boya de campana de los bajos del Llobregat, entre los que se cuenta el peso muerto de 1.500 kilogramos, jamás se han perdido por incrustaciones en el fango y únicamente en los años de grandes crecidas del río, próximas á la época del cambio de boyas, se han experimentado algunas dificultades para sacarlos por estar recubiertos con el légamo de las últimas avenidas.

Estos légamos se endurecen en la parte que no es superficial y está en contacto más ó menos directo con el agua; así, pues, no sería aventurado apoyar sobre ellos una capa de escollera que hubiese de servir de basamento á otra construcción superior con sólo tomar la precaución de no construir esta última en toda su magnitud hasta que la acción del peso propio de la construcción sumergida, azotada por el oleaje, determinara el total asiento de las escolleras en la capa más superficial de los légamos hasta alcanzar la parte endurecida, que sin duda presenta igual resistencia que el fondo de arena que le sucede.

Pero yo no pretenderé aprovechar tal circunstancia para que no se me tache de temerario, y propondré, en consecuencia, que se drague esta capa de légamos.

Y por esto dije al principio de este párrafo que la única contrariedad que produce la falta de sondeos es la de no poder determinar con exactitud la cantidad de obra á ejecutar, ya que no

conociendo cuanto mide el espesor de esta capa de légamos no podemos saber el volumen á dragar, ni la cantidad ó peso de las escolleras que han de reemplazarlo.

Yo en este proyecto, por datos y experiencias recogidos durante los dieciséis años que he estado encargado del servicio marítimo de esta provincia, supongo que la capa á dragar no será superior á un metro, pero conste que no me es posible garantizarlo.

**Materiales de construcción existentes en la localidad.**—El sitio de emplazamiento elegido dista del puerto de Barcelona unos 7 kilómetros en línea recta y, por tanto, en él ha de tenerse una segura base de aprovisionamiento de cuantos elementos constructivos sean necesarios, ya sea de materiales pétreos procedentes de las canteras de la montaña de Monjuich, ya de cementos, hierros y toda otra clase de materiales que puede proporcionar el comercio de la capital.

En cuanto á los cementos, base principal de la construcción que proponemos, hemos supuesto que han de proceder de Vallsarcar (costas de Garraf) todos los que se empleen en el macizo sumergido, empleándose en el resto, ó sea en toda la parte de cemento armado, el conocido con el nombre de Asland, fabricado también en esta provincia.

**Sistema administrativo de ejecución.**—El único sistema posible de ejecución de las obras es el de contrata; pero ya se comprenderá que la obra á ejecutar no es de tal importancia que permita asignar al contratista la obligación de adquirir embarcaciones que, como la draga y chalanas, habían de encarecer las obras desproporcionalmente.

Por lo mismo he supuesto que éstas podrán ser proporcionadas por el puerto de Barcelona, mediante un arriendo módico ó una reparación de los desperfectos y desgastes que sufran.

## DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

**Elección del sistema constructivo.**—No hemos de encarecer aquí la importancia del servicio á prestar que determina que, por todos los medios á nuestro alcance y armonizándolos con la parte económica, en todo lo posible, se procure idear una construcción absolutamente sólida y duradera. Para obtenerla se podía, sin duda, apelar á distintos materiales desde la obra exclusivamente de fábrica á la mixta de fábrica y hierro.

La obra hecha exclusivamente de fábrica hubiera exigido, sin duda, dar á la torre exageradas dimensiones para ponerla en condiciones de resistir á los grandes esfuerzos que han de suponerse actuarán sobre ella en mar libre, con las desventajas de que al aumentar las dimensiones de la torre aumentan considerablemente los esfuerzos que sobre ella actúan, encerrándose, por tanto, en un círculo vicioso que sobre influir poderosamente en las dimensiones de la cimentación y encareciéndola sobremanera, nos hubiera conducido á aceptar una fábrica sin condiciones para resistir los esfuerzos de tensión que forzosamente han de producir las grandes fuerzas exteriores debidas al oleaje.

Era, pues, elemental, al pensar en la elección del sistema constructivo fijar la atención en el empleo de materiales que, sobre permitir en lo posible la reducción de las dimensiones de la superestructura para evitar grandes esfuerzos á resistir y grandes volúmenes en la cimentación, permitiera la fácil resistencia á los esfuerzos de tensión que en ella habrán de desarrollarse.

Dos medios se presentaban, siguiendo este orden de ideas, para constituir dicha superestructura, ó sea la torre del faro-baliza: ó hacerla totalmente metálica ó constituir la de hormigón armado.

El sistema de una torre metálica cumplía, sin duda, con las condiciones de llevar á un mínimo los esfuerzos á resistir, y, en

consecuencia, el coste total de la obra, y el de ser un material apropiado para resistir á los esfuerzos que sobre él habían de actuar.

Pero presentaba, á mi entender, el más grave de los inconvenientes, el de ser un material fácilmente destructible por los agentes en que constantemente había de estar en contacto, y así nos exponíamos á una vida efímera de la obra. Se me objetará, sin duda, que una esmerada conservación evitaría tales peligros, y, efectivamente, no he de negar la gran parte, si no la totalidad, de certeza de la objeción. Pero pongámonos en la realidad práctica de los hechos y convendremos en que dado nuestro sistema administrativo, y aun contando con el indudable celo de los Ingenieros que tuvieran á su cargo la conservación de la obra, no podrían aplicarse los remedios á medida de las necesidades. Las oxidaciones habían de ser frecuentes y rápidas en las condiciones en que se hallaría la obra y los rascados y pintados, dificultados unas veces por las acciones del mar, otras por las dificultades de tramitación de los proyectos, y muchas por la escasez de las consignaciones, no habían de llegar á tiempo de evitarlas en forma que paulatina ó rápidamente se fueran debilitando los elementos resistentes de la construcción.

Yo puedo citar, como ejemplo que abona mis temores, el hecho de que el puente de acero sobre el río Llobregat, en San Baudilio, perteneciente á la carretera de Santa Cruz de Calafell, tuvo durante varios años aprobado un proyecto de rascado y pintado sin que se llevase á la práctica, y únicamente cuando me decidí á remitir al Ministerio capas de óxido, que en algunos puntos tenían el espesor de 3 á 4 milímetros, al ver la gravedad de la situación, y sin duda haciendo un sacrificio en perjuicio de otras obras análogas, se ordenó la ejecución del proyecto. Entiendo, pues, en virtud de estas consideraciones, que no es conveniente la adopción de una torre metálica.

El hormigón armado suministra otro sistema constructivo de indudables ventajas en este caso, ventajas que luego enumeraremos, pero hubiera sido, á mi entender, un grave error usarlo en forma que resultara directamente batido por el oleaje, ya que conviniendo al mejor aprovechamiento de los materiales que integran los elementos resistentes de esta clase de obras, que el metal se acerque en lo posible á los paramentos donde se desarrollan los esfuerzos máximos de tensión y compresión, nos exponíamos á que la acción continua del mar, ayudada por las arenas, que en suspensión lleva el agua en las proximidades de la costa, dejaran el metal al descubierto, ocasionándose la rápida destrucción de las obras.

Esto sin contar con que la experiencia no ha sancionado todavía la durabilidad de estas obras bajo la acción del agua del mar en elementos de débiles espesores en que la parte principal está constituida por el cemento, cuya permeabilidad en capa de poco espesor deja, especialmente en los primeros momentos, llegar el agua á la armazón metálica, produciendo una oxidación que, trasudando al exterior y mezclándose, por lo tanto, con la capa de cemento que protege á los aceros de la armadura, se ignora el efecto que producirá sobre aquella delgada capa de protección.

Entiendo, pues, que no me era dable usar este material sin proporcionarle la debida protección en una obra de coste crecido, en relación á sus dimensiones, y cuya permanencia ha de ser la base de su concepción.

Pero si el hormigón armado se protege en toda aquella parte que está batido directamente por el mar, desaparece la única causa que hubiera podido determinar su abandono, y no quedan, en consecuencia, más que sus ventajas, que no son pocas para las obras que hemos de realizar, y que quedarán demostradas en los razonamientos que siguen.

**Ventajas del hormigón armado en este caso especial.**—La obra que hemos de realizar recibe todos los esfuerzos exteriores sobre la superestructura, y como la índole de la cimentación que no es dable proporcionarle no puede oponer á aquellas fuerzas esfuerzo alguno que las contrarreste, ha de fiarse al peso del basamento concertado de la construcción, ayudado por el peso propio de la superestructura, la estabilidad del conjunto. Esta ineludible circunstancia aconseja imperiosamente que pueda hacerse una construcción sin solución de continuidad; es decir, una construcción monolítica, y, en consecuencia, resulta indicadisimo el empleo del hormigón armado, que ha de permitirnos que las armaduras ancladas en el fondo del macizo concertado sumergido continúen sin interrupción hasta la parte alta de la torre, proporcionando una unidad al conjunto que no podríamos alcanzar con ningún otro sistema constructivo.

Esta circunstancia que constituye todo el fundamento de la construcción que proponemos, exige que al nivel del mar ó próximo á él, que es donde han de desarrollarse grandes momentos flectores, pueda presentar la construcción su adecuada resistencia con un volumen mínimo. Y digo con un volumen mínimo, porque cuanto menor sea éste menores serán los esfuerzos á resistir, y menor, en consecuencia, el volumen del macizo sumergido y el de la cimentación en que ha de apoyarse, reduciendo, en consecuencia, el coste total de la obra. Todas estas circunstancias pueden ser cumplidas por el hormigón armado que, en relativo pequeño volumen, puede ofrecer gran resistencia, prestándose además á ser revestido convenientemente para no exponerlo á la acción directa del mar, y así procurar que su duración sea indefinida sin preocuparse de su esmerada conservación.

La índole especial del servicio del faro que ha de contener la torre exige que cerca de la luz se disponga de espacio suficiente en la llamada *cámara de servicio* no sólo para contener todos los aparatos necesarios á la producción de la luz y los de repuesto indispensables, si que también para que en caso preciso pueda permanecer en él durante la noche el Torrero encargado; además, para todas las operaciones necesarias en el aparato necesitase alrededor de éste un balconcillo que proporcione el espacio indispensable para llevar á cabo tales operaciones. Es necesario, pues, que en oposición al reducido espacio que debe presentar la construcción en la zona batida directamente por el mar, para evitar sus grandes esfuerzos, presente el necesario ensanchamiento en la parte alta, para dar satisfacción á las apuntadas necesidades. Y á esto se presta de manera admirable el hormigón armado que, sobre la ventaja que ofrece de poder proporcionar los necesarios voladizos sin detrimento de la resistencia del conjunto, produce con el mínimo de éstos el máximo de los espacios disponibles, ya que los muros de cierre de la cámara de servicio, quedando reducidos á meros *tabiques* armados, apenas si merman el espacio procurado por las partes voladas respecto al fuste de la torre.

Estas principales ventajas del hormigón armado que acabamos de enumerar, dejan fuera de toda duda la conveniencia de su elección en el caso presente, tanto más cuanto que no se presenta ninguno de los inconvenientes que hemos señalado para los demás sistemas constructivos, enumerados en el curso de esta discusión, ya que si bien el macizo armado sumergido, que proporciona estabilidad propia al conjunto contrarrestando con exceso las fuerzas exteriores, no puede ser defendido como el fuste de la columna-torre, no es ello tampoco necesario, porque las barras de acero que han de armar este macizo están tan internadas en la masa de hormigón, que éste constituye el medio más eficaz de protección que pudiéramos idear.

**Descripción del conjunto de las obras.**—Consta, pues, la

construcción ideada de un bloque de hormigón sumergido capaz por su propio peso, disminuido del que pierde por inmersión, de impedir el vuelco de la superestructura del faro-baliza. Este macizo, que va armado á la extensión para contrarrestar esta clase de esfuerzos que las acciones exteriores en él desarrollan, lleva las varillas de su armadura ancladas cerca de su base y unidas en su parte superior á una doble cuadrícula de viguetas laminadas de 22 centímetros de altura, que á su vez van ancladas en el macizo por el lado de las compresiones mediante cuatro varillas, que si no son necesarias para ayudar á resistir los escasos esfuerzos de compresión á que el hormigón se halla sometido en esta parte, cumple su objeto de anclar las viguetas y ayudar á resistir los esfuerzos de cizalla que puedan producirse.

A las viguetas que forman el cuadro interior de la doble cuadrícula, antes dicha, se unen otras varillas, tanto del lado de las tensiones como del de las compresiones, las cuales han de venir á constituir una viga armada que, por tener la forma de una cruz de brazos iguales, bien pudiéramos decir que constituye un conjunto de tres vigas armadas que resisten á los esfuerzos exteriores. Esta viga armada forma el alma del fuste de la columna-torre desde la base del zócalo de ésta hasta su capitel, pero como los esfuerzos y, por tanto, los momentos flectores por ellos producidos, disminuyen á medida que alcanza la columna mayor elevación sobre el nivel medio del mar, sólo una parte de estas varillas llegan á la base del capitel para continuar, aún más reducidas en número, hasta el piso de la cámara de iluminación. Esta viga armada va protegida en toda la parte del zócalo ó basa y fuste de la columna por una *camisa* de sillería, á fin de evitar, como antes hemos considerado esencial, que el mar actúe directamente sobre ella; pero no está centrada respecto á la circunferencia de 2,10 metros que forma el paramento exterior del fuste, sino que se descentra en forma que por el lado Norte de la construcción, ó sea el que mira á la costa inmediata, deja el espacio ó hueco necesario en toda la altura del fuste para la instalación de una *escalera de gato*, cerrándose este espacio mediante un tabique armado que, por estar del lado de tierra, no ha de sufrir el choque directo del oleaje ni ha de constituir parte alguna que ayude á la resistencia de la construcción.

En la base del capitel las varillas pertenecientes á las hileras exteriores de las armaduras de la viga de la columna que á ella llegan se unen á un aro que rodea toda la base del capitel, y del cual, á su vez, parten las varillas que forman la armadura del paramento cóncavo de este capitel; y éstas y las que proceden de las hileras interiores de las armaduras de la viga del fuste, que sin perder su verticalidad llegan hasta el piso de la cámara de servicio, constituyen el *anclaje*, digámoslo así, de este piso á la parte inferior de la construcción y completan la armadura resistente de este capitel, vaciado en gran parte en su interior para dar lugar á un ensanchamiento de la antes citada caja de la escalera que permite la transformación de la de *gato* en otra de peldaños de hierro que llega al piso de la cámara de servicio en condiciones de permitir levantar la trapa que le da acceso. Esta cámara de servicio da lugar al exterior á la cúpula que sirve de remate á la columna-torre y que se halla constituida por un tabique de hormigón armado, cuyas armaduras circulares van ligadas á las del piso volado de la cámara de servicio, ó sean las superiores del capitel, no sólo por su primera armadura circular á ellas unida invariablemente, si que también por las generatrices de la bóveda de revolución que forma la cúpula y que son las varillas de repartición de esfuerzos sobre las armaduras directrices. Finalmente, se termina esta cúpula con un forjado que, sobre constituir la clave de la bóveda de la cúpula, sirve de piso para el apoyo del aparato montado sobre un bloque cilíndrico de sillería

para darle la altura conveniente, tanto para rebasar la barandilla del balconcillo como para dejar el aparato óptico á la altura más oportuna para su fácil manejo y limpieza.

Toda esta parte concertada de la construcción se apoya sobre un macizo de escollera pequeña revestido por otra de escollera grande, pues si bien es cierto que á la sonda de 9 metros no se perciben acciones que puedan removerla y por esto hemos situado esta base de asiento á tal profundidad, no es menos cierto que las paredes poco inclinadas del macizo de hormigón sumergido pudieran dar lugar á la formación de resacas, á las que es forzoso oponer la defensa de la escollera gruesa. Es de advertir, sin embargo, que tanto para reducir en lo posible el volumen del macizo de hormigón sumergido como para aminorar la formación de resacas hemos dado á dicho macizo la forma tronco cónica.

Los macizos de escollera se supone que llegarán al terreno arenoso del fondo del mar mediante un dragado de un metro de altura de fango; pero vuelvo á repetir aquí que ni puedo asegurar que este dragado sea suficiente ni siquiera que sea necesario, y será preciso que cuando ya se disponga de los elementos necesarios se haga un reconocimiento del fondo para decidir esta cuestión.

Un embarcadero, construido con hormigón apoyado sobre la banqueta del macizo sumergido, permitirá el fácil desembarco, desde un bote á él atracado, á la plataforma fronteriza con la puerta de entrada á la torre.

**Procedimiento de construcción del macizo sumergido.**— Dos procedimientos podrían usarse para la construcción del macizo sumergido: primero, la construcción de un recinto de sacos de hormigón que, formando el molde, permitiera verter después el hormigón dentro de él para formar el macizo. Este procedimiento tiene el gravísimo inconveniente de que, pudiéndose lavar el hormigón, no da ninguna garantía de la buena ejecución de este macizo, y esta dificultad, grave en nuestro caso por tratarse de un macizo armado, me ha inducido á desechar este procedimiento para aceptar el segundo, que consiste en la construcción de un cajón de hormigón armado que, ejecutado en tierra firme y botado al agua cuando el hormigón haya adquirido la necesaria consistencia, puede ser transportado y fondeado en el sitio de emplazamiento para permitir la construcción del macizo de hormigón en su interior con todas las debidas precauciones y reglas del arte.

**Cajón de hormigón armado.**— Este cajón, que tendrá la forma de un tronco de cono tendrá 10 metros de altura, aunque el macizo no mida más que  $8\frac{1}{2}$  metros de elevación sobre la escollera del fondo.

El objeto de esta mayor altura consiste: 1.º, en levantar la parte superior sobre el nivel medio del mar, á fin de que pueda trabajarse con alguna marejada sin peligro de inundación, y 2.º, el de prevenir los asientos muy probables de este cajón en la escollera del fondo, asientos que, según ha podido observarse en los grandes monolitos del puerto de Barcelona, pueden ser de alguna consideración.

La circunferencia de la base de este cajón tendrá 10 metros de diámetro, y la que ha de quedar á la altura de 8,50 metros tendrá 6 metros de diámetro.

**Peso del cajón.**— Este cajón no debe tener menos peso que el volumen de agua desplazado, sino, por el contrario, mayor peso, aprovechándose el desplazamiento de las embarcaciones que han de conducirlo al sitio de emplazamiento para darle la flotación necesaria durante este transporte. Este procedimiento tiene la ventaja de que, no habiéndose de sobrecargar el cajón para fondearlo, puede hacerse más rápidamente esta delicada

operación, y, sobre todo, permite que todo el relleno sea perfectamente homogéneo. Recuérdese que en el puerto de Barcelona constituía una dificultad para el buen relleno de los monolitos el peso adicional con que se los cargaba para fondearlos. Además, si el exceso de peso del cajón, respecto al volumen de agua desplazado, es suficiente, no corre ningún riesgo este cajón, aunque sobrevenga un temporal inmediatamente después de su fondeo.

**El cajón debe ser totalmente cerrado.**— Propongo también, aun á costa de ejecutar una parte de obra que después haya de ser destruída, que el cajón se cierre por la parte superior con un piso de hormigón armado, dejando solamente un agujero de suficiente diámetro para que por él puedan meterse en su interior los obreros y los materiales.

Este cierre total tiene las siguientes ventajas: 1.ª, cuando por temporal hayan de suspenderse las operaciones de relleno se puede cerrar herméticamente el cajón tapando el agujero con su correspondiente puerta, y no se deslava el hormigón recién hecho, ni se ha de hacer el gasto inútil de agotar el agua del cajón para reanudar el trabajo; 2.ª, el cajón sufre menos durante el temporal, porque presenta solamente su superficie convexa al empuje de las olas; 3.ª, en tiempo normal la plataforma superior, de cerca de 6 metros de diámetro, presenta el suficiente espacio para manipular los hormigones, facilitando el relleno del cajón, y 4.ª, se puede trabajar en el rápido relleno de hormigón, aun con marejada, si ello fuere preciso, pues bastaría prolongar el agujero con un tubo de la altura necesaria, para que aun barriendo la marejada la plataforma superior no impidiera el trabajo en el interior.

**Facilidades para la construcción y transporte del cajón.**— Este cajón que proponemos es de facilísima construcción y botadura al mar en este puerto de Barcelona, donde se dispone del dique flotante y deponente.

Su transporte á pie de obra ha de ser también fácil y seguro cerrando herméticamente el agujero superior durante la operación. Bastará disponer de dos barcasas, ó mejor, dos gánguiles del puerto de Barcelona, y con aparatos bien dispuestos para colgar el cajón *rígidamente* de los gánguiles aprovechando su flotación para compensar el exceso de peso del cajón, permitan el remolque del conjunto á pie de obra y su rápido fondeo una vez se haya comprobado su exacta posición. Para facilitar esta operación se aprovechará el exceso de altura del cajón para que el fondo de éste quede lo suficientemente cerca de la cara superior de la base de escollera, á fin de que la distancia vertical que haya de recorrer para su fondeo sea un mínimo.

No creo necesario proyectar los medios de suspensión del cajón respecto á los gánguiles, porque esta operación debe combinarse en relación con las embarcaciones y medios de que se disponga al tiempo de ejecutarla.

Y considerando suficientemente descrito el proyecto y justificadas sus disposiciones, paso á presentar los cálculos de los distintos elementos.

#### Datos para el cálculo.

|                                                            |       |
|------------------------------------------------------------|-------|
| Peso del hormigón armado, kilogramos por metro cúbico..... | 2.500 |
| Idem del id. sin armar, idem id. id.....                   | 2.000 |
| Idem de la sillería, idem id. id.....                      | 2.200 |
| Idem de las barandillas, idem por metro lineal.....        | 30    |

#### Composición del hormigón para armar.

|                            |       |
|----------------------------|-------|
| Cemento, kilogramos.....   | 350   |
| Grava, metros cúbicos..... | 0,800 |
| Arena, idem id.....        | 0,400 |

La resistencia por centímetro cuadrado de este hormigón á los noventa días es, según las experiencias de la Comisión francesa del Cemento armado, de 180 kilogramos.

#### Coefficientes de trabajos adoptados.

|                                                                                                                           |       |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Hormigón á la compresión $\frac{23}{100} \times 180$ , ó sea en números redondos, kilogramos por centímetro cuadrado..... | 50    |
| Idem á la extensión, idem id. id.....                                                                                     | 0     |
| Acero á la extensión ó compresión, idem id. id.....                                                                       | 1.200 |
| Idem al esfuerzo cortante, idem id. id.....                                                                               | 700   |
| Hormigón al esfuerzo cortante $\frac{1}{10} \times 50$ , idem id. id.....                                                 | 5     |
| Relación de los coeficientes de elasticidad del hormigón y del acero.....                                                 | 12    |

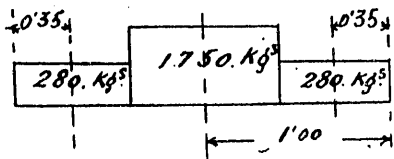
#### CÁLCULOS

Piso superior de asiento del aparato.—Presentaremos los cálculos empezando por la parte superior de la torre para ir determinando con exactitud los pesos y dimensiones de las distintas partes á tener en cuenta para el cálculo de los demás elementos de la parte baja.

El piso de asiento del aparato es circular, pues, forma en realidad la clave de la bóveda que constituye la cúpula, por lo tanto, debe asimilarse á un forjado entre un cuadrículado de vigas, y, en consecuencia, será conveniente armarlo sólo á la extensión, pero con dos sistemas de varillas octogonales, así, pues, el momento flector que nos será para calcularlo deberá ir afectado del coeficiente

$$K = \frac{1}{1 + 2 \frac{L^4}{L'^4}}$$

pero como en este caso  $L = L'$  por tratarse de una circunferencia, resultará  $K = \frac{1}{3}$ .



Las cargas exteriores que actúan sobre el piso son como se ve en la figura adjunta, un bloque de sillería y el aparato que pesan en conjunto 1.750 kilogramos, y se reparten igualmente sobre una circunferencia de 0,60 metros de diámetro y una carga de 280 kilogramos también uniforme por metro de corona circular del balconcillo, carga que equivale á la de 400 kilogramos por metro cuadrado que es necesario suponer.

La carga propia del piso, ó sea su peso, será: suponiéndole un espesor de 10 centímetros, y considerando para el cálculo la faja central de 1 metro de anchura y 2 metros de luz máxima,

$$2 \times 1 \times 0,10 \times 2.500 = 500 \text{ kg.}$$

El momento flector á considerar será, pues, el siguiente:

$$M = \frac{1}{3} \left[ \frac{500 \times 2^2}{8} + \frac{1.750 \times 2}{4} + 2 \times 200 \times 0,35 \left( 1 - \frac{0,35}{2} \right) \right] = \frac{250 + 875 + 115}{3} = 413 \text{ kg.}$$

$$M = 41.300 \text{ kg por cm.}$$

El espesor teórico será de

$$h = \sqrt{\frac{41.300}{741}} = 7,5 \text{ cm.}$$

El espesor total, considerando colocada la armadura á 2,5 centímetros del paramento inferior, será de 10 centímetros, como habíamos supuesto.

La sección del acero será de

$$S = 0,695 \times 7,5 = 5,21 \text{ cm}^2$$

Y tomando varillas de 10 milímetros de diámetro, que tienen una sección de 0,78 centímetros cuadrados, y colocándolas á distancias de 12,5 centímetros, obtendremos una sección de acero de

$$8 \times 0,78 = 6,24 \text{ cm}^2$$

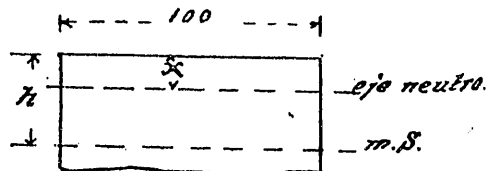
Comprobemos si los coeficientes del hormigón y del acero son los admitidos.

La ecuación de las superficies con relación al eje neutro es

$$100 \phi \times \frac{\varphi}{2} = m S (h - \phi);$$

luego

$$\phi = -0,01 m S + \sqrt{m S (0,0001 \times m S + 0,02 h)}.$$



Por lo tanto, la fibra neutra quedará de la cara superior del forjado á

$$\phi = -0,01 \times 12 \times 6,24 + \sqrt{12 \times 6,24 (0,0001 \times 12 \times 6,24 + 0,02 \times 7,5)} = 0,75 + 3,43 = 4,18 \text{ cm.}$$

El brazo de palanca del par flector será pues de

$$h - \frac{\varphi}{3} = 7,5 - \frac{4,18}{3} = 6,11.$$

El esfuerzo de tensión y compresión

$$\frac{413}{0,0611} = 6.760 \text{ kg.}$$

Coefficiente de trabajo medio del hormigón  $\frac{6.760}{100 \times 4,18} = 16$  kilogramos; trabajo máximo  $2 \times 16 = 32$  kilogramos por centímetro cuadrado.

Coefficiente de trabajo del acero  $\frac{6.760}{6,24} = 1.083$  kilogramos por centímetro cuadrado.

ESFUERZOS CORTANTES.—El esfuerzo cortante máximo será

$$T = \frac{500}{2} + \frac{1.750}{2} + 2 \times \frac{200}{2} = 1.325 \text{ kg.}$$

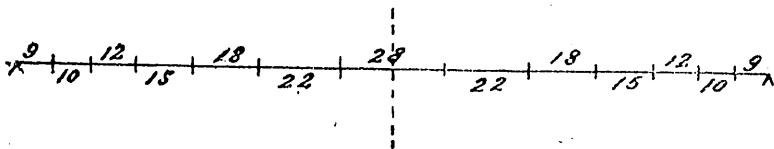
y como el bazo de palanca del par flector es de 6,11 centímetros, el esfuerzo cortante por centímetro será  $\frac{1.325}{6,11} = 216 \text{ kg.}$

En una sección transversal habrá ocho ramas de las armaduras porque irán en varillas alternadas para dar lugar á las otra

á que pasen á la parte superior por efecto del semiempotramiento que hay que suponer á la viga á causa de su enlace con las armaduras de la cúpula, luego, si ponemos varillas de 6 milímetros con sección de 0,28 centímetros cuadrados, la separación de la primera armadura del apoyo será de

$$\frac{8 \times 0,28 \times 700}{216} = 9 \text{ cm.}$$

y su repartición se hará como se indica en la siguiente figura:



Este piso, presentando forma circular, se reduce la luz de las armaduras octogonales á medida que nos separamos del centro, y eso nos permitiría ó separar más las varillas á medida que se alejan del centro, ó reducir su diámetro, pero sería mayor la complicación que el ahorro, y no lo hacemos.

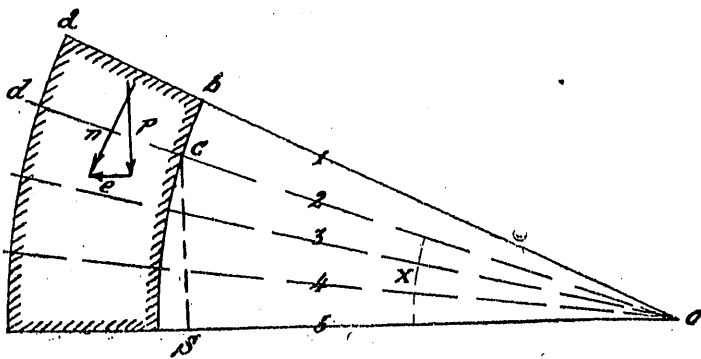
**CÚPULA.**—La cúpula es una bóveda de revolución engendrada por un arco de circunferencia de 5 metros de radio, girando alrededor del eje de la torre con un radio de giro, en la base, de 3 metros. En su interior deja el espacio necesario á la cámara de servicio.

Armaremos esta cúpula con aros de acero colocados cerca del paramento exterior en las secciones rectas, que son los que han de resistir los esfuerzos de tensión, y para la buena repartición de los esfuerzos exteriores colocaremos otras armaduras en el sentido de las generatrices de la bóveda. Se supone que el hormigón de las paredes de la cúpula, más su revestimiento de teja vidriada, será de 10 centímetros.

Veamos cuáles son los esfuerzos á considerar:

|                                                                                                                                     | Kilogramos.  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| 1.º Peso propio de la cúpula $\frac{2 \times 3,14 \times 5,20}{14} \times 2 \times 3,14 \times 1,40 \times 0,10 \times 2.500$ ..... | 5.126        |
| 2.º Peso del piso superior $3,14 \times 1,20^2 \times 0,10 \times 2.500$ ....                                                       | 1.131        |
| 3.º Peso del bloque y aparato.....                                                                                                  | 1.750        |
| 4.º Sobrecarga del piso superior.....                                                                                               | 1.921        |
| <b>TOTAL</b> .....                                                                                                                  | <b>9.928</b> |

Este peso total, dividido por la longitud de la circunferencia de la base de la cúpula, resulta un peso por metro lineal de ésta de  $p = \frac{9.928}{2 \times 3,14 \times 1,45} = 1.090$  kilogramos.



Si consideramos la cúpula y, por tanto, la faja de un metro en la base, dividida en su altura en cuatro partes ó dovelas, como se ve en la figura adjunta, el peso  $p$ , siendo la componente vertical del esfuerzo normal á las juntas, si determinamos esta resultante  $n$ , ella á su vez nos hará conocer el empuje  $e$  que pro-

duce las tensiones. Observando la figura y teniendo en cuenta la semejanza de los triángulos  $npe$  y  $ocs$  deduciremos que

$$e = p \cdot \tan \alpha \text{ y } n = \frac{e}{\sin \alpha}$$

Ahora bien, aplicando estas fórmulas á las partes en que hemos dividido en sentido vertical la faja de cúpula considerada y observando que el primer ángulo  $\alpha$  mide 7 grados, el segundo 14, el tercero 21 y el cuarto 28, y teniendo en cuenta que sobre la parte superior de la cúpula carga el piso superior, el aparato con su bloque de asiento y la sobrecarga del piso, y que en junto pesan 4.989 kilogramos, de los que corresponden á la faja considerada  $\frac{4.989}{9,106} = 547$  kg., tendremos para la junta superior señalada en la figura con el núm. 1

$$e_1 = 547 \times \tan 28^\circ = 547 \times 0,5317 = 290 \text{ kg.}$$

y el esfuerzo tangencial será

$$n_1 = \frac{547 \times \tan 28^\circ}{\sin 28^\circ} = \frac{290}{0,4694} = 618 \text{ kg.}$$

deduciendo estos mismos valores para las demás juntas tendremos

$$e_2 = 290 + 211 = 501, n_2 = 588$$

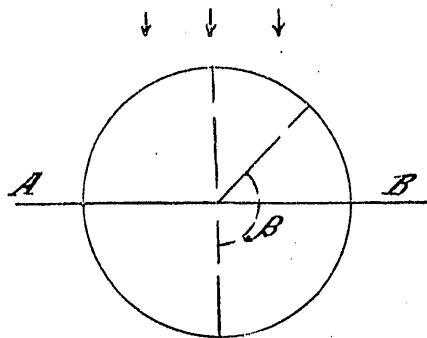
$$e_3 = 501 + 164 = 665, n_3 = 678$$

$$e_4 = 665 + 102 = 767, n_4 = 781$$

y en la junta inferior, como es horizontal,  $n_5$  será el peso total de la construcción, y siendo vertical, es decir, normal á la junta, su empuje será nulo, luego

$$e_5 = 767 \text{ y } n_5 = 1.090.$$

Hasta ahora hemos considerado el peso de la construcción y sus sobrecargas; atendamos ahora á los esfuerzos exteriores, que en este caso es la presión del viento que obra horizontalmente sobre la media cúpula que se presenta á su acción. Para deducir las tensiones y compresiones que este esfuerzo produce podremos considerar cada parte ó anillo en que hemos dividido la cúpula ó, mejor dicho, cada mitad de estos anillos en que actúa el viento, como una bóveda cilíndrica, cuyo peso de las dovelas tenga por valor el empuje del viento sobre ellas.



Los esfuerzos máximos de tensión y compresión tendrán lugar en A y B y con los siguientes valores:

**COMPRESIONES.**—Serán iguales á los empujes del viento en cada uno de los semianillos considerados, pero referido este empuje al metro lineal de cúpula en la base de ésta, es decir:

$$n'_1 = 60 \text{ kg., empuje del viento sobre la parte superior.}$$

$$n'_2 = \frac{1}{3} 2,40 \times 270 \times 0,80 = 173$$

$$n'_3 = \frac{1}{3} 2,80 \times 270 \times 0,90 = 228$$

$$n'_4 = \frac{1}{3} 2,90 \times 270 \times 0,95 = 248$$

$$n'_5 = \frac{1}{3} 3,00 \times 270 \times 1 = 270.$$

(Continuará.) El Ingeniero autor del proyecto,  
JOSÉ CAVESTANY.