

REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS

PUBLICACION TECNICA DEL CUERPO DE INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

DIRECTOR

D. MANUEL MALUQUER Y SALVADOR

COLABORADORES

LOS INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

SE PUBLICA LOS JUEVES

Dirección y Administración: Plaza de Oriente, 6, primero derecha.

OBSERVACIONES ELEMENTALES

que pueden ser norma para proyectar puentes económicos.

Es empresa muy superior a mis fuerzas la de discutir con algún detalle, y sobre todo con algún acierto, si en todos los casos es o no es en definitiva el más económico el puente cuyo coste de construcción sea el mínimo entre todos los que puedan ser buenas soluciones al estudiarlos o proyectarlos. Ello no obstante, en este sencillísimo trabajo voy a referirme exclusivamente al coste de la construcción, como si no existieran otras consideraciones dignas de estimarse por su influencia en la economía de la obra.

La publicación en nuestra REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS de la Memoria oficial de la colección de modelos de puentes económicos de hormigón armado para caminos vecinales, me ha estimulado a componer esta breve recapitulación de observaciones o precep-

En un puente cualquiera elijamos un apoyo cualquiera y un claro (arco o tramo recto) de los limitados por el apoyo elegido, por ejemplo, el p de la figura A.

Designemos por

l_a = La longitud media del apoyo.

l_t = La longitud media del tramo.

c_a = El coste medio del metro lineal de apoyo.

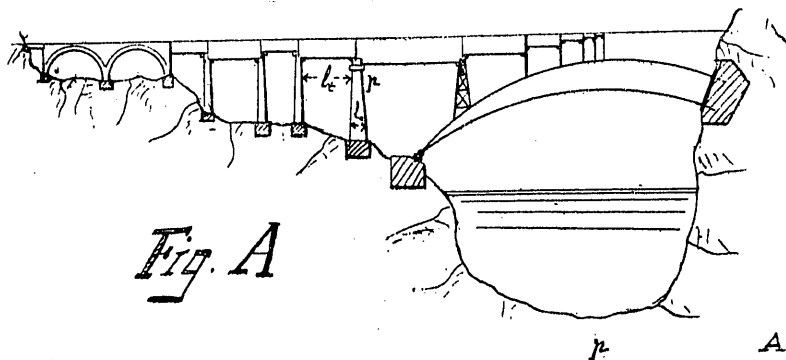
c_t = El coste medio del metro lineal de tramo.

r = La relación de los costes dichos de metro, de tramo y de apoyo, o sea $\frac{c_t}{c_a}$.

La expresión del coste unitario o del metro lineal de puente en la zona de la pila elegida es

$$c_m = \frac{l_a c_a + l_t c_t}{l_a + l_t} = c_a \frac{l_a + r l_t}{l_a + l_t} = c_a \frac{1 + r \frac{l_t}{l_a}}{1 + \frac{l_t}{l_a}} \quad (I)$$

Este coste medio tiene diferente valor en cada punto del puente considerado; y en un trozo dado de un determinado cau-



tos, que dudo si será de mucha, poca o ninguna utilidad a mis compañeros, los que ahora tengan el encargo de proyectar dichas económicas obras. A ellos la dirijo, contando por anticipado con la seguridad de que todos me concederán el inmerecido perdón que por mi atrevimiento suplico a todos. Con esto baste de preámbulo y entremos en materia.

La configuración del cauce, la altura de la rasante y las condiciones de la corriente y del terreno, por lo que afectan a la facilidad de la cimentación, hacen posibles varias soluciones; al proyectar un puente (o viaducto o acueducto), y se propone, por lo general, al ingeniero, la condición de proyectar la más económica entre todas las posibles.

ce, tiene valores diferentes para cada una de las soluciones que se estudien o tanteen.

La solución más económica al proyectar un puente tiene que ser aquella para la cual se verifique que el coste unitario en cada uno de sus distintos puntos o tramos sea el mínimo posible.

En cada punto, para cada solución, hay un valor mínimo del coste medio por metro lineal en dicho punto o trozo de la obra (no son consideraciones de análisis infinitesimal las que hago). Volvamos a la expresión (I), que ella va a decirnoslo:

$$c_m = c_a \frac{1 + r \frac{l_t}{l_a}}{1 + \frac{l_t}{l_a}} \quad (II)$$

Existe un valor de la relación $\frac{l_t}{l_a}$ para el cual se verifica que r vale la unidad, o sea que el metro lineal de tramo cuesta lo mismo que el metro lineal de apoyo. Aumentando o disminuyendo l_t o la relación $\frac{l_t}{l_a}$ próximo a dicho valor particular, la fracción r aumenta o disminuye asimismo. Puede por ello escribirse, deducida de la expresión (II), la siguiente relación de valores del coste medio:

Para $r > 0$, $c_m > c_a$

Para $r = 1$, $c_m = c_a$

Para $r < 1$, $c_m < c_a$

Para $l_t = 1$, $c_m = c_a$

resultados que atestiguan en primer lugar que entre $l_t = 0$ y el valor de $\frac{l_t}{l_a}$ que hace $r = 1$, existe para cada solución, por lo menos un valor de $\frac{l_t}{l_a}$, que hace mínimo el coste de metro lineal de puente; y en segundo lugar, que este mínimo es inferior al coste del metro lineal de apoyo. Varios tanteos, con el auxilio de una curva de error o de otro cualquier medio de falsa posición, servirán para deducir la luz más económica en cada caso y en cada punto. Tanteos cuya práctica puede facilitar mucho la colección de modelos de tramos rectos de hormigón armado para caminos vecinales, mencionada al principio, o las fórmulas de Tolkmitt para arcos y otras colecciones y fórmulas.

La consecuencia de que el mínimo del coste por metro lineal de puente es en cada punto inferior al coste del metro lineal de apoyo, nos lleva a la conclusión de que para proyectar puentes económicos precisa la determinación previa de los apoyos de mínimo coste.

Lo más costoso en un puente económico son siempre los apoyos. ¿Como puede reducirse el coste de los apoyos? Se ocurren para ello tres procedimientos: la reducción de su altura, el aligeramiento o desdoblamiento de las pilas y la supresión de su parte inferior, apoyándolas en otro tramo o arco, en vez de hacerlo directamente sobre el terreno.

Se reduce la altura de las pilas en los puentes, haciéndolos de piso superior, si son de tramos rectos, o prefiriendo a éstos los de arco con arranques poco elevados sobre la base de apoyo.

Para tratar de los otros dos procedimientos va a permitírseme la abreviatura para la designación de los cauces según su configuración. Son los dos tipos más sencillos y frecuentes, los que denominaré cauces en — y en V (aparte de sus combinaciones o integrales).

El desdoblamiento de la pila puede tener buena aplicación en los cauces en — . Consiste en formar por división de la pila lo que puede llamarse pila-tramo; es decir, un tramo de pequeña luz, separando otros de luz mayor. El coste medio del metro lineal de pila disminuye evidentemente al considerar como tal el tramo y las dos pilas en que se apoya.

Esta sucesión de tramos de luces diferentes truécase en *superposición* de tramos o puentes de luces diferentes también, en el tercero de los procedimientos dichos para disminuir el coste del metro lineal de pila o apoyo en general. Es la solución adoptada en muchos viaductos (Javroz, Oporto, Pino, Garabit, Paderno). El puente apoyado sobre el arco de gran luz debe satisfacer separadamente a la condición del mínimo coste unitario en cada punto, con lo que puede obtenerse una segunda economía, si ya se obtuvo la de la reducción del coste de las pilas, que debe tener importe superior al coste del arco de gran luz. Puede adoptarse el procedimiento en cauces en V y con gran altura de rasante.

Aquí daría por terminado mi insignificante trabajo, si no me precisara hacer unas advertencias aclaratorias de algo que no he

dicho en su debido lugar. Un puente tiene longitud y anchura, y habrán podido sobreentender los ingenieros para quienes escribo (y habrán hecho bien), que a los tanteos para la averiguación de la luz que haga mínimo el coste del metro de puente, en cada punto del mismo, deben proceder, los que tengan por objeto buscar o fijar la solución que dé el mínimo coste unitario, en el sentido de la anchura, cosa que, en efecto, así procede. También dejé de decir que en el coste de la pila consideraba incluidos los gastos de agotamientos y excavación para su cimiento, y los medios auxiliares de su ejecución, y que incluía en el del tramo los gastos de andamiajes, moldes y cimbras.

Totalmente ociosas son estas prevenciones hechas a destiempo, o, por lo menos, tan ociosas como ocioso es este ligero bosquejo del estudio de la cuestión a que se refiere, tejido de elementálísimas cosas, quizá olvidadas de puro sabidas.

Permitaseme ahora cuatro palabras en el seno de la confianza, que me creo puedo tenerla aun con aquellos compañeros que no tengo la honra de contar entre mis amigos. Hace pocos días me ocupé en hacer tanteos (no terminados aún), con motivo del proyecto del puente sobre el río Andarax, en el trozo primero de la carretera de Almería a la Cuesta de los Castaños, por Níjar, del que recientemente se me ha encargado. Se trata de un cauce en — de unos 180 metros de ancho, y la rasante de la obra irá entre los 7 y los 8 metros sobre el fondo del cauce. El río, seco casi todo el año, en algunas avenidas arrastra árboles, no dejando en pie, entre otros muchos, ninguno de los que forman las defensas de los predios lindantes; y, por ello, he fijado como límite mínimo de la luz la de 12 metros.

Mi empeño en proyectar una obra que chocara algo a mis paisanos chocó con el inconveniente de la economía del coste de las obras. Una solución a base de pila-tramo, con los claros mayores formados por vigas rectas de hormigón armado de 12,50 metros de luz, me resultó más costosa por metro lineal que la solución constituida por unos vulgarísimos arcos de hormigón sin armar, de la misma luz. Son los precios unitarios los que me han jugado la mala pasada. ¿No estamos todos conformes en que es más de ingeniero el acierto y aplomo en calcular atinadamente los precios del coste de las distintas operaciones y de las diferentes unidades de obra, que la habilidad de tantear soluciones con mejor o peor fortuna?

Ya que de tanteos he hablado, ¿no han visto que me he callado sobre el de la altura de la rasante, que también es digna de ese honor? Quizás hubiera podido quedar así sentado, que a mayores alturas de rasante, mayores luces, y viceversa. Así he procedido por honor a la brevedad, no obstante lo cual no me ha resultado este *trabajo* ni conciso ni claro.

Vuelvo a rogar mil perdones, sobre todo por la *enciclopédica* figura A, que me temo no llegue a alcanzar la gracia del indulto. Menos mal que no se me haya ocurrido dibujar más de una; quizás pudiera haberla evitado, pero al fin y al cabo, *la hice*.

José López Rodríguez,
ingeniero de Caminos.

Almería, 29 de noviembre de 1920.

Sobre el aforo de las corrientes de agua

La utilización total y racional de la energía hidráulica de una corriente de agua exige el conocimiento exacto de su régimen, o sea del término medio por año del caudal global, y de la repartición de dicho caudal entre los distintos períodos del año.