

ALFONSO DE LA PEÑA BOEUF, Ingeniero

564 - 10

puente del estrecho de Gibraltar

El enlace de Europa y Africa a través de nuestra Península constituye un tema sugestivo para todos los españoles, que ven en ello la materialización del espíritu colonizador de nuestra raza.

Por esto, no es extraño que un ingeniero de la talla de Peña Boeuf, se lance como promotor de la construcción de un puente sobre el Estrecho de Gibraltar, superando, con su ingenio, las enormes dificultades técnicas planteadas por dicha solución.

Nuestra Península y Marruecos, a pesar de que en el mapa tienen a lo largo de sus respectivos territorios unas puntas avanzadas, que parecen indicar a la unión permanente entre los acantilados que se miran con atractivo deseo, presenta, sin embargo, dificultades muy grandes, que explican el alejamiento material en que hasta ahora se han tenido.

Geográficamente, la distancia es pequeña, pues entre la punta avanzada de Tarifa y los crestones al oeste de Ceuta sólo hay una separación de 14 kilómetros escasos; pero en esa recta, de virtual unión, hay profundidades de casi 1.000 m de cota de agua ¡y esto, de por sí solo, ya es una grave dificultad!

La hipsometría del Estrecho es muy variada: viniendo del Atlántico al Mediterráneo se encuentra una meseta, entre los meridianos de Tánger y de Tarifa, en la que los calados son mucho menos profundos que en las otras zonas, y parece, indudablemente, que es la parte aprovechable para la comunicación, no obstante ser la distancia de los puntos costeros bastante superior a la distancia mínima.

Pero, aun en esa zona, cualquier recta que pueda trazarse a través del Estrecho corta curvas de nivel con el calado de 400 m, y ésta es la profundidad a que hay que llegar en los trazados más convenientes, salvando entonces distancias del orden de 20 kilómetros, o algo más, entre las costas de los respectivos territorios.

En una parte por esta causa, y más aún por la gran diferencia entre la evaporación que se produce en el Mediterráneo, mucho más activa que la del Atlántico, se origina una gran corriente, no uniforme, a lo largo del Estrecho, que complica aún más las dificultades geográficas.

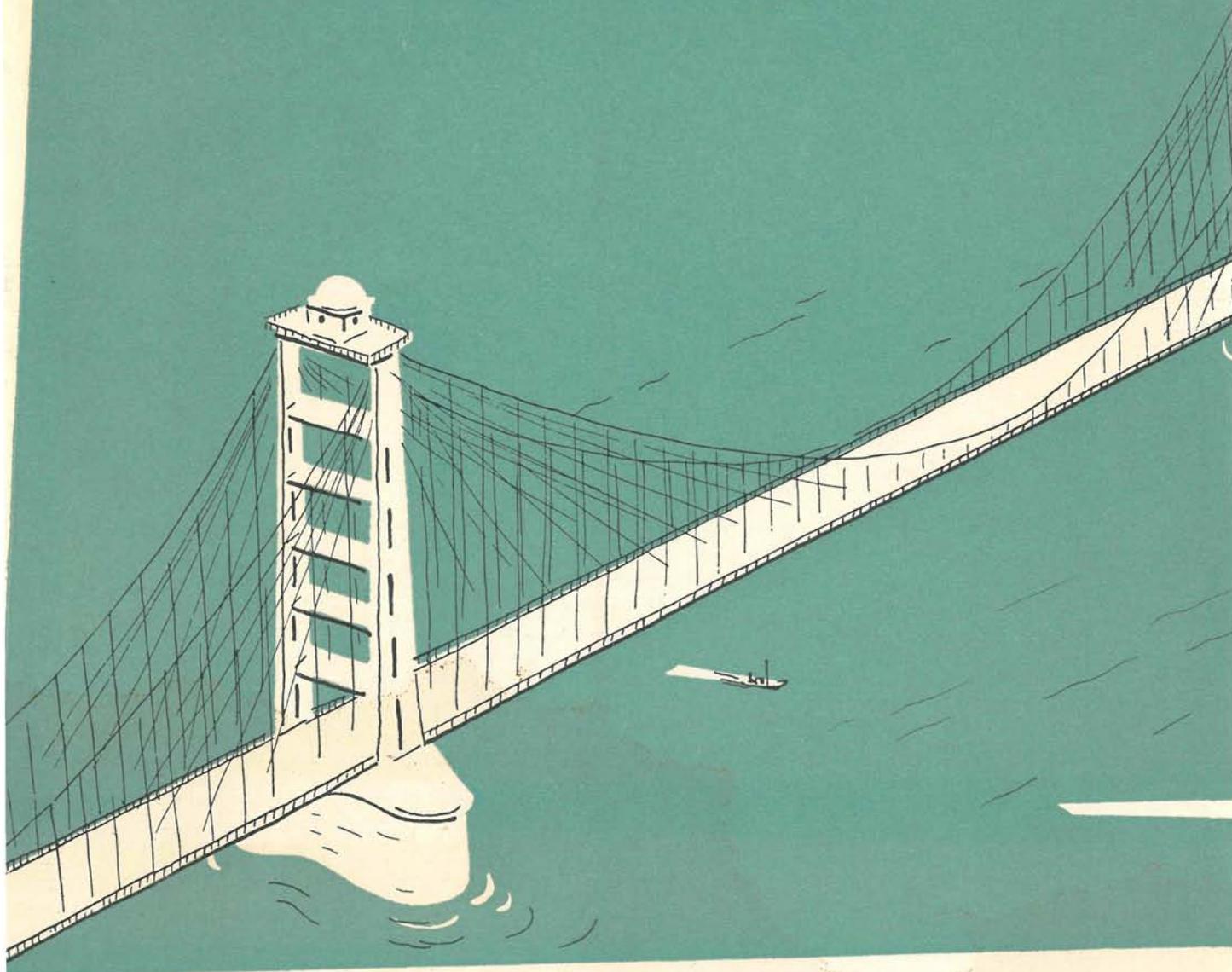
Desde el punto de vista geológico, tampoco puede decirse que la región del Estrecho sea tranquila y serena.

La formación rocosa de este cauce es atormentada y convulsiva, aunque tenga muchas concordancias entre la gea de ambos países, pero que se acusa la turbulencia por varias fallas reconocidas incipientemente y que hacen presumir otras muchas cortaduras y litoclasas.

Con los medios actuales hay cuatro modos de poder establecer la comunicación entre España y Africa: el marítimo, el aéreo, por un túnel y por medio de un puente.

Los dos primeros son los establecidos en la actualidad, y con visible satisfacción indudablemente; pero si como fuera de desear y esperar, el desarrollo comercial e industrial de los dos territorios fuera notablemente incrementado, parece indispensable establecer un medio más permanente y estable, lo que hace pensar en los otros dos sistemas como remedio más eficaz y conveniente.

Entre éstos, el túnel es el que hasta ahora ha encontrado más adeptos, pareciendo a primera vista como solución más conocida; pero, sin embargo, su solución ofrece una notoria gravedad y una desorbitada carestía.





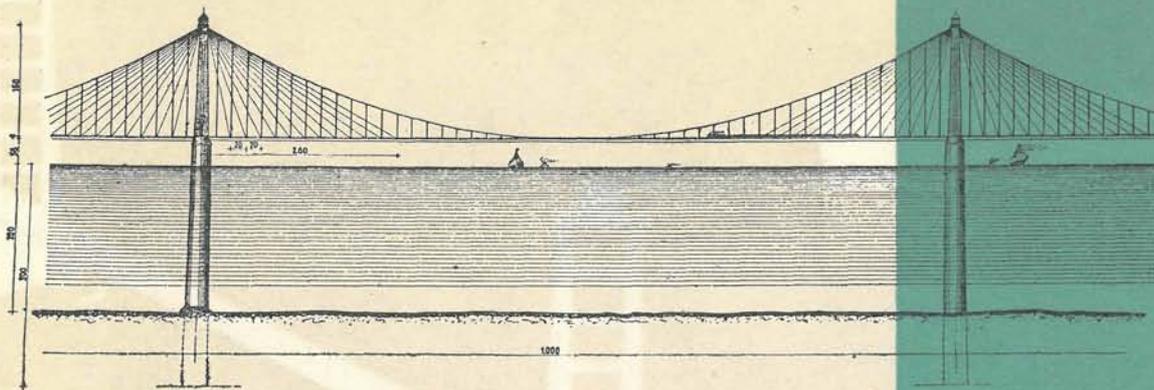
Hacer un túnel atravesando una montaña para una vía de comunicación terrestre, cuando la longitud a perforar es pequeña, entendiéndose por tal cuando el orden de magnitud es de tres a cinco kilómetros, resulta un problema sencillo, que se está haciendo constantemente con relativa facilidad. Pero cuando el túnel ha de ser más largo, la cuestión se complica, por muchas causas que parecen aleatorias, aunque, en realidad, son fundamentales. Y así se explican las mil vicisitudes pasadas en los grandes túneles de San Gotardo y Simplón, y las sufridas, si bien en menor escala, en los nuestros de La Argentera y Padornelo.

Pero el túnel que había de hacerse para el paso del Estrecho de Gibraltar es completamente distinto de todos esos, e incluso de los ejecutados hasta ahora a través de algunos ríos, como el Hudson, porque en primer lugar tendría que ser mucho más largo, sin que pueda pensarse en chimeneas intermedias ni en pozos de extracción y ventilación, pero, además, la carga de agua es enormemente superior.

Tendría que tener una longitud de más de 40 km para hacerse accesible, con pendiente adecuada en las dos márgenes y bajando a unos 500 m por debajo de la superficie del agua.

De todos son conocidas las precauciones que deben adoptarse para los desagües de fondo de los pantanos, con sólo cargas de 50 a 100 m, y que si se abrieran rápidamente, sin cuidados previos, se producirían descargas, capaces de lanzar las piedras del fondo con estrépito de cañonazo por aducción de aire, que harían conmovir no sólo las presas, sino también las laderas.

Verdaderas diabluras hubo que hacer en una de las grandes presas hechas en España, hace ya bastantes años, cuando una grieta se produjo entre la presa y la adyacente ladera, llegando a ser preciso proporcionar inyecciones de clases distintas de aglomerantes para producir cristalizaciones interiores y, sin embargo, todo ello se realizaba con la facilidad de estar al aire libre. Pues eso es un pequeño juguete comparado con lo que habría de ocurrir si una grieta se produjera en el túnel, con carga de agua de 500 m. Y durante el período de construcción, ¿cómo se hace el paso a través de una falla?

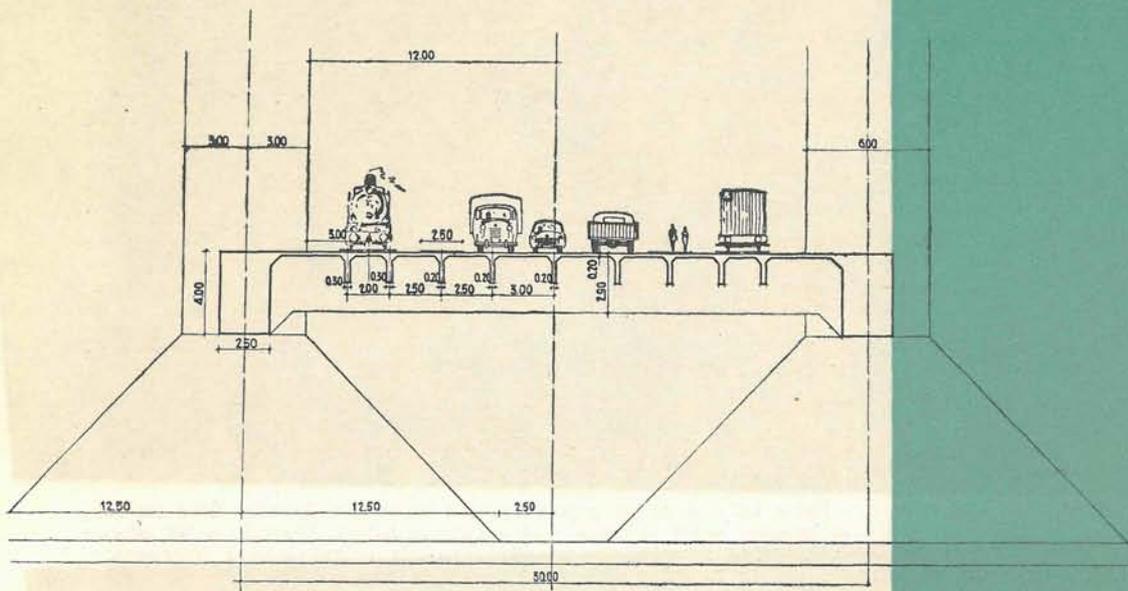


alzado

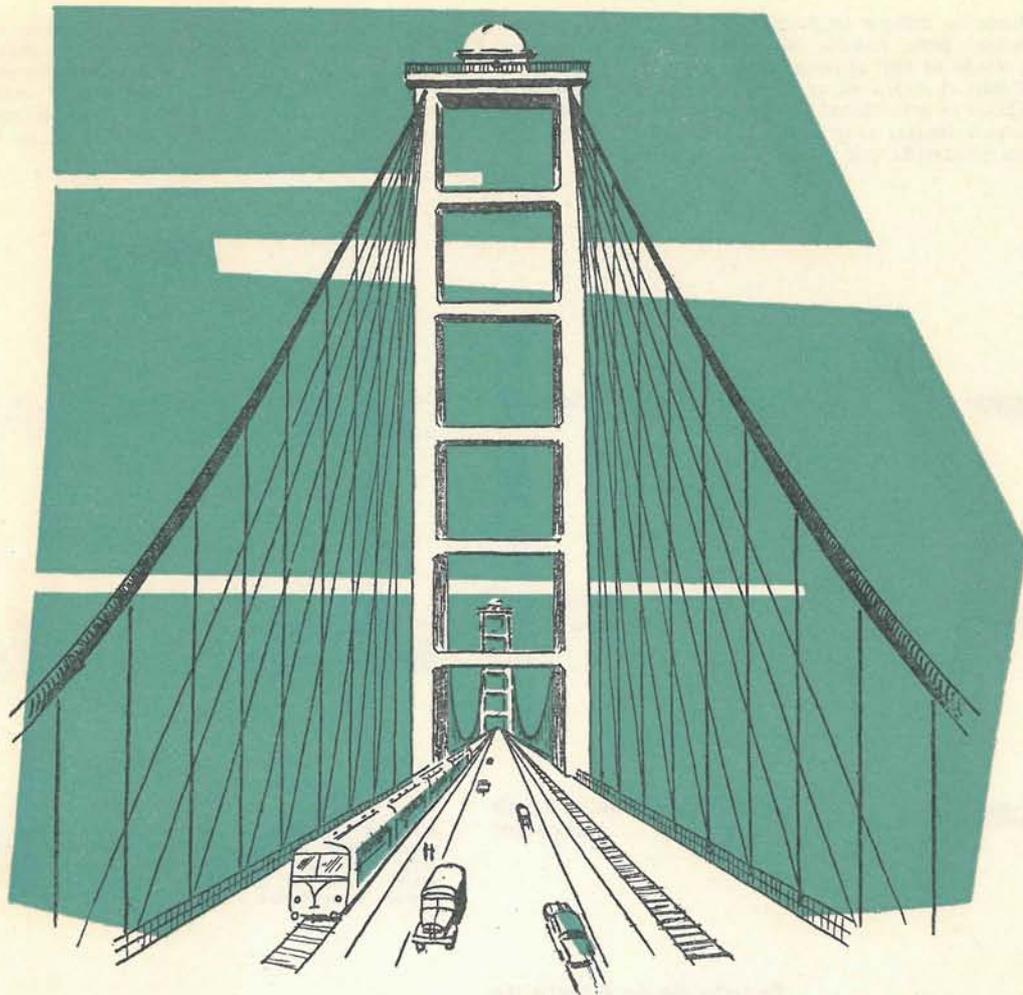
La idea de hacer un túnel con estas condiciones es una insensatez que desorbita el problema. Claro es que resulta muy sencillo tomar el plano geográfico del lugar y pintar una línea que diga "túnel bajo el Estrecho", pero solamente con inconsciencia y desconocimiento de la técnica en lo que significa esa perforación es como puede tener eco la propuesta.

* * *

Si a un ingeniero se le presenta el plano hipsométrico del Estrecho, lo primero que piensa, si su mira es hacer un puente, es trazar la recta entre las puntas más avanzadas que distan entre sí 13.800 m. Pero todos sabemos que para esta distancia no existe ningún tipo de estructura capaz de salvarla con un solo tramo. Es absolutamente indispensable hacer pilas intermedias; y si observa la hipsometría de la zona, se quedaría desconsolado al ver que los calados son de cerca de 1.000 m... Y no hay más remedio que hacer pilas, que, en ningún modo, pueden ser flotantes por las condiciones que tiene el Estrecho, y que, en consecuencia, han de hacerse las sustentaciones sobre el fondo del canal. Y aquí está precisamente la dificultad que hasta ahora se considera irresoluble, porque todos sabemos que en la construcción de obras marítimas se puede llegar a sustentaciones fijas con cierta facilidad, cuando las profundidades de agua no exceden de 30 y hasta 40 m, pero se requieren métodos especiales, y no exentos de grandes dificultades, cuando se llega a mayores calados, sin que hasta ahora haya podido rebasarse, de un modo práctico, las cotas de 50 a 60 m, que, consideradas como muy extraordinarias, han sido motivo de muchas vicisitudes en la construcción de los modernos puentes de San Francisco, en los que ha podido llegarse a la profundidad de 66 m, considerando, aún así, que era una audacia fuera de lo normal.



sección transversal



Ahora bien, si se desvía uno de la traza mínima, corriendo pocos kilómetros al oeste, y se hace además un revirado en su orientación, se puede obtener una traza, con longitud mayor que la geodésica, pero que no tenga cotas inferiores a 400 m. Claro está que para estos calados puede decirse que no hay, entre los métodos normales de cimentación, ninguno que permita llegar prácticamente a estas profundidades; pero este problema, ya más limitado, lo resuelve el autor por el método ya ideado por él hace años, cuando estudió el proyecto del puente de Lisboa. El asunto era entonces mucho más sencillo, porque se trataba de un puente para cubrir un vano de 2.200 m, con profundidades máximas de 40 m, y sin embargo era difícil porque, incluso esta profundidad, no es asequible para los procedimientos normales de las obras marítimas.

El proceso especial ideado, publicado después en varias revistas extranjeras, fué utilizado en alguna obra (como el Puerto de la Rochele) y comentado en libros técnicos (como el de Rousselet). Pues bien, este método generalizado puede servir de base para el caso presente, porque permite, sin dificultad grave, llegar hasta esas profundidades de, aproximadamente, los 400 m.

Empleando como taller un lugar próximo de mucho calado, como la antedársena de Tarifa o de Algeciras, se podría construir un cajón con chapa de palastro, con la forma externa de la pila y dotado de fondo, con un anillo cortante. Este cajón, botado al agua y retenido convenientemente, sirve de molde para construir en su interior, como es natural al aire libre, el fondo y paredes de revestimiento de hormigón con los espesores calculados para las presiones totales que después habrá de sufrir. A medida que se van construyendo estos muros de hormigón en el cajón, éste, siempre flotando, irá tomando calados sucesivos, y siempre al aire y luz del día. Con obreros corrientes sin ninguna especialización se continuará haciendo la pila hasta que tenga una profundidad próxima a la que debe tener, y entonces, el cajón, con su calado casi definitivo—y desde luego menor que el del fondo del Estrecho que va a recorrer—, se remolca por tres remolcadores, en estrella, para poderle orientar y situar en el punto que se precise. Así transportado, a velocidad muy pequeña, da origen a una tensión total para los remolcadores, con cifras que no son en modo alguno desorbitadas, pues alcanza valores del orden de 500 t, que no pueden reputarse como extraordinarias en este orden de ideas y que pueden muy bien ser desarrolladas por los tres remolcadores con potencias moderadas. Así se puede transportar la pila hasta el lugar en que, por las enfilaciones preparadas, debe ocupar con cierta aproximación.

INSTITUTO TECNICO DE LA CONSTRUCCION Y DEL CEMENTO

El oleaje no influye sensiblemente, pues es bien sabido que las olas producen agitación apreciable en la superficie; pero, cuando las profundidades exceden de 10 m, las órbitas elípticas de las partículas líquidas del oleaje se van aplastando hasta llegar a formar la traslación rectilínea en las mayores profundidades. Como el cajón es un flotador con una inmensa masa (del orden de 800.000 toneladas) y el radio metacéntrico es grandísimo (por exceder de los 40 m), el par o momento adrizador también es grandísimo, reduciendo a límites muy estrechos los períodos casi insensibles del balance. Y del mismo modo para la oscilación producida por la tracción de remolque.



Puente de Quebec (Canadá)

Construido sobre el gran río San Lorenzo, se terminó en 1917 y su estructura metálica, en forma de puente-ménsula (cantilever), tiene una luz central de 549 metros.



Puente de Brooklyn (Nueva York)

Es del tipo colgante, con una longitud total de 1.156 m; fué terminado en 1883 y durante muchos años ha sido una de las obras más admiradas. Su proyecto, debido al ingeniero alemán Roebling, tuvo el autor la alegría de verlo dirigido por su hijo.



Puente de Firth of Forth (Escocia)

Data su construcción de 1889, y su proyecto se debe al ingeniero Baker. Está tendido sobre el estuario de Forth, en Escocia, y su tipo, de estructura cantilever, forma dos luces centrales de 521 m cada una y luego dos laterales, con largos tramos de avenidas.



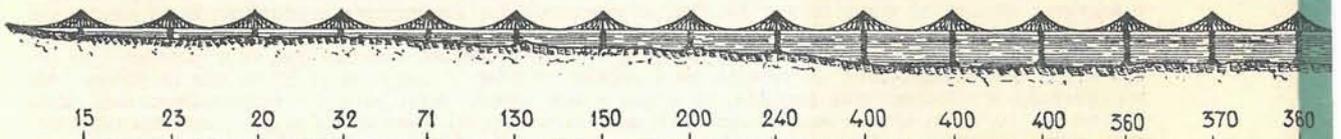
Puente de la Puerta de Oro-San Francisco (California)

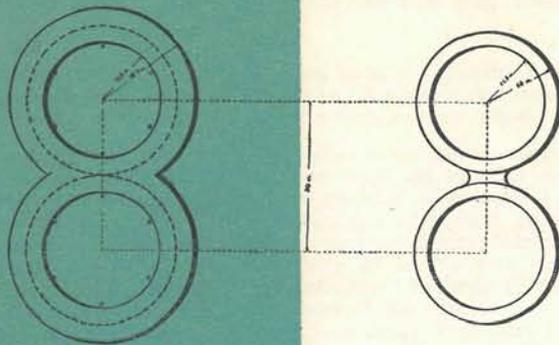
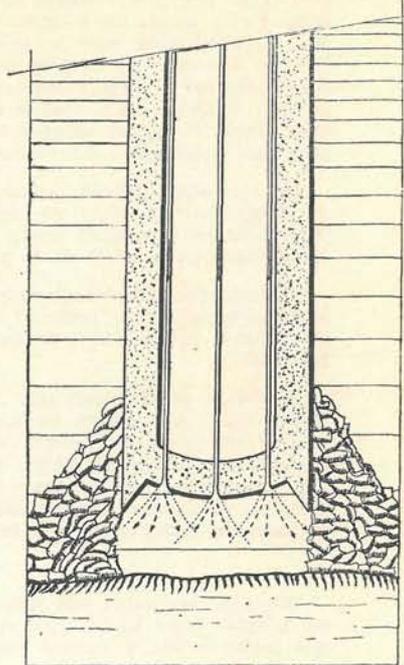
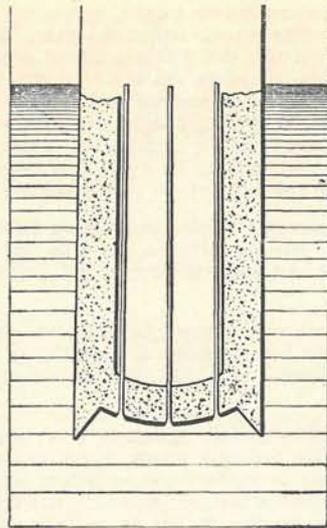
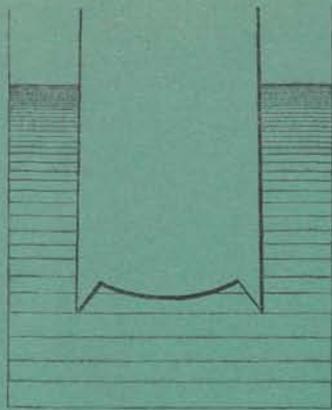
Es del tipo colgante y su luz central, hoy día la mayor del mundo, tiene un vano de 1.280 m, que supera en 220 m al de George Washington, de Nueva York. Enclavado en la bahía de San Francisco, es llamado por los americanos «Golden Gate», y tiene una longitud total de 2.680 metros.



Puente entre San Francisco y Oakland (California)

En la actualidad es el puente más importante del mundo, por su longitud, pues entre las dos secciones extremas de estribos tiene 6.900 m, pero, en realidad, son dos puentes, uno a continuación del otro. El proceso más importante de este puente fué la cimentación de las pilas, ya que cuatro de ellas descendían a una cota de -66 metros.





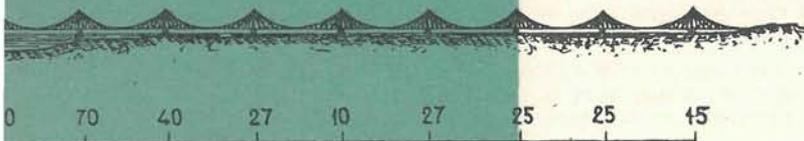
proceso de cimentación

Llega ahora la operación que puede considerarse más importante, que es la de fondeo del cajón que, como decimos antes, en régimen de flotación está retenido por los remolcadores, en forma de estrella, para fijar aproximadamente la situación en posición definitiva.

En el contorno de la pila flotante se lanzan desde arriba, por unos canales externos, una serie de sacos de hormigón, que van formando una especie de ataguía en la parte inferior, y cuya situación vamos comprobando con toda la exactitud deseable por medio de la sonda, o incluso, con los medios actuales, por fotografías submarinas.

Puente sobre el Estrecho de Gibraltar

Supera en importancia y dificultades a todos los reseñados anteriormente, no sólo porque su longitud es más de tres veces y media del de San Francisco, sino que, además, las profundidades son enormemente superiores a todas las hasta ahora alcanzadas.



Esta ataguía, imperfecta, retiene naturalmente la pila, que sigue flotando; pero en el intervalo inferior, que es el hueco o volumen comprendido en el fondo del mar, la ataguía lateral y el fondo del cajón como techo, queda un volumen de agua que desalojamos por el empleo de los 12 tubos que se han dejado, con las autoclaves correspondientes, en el fondo del cajón, y por los cuales, desde arriba siempre, hacemos la inyección de mortero de cemento, debidamente dosificado y a presión mayor de las 40 atmósferas requeridas por el agua retenida, y que, al desalojar ésta, se sustituye por la masa de mortero, que formará el suelo artificial, en el cual se ancla con el anillo cortante el cajón, constituyendo, por tanto, la forma más simple de sustentación y en las condiciones de mayor garantía para que la pila no se tuerza, pues pasa insensiblemente del régimen de flotación al de sustentación lenta y gradual.

De este modo hemos llegado a conseguir hacer un cimiento fabricado "ad-hoc", para sustituir al terreno del fondo por su masa de mortero, con la inmensa ventaja de que no nos interesan para nada las desigualdades que aquél tenga y que, en las condiciones hidráulicas en que se ha verificado, da siempre verticalidad para el eje de la pila.

Cuando ya esté llenado este espacio o volumen que ocupaba el agua, y por consecuencia entre en juego la sustentación, podemos avanzar ésta dejando de inyectar ya la masa por los tubos y echando agua, en la parte que se desee, dentro del hueco de la pila, que, de ese modo, hace descansar ésta sobre el suelo fabricado.

Ahora se podía preguntar, ¿es susceptible de aplicarse este procedimiento a mayores profundidades? Hasta 300 ó 400 metros no tiene dificultad que pueda considerarse grave; pero no sería conveniente prolongar más esta cifra, porque como hay necesidad, por su propia esencia, de dejar gran hueco interior para su flotación, las paredes tienen que resistir a las presiones externas del agua y no sería factible, por tanto, con los materiales actuales pasar de esos límites. Y por de contado, la forma de la pila deberá ser, por preferencia, la de directriz circular, para que se eviten flexiones, dejando sólo su forma de trabajo como régimen de compresión, que es el más adecuado para los materiales de construcción de naturaleza pétreo.

* * *

Supuesto aceptable este procedimiento como formación de pilas sustentadoras, es natural que se piense en adoptar unos tramos que sean todo lo grandes posibles, a fin de reducir la formación de esos elementos que perturbarían, si fueran numerosos, la circulación intensa de las líneas de navegación por el Estrecho.

Para salvar grandes vanos hay sólo dos tipos de estructuras conocidos: los puentes llamados ménsula o cantilever y los tramos colgantes o colgados. Cuando las luces son muy grandes, los primeros tienen grandes masas difíciles de manejar, por cuya causa sería más conveniente la estructura de puente colgante. Hasta ahora sólo se ha llegado a salvar tramos del orden de 1.000 m, y en los que hay construidos, de un modo general, están formados por los cables principales sustentados en las sobrepilas y colgando el tablero por medio de péndolas. Salvo en pocos casos, esa es la composición general, en la que se dota siempre al piso de vigas de rigidez para evitar la excesiva flexibilidad en las grandes luces; pero en otros casos—aunque con menor frecuencia—se hace el colgado con tirantes oblicuos desde la parte alta de cada sobrepila y formando a veces un tramo intermedio como apoyado entre esas partes atirantadas.

Tratándose de tramo de grandes dimensiones, que sería conveniente fueran del orden de 1.000 m para no estorbar nada a la navegación, quizá fuese preferible superponer los dos criterios y formar la estructura con dos partes de 300 m a cada lado de las pilas, que serán atirantadas oblicuamente, y una parte central de 400 m; pero tanto los anteriores como la central estarían sustentadas, además, del cable principal. Se forma así un sistema superabundante, que tiene grandes ventajas desde el punto de vista de arriostamiento o indeformabilidad, en el que, por esa causa, las vigas de rigidez quedan reducidas a papel mínimo, con notoria economía de metal. Por el mismo motivo de conseguir mayor estabilidad, es preferible hacer el piso en estructura de hormigón armado para que transversalmente tenga gran inercia.

* * *

Merece la pena, si se hace un puente de tal envergadura, precaver una circulación posiblemente intensa, ya que sería esta obra un paso de naturaleza estable entre Europa y Africa a través de España.

Con tal propósito formamos el piso con doble circulación de ferrocarril normal y una parte central de carretera, con ancho de nueve metros, para que puedan tener cabida tres circulaciones de vehículos. Además, dos aceras (cada una de dos metros) separarían la carretera de las dos líneas férreas.

En total, formado así el piso, tendría un ancho de 30 m. Y esto satisfaría todas las comunicaciones más que probables, en lugar de la angustiosa solución de un tren embutido en un túnel.

* * *

Queda por examinar la vital y primordial cuestión económica. Todas las obras que realiza el hombre deben tener una finalidad.

Puede no ser la apreciación crematística la única aspiración que debe cumplir, porque, aunque en general sea la más importante, podría tener el problema aspectos de otro orden (político, social, etc.) que hicieran predominante las aspiraciones de otros objetivos; pero, de todos modos, la parte económica tiene una gran importancia y, en modo alguno, puede soslayarse.

El presupuesto general a que se llega es del orden de 8.000 millones de pesetas. La cifra es grandísima, como no puede menos de serlo, pero no asombrosa, ya que, dada la megalomanía que hoy día hay en los negocios, las cifras de ese orden las vemos manejadas en varios casos.

Y hay que tener en cuenta que el puente en cuestión será en rigor un cordón umbilical entre dos continentes, que convertiría a España en puente de enlace entre Europa y Africa.

I N F O R M E S D E L A C O N S T R U C C I O N . P . I