"Puente de San Telmo, en Sevilla, sobre el Guadalquivir"

J. Eugenio Ribera

Revista de Obras Públicas vol.79, nº2.581, septiembre de 1931, pp. 272-277

Puente de San Telmo, en Sevilla, sobre el Guadalquivir

I.—Soluciones estudiadas

ANTECEDENTES.—En la *Gaceta* de 2 de abril de 1920 se anunció un Concurso de proyectos y ejecución de dicho puente; en sus Bases se fijó la rasante

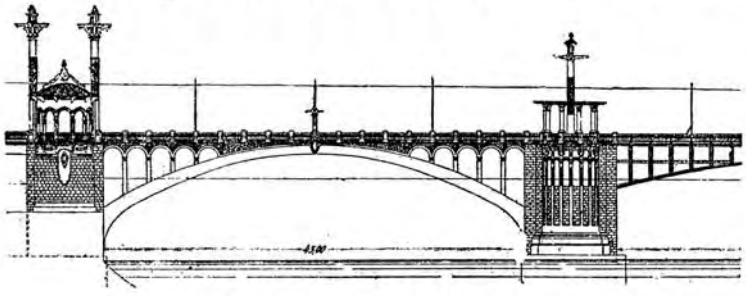


Fig. 1.ª Alzado general del primer proyecto

de 4 m sobre las máximas crecidas; las luces de 45 m en los dos tramos laterales y la luz de 50 m para el tramo central levadizo, y, por último, el ancho del puente de 20 m.

En el Concurso se presentaron dos proyectos: uno

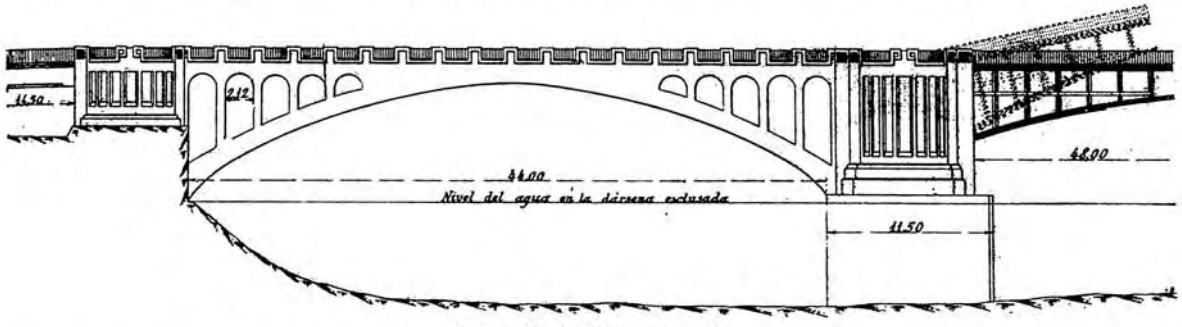


Fig. 2.ª Alzado del arco construído

con tramos metálicos en toda su longitud, de una reputadísima casa francesa, con un presupuesto de 11,5 millones de pesetas, y el del autor de este artículo, con arcos laterales y tramos de avenidas, todos de hormigón armado, y un tramo rodante levadizo, sistema Scherzer, proyectado por La Maquinista Terrestre y Marítima, de Barcelona (fig. 1.ª), con un presupuesto total de 8 millones.

La Dirección de Obras públicas eligió nuestro proyecto, si bien ordenándonos reducir la anchura de la plataforma a 15 m, a cuyo efecto hube de reformar el Proyecto, cuyo presupuesto de contrata quedó en 5 821 318 pesetas, desglosando la parte decorativa sobre la rasante, que se consideró como obra suntuaria, cuyo gasto no correspondía al Estado, sino más bien al Ayuntamiento de Sevilla.

DIFERENCIA ENTRE LAS DOS SOLUCIONES.—¿Cómo se explica una diferencia tan considerable de presupuestos, que casi alcanza al 30 por 100, entre la solución enteramente metálica y la mía, de hormigón armado?

Las luces, anchura y rasantes en los tramos eran iguales, por ser impuestas por las Bases del Concurso; el tramo levadizo, que era por elevación total del tramo móvil en el proyecto extranjero, no costaba sensiblemente más que el de los tramos rodantes sistema Scherzer (por giro vertical en el eje de sus culatas) que yo propuse; los cimientos de los estribos y pilas se proyectaban en ambas soluciones por aire comprimido y a las profundidades previstas en las Bases del Concurso.

La economía obtenida con mi solución se explica fácilmente, sin embargo.

CARACTERÍSTICAS Y VENTAJAS DE MI PROYECTO.

a) En primer lugar, quedó evidenciado que el coste de los *tramos metálicos* para una construcción de igual anchura y luces de 45 m de los tramos principales, así como para los pequeños tramos de acceso en ambas márgenes, resultaba más elevado que los arcos de 45 m

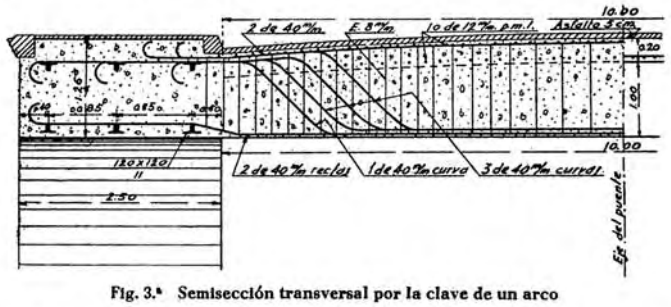


Fig. 3.ª Semisección transversal por la clave de un arco

y los tramos rectos *construídos con hormigón armado*[1].

b) Pero además, y muy principalmente, la supresión de las bóvedas continuas, reduciendo su ancho a la de dos arcos gemelos, sustentando el tablero central, *me permitió reducir sensiblemente los volúmenes de los cimientos por aire comprimido.*

[1] Debe recordarse a este propósito que la protección arancelaria excesiva con que España favorece a la industria siderúrgica, muy superior a los aranceles del cemento, favorece las soluciones de hormigón armado con relación a la construcción enteramente metálica.

En efecto, dichos arcos gemelos, cuyo ancho total sólo es de 5 m, un tercio de la anchura del puente, permite la *supresión de la parte central de los cimientos neumáticos*, cuyo volumen hubiera *duplicado*, de no haber empleado los arcos gemelos [1].

c) Por último, el empleo de armaduras rígidas en los arcos gemelos *me permitió suprimir las cimbras y andamios*, que por las grandes alturas de rasante y de agua hubieran resultado carísimos de adquisición, de precaria estabilidad ante las crecidas y muy embarazosas para el tráfico marítimo en una zona de muelles tan frecuentados por los vapores.

II.—Descripción del puente

ARCOS DE HORMIGÓN ARMADO.—Luz libre, 44 m; la curva directriz es una parábola de 2.º grado (figuras 2.ª a 5.ª).

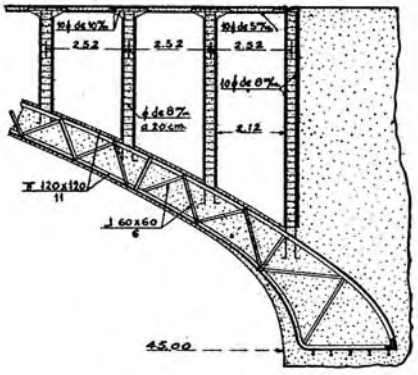


Fig. 4.ª Sección de un arco

Los arcos gemelos tienen cada uno 2,50 m de ancho, con lo que la parte abovedada del puente es sólo, como hemos dicho, el tercio del ancho total de 15 m (fig. 3.ª).

Cada arco está armado con tres cerchas rígidas; los tímpanos de los arcos están constituídos por tabiques verticales de 0,40 m de espesor a 2,12 m de distancia, y con todo el ancho de cada arco. Sobre estos tabiques se empotraron las viguetas del tablero, de 10 m de luz, sobre cuyo forjado de 0,20 m va el pavimento de la calzada, con losetas de asfalto comprimido de 5 cm de grueso.

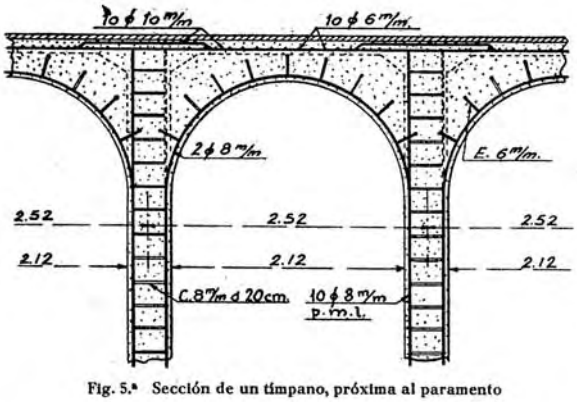


Fig. 5.ª Sección de un tímpano, próxima al paramento

El forjado de andenes se apoya sobre los tabiques de tímpanos, salvo en los paramentos, en que éstos aparentan arcadas de medios puntos.

PUENTE LEVADIZO.—El tramo central, de 50 m, está constituído por dos consolas de 25 m, que por un ingenioso sistema de contrapesos (patente americana Scherzer) rueda sobre su culata mediante un sencillo mecanismo.

El apoyo y elementos de estas culatas necesitan estar fuertemente amarrados a las pilas, cuyas masas tienen que equilibrar las considerables reacciones determinadas por el giro de las consolas.

He de reconocer que los tramos rodantes sistema Scherzer, que tambien son los aplicados en el otro puente levadizo de Sevilla (en la corta de Tablada), se manejan muy fácilmente y a completa satisfacción, pareciéndome la menos complicada de todas las disposiciones imaginadas [1].

III.—Detalles de construcción

CIMIENTOS POR AIRE COMPRIMIDO.—Estaban ya previstos en las Bases del Concurso, pues la profundidad del río, su fuerte corriente y la constitución de su lecho casi exigían tal procedimiento de cimentación.

Para alcanzar una capa de arcilla compacta, en la que debe empotrarse la base de los apoyos, requerían los cimientos una altura de unos 16 m, de los que unos 8 m en el agua.

La *Compañía de Construcciones Hidráulicas y Civiles*, cuyo Consejo de Administración presido, que mediante el Concurso fué adjudicataria de este puente, ejecutó sus cimientos por medio de cajones flotables de hormigón armado, como los había previsto en mi proyecto.

Pero el ingeniero de la contrata, mi aventajado discípulo D. Eduardo Torroja, lo perfeccionó con detalles originales, que he publicado en el tomo II de mi libro de *Puentes*.

Para los dos estribos y dos pilas tuvimos que hincar ocho cajones iguales, de 14,60 × 8,30 m (figuras 6.ª y 7.ª).

Para facilitar la construcción, y sobre todo su flotabilidad, las paredes se han adelgazado al máximo. Aun así, el cajón, con sus dos esclusas montadas y con el molde exterior de madera, que prolonga las paredes de hormigón armado, pesa 300 toneladas y tiene su centro de gravedad a 2,40 m sobre el borde del cuchillo y coge un calado de 4,30 m.

Pero este calado puede disminuirse a voluntad (y es una de las originalidades de tal disposición), inyectando aire en las cámaras.

Claro es que a medida que en ellas baja el nivel del agua el área de la flotación interna aumenta, la altura metacéntrica disminuye y el centro de carena desciende, y, como efecto de todo esto, llega un momento en que el metacentro queda por debajo del centro de gravedad; sin embargo, aun llegado este momento, el cajón no zozobra, sino que al alcanzar una escora determinada, se escapa el aire de la cá-

[1] Esta disposición, empleada por Sejourné en sus arcos de sillería de Luxemburgo y Toulouse, fué extendida por mí a los arcos de hormigón armado del puente Victoria, en Madrid (REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS de 12 de mayo de 1910), y después a los modelos oficiales de puentes en arco de hormigón armado para carreteras, aprobados por Real orden de 1.º de diciembre de 1924.

[1] El proyecto y la ejecución de estos dos puentes levadizos son de «La Maquinista Terrestre y Marítima», de Barcelona, a cuyos ingenieros invito a que escriban un artículo especial sobre ellos, que será muy interesante.

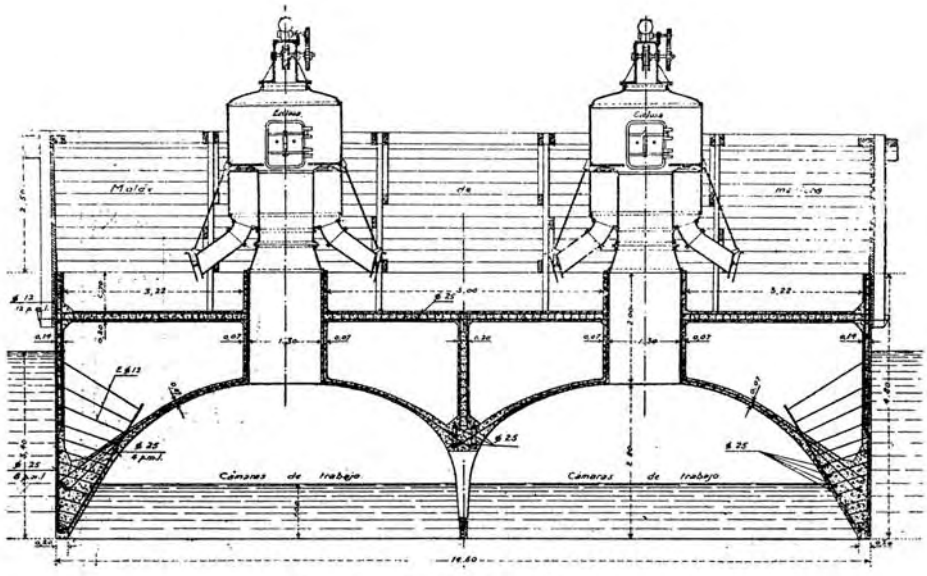


Fig. 6.ª Sección de los cajones neumáticos

mara de trabajo por debajo del cuchillo más levantado, mucho antes de que pueda embarcar agua por la borda opuesta, y automáticamente el cajón baja de costado y busca una posición estable.

Esta posición, según se deduce del cálculo y se comprobó en la práctica, resulta en nuestro caso escorada, mientras el calado no llega a los 3,20 m; a partir de aquí, el barco adriza con una estabilidad de forma tanto más marcada cuanto menor es el volumen de aire que queda en las cámaras, y, por fin, al alcanzar el calado de 3,80 m, el centro de carena monta sobre el de gravedad, sumándose a la de forma la estabilidad de peso.

Asegurada, pues, de antemano la estabilidad naval, toda la operación en la botadura se redujo a hincar por aire comprimido el cajón construído en la orilla hasta un metro por debajo de la bajamar, dragar el fondo por el lado del río, para que pudiera salir, e inyectar aire en una pleamar, con lo que, flotando el cajón con el calado de 3,20 m, salió al centro del río, maniobrando como un barco cualquiera (figura 8.ª).

Para el fondeo se había preparado un castillete de amarre con pilotes de madera, y en la pared del cajon se colocaron unas correderas que al ajustar con otras del castillete lo fijaban en la vertical de su posición definitiva; la misma corriente de la marea sujetaba el cajón contra estas correderas, y sólo con dar salida al aire, primero, y entrada al agua, después, mediante tapones preparados al efecto, el cajón fondeó con toda la suavidad y exactitud que podía desearse.

Sin ningún tropiezo conseguimos hincar y rellenar los ocho cajones que se necesitaron para los cuatro apoyos del puente. Con ello hemos demostrado prácticamente que, aun en suelos bajo una capa de agua profunda, pueden y deben emplearse cajones neumáticos de hormigón armado, cuyo coste es la mitad próximamente que los cajones metálicos, con la ventaja apreciable también de que las paredes de esos

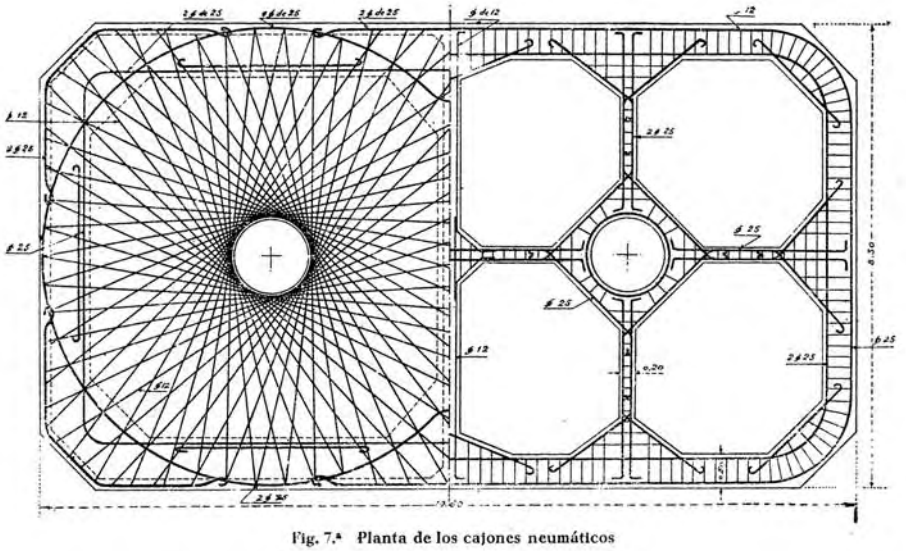


Fig. 7.ª Planta de los cajones neumáticos

cajones, que se adhieren perfectamente al hormigón de relleno, lo acorazan, por decirlo así, con indefinida duración.

CONSTRUCCIÓN DE LOS ARCOS.—Como indicamos al principio de este artículo, las armaduras rígidas de los arcos nos permitió su montaje con gran economía y facilidad.

Cada una de las cerchas, divididas en trozos, se

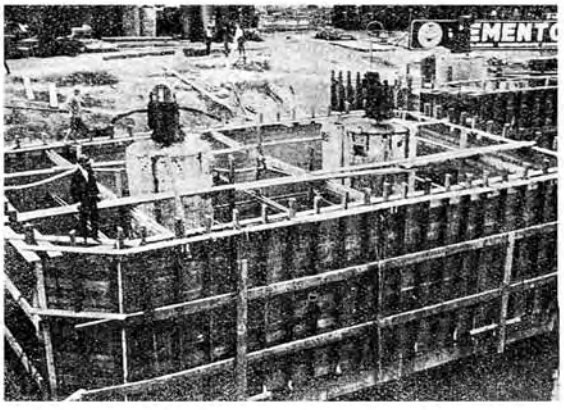


Fig. 8.ª Lanzamiento de un cajón

empotraba por sus dos trozos extremos en los salmeres de hormigón que allí los envuelve y sujeta; para montar el trozo central de cada cercha se montó un castillete sobre un barco anclado en el centro del tramo, del que se suspendió y elevó el citado trozo, hasta presentarlo en su sitio y fijarlo con pernos a los trozos contiguos (figuras 9.ª y 10).

Se han realizado estas operaciones con gran rapidez y economía, sin necesidad de cables transportadores, incompatibles con el paso de los vapores, ni de cimbras ni andamios fijos, que hubieran resultado carísimos y precarios; una vez montadas las tres cerchas de cada arco, se suspendieron de ellas unos sencillos moldes de madera, dentro de los que se vertía y apisonaba el hormigón que las envuelve.

Los tímpanos y tablero se construían con moldes apoyados en los arcos.

VARIACIÓN DE LA RASANTE DEL PUENTE.—Habíanse construído totalmente las pilas, estribos y uno de los arcos y sus tramos de avenida en la margen derecha, cuando por feliz iniciativa del entonces ministro de Fomento, Sr. Conde de Guadalhorce, el Gobierno resolvió desviar en Sevilla el cauce del Guadalquivir, para evitar a la capital andaluza los inmensos perjuicios que casi anualmente producían al puerto y a la ciudad las impetuosas crecidas de aquel río.

Procedióse con rapidez a realizar aquellas obras de desviación, y próximas a desaparecer las crecidas en la zona del río en que está situado el puente, que se transformará en una dársena cerrada, sería poco racional y aun menos estético mantener la elevada rasante del puente, *sólo justificada por la altura que alcanzaban periódicamente las crecidas*, y que hubiera obligado a todo el tráfico entre Sevilla y Triana a subir una rampa de 3,50 m de desnivel, para bajar esta misma altura a la salida del puente.

La Dirección de Obras públicas me ordenó, pues, la reforma del Proyecto de puente, con arreglo a la rasante

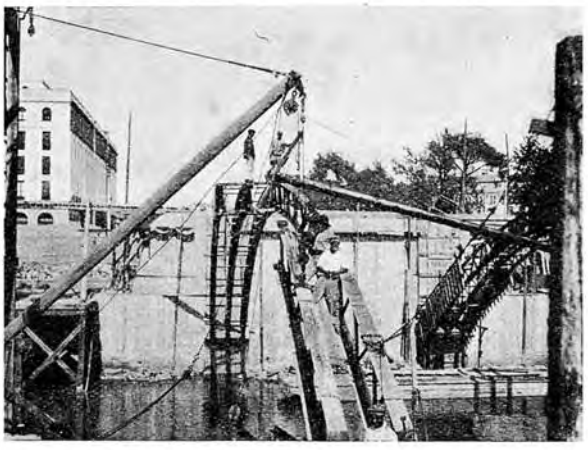


Fig. 9.ª Montaje del trozo central de las armaduras del arco

que exigiera el nivel constante del río, que será en breve plazo una dársena esclusada; y así lo redacté, rebajando 3 m la rasante horizontal de los arcos laterales y tramo levadizo.

Ello permitió la supresión de las rampas y tramos rectos de acceso, y no cabe dudar que las proporciones y el aspecto del puente quedaron mejorados, según se aprecia comparando los dos alzados (figuras 1.ª y 2.ª).

DECORACIÓN DEL PUENTE.—En nuestro primer proyecto, redactado en 1920, los arquitectos señores D. Gustavo y D. Roberto Fernández Balbuena, cuya colaboración artística solicité para este trabajo, creyeron deber decorar la plataforma del puente con pérgolas y obeliscos y sus paramentos de frentes con arcadas de piedra artificial y timpanillos de ladrillo, todo lo que gustaba en aquella época de profusión ornamental, y satisfizo a cuantos ingenieros informaron nuestro proyecto (fig. 1.ª).

Pero al construir en 1928 los alzados de los arcos de hormigón armado, nuestros colaboradores arquitectos nos significaron la conveniencia de suprimir toda aquella superflua ornamentación, por efecto de la evolución artística que en el mundo se observa a favor de la sencillez y sinceridad arquitectónica [1].

[1] Explicada en mi artículo de la REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS del 15 de mayo pasado: «Evolución decorativa de los puentes en el siglo XX».



Fig. 10. Vista de las armaduras del arco, montadas

De acuerdo con los señores ingenieros de la Inspección, quedó la decoración reducida a su mínima expresión (figuras 11 y 12).

Las obras de este puente, que están terminándose, han sido muy inteligentemente inspeccionadas por los señores ingenieros jefes D. Félix Ramírez Doreste y D. José Parias y por los ingenieros Sres. Ibarra, Prieto e Izquierdo.

Su construcción fué dirigida por los ingenieros de la Compañía de Construcciones don Eduardo Torroja y D. José Entrecanales, muy bien secundados por el veterano constructor D. Manuel Tavora.



Fig. 11. Montaje de los tramos voladizos del puente. En el centro, la Torre de Oro; a la derecha, el hotel María Cristina

RECEPCIÓN Y PRUEBAS.--Con fecha 11 de agosto se verificaron las pruebas oficiales del puente, con asistencia de las autoridades, ingeniero jefe e ingenieros subalternos de la Jefatura y numeroso público, presenciando las maniobras que con las cargas móviles se efectuaron, y siendo las cargas y sobrecargas que se aplicaron

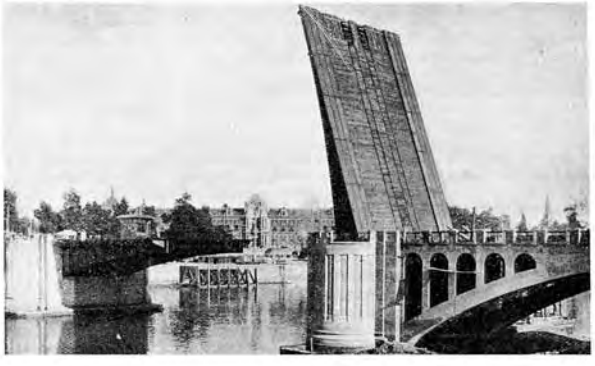


Fig. 12. Vista desde la margen izquierda

las establecidas en el Pliego de Condiciones, habiéndose observado que en el tramo en arco la flecha fué nula y en el punto de la hoja del tramo móvil se observó una flecha de 34 mm, dando, por lo tanto, un resultado mucho más satisfactorio del que podía exigirse con arreglo a las cargas a que se sometieron.

J. EUGENIO RIBERA
Profesor de la Escuela de Caminos