

EL PUENTE VIZCAYA

POR J. JUAN ARACIL, INGENIERO DE CAMINOS

Se describe en el presente artículo la reconstrucción de esta importante obra, que fué volada por los rojos en su retirada, y cuyas características de esbeltez y elegancia son bien conocidas de todos.

El día 19 de junio, aniversario de la liberación de Bilbao, tuvo lugar la inauguración del llamado Puente de Vizcaya, por el Excmo Sr. Ministro de Obras Públicas. Es el último de los puentes reconstruidos sobre la ría y, dadas sus características, el de más importancia de los que lo cruzan.

Historial del puente.

El autor y creador de este tipo de puente fué el Arquitecto español D. M. Alberto de Palacio, que estudió y desarrolló el proyecto de puente transbordador con una visión genial de gran Ingeniero y con una minuciosidad formidable que revelaba su gran preparación técnica; la unión en tan esclarecido prestigio de la intuición genial con una gran base científica, hizo posible la realización de una estructura enormemente audaz en 1890. El constructor de la

obra fué el gran Ingeniero francés Mr. F. Arnodin, constructor prestigioso ya, entonces, de puentes colgantes, que aportó su gran experiencia a la realización de esta magnífica obra. El 27 de julio de 1893 se realizaron con gran éxito las pruebas de carga del puente.

Hay que destacar, pues lo merece, la figura del financiero de la Empresa, D. Anselmo López de Letona, que en aquellos momentos puso su capital, sin reservas, para conseguir fuera realidad la misma, recogiendo, cuando algunos timoratos se retiraron, al aumentar el presupuesto, las acciones dejadas. El puente es propiedad de la Compañía "Puente Vizcaya", que goza de la concesión cobrando un peaje.

Llevaba ya cuarenta y cuatro años de vida el puente cuando la horda roja lo voló el 16 de junio de 1937, al destruir, en su retirada, el macizo de anclaje de Las Arenas. Se ha inaugurado, aproximadamente, a los cuatro años de volado.

Características.

Tiene el puente 160 m. de luz, con 45 m. de altura libre bajo la viga. Las torres de celosía tienen 61 m. de altura por 20×7 en la base y $10 \times 1,20$ en la coronación.

Reconstrucción.

Al encargármese de la misma, existía ya un proyecto de reconstrucción, firmado por los Ingenieros Industriales J. Borreguero y F. Lozano, que no fué aprobado por la Superioridad, y que era reproducción fidelísima del puente destruido. Con gran premura de tiempo — pues el plazo concedido para presentar segundo proyecto era muy pequeño y se corría el riesgo de perder la concesión — empezamos a estudiar el nuevo proyecto. En lo referente a la parte mecánica y eléctrica, así como en la viga metálica, contamos con la colaboración de los ingenieros antes indicados.

La teoría de los puentes colgantes de viga de rigidez, tiene su primera exposición metodizada en Francia, con Maurice Levy, en 1886, y después, rectificando los errores de las hipótesis de Levy, es Godard el que, en 1894, expone la verdadera teoría, perfeccionada poco después por los trabajos de Resal y Pigeand.

En Alemania nace, con Melan y con Moisseieff, el realizador del puente de Filadelfia; Steinman, el gran especialista norteamericano de puentes colgantes, y Timoshenko, los que le dan la forma actual de

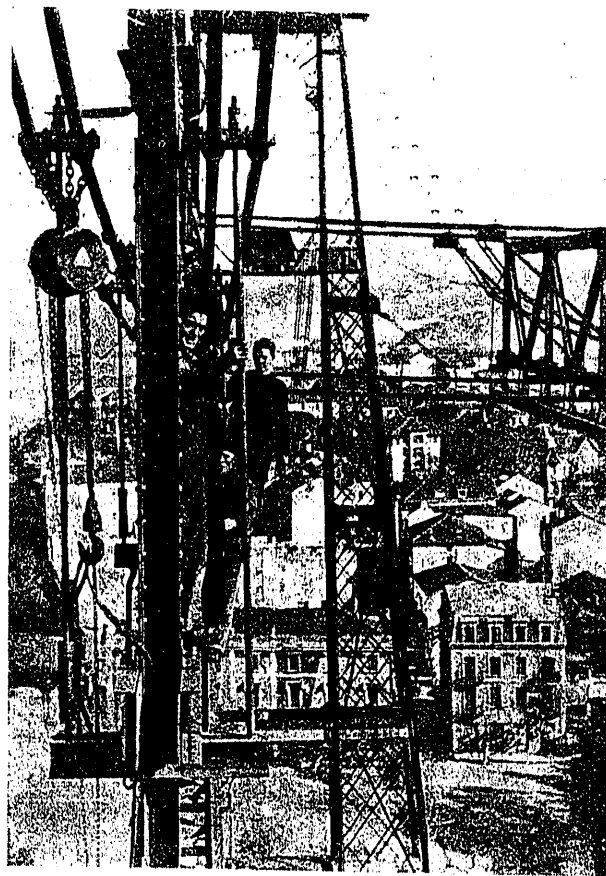


Fig. 1. — Los primeros elementos de viga subidos.

exposición, que aparece maravillosamente sintetizada en el magnífico trabajo de Jakkula, "The theory of the suspension bridge", publicado en el tomo IV de las *Memorias de la Asociación Internacional de Puentes y Estructuras*.



Fig. 2. — Roblonando la viga.

Sistema de suspensión.

La suspensión mixta a base de péndolas o elementos verticales y obenques o cables inclinados, aparece en la primera época de los puentes colgantes; es la época del empirismo, y la función de los obenques en los puentes colgantes es análoga a la de los tornapuntas en los puentes en viga. Cuando la teoría va perfeccionándose, desaparecen lógicamente los obenques por crear cada uno de ellos una, indeterminada, que hace imposible el cálculo, y en la realidad, el reglaje entre los dos sistemas de suspensión. En la reconstrucción del puente de Brooklyn, de Steinman (*Engineering News Record*, 1935, I, pág. 547), se indica: "Los obenques situados junto a las torres, la característica más señalada del puente de Brooklyn, desaparecen, por ser su acción grandemente indeterminada. Las roturas frecuentes indican las dificultades de su regulación y mantenimiento."

También, según nuestros informes, el puente transbordador de Rouen, en Francia, ha sufrido la modificación del sistema de suspensión primitivo al de péndolas sólo.

La modificación inicial que nos planteamos fué la del sistema de suspensión; ello nos obligaba, al reducir la rigidez, buscando una estructura de flexibilidad parecida, a aumentar la inercia de la viga, que pasó, del primitivo proyecto de dos metros, al realizado de tres metros de altura.

Viga.

En cuanto a la viga, se cambió del tipo primitivo de cruces de San Andrés, con elementos de tensión cambiables rotulados de redondo, y de compresión de bielas de fundición, en una viga Warren, de malla ancha, que, entre otras ventajas, tenía la de ser la de esfuerzos secundarios más pequeños.

Éstas son las dos modificaciones fundamentales introducidas; las demás ya son de detalle, y son, entre otras, barquilla, carretón superior, sistema de suspensión del carretón, continuidad del cable...

Cálculo.

Siguiendo a Steinman, se encontraron, para tres posiciones de la sobrecarga central, al cuarto de la luz, y en un extremo, y para una variación de $\pm 20\%$, los esfuerzos horizontales hiperestáticos en el cable; de ellos, y basándonos en el estudio de Timoshenko, las flechas en cada una de las hipótesis, y de ellas, las leyes de momentos flectores y esfuerzos cortantes en la viga.

Se estudió el efecto del viento para un viento de 50 Kg./m.² y 270 Kg./m.², y se combinaron o estudiaron las hipótesis siguientes: 1.ª Peso propio, sobrecarga y temperatura. 2.ª Peso propio, sobrecarga y viento de 50 Kg./m.²; y 3.ª Peso propio, temperatura y viento de 270 Kg./m.², siendo ésta la más desfavorable.

El primer estudio y proyecto se realizó para una sobrecarga de 40 toneladas. Las prescripciones de aprobación del proyecto, al obligarnos a realizar de inercia constante la viga y a aumentar los perfiles de la barquilla, nos aumentaron los pesos muertos, a lo que contribuyó también la reducción de tipos de perfiles para facilitar su realización, y *a posteriori*, se realizó una comprobación de la estructura para una sobrecarga de 50 toneladas, incluido el peso de la barquilla y carretón superior. En la realización se empleó acero al cobre para disminuir la oxidación.

El módulo de elasticidad de los cables se ha supuesto de 14.000 Kg./mm.².

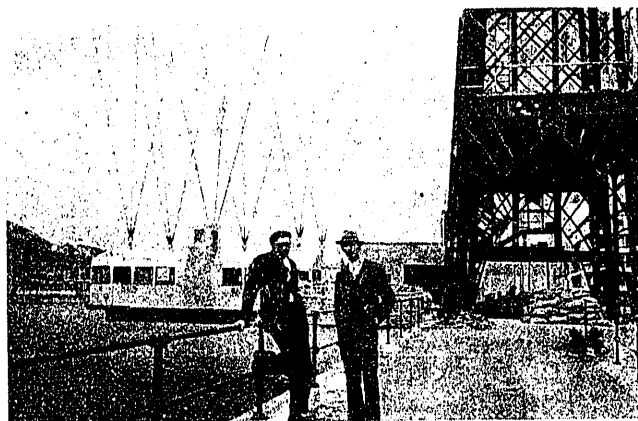


Fig. 3. — La barquilla. D. Luis Olavarría, Jefe de montaje, y D. Luis Ribed, Ingeniero de Caminos, Director de la obra.

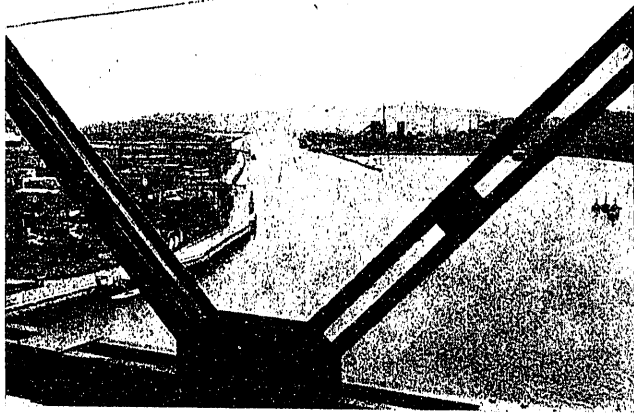


Fig. 4.—La ría de Bilbao, desde el puente.

La flecha absoluta máxima en el centro, dada por el cálculo, fué de 0,235 m., y por efecto de temperatura, \pm 0,15 m.

Construcción y montaje.

La dirección de la obra, en la construcción y montaje, la ha llevado, con nosotros, nuestro compañero D. Luis Alberto Ribed Niculant, que ha realizado una gran labor en un montaje difícil siempre y en alto grado, por la época en que las circunstancias nos obligaron a hacerlo.

La realización de la parte metálica estuvo a cargo de la Compañía Anónima Bascónia. Los cables los realizó la Franco Española de Lamiaco, y las instalaciones eléctricas, la Casa R. Eguren, cuyo personal directivo, y particularmente el Ingeniero D. Tomás Vivanco, ha tenido una actuación destacada y brillante.

Merece mención aparte el montaje realizado por la Sociedad Ibérica de Montajes Metálicos, que han realizado una obra de maravilla, trabajando contra "viento y marea", y nunca más apropiada la frase, a 45 m. de altura, con pleno éxito, demostrando que no sólo en Norteamérica existen obreros que se mueven trabajando en alturas de vértigo. Al frente de ellos, como jefe de Montaje, D. Luis Echevarría dió la nota de competencia y alarde consciente, pagado por el sinfín de espectadores espontáneos con el aplauso, cuando descendían de las alturas.

Auscultación y pruebas.

La tensión de los cables se comprobó sometiendo a vibración los mismos por una acción exterior, y conociendo su longitud y composición, por la fórmula:

$$T = \frac{4 L^2 v^2 m}{\theta^2 n^2}$$

en la cual $n = 1$ y v el número de vibraciones que se cuentan en el tiempo θ en segundos, L la longitud del cable y m la masa del cable en la unidad de longitud. En nuestro caso encontramos, para los cables de Las Arenas:

$$T = 32,4 v^2$$

y para los de Portugaete,

$$T = 20,6 v^2.$$

Las vibraciones se contaban en un minuto y eran francamente diferenciadas, por lo que la auscultación fué muy sencilla, comprobando plenamente las tensiones dadas por el cálculo.

El tensado e igualación de cargas en las péndolas se hizo por medio de un ingenioso aparato debido a Ribed, y que indica la figura. Se basa en buscar otro camino para la transmisión de la tensión, que lo da el puente y marco rígido, sobre los que descansa un gato hidráulico corriente. En el momento que al dar presión al gato se llegue a invertir la transmisión de la tensión, el pasador de sostenimiento de la péndola gira y se lee en el manómetro la tensión de la péndola.

Con este aparato pudimos encontrar que el efecto repartidor de la viga es del orden del doble de la longitud del carretón superior, es decir, de 48 m.

Las flechas encontradas para la máxima sobrecarga fueron concordantes con el cálculo de 24 cm.

La variación de la flecha, producida por la barquilla sola o pasando con la sobrecarga de 20 toneladas, fué de 9,8 cm. en el centro.

Los movimientos horizontales de los pilares en la coronación fueron de 15,5 mm. con barquilla sola y 19,5 mm. con barquilla cargada. Los carretones no se mueven, y es la flexibilidad de la torre la que da estos desplazamientos.

Reconocimiento.

He citado en el artículo a los distintos colaboradores, magníficos todos, que cooperaron al éxito de la obra, y queda sólo por nombrar al encargado por la Jefatura de la inspección de la misma, D. Manuel Martín Muñío, que prestó valiosa colaboración, lo mismo que el Jefe D. Fernando Alonso Urquijo y el Director del Puerto, D. Gregorio Sáenz Gallego, que con sus consejos y experiencia contribuyeron a la feliz realización de la misma.



Fig. 5.—Aparato de tensado de péndolas.