

EL PUENTE DEL ESTRECHO DE GIBRALTAR

Conferencia pronunciada por el Excmo. Sr. D. ALFONSO PEÑA BŒUF
en el Salón de Actos del Consejo Superior de Investigaciones Científicas,
el día 28 de noviembre de 1956.

Al conferirme el Sr. Director General del Instituto de Estudios Africanos el honor de iniciar este año las conferencias que después van a desarrollarse, no puedo resistir la tentación de hablarlos de un tema que traté, cuando hice presencia ante vosotros en esta tribuna, en el mes de abril último, sobre comunicaciones a través del Estrecho de Gibraltar. pues creo que es el más interesante de todos los que puedan suscitarse en este marco.

Muchas veces he cruzado esta vena marítima, algunas en avión, otras en barcos distintos y hasta alguna vez, con tiempo muy bueno, en pequeño bote de motor. Cuando se hace en esta forma, parece mentira que con tan pequeña distancia no haya modo permanente de cruzar los 14 kilómetros que separan en líneas geodésicas las márgenes opuestas.

Pero es que el Estrecho en cuestión, cuando se mira de cerca, tiene tales dificultades que explica muy bien la anterior interrogación.

En primer lugar, si con espíritu de curiosidad se echa la sonda para apreciar lo que hay debajo de la superficie, se queda uno sorprendido al ver que traga el mar cientos de metros, sin que pueda uno creer que ha llegado a tropezar en el fondo hasta la proximidad de los mil metros ¡...! Y efectivamente, ésta es la profundidad en la parte más estrecha, y además se llega a ella muy rápidamente desde la cota española y también desde la africana, conservando ese enorme calado en la casi totalidad del espacio que las separa. Lógicamente también, como dijimos en ocasión anterior, la diferencia de evaporación produce corrientes en las que se ha medido una velocidad de más de dos metros por segundo, y, como es natural, por las causas variables que las producen, con revesas y discontinuidad principalmente debida a las mareas y por los vientos.

Con estas consideraciones se aprecia que la cortadura entre España y Africa es una cosa muy seria, y que el paso del Estrecho en su través resulta una dificultad que no extraña haya sido soslayada y temida durante tantos años.

Pero se presenta, además, la presencia de los

temporales producidos en todos los años, pues prescindiendo de los días buenos, que suelen ser los del centro del verano — y algunos del mes de enero —, al tratar de cruzar el Estrecho en días menos buenos, muy corrientemente se encrespa el mar, de tal modo, que resulta difícil, a veces, hasta pasar en los barcos grandes, y no pocos días hay en el año en los que incluso se prohíbe totalmente la navegación de través.

Se explica que estas consideraciones, tan conocidas por los naturales de la costa, indujeran durante mucho tiempo a la idea de evitar la crudeza de los temporales haciendo el cruce por medio de túnel. Pero ya en mi conferencia anterior indiqué las razones poderosas por las que yo creo que, de un modo práctico, el túnel es absolutamente inconveniente y no quiero remachar más esta cuestión, aunque haya sido la primera que se ha ofrecido como intuición previa. Y, desde luego, descarto la idea de apoyos flotantes, que tampoco se sostienen en una crítica severa.

A consecuencia de presentarse este grave tropiezo entre los dos continentes, no ha llegado a cuajar ninguno de los llamados proyectos de cruzar el Estrecho, pero es que, en realidad, ninguno de ellos ha sido proyecto en el verdadero sentido técnico de la palabra, sino meros propósitos o ideas previas, sin más fundamento que el ilusorio deseo de cubrir una necesidad, ni más seriedad en el propósito que el vago estudio de la configuración geográfica.

Desde el punto de vista técnico y con arreglo a la definición del Diccionario, se llama proyecto al conjunto de documentos que sirven para definir de un modo correcto una obra, habida cuenta de los esfuerzos que debe soportar, del fin que debe cumplir y el uso a que se destina.

Pues hasta ahora no hay ningún proyecto más que el mío, del paso a través del Estrecho, pues aunque, como es natural, no le tengo desarrollado en sus detalles de ejecución, toda vez que para ello se requiere inmenso gasto y tiempo en los necesarios ensayos de previa experimentación, el estudio general está calculado y representado para tener idea clara

de la obra en su totalidad y hasta hecha la cubicación de sus partes esenciales para apreciar de modo cierto la naturaleza e importancia de la obra.

De tal modo que, si por un arte taumatúrgico se tuvieran las licencias administrativas y el dinero necesario al efecto, se podría, al presente, estar haciendo el acopio de los materiales para lanzar su construcción con el ritmo que se precisara. Es, pues, un proyecto por el que pueden tener las ideas expresión concreta, y de ese modo quedar definida la obra para su ulterior desarrollo constructivo.

* * *

En un propósito de tanta envergadura como éste, lo primero que precisa analizar es si merece la pena acometer tan importante trabajo y si su rendimiento económico sería adecuado, pues a medida que transcurre el tiempo, el aspecto utilitario de las cosas es el preponderante, y sin desdeñar, ni mucho menos, el carácter idealista que deben tener algunas aspiraciones a realizar en la vida, lo cierto es que las grandes inversiones de dinero requieren cada vez más la imperiosa necesidad de que su inversión sea rentable.

Pues en este aspecto tan fundamental creo que no puede haber duda. Africa es un continente casi totalmente inexplorado. Si se mira sobre el mapa el inmenso territorio africano y sobre él las pequeñas manchas en las que la civilización ha puesto sus manos, se observa que éstas forman unas aisladas islas dentro de un enorme magma.

No voy a hacer os descripción de esas riquezas naturales, que llevarían en su análisis prolija y aburridísima descripción: pero, además, hay varias publicaciones que tratan de este asunto desde puntos de vista distintos: minero, petrolífero, agrícola e industrial, aunque, en realidad, son obras descriptivas bastante inconexas y poco difundidas; pero sí es evidente que, siendo Europa un continente agobiado por superpoblación y por sus aprovechamientos agrícolas e industriales de todas clases y, por el contrario, Africa un vacío continental de tantas posibilidades, entre estos dos campos de potenciales tan dispares tiene forzosamente que saltar la chispa que establezca la corriente.

Si la cortadura del Estrecho, única discontinuidad que separa ambos continentes, se salva de un modo que regularmente puedan establecerse de manera permanente el paso de los trenes y simultáneamente el de toda clase de vehículos, pudiendo recorrer en un cuarto de hora y sin ningún peligro la distancia de uno al otro continente y poniendo Tánger a menos de media hora de Algeciras, tanto por tren como por automóvil, cosa que puede hacerse con

plena comodidad con el puente por nosotros proyectado, ya se comprende que éste habría de ser el paso natural entre los dos territorios universales, como un nudo por el que pasaría la corriente de aprovechamiento de inmensos recursos y riquezas naturales, además de una circulación turística de gran importancia.

Pero como yo soy enemigo de las fantasías exaltadas, de que adolece mucha gente cuando observa los acontecimientos un poco extraordinarios, quiero a este respecto hacer dos previas afirmaciones que son substanciales:

Primera, que la posibilidad de hacer el puente puede ser demostrada con el desarrollo técnico normal de una obra prácticamente realizable.

Segunda, que el presupuesto, aunque sea variable con las perturbaciones que hoy tienen las monedas, cualquiera que sea ésta en las naturales oscilaciones adquisitorias, tiene un rendimiento que, aun hoy día, podría ser aceptable sin más que apreciar la actual corriente de tráfico restringido entre las dos márgenes, y desde luego más esperanzador en el que puede considerarse inmenso porvenir.

A este respecto os puedo decir que, después de hecha la cubicación de las diferentes unidades de obra que se requieren, si a ellas se aplican los precios unitarios que rigen en el comercio mundial, el presupuesto arroja una cifra que podría ser grande, y que de aplicación instantánea os cité en la conferencia anterior, pero que con las mismas cifras actualmente en uso en el comercio marítimo de enlace entre los dos continentes, daría, sin más incremento que el actual, un interés suficiente para sostener la obra. Todo ello sin ilusas esperanzas, sino con realidades presentes.

Pero para apreciar esto de un modo claro hay que adoptar una unidad, y seguidamente podría formularse esta pregunta: ¿cuál sería la unidad de apreciación en un mundo como el actual, en el que las cosas varían en todos lados con una movilidad de tendencia siempre decreciente?

Desgraciadamente, en casi todos los Estados se va imponiendo una inflación que es el verdadero cáncer de la vida; pero si se observa la corriente de desvaloraciones de monedas y la acompasada elevación de precio de las cosas, se aprecia que en ambos concordantes fenómenos hay un concepto que varía muy poco a través del tiempo y que, por tanto, es casi lo único que puede considerarse como invariable: el poder adquisitivo del gramo de oro.

Pues aunque su empleo sea una ficción que sería muy largo de analizar, podría servir este concepto (que sirvió de definición para la peseta clásica) para establecer rendimientos y presupuestos con carácter de permanencia a lo largo del tiempo.

COMPARACION A ESCALA DE LOS PRINCIPALES PUENTES

0 100 200 300 400 500 600 700 800 900 1000 1100 1200 1300 1400 1500

ESCALA GRAFICA EN METROS



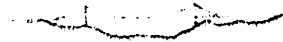
PUENTE DE QUEBEC (CANADA)



PUENTE DE BROOKLIN (NUEVA YORK)



PUENTE FIRTH OF FORTH (ESCOCIA)

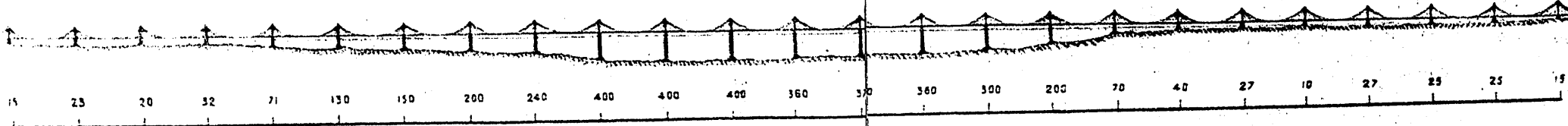


PUENTE DE LA PUERTA DE ORO - SAN FRANCISCO (CALIFORNIA)



PUENTE DE SAN FRANCISCO A LA BAHIA DE OAKLAND (CALIFORNIA)

PUENTE SOBRE EL ESTRECHO DE GIBRALTAR



NOTAS DE PROFUNDIDAD

Pero aun dejando de lado este concepto, para el establecimiento de un rendimiento da lo mismo, pues es evidente que si las adquisiciones suben por inflación de la moneda, también los cánones de transporte suben de modo a veces más que proporcional y en rigor los rendimientos, si están bien establecidas las bases de implantación, deben ser poco variables.

Hay que hacer también una previa apreciación, y es que las obras públicas en su mayor parte no deben mirarse sólo por su aspecto utilitario de rendimiento económico, sino más bien por las ventajas que reflejan en la industria y el comercio, porque de otro modo no se podrían acometer muchas de ellas.

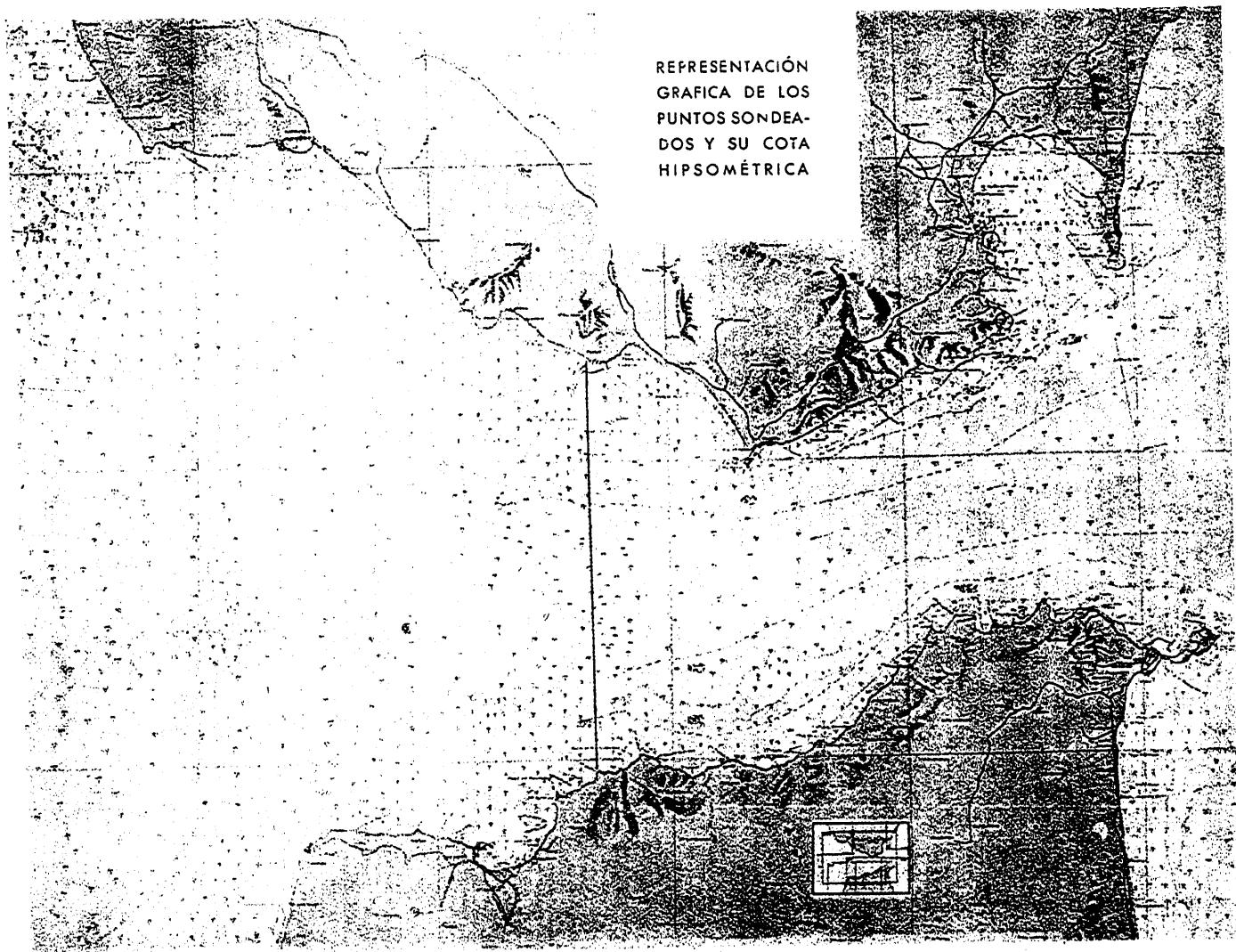
Para dar una idea representativa más completa de esta obra, quiero ofreceros en la pantalla dos placas: la primera, que de un modo menos completo os presenté en la conferencia anterior, y que ahora tengo representada con el conocimiento de más de mil puntos de cota hipsométrica, por haber super-

puesto los copiosos datos que sobre esta materia he podido recoger en el Instituto Geográfico, en el Depósito Hidrográfico de Marina y en la Comisión Oceanográfica.

En la foto puede apreciarse que la situación más conveniente de trazado es la representada en trazo grueso, pues después de muchos tanteos es la que obtiene menores calados en la suma de las pilas.

Aunque yo confiaba al principio en que podrían tenerse en el centro solamente cotas de poco más de 300 metros, ahora, de un modo más definitivo, puedo deciros que hay necesidad de llegar a los 400 metros en cuatro de las pilas centrales.

En la segunda placa he dibujado los más grandes puentes hasta ahora construídos en el mundo, y como están dibujados con un origen común y la misma escala, en este gráfico se aprecia bien claramente la enorme importancia del puente del Estrecho, muy superior a todos ellos.



Los puentes representados son los siguientes:

Puente de Quebec. — Construído 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 Broocklyn. — Para unir la capital neoyorkina con ese barrio, se construyó, ya de antiguo, este puente del tipo colgante, con una longitud total de 1.156 metros, que fué terminado en 1883 y que durante muchos años ha sido una de las obras más admiradas. Su proyecto, debido al ingeniero alemán Roebling, tuvo su autor la alegría de verlo dirigido por su hijo.

Puente de Forth. — Data su construcción de 1889, y las dificultades fueron tan grandes, que entonces se consideró como una verdadera epopeya por las vicisitudes que tuvo en su desarrollo y que felizmente acabó con el triunfo del ingeniero Baker. Está tendido sobre el estuario del Forth, en Escocia, y su tipo de estructura cantilever, forma dos luces centrales de 521 metros cada una y luego dos laterales con largos tramos de avenidas.

Puente de la Puerta de Oro. — Es del tipo colgante y su luz central, hoy día la mayor del mundo, tiene un vano de 1 280 metros, que supera en 220 metros al de George Wáshington, de Nueva York.

Este puente, enclavado en la bahía de San Francisco, que los americanos llaman "Golden Gate", tiene una longitud total de 2.680 metros, y en realidad es el de un trazado natural de gran armonía entre la gran luz central y los dos semitramos laterales.

Puente entre San Francisco y Oakland. — En la actualidad es el puente más importante del mundo, por su longitud, pues entre las dos secciones extremas de estribos tiene 6 900 metros, pero en realidad son dos puentes, uno a continuación del otro. El primero enlaza San Francisco con la isla de Hierbabuena (que está en medio de la bahía), y el otro une esta isla con el gran poblado de Oakland.

El proceso más importante de este puente fué la cimentación de las pilas, aunque, como puede verse en el dibujo, no son más que cuatro las que tienen gran profundidad: pero a nosotros no podrá asombrarnos su calado, pues si bien es de mayor importancia que el de los otros puentes, no descendía a más cota que los 66 metros. No obstante, el procedimiento de cimentación fué muy complicado, por medio de grandes cajones subdivididos por compartimientos pequeños en alvéolos verticales coronados por cúpulas ajustadas a ellos. El arreglo de la base se hizo con buzos después de realizado en cada alvéolo el dragado correspondiente.

Puente sobre el Estrecho de Gibraltar. — Por el gráfico adjunto puede apreciarse que nuestro proyecto actual supera en importancia y dificultades a todos los reseñados anteriormente, no sólo porque su longitud es más de tres veces y media el desarrollo del de San Francisco, sino que, además, las profundidades son enormemente superiores a todas las hasta ahora alcanzadas.

Precisamente por eso hay que recalcar ahora, después del examen comparativo, que este proyecto constituye una gran extrapolación en materia de puentes y de obras hidráulicas de cimentación.

Pero es que, en rigor, debemos considerar que para llegar a cimentar a profundidad de 400 metros, como tenemos que llegar para cuatro de nuestras pilas, no existe ningún procedimiento conocido hasta la fecha que permita apreciarse como practicable.

No podría, en modo alguno, hacerse con el método empleado por los ingenieros de San Francisco, y, además, resultaría con graves dificultades.

Es, pues, a nuestro juicio, una feliz solución la presentada en este proyecto, que permite no sólo la posibilidad de ejecutarse, si que además, la forma más asequible a la realización económica en la práctica.

Como indiqué en la conferencia anterior, consiste, en esencia, en pasar de una flotación a una sustentación, por grado insensible y automático.

Y como ya hice descripción de los elementos generales en la disertación antes expresada, no quiero fatigar más vuestra atención, pues es sabido que la mayor virtud de una conferencia debe ser la de expresar el tema de un modo concreto y con la mayor rapidez posible.

Para que no parezca desconocimiento de la situación presente, no quiero dejar de consignar el proyecto (no ejecutado aún) del puente sobre el Estrecho de Messina, entre Calabria y la isla de Sicilia. Este proyecto, debido al ingeniero Giacomo Zuccolo, es muy semejante al de la Puerta de Oro, y tiene, como aquél, un tramo central colgado y dos semitramos laterales. El tramo del centro sería el de mayor luz hasta ahora construído por llegar a los 1 500 metros: pero no le hemos representado por su analogía con el anterior y porque la longitud, algo mayor que el citado, no constituiría tampoco una gran variación. También su proceso de cimentación tiene analogía en el establecimiento de un gran cajón formado por alvéolos cilíndricos de cuatro metros de diámetro en las paredes y arriostramiento central.

* * *

Y ya termino, para reiterar mi confianza en que este puente de unión entre el continente africano y el europeo tiene todos los caracteres de estar estudiado, y que, empleando lenguaje figurado, podría realizarse este cesto "si nos dieran mimbres y tiempo".

Conferencia pronunciada en el Instituto Nacional de Previsión para la Asociación de Ingenieros del Ejército, el día 21 de diciembre de 1956.

ASPECTO TÉCNICO DEL PROYECTO

No hubiera tenido la decisión de dirigirme a tan distinguido auditorio con motivo de un tema indudablemente apasionante, como es el paso a través del Estrecho de Gibraltar, si no fuera porque tuviera la convicción de poder ofreceros una solución racional que diera satisfacción al paso permanente entre los dos Continentes.

En ocasión anterior ya hemos publicado las dificultades, muy graves, que se oponen a este paso desde el punto de vista de circulación normal, y así se explica que, siendo una necesidad sentida desde hace muchos años, no se haya podido hasta el presente ni siquiera tener un proyecto que permita abrigar la esperanza de conseguir este paso, en circulación de tránsito, como por vía ordinaria.

Voy a representaros primero una foto de la naturaleza geológica de la zona en la que, en manchas de intensidad distinta, se aprecian calidades de los terrenos.

Puede verse que la zona inferior de España y la superior de Africa, tienen la misma composición que corresponde al terreno *coceno*, tramo inferior del sistema terciario. Y todos los geólogos saben que estos terrenos están compuestos de rocas atormentadas que presentan numerosas grietas y litoclasas. Razón muy poderosa para que se evite totalmente la construcción de un túnel.

En la última conferencia, que por la amable invitación de la Dirección General de Estudios Africanos desarrolló el pasado mes, se hizo el análisis de los grandes puentes que existen actualmente en el mundo y las características de los mismos, para su relación con el presente, y en realidad, solamente así puede comprenderse la extrapolación que hace falta conseguir cuando se trate de realizar un proyecto de puente a través de este Estrecho.

En la elección del tipo a adoptar no existe duda: para grandes luces solamente pueden tomarse en consideración los tipos de puentes-ménsula y de tramos colgados; pero por las dificultades de montaje que ofrecería el primer tipo, solamente puede ser adoptable el segundo, que consigue, en condiciones de mejor economía, salvar largos vanos, suprimiendo en todo lo posible las pilas sustentadoras.

Pero por mucho que se exagere esta posibilidad, no es viable conseguir luces muy superiores a 1 000 metros y, por consiguiente, siendo bastantes kilómetros los que separan la costa africana de la de España, es indispensable tener la necesidad de realizar varias pilas intermedias.

El tipo, pues, queda ya concretado en que es preciso hacer tramos colgados sustentados sobre pilas

que, en ningún modo, pueden ser flotantes por las condiciones que tiene el Estrecho, y que, en consecuencia, han de ser hechas las sustentaciones sobre el fondo del Canal; y aquí está precisamente la dificultad que hasta ahora se consideraba 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 metros, 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 metros 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 metros, considerando, aun así, que era una audacia fuera de lo normal.

Pero en el Estrecho de Gibraltar estas cifras son todavía moderadísimas, pues hecho el estudio hipsométrico de toda la zona comprendida entre los meridianos de Gibraltar y de Tánger, las cotas exceden con mucho de esos guarismos y, por consecuencia, no hay método técnico hasta ahora que permita tener una experimentación previa, ni siquiera planteo racional cuando se pasa de tal hipsometría.

Sin contar la línea geodésica de mínima distancia entre los dos territorios, pues esta línea es precisamente la que en planta da mayores calados, y aun haciendo reconocimientos muy concienzudos de toda la zona comprendida entre esos meridianos, no existe ningún trazado que pueda ser más adecuado que el comprendido entre el Cabo occidental de la Playa de Tarifa y el Cabo de Malabata, contiguo a Tánger, como zona la más adecuada para tener calados de menos profundidad, y aun así, es indudable que tiene que llegarse, en una parte central de más de 3 kilómetros, a la profundidad de 400 metros.

Pues hasta ahora no existe método ninguno, técnico ni científico, que pueda dar, de un modo práctico, la cimentación de pilas en estas condiciones, y es precisamente para la exposición de un método que yo creo original, y haciendo uso de vuestra benevolencia, por lo que voy a exponeros la forma de realización posible y sin el empleo de máquinas especiales ni de buzos.

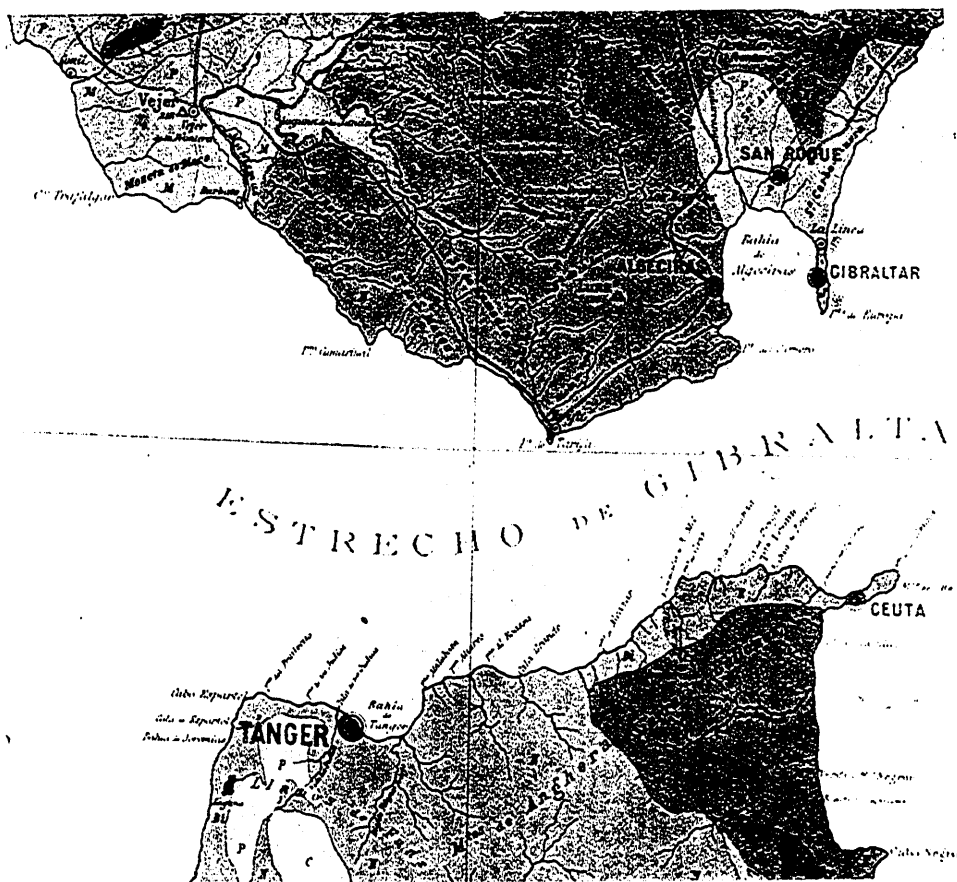
* * *

Voy a hacer antes una digresión sobre la superestructura. Según acabamos de indicar, tiene que formarse ésta del modo más adecuado, por tramos colgados, y a este efecto he realizado el proyecto sobre la base de emplear tramos de 1 000 metros de luz, sustentando el tablero a 40 metros por encima

del nivel medio del mar, a fin de tener asegurada, para cualquier caso, la navegación por debajo a toda clase de barcos.

Decididos a que el puente tenga la circulación intensa que podría requerirse, no solamente en un presente bien enjuiciado, si que también en el inmenso porvenir que puede ofrecer, he supuesto que

cisco, con los 1280 metros, y aun superando esta cifra, está próximo a realizarse en el puente de Messina; pero siendo no un sólo tramo como en aquéllos, sino un conjunto de tramos que forman el puente, no he querido exagerar la extensión del mismo, ya que no presenta dificultades en el momento, porque pretendo en el proyecto por mí redactado encajar las



el tablero podría contener en el mismo nivel dos líneas de ferrocarril, de ancho normal, cada una en un sentido, y además tres circulaciones constantes de camiones, aparte de dos espacios que sirvan de separación conveniente entre ambos medios de locomoción y que pudieran ser también de peaje, aunque en éste, por su longitud, no pudiera ser muy acomodaticio, pero sí muy conveniente para los trabajos de conservación y de servicios.

Se comprende, en consecuencia, que con estos medios se podría establecer una gran circulación, muy distinta de la que en la actualidad pueda conseguirse por medio de barcos y aviones.

Podríamos haber proyectado tramos de más de 1000 metros, pues en rigor se ha conseguido en la práctica en el puente "Golden Gate", de San Fran-

cosas dentro de los límites de lo que son los materiales normales, sin requerir metales especiales, que son necesarios en la consecución de tramos de gran extensión.

Así, pues, dado el trazado anteriormente indicado en planta, el puente se compondría de 25 tramos completos, de 1000 metros cada uno, y, por de contado, 24 pilas intermedias.

De ellas, sólo cuatro tendrán la profundidad de 400 metros, pues el resto, tanto en un lado como en el otro, van decreciendo, según se aprecia claramente en el perfil transversal publicado en la conferencia anterior.

En tramos de esa extensión hay siempre un peligro, que ha sido acusado en dos ocasiones anteriores, y es el de posible alabeo del tablero por la acción

del viento y de los temporales; pero bien sabido es que puede conjurarse este peligro con el empleo de vigas de rigidez, que tienen esa especial acción, y que han sido aprovechadas en algunos de los grandes puentes para formar la estructura transversal de dos pisos. Pero en realidad, el trabajo mecánico de las vigas de rigidez es evidentemente por efecto de flexión y torsión, que es en realidad fenómeno mecánico menos adecuado y más oneroso que el de tracción directa, cuando puede neutralizarse por el efecto de cables dispuestos a tal fin.

Es esa la razón por la que, si en el proyecto se dispone el empleo de vigas de rigidez como largueros de apoyo sobre las pilas, sin embargo doy a éstas las menores dimensiones posibles, para neutralizar en gran parte los efectos del viento con tirantes desde la parte superior de las torres, que formen un abanico sustentado por las torres situadas en el eje de cada pila, como puede verse en el alzado de la primera conferencia.

Por otra parte, en obras grandes y para la conservación de su estabilidad, es elemento muy preponderante el que debe tener la inercia, siendo entonces muy conveniente que el tablero tenga de por sí bastante rigidez a los efectos transversales, motivo por el que la estructura del piso, en lugar de ser exclusivamente metálica, se forma por un conjunto de vigas y viguetas de hormigón armado, que presentan mejor conservación y, sin duda, un mayor elemento de estabilidad a las deformaciones transversales.

De este modo he querido describiros la estructura de la parte superior que constituye el puente, y en ella, si existe la novedad de este atirantamiento que favorece la estabilidad transversal en condiciones de mejor aprovechamiento, sin embargo no hay nada que pueda decirse absolutamente nuevo, ya que las condiciones de trabajo a que se somete el material, han de ser encajadas dentro de los límites de las Instrucciones vigentes.

* * *

Y vamos ahora a la dificultad fundamental: la construcción de las pilas.

Nada podemos, a este respecto, indicar como experiencia anterior, ya que jamás se ha llegado a cimentar de un modo permanente, no ya a profundidades de 400 metros, como necesitamos, sino ni siquiera de 100 metros. Y tenemos la audacia de creer que con este proyecto se puede realizar la ejecución de estas pilas no sólo sin emplear máquinas especiales o ideas extravagantes, sino solamente con trabajo normal al aire libre, sin aire comprimido, sin flúidos especiales y sin realizaciones a ciegas, que puedan dar ambigüedad al resultado.

Voy a describir con todo detalle el proceso que, a mi juicio, puede ser seguido, con posibilidad de orden práctico:

Tomamos como base la ejecución de las pilas más profundas, o sean de 400 metros por debajo de la superficie, aunque ya se comprende que de esta talla solamente hay cuatro en el perfil transversal, pues las demás van decreciendo en un sentido y en otro, hasta formar pocas decenas de metros en las que están contiguas a los dos Continentes.

Elegimos previamente una ensenada que esté defendida de los temporales y que pudiera ser muy bien la bahía de Algeciras, pues en ella tenemos desde las cotas hipsométricas de 8 ó 10 metros en la proximidad de la costa, hasta las de más de 500 metros en el centro de la bahía, según el plano que, en detalle, tenemos a nuestra disposición y que hemos exhibido en ocasión anterior.

En esa bahía hacemos previamente en la orilla, en un astillero normal, la construcción de un cajón con la forma en planta de la pila, construída con chapa metálica convenientemente armada, como obra de calderería normal, y que tenga una altura de 8 ó 10 metros.

El cajón, con su fondo en la forma que os indico en la proyección, se bota al agua, como siempre, por medio de anguilas de lanzamiento, y, como es natural, flota, estando calculado ya este calado, que para las condiciones normales tendrá solamente poco más de 2 metros de profundidad y quedando, por consecuencia, una gran reserva de flotación.

El cajón se lleva flotando hasta un sitio elegido que permita tener calados mucho mayores y que pueda estar sujeto a boyas destinadas al efecto, siendo un barco que permite a cielo abierto, en su interior, hacer un revestimiento del fondo con hormigón armado y en las paredes con igual material, por virtud de cuyo revestimiento irá aumentando de calado, siguiendo, como es natural, en esta faena la continuación de los trabajos por adición de chapa metálica en el exterior y revestimiento consecutivo en el interior.

Por el cálculo, bien fácil de establecer, de calado y de masas, se llega, por aumento sucesivo de las paredes de hormigón, a ir teniendo siempre en flotación mayores profundidades, hasta llegar a alcanzar algunos metros menos de la profundidad total que el cajón va a tener.

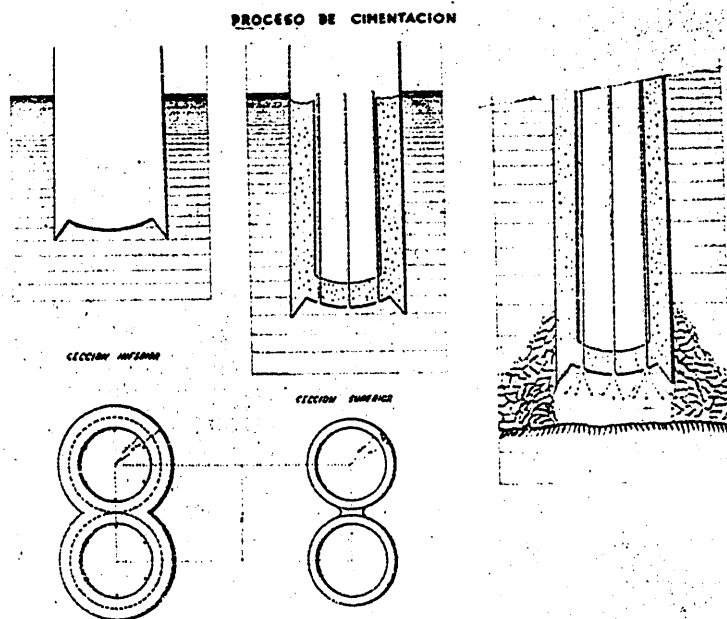
Una necesaria disgresión haremos también a este respecto: el cajón está sometido, como es natural, al empuje externo del agua y hueco en el interior al aire libre. La forma óptima para resistir un calado a presión externa, es la de directriz circular que da compresión absoluta a sus paredes y, por consecuencia, en lugar de tener la pila una forma de círculo completo y mirando la sustentación que va a proporcionar a la superestructura, nos ha parecido, claro está, lo más conveniente hacer el cajón en planta con dos círculos sensiblemente tangentes o adheridos en la parte tangencial que, formando un todo, dan, sin embargo, la forma de la envolvente circular como

figura fija de equilibrio estático a compresión, según indica la figura proyectada.

Quedamos, pues, en que el cajón en forma cilíndrica y con la planta de dos círculos adosados uno a otro, tiene las paredes y fondo de hormigón, y siendo este fondo calculado con el grueso necesario para resistir en régimen de compresión las presiones externas del agua.

para cuya fijación empleamos los tres remolcadores en estrella, que puedan fijar el punto decidido, como es natural, por las necesarias enfilaciones topográficas.

El transporte del cajón lo hemos calculado también al efecto, pues es, en realidad, el caso de un cilindro vertical sometido a la acción de la corriente, medida y calculada, y a la velocidad de transporte que va a imprimirse; problema hidrodinámico, que



La ejecución de esta obra de hormigón, tal como hemos descrito, no tiene la menor dificultad. Es un trabajo normal y corriente, con su molde externo que forma la chapa y otro interno, accidental y movedizo, que forma la figura interior, y en él se hace el trabajo con obreros, siempre al aire libre, y con aportación de materiales por barcas exteriores, para no cargar la estructura del cajón y que contengan los materiales adecuados para la consecución de obra, tan importante como sencilla.

Llegamos así, como hemos dicho, a ejecutar esta pila, siempre flotando, pues para eso calculamos los gruesos y desplazamientos al efecto, hasta un calado muy próximo, con diferencia de unos metros (dos o tres), al que después va a tener en su aplicación definitiva.

Y ahora llegamos a lo que pudiera decirse fase delicada, pues que hasta ahora todo es normal y corriente: el traslado y fondeo del cajón en su lugar definitivo.

Para este efecto, soltamos las amarras de las boyas y, conducido por tres remolcadores adecuados, llevamos, siempre flotando, el cajón desde la bahía hasta el lugar del emplazamiento que va a tener,

en forma simplista está apreciado por la ecuación de las fuerzas vivas.

Este cajón, que desde luego ha de ser transportado en esa forma, a velocidad muy pequeña, da origen a tensión total para los remolcadores, con cifras que no son en modo algunos desorbitadas, pues alcanza valores del orden de 500 toneladas, 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.

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 metros, las órbitas elípticas de las partículas líquidas del oleaje se van aplastando hasta llegar a forma de traslación rectilínea en las mayores profundidades.

Es de advertir que, 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 metros, el par o momento adrizador es

grandísimo, reduciendo a límites muy estrechos los periodos casi insensibles del balance. Y del mismo modo para la oscilación producida por la tracción de remolque.

* * *

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 ya con los medios actuales, por fotografías submarinas.

Esta ataguía, imperfecta, retiene lateralmente la pila, que sigue flotando, pero en el intervalo inferior, que es el hueco o volumen comprendido entre 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 doce tubos que se han dejado, con las auto-claves correspondientes, en el fondo del cajón, y por los cuales, desde arriba siempre, hacemos la inyección de mortero de cemento debidamente dosificado, a presión mayor que 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 que pasa insensiblemente del régimen de flotación al de sustentación lenta y gradual.

De ese modo hemos llegado a conseguir hacer un cimiento fabricado *ad-hoc*, para sustituir al terreno del fondo por su masa de mortero y 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 está llenado este espacio o volumen que ocupaba el agua, y por consecuencia entra en juego la sustentación, podemos afianzar ésta dejando de inyectar ya 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.

Consideramos interesantísimo esta forma de ope-

rar, pues permite llegar en condiciones de garantía a establecer una cimentación a profundidades tan desusadas, que hasta ahora nunca pudieron ser alcanzadas, ni siquiera en aproximación de muchas cifras, y que en todo caso, cuando se operaba por medio de trabajo de buzos o por cualquier otro método de dragado (nunca pudo llegarse en modo alguno a la cifra de 400 metros), tenía, además, la enorme desventaja de que todo ello era preparado a ciegas, con la ambigüedad enorme de que pudiera torcerse la pila, dando al traste, como es natural, con las condiciones de estabilidad elástica que se apreciaban en la formación del proyecto.

No es necesario indicar que este mismo proceso le podemos aplicar, y con gran sencillez entonces, para las pilas de menor profundidad, como son la mayor parte del resto, que oscilan alrededor de 100, 150 metros y menos aún, que dada la posición en que nos hemos colocado y la apreciación de nuestra idea, constituyen en rigor problemas ya sumamente sencillos.

En las figuras proyectadas hemos representado este proceso, desarrollado en la forma antes explicada, así como las dimensiones en grueso que tiene la pila en la parte inferior y superior, siendo, claro está, para las intermedias, el resultado del cálculo para las diferentes alturas a las que tiene que resistir la presión del agua.

Dada esa forma de operar, no hace falta indicar que se llega a ello en las condiciones más económicas posibles, pues es solamente la fabricación de materiales la que entra en juego para los efectos de presupuesto, y por lo que afecta a medios auxiliares, solamente hay que disponer de barcasas externas, necesarias para contener los materiales para su preparación, que son en realidad condiciones mínimas en una obra de tanta envergadura, para las que ordinariamente hay que disponer elementos auxiliares en una gran partida, pero que en virtud de nuestro proceso podemos reducir al mínimo.

* * *

Creemos haber explicado con todo detalle y hasta con entera claridad el modo en que está concebido este proyecto, que por la importancia no solamente de su estructura, si que más bien considerando el porvenir que ofrece el desarrollo comercial del Continente africano, al que puede dirigirse tan seductora mirada desde Europa, creemos perfectamente realizable como camino permanente en condiciones de la más rápida y fácil ejecución.

