"El paso a través del Estrecho de Gibraltar"

Carlos Mendoza

Revista de Obras Públicas vol.67, nº2.267, marzo de 1919, p. 110-119

El paso á través del Estrecho de Gibraltar.

¿UNA SOLUCIÓN TÉCNICA DE POSIBLE REALIZACIÓN?

Conferencia pronunciada por D. Carlos Mendoza, Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, el día 18 de Enero de 1919, en el Instituto de Ingenieros civiles.

El Sr. Presidente del Instituto, D. Francisco Terán: Señores, me entero de que es práctica establecida de antiguo en esta casa que el Presidente de la Asociación, á la cual corresponde el conferenciante, haga la presentación de éste. Yo me felicito desde luego del señalado honor que para mí representa el hacerlo en este caso, tratándose de persona que me merece toda clase de consideraciones y afectos, como el Sr. Mendoza; pero creo que la presentación, hoy, huelga por completo, no sólo porque no es la primera vez que el Sr. Mendoza nos honra con sus disertaciones, sino porque, además, todos conocéis la labor meritoria, infatigable é inteligente que el Sr. Mendoza viene realizando en el campo profesional.

Por consiguiente, yo, después de felicitarme nuevamente por haber tenido este señalado honor, me limitaré (y con esto creo interpretar el común sentir de todos los presentes) á dar las gracias al Sr. Mendoza por el señalado honor que nos dispensa, brindándonos las primicias de una conferencia tan amena, tan interesante y tan original como será seguramente la que pronto vamos á escuchar y tendremos el gusto de aplaudir.

Y no digo más. (*Aplausos.*)

El Sr. Mendoza: Señores, debido á mis escasas facultades, nunca podría seguramente corresponder como se merece á la amabilidad y al interés con que habéis acudido esta tarde á escuchar mi conferencia, pero quizá menos en el día de hoy en que á una indisposición leve se une en mí el recuerdo imborrable de recientes desgracias de familia y, por si todo esto fuera poco, la noticia que acaban de comunicarme del fallecimiento de nuestro querido compañero, Presidente de la Junta consultiva de Caminos, D. Antonio Cruzado, cuyos grandes méritos todos conocéis, y á cuya memoria quiero dedicar dos palabras, porque no sólo ha sido modelo de camaradas y de caballeros, sino un Ingeniero meritísimo, cuya labor constante y variada he nos podido todos apreciar, y de cuyo concurso valiosísimo nos vemos tristemente privados desde el día de hoy. Pero es cierto también que un medio de honrar á nuestros compañeros muertos es, para los que sobrevivimos, seguir nuestra labor con mayor tesón que nunca, porque con nuestro trabajo mejor que de ningún otro modo honramos su memoria.

Como compensación á estas circunstancias desfavorables, puede haber, en cambio, la del interés verdaderamente extraordinario del tema de la conferencia que voy á desarrollar ante vosotros, y puede haberla también en vuestra amabilidad y en vuestro talento. Vuestro talento sabrá llenar, sin duda alguna, los vacíos que notéis en mi conferencia y vuestra amabilidad sabrá dispensar las faltas en que pueda incurrir.

El tema de esta conferencia, el del paso directo á través del Estrecho de Gibraltar, es realmente de un interés extraordinario, y si lo ha tenido siempre, quizá lo tenga hoy excepcional mayor que en ningún otro momento. Lo tiene bajo el triple aspecto de nuestra política interior, de nuestra política internacional y de un problema técnico. Claro es que yo (nadie con menor autoridad) podría hablaros ahora del interés que tiene bajo el primero de estos tres aspectos, desde el punto de vista de nuestra política interior; podría discutirse si es éste ó no el momento oportuno, si está ahora España ó no en condiciones de extender su esfera de acción á territorios del otro lado del Estrecho, si tenemos ó no energías suficiente; para ocuparnos en la colonización de los territorios de Marruecos; lo que no admitiría la discusión es que se trata de un problema que á nosotros nos interesa muy de cerca y que en los territorios marroquíes otras naciones que no son la nuestra tienen fijada su atención y su mirada. Lo que no puede discutirse tampoco es que, desde un punto de vista internacional, interesa al mundo entero de un modo extraordinario ver de buscar una solución á este problema, solución que acortaría las distancias entre dos continentes y contribuiría poderosamente, por consecuencia, á estrechar los lazos de fraternidad que deben existir entre todos los pueblos de la tierra y al intercambio del fruto de su trabajo, de sus afectos y de sus sentimientos.

Para ello, aunque, dada vuestra ilustración, no sería preciso, pero es conveniente, basta dirigir una mirada sobre ese mapa para recordar y afirmar que España va á constituir, á partir de ahora,

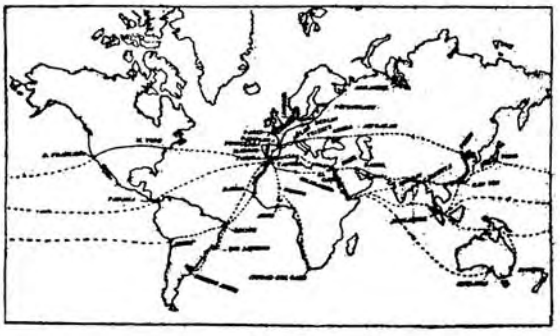


Fig. 1.ª

el verdadero centro del mundo; va á ser como la plaza central de una inmensa población, que quizá sirva algún día de centro de contratación, y lo que es seguro, por lo menos, es que va a servir de paso para todas las corrientes comerciales que se han de establecer, principalmente entre el continente americano del Sur, el continente africano y el continente europeo y el asiático. España, por su oposición, y según se observa ahí por las líneas trazadas que representan las principales vías de circulación futura del mundo, es un punto de paso natural, y á nosotros nos interesa considerar á nuestro país bajo ese aspecto, y nos interesa en alto grado prepararnos á ser dignos de representar un papel de tan alta trascendencia política y social.

Bueno es también recordar que ha habido pueblos, quizá celosos de esto que pudiera ser para nosotros base de prosperidad ó engrandecimiento, ó quizá temiendo que no estuviéramos á la suficiente altura para prestarnos á servir de elemento de enlace común para el desarrollo de la riqueza y del intercambio de productos de los demás países, ha habido pueblos que han pensado ya en estudiar soluciones tales que permitieran prescindir de esta real necesidad de pasar por nuestro país, y precisamente hoy he tenido ocasión de recibir un trabajo y de estudiar unos mapas á propósito de este asunto.

Se ha llegado á pensar por Sociedades francesas en el establecimiento de una línea perfectísima de transportes marítimos directa de Marsella á Argel para que recogiera á través de sí todo el movimiento que ha de establecerse entre la América del Sur, Africa y Europa, dejándonos completamente á un lado. Cuando estas cosas se estudian y se estudian seriamente por otros países, se adquiere una idea de la importancia trascendental que el problema tiene para nosotros.

Pues si el problema lo tiene—y en esto no me puedo extender más—desde estos dos puntos de vista, lo tiene aún mayor, y es el objeto principal, excepcionalísimo, de mi conferencia, desde el punto de vista técnico, no solamente por la magnitud de la obra, sino por las circunstancias especialmente difíciles que en ella concurren.

Podemos compararla con obras como el Canal de Suez y el Canal de Panamá ó con el túnel bajo el Canal de la Mancha. Las dos primeras están ya realizadas, y bueno es que pensemos en los grandes sacrificios de dinero que han supuesto y en los extraordinarios esfuerzos de inteligencia, en las muchas y valiosas aportaciones de labor individual que se han requerido para llevarlas á cabo. Yo no tengo datos precisos, pero el Canal de Suez se puede asegurar que ha costado por encima de 500 millones de pesetas. También puedo asegurar que el coste del Canal de Panamá está por encima de 3.000 millones de pesetas, y sólo en los trabajos preparatorios de investigación y de estudio que se hicieron por diferentes Empresas americanas y francesas se invirtieron más de 30 millones de pesetas. Como el caso que más semejanza tiene con el nuestro es el del paso del Canal de la Mancha, quiero hacer una pequeña historia acerca de este inmenso proyecto.

Se intentó ya su estudio y hasta se llegó á proponer una solución hace más de un siglo por un Ingeniero francés, M. Mathieu, quien presentó á Bonaparte una proposición de túnel gigantesco para carretera.

En el año 1867 fué cuando ya el Ingeniero Thomé de Gamond hizo un estudio más completo de túnel de comunicación de Inglaterra con Francia, y llegó hasta á presentar un proyecto acabado en una Exposición universal de París.

Animado de una constancia grande y de una fe ciega en la posibilidad de realizar su propósito, estuvo treinta y tantos años, y en 1895 se llegó á fundar, bajo su presidencia, en Inglaterra un Comité franco-inglés para el estudio necesario, á fin de llegar á la realización de su proyecto. Casi al mismo tiempo en Francia se constituyó una Sociedad nacional de estudios para este mismo fin; esta Sociedad realizó importantes trabajos de investigación y se constituyó con un capital de 2 millones de pesetas. Luego se abrió un pozo cerca de Sangat, de 5 metros y 50 centímetros de diámetro y de 87,50 metros de profundidad, y á partir de este pozo, á una profundidad de 32 metros, la una, y de 45 la otra, llegó á perforar dos galerías en dirección al mar, una de las cuales llegó á tener hasta 1.800 metros de longitud, y casi simultáneamente, en Inglaterra, el Comité franco-inglés que dirigía Gamond abrió también otro pozo y otra galería de 1.850 metros, de los cuales 1.400 estaban ya debajo del mar De manera que desde luego se ve que estas no son obras que surgen así como por encanto ni en un momento dado, y que no pueden ser fruto de una sola inteligencia ni de un solo esfuerzo, sino que necesitan el concurso constante de muchas inteligencias y de muchos esfuerzos, é incluso importantes recursos económicos para ponerse en condiciones de viabilidad.

El Canal de la Mancha ofrece las características siguientes:

Estas líneas que van de Norte á Sur representan la costa inglesa y la menor anchura del Canal de la Mancha, que se ofrece entre Dover y Calais. La longitud, que por esta zona es la más corta, viene á ser, próximamente, de unos 34 kilómetros; pero

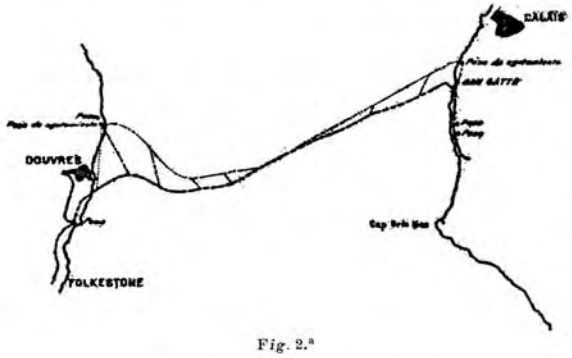


Fig. 2.ª

las profundidades, siguiendo esta línea, no son muy grandes. Se trata de una zona tan perfectamente sondeada que puedo decir que ya en el año 1896 se hicieron en ella hasta 8.000 sondeos.

Pues bien, esta línea, de 34 kilómetros de longitud, presenta profundidades variables entre 7 y 60 metros. La profundidad mínima está en dos bajos: el de Colbart y el de la Varne, próximamente hacia el centro del Estrecho. A base de esta línea se ha llegado á hacer este proyecto de túnel que estaba en vías de ejecución antes de la guerra, no llevándose á la práctica por dificultades entre los dos Gobiernos, y sobre todo por el temor que había entonces en Inglaterra á que esto pudiera facilitar una invasión en su territorio. Ahora que las corrientes van por otro lado, es muy posible que estos proyectos se conviertan muy pronto en realidad.

El proyecto de túnel del Estrecho, según está trazado, arranca de Dover, cerca de uno de los pozos de investigación que se abrieron, y va á la costa de Francia, cerca de Sangat. De modo que no es una línea recta. La línea gruesa representa el eje de la doble galería del proyecto, y la otra línea fina representa otra galería auxiliar del proyecto, y la otra línea fina representa otra gale-

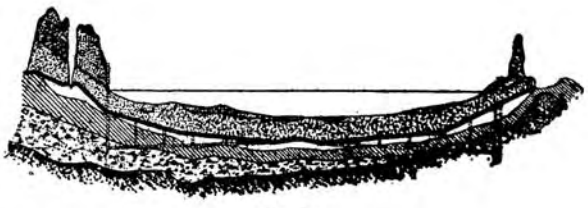


Fig. 3.ª

ría auxiliar para la construcción, que ha de servir para conducir á ella las aguas de filtración del túnel, y al mismo tiempo para facilitar la ventilación y la extracción de los productos.

Si ésta es en planta, la disposición del túnel del Canal de la Mancha en perfil la vemos ahora en este otro trazado. Esta es la orilla inglesa y la otra es la orilla francesa. Es de advertir que la configuración geológica del terreno bajo el mar, según se ve aquí, es de capas de un espesor casi uniforme y de una composición completamente homogénea. Son capas cretáceas, que se apoyan en una formación jurásica, que es la de abajo, y de una compacidad tal que se tiene bastante confianza en la impermeabilidad que han de ofrecer durante la construcción. El perfil del túnel, como se ve, afecta la forma de una M invertida y muy aplastada. Ciñéndose á la configuración de las capas, se prevé un levantamiento del perfil en el centro, y del centro ese es de donde han de partir las dos galerías, que se ven también de perfil, que han de recoger las aguas y los materiales que se extraigan por la galería inclinada, cuyo alzado se ve aquí representado.

Esto ya nos da una ligera idea del problema técnico que plantea la construcción del túnel á través del Canal de la Mancha, y desde luego se ve que desde el punto de vista de solidez, seguridad, posibilidad de perforación y plazo de ejecución. no ha de ofrecer grandes dificultades. Unicamente en la organización del trabajo, y quizá, probablemente, en la ventilación; y en la ventilación, porque claro es que ya el túnel con los tramos de acceso de entrada y de salida tendrá en conjunto, según se ve trazado en esa línea, un desarrollo de 54 kilómetros, y de esa longitud todavía no se ha construído túnel alguno en el mundo. Pero real y verdaderamente, dificultad de orden técnico, de éstas que parecen insuperables, no se ve, aunque desde el punto de vista económico sí se comprende que sea una obra de coste extraordinario. Yo no he podido recoger datos acerca de en cuánto estiman el presupuesto de la obra, pero que, completamente terminada, seguramente no ha de bajar de 400 á 500 millones de pesetas.

Estas son, en líneas generales, las características que presenta el paso del Canal de la Mancha. Por eso, y en lucha con este proyecto, creyendo encontrar una solución más económica, se estudia también por algunos Ingenieros la solución de puente, que es otra de las que técnicamente pueden aplicarse al caso, y entre las soluciones de puente está como la mejor estudiada la de Sheider y Hersent, en colaboración con Baker y Fowler, que fueron los que estudiaron y construyeron el famoso puente de Fort.

Este puente, cuyo esquema aparece ahí representado, está formado, no recuerdo en este momento la cantidad justa, pero desde

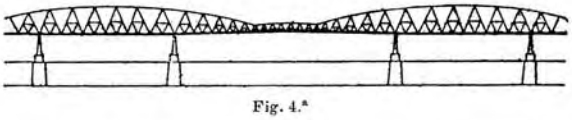


Fig. 4.ª

luego por más de un centenar de tramos. Éste, que aparece ahora en el centro de la figura, es de 300 metros, y el otro es de 500. Son tramos alternados de 500 y 300 metros, de 200 y 350 metros, y de 100 y de 250. Esta distribución de tramos no es completamente caprichosa, sino que obedece á que se han procurado emplear las mayores luces en aquellos sitios en que el fondo estaba más profundo y la cimentación había de ser más costosa, y, sobre todo, también en los sitios en que convenía dejar mayor espacio libre á la navegación.

La rasante de las vías de este puente estaría á 72 metros sobre

el nivel del mar, representado aquí por esta línea. Aquí son unas pilas tubulares con un revestimiento metálico en el que se apoya luego el tablero. Tampoco este proyecto supone una dificultad grande para un Ingeniero, puesto que viene á ser un puente por el estilo de otros que se han construído, en lo que se refiere á los cálculos de la estabilidad y condiciones que ha de reunir un tramo aislado. La principal dificultad de esto, como podéis comprender, está en la construcción y la cimentación de las pilas y en el montaje de los tableros. Ya la cimentación á 60 metros, que yo sepa, no se ha llegado á alcanzar más que en el puente de Hawkersbury. Allí se hizo con cajones abiertos, y vosotros sabéis, como yo, las dificultades con que se tropezó, á pesar de ser las condiciones naturales del terreno excepcionalmente favorables y de tener la suerte de vencerlas; digo la suerte, porque cualquier accidente imprevisto que hubiera podido ocurrir hubiera podido dar al traste con la obra.

Pero aquí se trata de cimentar, no dos pilas, sino un centenar de ellas y en medio del mar, en sitios adonde el hombre no puede bajar, ni hay buzos que bajen, ni manera de trabajar con aire comprimido. Y á esta dificultad de construcción de las pilas, cuyo presupuesto, ni siquiera aproximado, sería muy difícil de hacer, se une la del montaje.

Sin embargo, se hablaba en Francia de que el problema del montaje estaba perfectamente estudiado y la solución consistía nada menos que en contruir en la costa estos grandes tramos en lugar á propósito y con una disposición adecuada para poderlos asentar sobre barcazas flotantes, dejar las pilas sólo enrasadas á 20 metros de altura para que los tramos cargados sobre barcas no fueran tampoco á una altura tan exagerada; pero sea como fuera, siempre resultaría que esos tramos, una vez puestos sobre las barcazas, tendrían la cabeza inf-rior á 25 ó 30 metros de altura y que habría puntos que estarían á 90 y á 100 metros sobre el nivel del mar. De modo que el centro de gravedad de estos tramos andaría por los 50 metros sobre el nivel del mar. Hay que imaginarse lo que supone coger un tramo de éstos, que pesaría 100 ó 150.000 toneladas, cargarlo en una barcaza, llevarlo al sitio del emplazamiento y dejarlo bajar hasta que apoyara sobre las pilas, y sobre todo hay que imaginarse ese ejército de ciento y pico de tramos con sus respectivas barcazas. No hay que pensar siquiera lo que sería un encontronazo de una masa de 150.000 toneladas con una de estas pilas. Sin embargo, llegó á pensarse en ello seriamente y estuvo á punto de intentarse la construcción, que acaso se hubiera acometido si no hubiera sido por las razones políticas de que antes hablaba.

Después de hecha esta ligera exposición del caso del Canal de la Mancha y de los medios y de las soluciones técnicas que hasta ahora se han ocurrido para la resolución de este problema, vamos á ocuparnos ya de lo que se refiere al caso nuestro, el caso del Estrecho de Gibraltar.

El Estrecho de Gibraltar presenta en su menor anchura una longitud bastante menor que la del Canal de la Mancha, porque escasamente es de 14 kilómetros. La parte más estrecha corresponde á la línea que une Punta de Cires, en Africa, con Punta de Guadalmesí, que está situada entre la Punta de Tarifa y la desembocadura del Guadalmesí, en España. Esta longitud, medida en línea recta, es de 13.800 metros. De modo que ya tenemos aquí la tercera parte de la longitud del Canal de la Mancha, pero en cambio, y ésta es la mayor dificultad, las profundidades del Estrecho son inmensamente mayores.

Os voy á mostrar aquí un perfil longitudinal y transversales del fondo del mar á la altura del Estrecho de Gibraltar. El Estrecho de Gibraltar, en su embocadura oriental, ó sea entre Punta de Europa, en España, y Punta de Santa Catalina, en Africa, viene á tener una profundidad de 1.200 metros. Es curioso que en toda la costa sudeste de España, del lado del Mediterráneo, las profundidades son uniformes: no pasan de 30 metros á unas dos ó tres millas de distancia; pero al acercarnos al Estrecho de Gibraltar y muy próxima á la orilla, la profundidad aumenta considerablemente.

En la parte más angosta del Estrecho las profundidades llegan hasta 800 y 900 metros, y luego, en la embocadura occidental, que corresponde á la línea que une Cabo Trafalgar con Espartel, próximamente, es donde se encuentra la profundidad mínima y son estos puntos más altos que aparecen aquí. Hay ahí un collado indudablemente, y en este collado la profundidad es de 300 metros; pero, de todas maneras, es cinco veces mayor que la profundidad máxima en el paso del Canal de la Mancha.

Vistas estas características y con su simple enunciación, ya se comprende que las dos soluciones que hasta ahora nos facilita la ingeniería práctica, que son las de puente de los diferentes sistemas conocidos, y la de túnel, son hoy real y positivamente impracticables. Hay, pues, imposibilidad racional de construir un

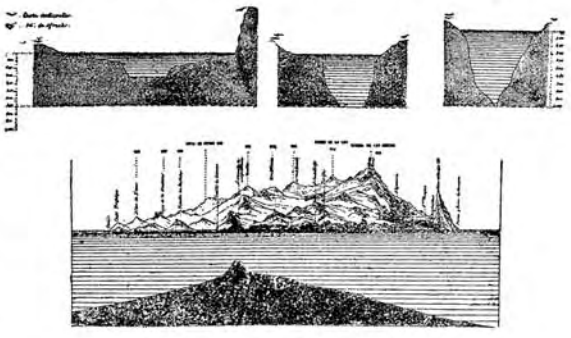


Fig. 5.ª

túnel que, sólo en esta parte, en que el fondo está á 300 metros, ha de tener más de 50 kilómetros de longitud, con una carga de agua de 300 metros; y si se hiciera por la parte más estrecha ha de tener la misma longitud que aquí, porque hay que alargar, desarrollando dentro del agua, para salvar el desnivel, lo que la Naturaleza acorta, y con una carga que pasa de 80 atmósferas.

¿Cómo vamos á admitir que haya Estado alguno ni Empresa capaz de facilitar el dinero que suponen, no sólo los trabajos preparatorios de reconocimiento, sino los de la misma obra, trabajos y dinero que estarían siempre pendientes del riesgo que supone la terminación de estas grandes obras? Y digo que estaría á la terminación el riesgo mayor, porque, dada la importancia de los levantamientos que se han producido en nuestra costa y en la africana, es de presumir la existencia de una falla, cuya profundidad nos es desconocida, en el centro del Estrecho. Claro es que á esa falla y á esa profundidad de luz, de 800 metros en la línea de agua, habrá que poner otros 200 ó 300, ó sean 1.100, y á esa falla no se llegaría hasta el final, y suponiendo que se llegara con facilidad, no se llegaría sino después de haber invertido todo el capital en la ejecución de la obra. Porque es de advertir que para que el problema tenga solución no basta con que sea una solución técnica, sino que, dadas las imposiciones de la realidad, necesita ser solución de orden económico, y de nada nos sirve dar solución técnica á un problema si en el orden económico es impracticable, y algo de esto ocurre con la solución de túnel para el Estrecho de Gibraltar. Es decir que, aunque técnicamente se vislumbrara la posibilidad racional de ejecutarlo, desde el punto de vista económico sería una obra de un coste enorme, considerable, y, desgraciadamente para nosotros, ese es un factor también de mucha consideración; porque entiendo yo que para nosotros es del mayor interés que, á ser posible, que esta obra sea construída por España, no sólo por elementos españoles, sino por España.

Pues si la solución túnel es prácticamente imposible para la travesía del Estrecho, y nada quiero decir de lo que representarían en un túnel con esta contrapendiente los servicios de desagüe y los de ventilación, la solución puente es todavía más inadmisible. Con ninguno de los sistemas de puente conocidos sería tampoco el problema abordable, y aprovecharé la ocasión para presentaros aquí los tres puentes más grandes del mundo, de los diferentes sistemas.

El puente de Quebec sobre el San Lorenzo (figura 6.ª), tipo Kantilever, tiene 549 metros de luz en su tramo central.

Fué construído el año 1909 (por segunda vez, porque recordaréis que el primero que construyeron, después de terminado, se vino abajo todo él). Este puente, en el que también tuvieron lugar accidentes graves, tiene 549 metros de luz y pesa 62.000 toneladas, y voy citando cifras para irnos acostumbrando á ellas y poder apreciar la importancia que tienen las obras de este carácter.

Como tipo de puente en arco os presento el mayor, que yo sepa, de los construídos en el mundo, que el año 1916, según los últimos datos que he podido recoger, todavía estaba en construcción, aunque ya terminándose. El puente de Hellgate, que tiene en el arco central una luz de 298 metros, y que pesa 85.000 toneladas.

Y, por último, el puente de Broocklyn, que todos conocéis, en Nueva York, tipo de puente colgante, cuyo tramo central tiene una luz de 488 metros, construído el año 1883, y cuyo peso anda cerca de las 100.000 toneladas.

El coste de estos tres puentes se calcula en *350 millones de pesetas*. Eso partiendo de que el precio del hierro está calculado aquí á un coste aproximado de 45 céntimos de franco. De modo que hoy estas obras se puede suponer que costarían unos 700 millones de pesetas, es decir, más de 200 millones de pesetas cada una.

Ya se ve, y vosotros lo sabéis mejor que yo, que con puentes de los sistemas conocidos no podemos pasar de los 500 metros de luz; hasta 14.000 hay un margen todavía considerable, y la razón de esto está en la autolimitación que se establece por virtud del aumento progresivo del peso propio del puente por metro lineal, á medida que la luz aumenta. De tal suerte que en puentes de luz extraordinaria, la sobrecarga ejerce un papel sumamente secundario al lado del peso propio del puente. Aumenta el peso propio del puente de tal modo, que ya nos falta material que resista á su propio peso, es decir, que son como las grandes torres del poeta que «á su gran pesadumbre se rindieron», y lo mismo que no se puede hacer una torre de piedra de más de cierta altura, porque la materia no lo resiste, y al llegar á cierta altura la propia torre se aplastaría, algo de esto ocurre con los puentes.

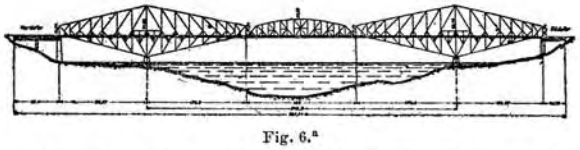


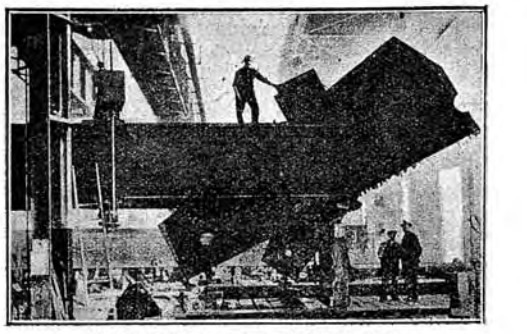
Fig. 6.ª

De modo que si el problema del Estrecho de Gibraltar se ha de resolver pronto, ó surge alguna idea nueva ó por estos sistemas conocidos es inútil perder el tiempo en discurrir, porque ya sabemos que la realización práctica es imposible.

Se ha preconizado, sin embargo, algún otro pensamiento acerca de esto, análogo a la solución que nos da la práctica para los pasos fluviales, y, precisamente, acabo de recibir una atenta carta de nuestro querido y sabio compañero el Inspector Sr. García Faria, á la que me acompaña un folleto, que estimo interesantísimo. Ya sabéis que García Faria se ha dedicado á estudios profundos acerca de Marruecos y de sus futuros ferrocarriles. Hizo un estudio acerca de esto, y algunos artículos se han publicado en la Revista. En este folleto hace también un pequeño análisis y estudia las comunicaciones a través del Estrecho, indicando las diferentes soluciones que podrían ocurrirse acerca de esto, é indica una que se refiere a la posibilidad de establecer un gran tubo tendido a lo largo del mar, apoyado en el fondo del mismo, y que sirviera de paso a los vehículos y de comunicación entre una y otra margen.

Ahora veremos en qué forma se expresa á propósito de esto. Dice: (*Leyendo.*)

«La incertidumbre que siempre entraña la ejecución de túneles largos, de la cual nos dan idea las grandes contrariedades que han retardado la apertura del Simplón, acrecidas en el caso presente por las circunstancias especiales de la obra, tal vez serían causa bastante á motivar el estudio comparativo del proyecto anterior con la solución de un tubo de acero, *colocado todo él directamente sobre la ladera sumergida*, ó bien dispuesto en su tramo más profundo *en forma de enorme puente ó arco sumergido*, de enlace de Europa y Africa, el cual podría estar sometido en sentido vertical casi exclusivamente al esfuerzo de la carga móvil de los trenes, porque variando el área del tubo y teniendo en cuenta el peso de sus paredes, así como el de las cargas á sustentar y el del agua que desplazara, podría dársela por metro lineal el esfuerzo de gravedad que más conviniera; ya se sobrentiende que esta especie de tubo ó serie de prismas, para hablar más propiamente, debería tener una forma apropiada para resistir las presiones máximas que en todos sentidos pudiera experimentar, no tendría sección uniforme, ni en sentido transversal ni longitudinal, y que de todos modos la parte que no fuera apoyada debería contar con arriostramientos y fijadores suficientes.



Unión de barras del puente de Quebec.



Puente de Hellgate.



Puente de Broockyn.

»La tracción en el tramo inferior al nivel del mar tendría que ser objeto de estudio especialísimo para disminuir, por ejemplo, el peso de los motores ó del cable, según que aquélla se propusiera eléctrica ó funicular, sobre todo en el caso de haber alguna parte del trayecto en que se tuviera que acudir á medios artificiales para apoyar ó reforzar la base de asiento de la línea.

»Basta con la enunciación de estos intricados problemas para comprender que no ha llegado aún el momento de emprender la realización de la obra gigantesca de cruzar interiormente el Estrecho de Gibraltar con un ferrocarril, y eso que hemos omitido enunciar la mayor de las dificultades, la financiera, porque los hombres de dinero no acostumbran á arriesgar sus capitales en la resolución de ningún problema difícil hasta bastante después que muchos obreros de la inteligencia hayan perdido su patrimonio ó la salud en pos de la incógnita, ó de que algún apóstol de la ciencia haya sacrificado su vida en bien de la Humanidad.»

Y agrega, que dejando esto para más adelante, procede estudiar los ferrocarriles que, pasando por el Estrecho, podrían poner en comunicación directa los dos continentes.

Este tubo, tendido á lo largo del fondo, indudablemente presenta unas dificultades enormes y sería de un coste considerable, puesto que en algunos sitios habría que trabajar á presiones verdaderamente inauditas; sería de construcción y de montaje probablemente imposible, casi se puede afirmar que imposible, y, además, nos daría un trazado en perfil longitudinal seguramente incompatible aun con los modernos adelantos de tracción, porque tendría pendientes en algunas zonas superiores al 10 y 20 por 100. Es lástima, sin embargo, que García Faria, que apunta ahí un procedimiento en que no se detuvo lo suficiente, no hubiera profundizado un poco más en esto, porque probablemente, de haberlo hecho, hubiera llegado á la solución que yo preconizo como punto ó base de partida de los estudios que podrían efectuarse acerca de este problema con alguna posibilidad de llegar á su posible realización.

Yo entiendo, señores, que podría ser solución el establecimiento, de una á otra margen, de *un tubo, amarrado en las dos orillas, suspendido de boyas flotantes convenientemente espaciadas, situado á una profundidad comprendida entre los 20 y los 30 metros y desarrollado de modo que formase en planta una gran catenaria horizontal y en alzado una serie de catenarias parciales, casi verticales, que terminarían en los puntos de enlace, que constituirían las bocas de los túneles de entrada y salidad del Estrecho.*

Sobre esto, que es una idea muy sencilla y en la cual es posible que haya pensado mucha gente, he tenido, sin embargo, el



Fig. 7.ª

capricho de profundizar, haciendo algunos estudios y algunos cálculos, y reflexionando acerca de las posibilidades y los inconvenientes que pudiera tener.

Aquí la figura extrema de la izquierda representa un paso marítimo cualquiera, y ahí se ve tendido de una á otra orilla el cable á que me vengo refiriendo, y esos puntos representan pilas flotantes ó puntos de suspensión de ese cable.

Si, como ocurre en el Estrecho, existe una corriente de agua poderosa, el cable (si no existiese corriente ninguna el cable podría tenerse en línea recta) adoptará esa forma, aproximadamente, de una gran catenaria y en alzado, de boya á boya, por la acción del peso propio y de la sobrecarga, dibujará también el cable una serie de más pequeñas catenarias.

Luego seguiréis conmigo, á la ligera, el proceso de los estudios que yo tengo realizados acerca de esto para que os vayáis formando idea del asunto. Allá en la figura de la derecha se ve una solución para el caso (no sería probablemente el del Estrecho) en que, por una corriente excesivamente fuerte, conviniera que estuviese el tubo sujeto por medio de otras boyas ancladas al fondo para definir un poco más la posición límite que esta catenaria podría ocupar. De manera que esto representaría, por ejemplo, el tubo, estotro la boya en que va suspendido el cable, y esto de más acá la boya de fijación que iría anclada en el suelo. Esta serie de boyas podrían poner un límite á esfuerzos anormales que hubiera, porque esto está estudiado con un carácter general. En nuestro caso el tubo está suspendido de una boya, y completamente suelto y libre. Creo que en el paso del Estrecho de Gibraltar la solución única posible, y, además, la indicada, por reunir condiciones á propósito, es ésta.

Concebida la idea, entré ya, haciendo números, en el cálculo de algunas de las posiciones que podría adoptar esta catenaria, deduciendo números para tener una idea de lo que resultaba, de qué tubos, de qué espesores, de qué medidas, si se trataba de miles de millones, de algo que se pudiera dominar ó de algo que fuera completamente indominable. Estos fueron los primeros pasos. Tenía la curiosidad de apreciarlo, y como el cálculo era sumamente sencillo, me decidí. Además, por si en alguna cosa había dificultad, tuve el acierto de servirme de nuestro querido compañero Sr. Peña, que es una especialidad y una verdadera maravilla para estas cosas de desarrollo de cálculos.

Nos entretuvimos en hacer diversos tanteos acerca de esto, y de sus resultados, por lo curiosos, es de lo que os voy á dar cuenta. Primeramente, tomando el problema por lo más grande, empecé por tantear un tubo gigantesco para doble vía de ancho normal; un tubo que tenía una sección de 47,22 metros cuadrados y un diámetro exterior de 10 ó 12 metros; un tubo enorme. Con toda su enormidad, sin embargo, bien se concibe que se comportaría como un elemento flexible en una longitud de 14 kilómetros, como es ésta.

De los cálculos que hicimos, que os voy á exponer ligeramente, aunque sólo sean los resultados para no alargar demasiado esta conferencia, resulta que ese tubo trabajaría en las siguientes condiciones:

Cálculo de la sección de un tubo, para vía doble, debiendo resistir el peso de dos trenes normales que se cruzan dentro de un vano (le llamo vano á la separación entre dos boyas flotantes) *el peso propio y la acción de la corriente.*

Claro es que el fundamento de esto es el principio de Arquímedes: desde el momento en que un cuerpo se sumerge en el agua, pierde su peso el volumen que desaloja, y, por tanto, desaparece automáticamente la dificultad de los puentes de grandes luces, puesto que el peso del material se puede reducir á lo que se quiera. Por consiguiente, la materia no tiene que luchar con su propio peso, y ya podremos pensar en la posibilidad de establecer cables acuáticos de la luz que nos convenga en que el material no tenga que trabajar para resistir el peso propio, sino únicamente el de la sobrecarga.

Sin embargo, como estas cosas no se pueden hacer en la práctica, ni puede resultar que el cable esté siempre tal que ni flote ni se sumerja, conviene darle un peso positivo determinado. De modo que en este gran tubo debíamos calcular un peso por metro lineal, pequeño en relación con las cuarenta y tantas toneladas de agua que desaloja, un peso positivo de unas 2 toneladas y pico sumergido. Habíamos admitido que en cada tramo se cruzaran dos trenes de composición normal de doscientas y pico de toneladas, y que en todo lo largo del tramo existiera una corriente en el mismo sentido de 1,30 metros de velocidad por segundo, corriente verdaderamente considerable, y que por término medio excede á la verdadera, porque si bien es cierto que en algunos puntos se han registrado corrientes locales superiores á ésta, también es verdad que en toda la anchura del Estrecho la corriente no tiene ni mucho menos esa velocidad, ni es tampoco en el mismo sentido.

Conviene recordar en esto de las corrientes, aunque supongo que todos lo sabéis, que como el Mediterráneo evapora más volumen de agua que el que recibe de sus afluentes, el Mediterráneo tiene que suplir esta deficiencia con agua del Atlántico, y esta es la razón por la cual, para nosotros aquí afortunadamente, siempre en el Estrecho la corriente dominante es en el mismo sentido: del Atlántico al Mediterráneo, y sólo hay alguna corriente de reacción cerca de las orillas, que se observa con menor intensidad.

Nosotros hemos supuesto, pues, una corriente constante de 1,30 de velocidad por segundo aplicada á toda esa longitud de 14.000 metros de tubo para ver qué es lo que resultaba. Sobre todo era curioso saber qué espesor tendrían que tener las paredes del tubo. Todo está relacionado, porque el espesor está relacionado con el peso del tubo y con el volumen de agua que éste desaloja, y había que ver si existía contradicción entre unos y otros elementos, ó si podía encontrarse solución de proporciones armónicas.

El resultado del cálculo es que si se puede construir un tubo

de la longitud necesaria para que tendido de una á la otra margen afectase la forma de catorce catenarias parciales de 8,48 metros de flecha vertical para 1.000 metros de separación entre apoyos flotantes, y en planta una catenaria general de 1.000 metros de flecha horizontal, capaz para una doble vía, ó sea con una sección libre de 47,22 metros cuadrados, pudiendo cruzarse dos trenes de 272,50 toneladas de peso, compuesto cada uno de locomotora eléctrica de 52 toneladas, un vagón de 31,50 y nueve de 21, este gran tubo, con un espesor medio de 30 centímetros, podría resistir la suma de las tensiones originadas por el peso propio positivo dentro del agua, que sería de 2.902 kilogramos por metro lineal, por el peso de los dos trenes que se cruzan y por la acción de una corriente, toda en el mismo sentido, y con una velocidad de 1,30 por segundo, lo que equivale á una presión horizontal á lo largo de la gran catenaria de 633 kilogramos por metro lineal, sin que el trabajo del material pasase de 10 kilogramos por milímetro cuadrado.

De manera que, cuando menos en el papel, en teoría, concebimos ya la existencia de un tubo como éste, y nos damos idea de sus medidas y proporciones. Sería un tubo de 10 ó 12 metros de diámetro, con unos 30 centímetros de espesor, que resistiría á todos los esfuerzos en posición conveniente para servir al fin á que se destina.

Porque es de notar también que esto se podría conseguir sin que la pendiente máxima calculada, en las ramas de ninguna de las catenarias, ni aun en la más cargada, que afectaría la mayor pendiente, excediera del 3 por 100. Era, en efecto, dato muy importante saber qué ocurriría con el tramo más cargado, por el peso del tren, y qué pendiente podría resultar, porque había que establecer la limitación de que esa pendiente no excediera de la proporcional para la buena marcha de los trenes, y es evidente que aun podría llegarse hasta el 6 por 100 perfectamente.

Sobre esto se hizo el cálculo, tomando el problema á la inversa: partir de esa pendiente en la rama de la catenaria, suponer la posición del tren más cargado próximo al apoyo—porque la posición más próxima al apoyo del centro de gravedad del tren es la que da origen á la mayor pendiente, en la rama próxima al apoyo—; de modo que colocando el centro de gravedad á unos 40 metros de ese apoyo, é imponiendo ya á la catenaria la condición de que la inclinación de la tangente fuera la debida, se puede deducir la longitud que debe tener para la separación de 1.000 metros, y conocida la catenaria, y las fuerzas que actúan sobre ella, de corrientes, pesos y demás, el cálculo era sencillísimo, llegándose á la consecuencia que he indicado.

Repetí luego el cálculo para un tubo de 5,25 metros de diámetro, para vía de ancho normal, suponiendo concordantes todas las acciones para tomar en cuenta sus efectos, porque en el cálculo anterior se habían tenido en cuenta esos factores separadamente y se habían ido sumando. Se supuso igualmente de 14.000 metros la luz á salvar, y 14 el número de tramos. Se supuso también que la posición límite fuese la de una catenaria general en planta con una flecha de 1.000 metros.

Lo primero á determinar, en este caso, que estudié ya con más precisión, fué la longitud de cada catenaria parcial.

Sustituyendo para esto con gran aproximación la catenaria general por una parábola osculadora, se obtiene para longitud de la parábola 14.294, con la flecha en el centro de 1.000 metros, y para la longitud de cada tramo parcial 1.021 metros.

Suponiendo un diámetro exterior para el tubo de 5,75 metros, con lo cual puede de antemano asegurarse que el interior no será menor que el necesario para el paso del material corriente, podemos determinar la presión del agua por metro lineal, que resultará de 1.174 kilogramos. Considerando como incógnita final el valor del espesor que debiera tener el tubo para resistir á todas las acciones á que podía estar sometido, empezamos por expresar en función de e (espesor del tubo) la acción vertical producida por su peso dentro del agua. La debida tensión del tubo al peso del tren resulta ser de más de 9.000 toneladas. La suma de ambas, que será vertical, se compondrá con la horizontal debida á la acción de la corriente, cuya velocidad admitíamos de 2 metros por segundo, según el triángulo rectángulo de dichas fuerzas, y la resultante total inclinada vendrá expresada en función de e.

La resistencia del tubo, admitido que trabaje á 10 kilogramos por *milímetro cuadrado*, la podemos expresar también en función del espesor que se busca. Igualando los dos miembros, el uno lo que el tubo puede resistir, y el otro los valores de las tensiones, se despeja el valor del espesor. Con esta igualdad se forma una ecuación de segundo grado, de la que resultan para el espesor dos valores, como es lógico: uno de 18 y otro de 20 centímetros. Porque aquí cabrían dos solucienes: una de una catenaria parcial que tienda á irse para arriba, flotando, con un peso negativo correspondiente al espesor menor, y otra solución, que es la del espesor de 20 centímetros, produciendo un peso positivo. Estas son las dos soluciones. Pero como ustedes ven, no resultan los espesores disparatados. Puede escogerse una de las dos soluciones: la del peso negativo, dentro del agua, ó la del peso positivo, que es la que debería preferirse.

El valor de la tensión á que estaría sometido el tubo á lo largo del mismo sería igual á 34.000 toneladas. El peso positivo, dentro del agua, sería de 1.932 kilogramos por metro lineal. Su peso en el aire, en cambio, sería de 27.000 kilogramos por metro lineal. Y el peso de los 14 tramos en el aire sería de 378.000 toneladas.

Hemos estudiado también la variación de inclinación que podría tener una catenaria parcial al paso de la sobrecarga para ver si esto podría producir en los trenes variación grande en la inclinación de los coches.

Hemos dicho que, por la acción de la corriente, las pequeñas catenarias parciales no son verticales, sino que tendrán cierta inclinación. Deducida esta inclinación, resultaba que era una inclinación de 31° 20′. Al aumentar la acción vertical por el peso de la sobrecarga, ésta pierde dos grados de inclinación; de modo que de 31° pasaba á ser de 28°. Es decir, que no era una variación sensible.

El desplazamiento que tendrían que tener las pilas flotantes para sostener una doble catenaria, suponiendo que se construyeran dos tubos paralelos, uno de ida y otro de vuelta, sería de 4.158 metros cúbicos: unas 4.000 toneladas, que como veis es el desplazamiento de un barco de regulares dimensiones.

Por fin me fuí acercando hacia donde yo creo que está la solución práctica de este problema. Porque indudablemente uno es el problema que en las corrientes del tráfico mundial plantea el transporte de las mercancías, y otro el relativo al transporte de viajeros. Las mercancías en estos grandes transportes intercontinentales ha de tender necesariamente a buscar la mayor línea de agua posible; de manera que el transporte de mercancías de la América del Sur á Europa no hay que pensar que se haga á través de Africa ni del Estrecho, sino que ha de ir huyendo de la tierra todo lo posible; de un puerto americano vendrán directamente las mercancías a un puerto europeo, porque es como se obtiene mayor economía. En cambio no sucede lo mismo con los viajeros, sino todo lo contrario: el viajero tiende a buscar para sus viajes la mayor línea de tierra posible, y no la mayor línea de agua.

Esta consideración tiene mucha importancia para nuestro problema, porque es evidente que habría de existir una grandísima desproporción entre el tráfico de mercancías y el de viajeros á través del Estrecho; casi puede asegurarse que el tráfico de mercancías sólo sería el que exija el abastecimiento de las zonas próximas al Estrecho. Por consiguiente, ¿qué necesidad hay de meter en ese tubo vagones tipo normal, como si por él se fueran á transportar grandes masas y grandes pesos de mercancías?

La solución que el mundo demanda, la que el mundo busca y necesita, es para el transporte de viajeros y mercancías de gran velocidad, digámoslo así, porque las mercancías de gran velocidad no son de grandes masas ni de grandes pesos, sino que son el correo, los paquetes postales, equipajes y pequeñas mercancías de muestras de comercio, etc.

Siendo esto así, pensé que el problema podría simplificarse más con la construcción de un tubo de 2 ó 3 metros de diáme-

tro. Entonces repetí los cálculos y encontré que, naturalmente, las cifras se simplificaban notablemente, no sólo desde el punto de vista de coste, muy importante, sino desde los punto de vista de las dificultades de construcción y de montaje.

Os voy á mostrar los resultados del cálculo de un tubo de 2,50 metros de diámetro.

Este tubo empezamos por admitir que tendría un espesor de 10 centímetros, y hemos supuesto que el material de que se compone tiene una densidad media de 6.500 kilogramos por metro cúbico.

No debe ser de acero homogéneo, sino que debe estar compuesto de una envolvente interior de acero ó de fundición, ó de chapa, con sus pequeñas armaduras, y un arrollamiento metálico de cable á lo largo del tubo, con una cubierta que le proteja de la acción corrosiva de las aguas.

Este tubo, con estos datos (2,50 metros de diámetro, 6.500 kilogramos de densidad por metro cúbico y 10 centímetros de espesor), tendría, sumergido, un peso negativo de 155 kilogramos por metro lineal, lo cual sería conveniente para el montaje, porque estos tubos convendría transportarlos flotando. (Se supone una densidad de agua algo superior á la unidad.)

Si cada 50 metros lineales estuviera dotado el tubo de un depósito para 15.000 litros de cabida, vaciable á voluntad, estos depósitos, llenos, convertirían el peso negativo en peso positivo de 174 kilogramos por metro lineal.



Este tubo además habría de construirse con la longitud debida, formando tramos, no de 1.000 metros, sino de 500. Y me he fijado en la luz de 500 metros para que el tubo se comporte, en lo que nos convenga, como elemento flexible, sin dejar de comportarse como rígido para lo que también nos conviene así; es decir, que sea semirrígido.

De esto de la rigidez y de la flexibilidad bien sabéis qué pocos estudios se han hecho y qué cuestión tan delicada es, porque no podemos en rigor decir: tal elemento es flexible, ó es rígido, sino que se comporta como rígido ó como flexible. Este es un factor importantísimo.

Desde luego se comprende que un tubo de 2,50 metros de diámetro para estas longitudes de más de 500 metros es un elemento que se ha de comportar como perfectamente flexible.

Para que podáis formaros gráficamente idea de ello, aquí os presento un trozo de tubo que tiene 5 milímetros de diámetro y cuyo largo de 3 metros viene á equivaler á 1.500 metros del tubo de 2,50 metros en la escala de 1 á 500. Podéis imaginaros así este tubo suspendido de las boyas flotantes y comprenderéis que sometido á la acción de la corriente del agua actuará como semiflexible y semirrígido. Para acciones locales en que necesita cierta rigidez, tendrá la suficiente, y para la acción de conjunto, que son las grandes fuerzas con las que podemos luchar, que no podemos dominar rígidamente, se comportaría como elemento flexible, que es el elemento que se presta mejor á sortear las grandes fuerzas de la naturaleza.

Construído el tubo en esa forma, dividido en tramos de 500 metros de longitud, sometido á la acción de este peso propio positivo que hemos dicho de 174 kilogramos por metro lineal, más la sobrecarga, que suponemos sería de 10 toneladas, ó sea un pequeño vagón en que puedan ir 30 ó 40 personas y pequeñas mercancías, más la acción de una corriente de 1,80 metros de velocidad por segundo, tomaría una posición de equilibrio límite, que sería la de una catenaria horizontal de poco más de 800 metros de flecha, compuesta á su vez de varias catenarias ligeramente incliuadas de 500 metros de luz cada una y de 3 metros de flecha.

Para esta posición límite el equilibrio quedaría establecido sin que el trabajo del material excediese de unos 10 kilogramos por milímetro cuadrado, cosa perfectamente admisible.

La tensión á lo largo del tubo, y por tanto en la sección de amarre, es una cifra muy importante, porque da idea de la magnitud de las fuerzas en juego.

Hemos supuesto una presión por metro lineal producida por una velocidad de agua de 1,80 metros por segundo, que es una velocidad en que ya se dificulta mucho la navegación, velocidad media que seguramente no se encontrará á todo lo largo del Estrecho. Pues así y todo, la tensión total en el origen de la catenaria no pasaría de 7.500 toneladas, tensión comparable y aun inferior á la de algunos puentes colgantes construídos de 500 metros de luz. Recordad, por ejemplo, el puente de Williamsburg, donde la tensión es mayor, y que tiene varios cables macizos de 45 centímetros de diámetro.

Esta cifra nos da luz acerca de la dificultad que podría representar el montaje del tubo. Porque una de las dificultades está precisamente en colocar este tubo de modo que corresponda en la práctica á la posición límite conveniente ó prevista.

De manera que si construímos el tubo y lo armamos en sus diferentes trozos, dejándole suelto por las puntas y dejando el amarre para el final, aun podríamos rectificar la longitud, porque podríamos con cables sencillos tenerle sujeto desde las orillas provisionalmente, mientras se efectuaba el enlace definitivo, y podríamos templarle y hasta medir la tensión y colocarle para que trabaje á la tensión que nos convenga.

De ahí el interés que tiene para nosotros esta cifra de 7.500 toneladas á que se llega en estos supuestos. Y lo que á primera vista parece un sistema indeterminado de catenarias, lo es perfectamente determinado una vez conocidos los valores de las acciones á que especialmente está sometido en su longitud total el tubo.

Nosotros hemos estudiado siempre la catenaria como un elemento limitado en puntos fijos de amarre, pero no un sistema de catenarias cuyos puntos de apoyo son movibles ó están sujetos á movimiento dentro de un plano horizontal en el que actúa la corriente.

No obstante, por virtud de la doble composición de la acción horizontal debida á la corriente del agua y de la acción vertical del peso propio y de la sobrecarga, el tubo tendrá una posición de equilibrio perfectamente fija y determinada, posición que podemos determinar exactísimamente por el cálculo, y esta posición no variará mientras no varíen las acciones que se ejerzan sobre él.

¿Qué influencia puede ejercer esta variación de acciones? ¿Qué acciones pueden variar? Yo he hecho algunos tanteos. Puede desde luego variar la acción de la sobrecarga, que está variando á cada momento, porque unas veces actuará y otras no. Pero esto tiene un efecto muy pequeño sobre la posición de equilibrio del conjunto.

Por ejemplo: el tubo está descargado y afecta una posición de equilibrio que corresponde á la composición de esas tensiones horizontal y vertical, y que es precisamente la que acabo de decir. Se carga un tramo por el paso de un tren de 10 toneladas; baja el tubo, porque aumenta la tensión y la flecha, en el vano aquel, á costa de disminuir en los demás, porque así lo determina la serie de catenarias, por lo mismo que son sus apoyos movibles y flotantes. Pero, ¿bajará al fondo del mar y se vendrá todo para acá, ó se partirá el tubo? No; porque existe en primer lugar la tensión de la corriente que domina sobre la de la sobrecarga, que se reduce á diez despreciables toneladas. Pero es claro que alguna influencia tendrá aquella variación; y lo que resulta es que variará la flecha de la catenaria en que actúe el peso de la sobrecarga con respecto á las catenarias en que no actúe ese ese peso en aquel momento, y variará en la proporción de 1 á 1,20. De modo que si antes el cálculo nos ha dado 3 metros de flecha para

la catenaria parcial inclinada entre boya y boya, la flecha pasará á ser de 3,30 en el tramo cargado, y bajará á 2.75 en los otros tramos. Y no pasará más.

Y si cede un poco la acción de la corriente, ¿qué pasará? Que podrá disminuir un poco la flecha en el conjunto de la catenaria horizontal y aumentar las catenarias parciales. ¿En qué límite? Este es un problema interesante; pero creo que se puede estudiar, conocer, resolver y realizar prácticamente. ¿Cómo? Puesto que la mayor influencia en la inestabilidad del sistema podría producirla la variación en la acción de la corriente preponderante, que podría provocar acortamientos súbitos de la catenaria horizontal y aumentos sensiblemente rápidos en la catenaria vertical, con deformaciones en ésta que dificultarán el paso del vehículo, ó una deformación permanente del tubo ó su desperfecto, para estudiar esto y calcularlo no hay dificultad especial de ninguna clase; es una experimentación que requeriría dinero y trabajo, pero experimentación de las que se dominan perfectamente, y cuyo coste no es cosa que esté en el orden de los sueños, sobre todo á la vista de los ensayos preparatorios que, como antes os he dicho, se han relizado para otras obras de importancia semejante. Todo se reduciría á construir un sencillo tubo de 25 ó 30 centímetros de diámetro, suspendido de boyas flotantes á distancia conveniente, tender este tubo de uno á otro lado del Estrecho á una profundidad tal que no impidiera la navegación, amarrarlo por sus extremos, y como el esfuerzo sería menor en una escala proporcional, pondríamos nuestros aparatos de medida y en un año ó dos observaríamos qué variación tenía la tensión de conjunto por los cambios de la corriente, qué alteraciones se operaban en la posición de esas boyas, ya que podríamos estar precisando su posición en todos los momentos.

Mi impresión es que, por la magnitud del Estrecho, por la serie de fenómenos á que obedece el desplazamiento de volumen de agua de un mar á otro, no debe ser la corriente algo circunstancial, pasajera y variable como el régimen torrencial de nuestros arroyos, sino que probablemente la acción de esta corriente tiene carácter de permanencia y constancia en posición y en magnitud total, y la experimentación que indico durante un año creo que nos daría una base segura para saber lo que había de suceder en lo sucesivo.

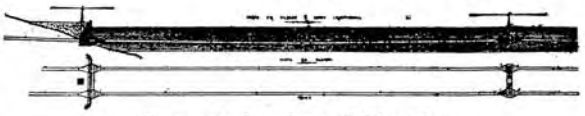
Como punto de partida sería condición precisa, repito, la de tener este dato, que entiendo puede determinarse fácilmente, y deducido experimentalmente para el tubo pequeño de ensayo, conoceríamos su valor para el tubo grande y definitivo, puesto que habría de ser proporcional á su diámetro.

En cuanto al vehículo, se reduciría á un vagón de forma de torpedo, que al mismo tiempo serviría—aunque no se ve gran necesidad de ello—para oponerse, con su adaptación al tubo, á las deformaciones locales que pudieran producirse en el mismo á consecuencia de la actuación de la sobrecarga sobre puntos aislados de esta sección.

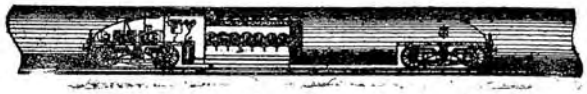
En cuanto á lo demás, en cuanto á la deformabilidad del tubo establecido á esa profundidad de 20 metros, debida á la acción hidrostática del agua ó á las diferencias de presión en los diferentes puntos de su superficie, hemos tenido el gusto de tantear el valor de esa acción, cuyo momento máximo sería de 134 kilogramos-metros. Es decir, que sin armadura alguna, con el espesor de 10 centímetros no habría que temer la deformación de la sección transversal del tubo.

Decía en un principio que, para que la solución fuera admisible, sería necesario que el coste se encerrara dentro de cifras que estuvieran al alcance, no digo de nuestra imaginación, sino de nuestra mano, que es lo importante.

Respecto á esto, claro es que yo no he hecho un proyecto, sino sólo un tanteo, y me he limitado á mostraros las mismas cifras que yo me he expuesto para que podáis juzgar. El peso del tubo completo sería de 67.000 toneladas. Fijaos bien que la cifra de peso de este tubo sería inferior á la de algunos puentes de 500 metros de luz, que os he mostrado, actualmente construídos. Un doble tubo pesaría, por tanto, 130.000 toneladas, próximamente. Esto nos da idea de 130 millones de pesetas en hierro. Esto hoy. De manera que teniendo en cuenta que, además de la construc-



Vista en alzado y planta del doble tubo.



Idea de lo que podría ser el ser el vagón-torpedo.

ción del tubo sería necesaria la construcción de dos pequeños puertos, estudiados y acondicionados exprofeso para establecer dentro de ellos las cabezas que unan los extremos del tubo con los extremos de la galería subterránea que había de servir de acceso al mismo, puertos que podrían costar 15 ó 20 millones de pesetas cada uno, porque no habían de ser grandes puertos para fondear buques, sino sólo para facilitar el montaje, y luego habría que construir las boyas flotantes, que son masas de hierro de unas 2.000 toneladas de desplazamiento, y los túneles de acceso, que serían probablemente de un kilómetro á cada lado, ó sea 2 kilómetros en total, que podrían costar 4 millones de pesetas, todo lo cual serían de 30 á 40 millones de pesetas, se ve que se llega á una cifra alrededor de los 190 millones de pesetas, muy inferior á todas las conocidas en obras de esta importancia.

Por consiguiente, desde el punto de vista económico no se ve una dificultad insuperable; desde el punto de vista técnico la solución es dominable. Las mayores dificultades han de ofrecerse en la construcción y montaje. De todos modos, claro es que esta obra ha de suscitar problemas interesantísimos de ingeniería, cuya solución exigirá el concurso de inteligencias privilegiadas.

No se trata, como antes dije, de un proyecto. Obras de esta naturaleza é importancia no son susceptibles de nacer en forma de proyecto que salga del bufete de un Ingeniero para meterlo en una carpeta y sacarlo á subasta al día siguiente. Es una obra respecto de la cual yo aporto esta idea, por si vosotros creéis efectivamente, como yo, que puede servir de base ó de punto de partida, ó sea el primer paso de un camino á recorrer, largo y penoso de todas maneras, pero en el cual, al dar este primer paso, ya se ve algo de luz por delante para llegar á la ejecución de una obra que, desde todos los puntos de vista, nos interesa que sea hecha por España, y dicho se está que por Ingenieros españoles.

Creo que ha llegado para nosotros el momento de demostrar que estamos capacitados para realizar empresas de esta magnitud, y si vosotros creéis que la idea es realizable en principio, me parece que en ese caso el día de hoy podría señalarse como una fecha histórica, ya que sería aquel en que empezábamos á andar un camino, merced al cual á la faz de Europa podamos demostrar que en España hay elementos sobrados, como creo que los hay, inteligencias, elementos industriales y constructores suficientes para emprender la obra que se ha estimado como más difícil de la ingeniería, y la que más interesa en el momento crítico presente al mundo entero. Entonces, si el beneplácito vuestro recayera sobre esta primera idea mía, os garantizo que por parte del Gobierno habríamos de tener el concurso necesario, porque al Gobierno le interesa más que á nadie, puesto que representa el interés de España, que en estos momentos en que se discuten nuestros ya mermados derechos al otro lado del Mediterráneo, podamos ostentar este otro, que sería quizá el único título que se nos admitiera como legítimo (ya que hoy no se aprecian los títulos históricos, porque no se aprecian más que razones económicas y de

peso) para hacer valer nuestros derechos. Este sería quizá el único título que á los ojos de los demás pudiera parecer legítimo para que, si no estamos en condiciones de colonizar otras tierras, por lo menos se nos reconozca un compás de espera, al ver que estamos en condiciones de hacerlo en lo futuro, porque si hoy no lo estamos, cosa discutible, no se puede admitir la imposibilidad de que lo estemos nunca. Nosotros no podemos admitir el supuesto de que nuestro pueblo deje de sentir la necesidad que han sentido otros de tener razonable expansión, porque si admitimos que no hemos de sentir la necesidad de la expansión ni de merecerla, nos condenamos á vivir perpetuamente en nuestra concha y con ello á morir algún día víctimas de las ambiciones y de las codicias extrañas.

En estos momentos críticos en que se ventilan estos problemas que afectan á nuestra existencia nacional, á nuestra propia vida, sería de un interés trascendental enorme que diéramos ante Euro a la sensación de que aquí abordamos un problema de tanta importancia, que tantos beneficios representa para la humanidad entera, que tanta trascendencia tiene en el orden internacional y y de que somos capaces de llevarlo á cabo con más economía y el mismo éxito que en las más grandes obras hayan podido lograr otros países del mundo. (*Grandes y prolongados aplausos.*)