

francos y 1 franco próximamente en los tres casos anteriores; las lámparas con filamento metálico, no obstante su precio de compra elevado, dará, pues, una economía importante.

He aquí un otro cálculo que enseñará mejor la economía procurada por estas lámparas:

Una lámpara al carbón de 20 bujías consume 3,15 wats por bujía durante las cien primeras horas, ó sean: $3,15 \text{ wats} \times 20 \text{ bujías} \times 100 = 6.300 \text{ wats-horas}$; durante las cien horas siguientes, próximamente: $3,45 \text{ wats} \times 18 \text{ bujías} \times 100 = 6.210 \text{ wathoras}$; en total: 12.510 wathoras. Si se quiere mantener la intensidad luminosa entre 20 y 18 bujías durante ochocientas horas, duración de una lámpara con filamento metálico, es necesario utilizar, al cabo de doscientas horas, una nueva lámpara al carbono de 20 bujías, y así sucesivamente; al cabo de ochocientas horas se habrá gastado en corriente: $12.510 \text{ wathoras} \times 4 = 50.040 \text{ wathoras}$. A 0,08 francos el hectowathora, el gasto de entretenimiento se eleva así á 0,08 francos $\times$ 500, 4 hectowathoras = 40 francos, más la compra de 4 lámparas, ó sean 2 francos. En total, 42 francos.

Con una lámpara al tántalo se puede contar con un gasto de 40,95 wats durante las trescientas primeras horas; 40 wats durante las trescientas siguientes, y 39 durante las doscientas últimas, sea durante ochocientas horas: $40,95 \times 300 + 40 \times 300 + 39 \times 200 = 32.085 \text{ wathoras}$; de donde un gasto de 320,85 hectowathoras $\times$ 0,08 francos, ó 25,67 francos, más la compra de una lámpara á 3,25 francos, total 28,92 francos.

En fin, con una lámpara al tungsteno el gasto se eleva á 27,2 wats durante trescientas horas; 27 wats durante las trescientas siguientes, y 26 wats durante las doscientas últimas; en total, $27,2 \times 300 + 27 \times 300 + 26 \times 200 = 21.649 \text{ wathoras}$, que cuestan: $0,08 \text{ francos} \times 21.649 = 17,32 \text{ francos}$, más la compra de una lámpara á 5 francos, sea en total 22,32 francos. El gasto de entretenimiento de una lámpara al tungsteno rebasa apenas en la mitad el de una lámpara al carbono.

Es siempre recomendable para asegurar la buena conservación de los filamentos metálicos, que son pastosos á la temperatura de incandescencia, suspender las lámparas verticalmente; la distribución de la luz en el espacio es, por otra parte, más regular.—O.

PUENTES DE BASCULA EN LOS ESTADOS UNIDOS

Se ha construido muy recientemente en los Estados Unidos un puente báscula de grandes dimensiones que presenta interés especial por haberse recurrido en su establecimiento á una vieja solución probablemente olvidada desde hace mucho tiempo ó al menos no ha tenido nunca aplicación importante.

Este puente está construido sobre el río Sakonet, entre las ciudades de Portsmouth y de Fiverton, en el Estado de Rhode Island, y ha reemplazado á un puente de fábrica fuertemente resentido por las crecidas. Como el río es navegable se ha tenido que proyectar un tramo móvil para el paso de los barcos.

La longitud total de la obra es de 447,80 metros, comprendidas dos avenidas de 157,90 y 133,90 metros. El puente propiamente dicho tiene 155,70 metros y está formado de un tramo móvil de 30,50 metros, flanqueado á cada lado de un tramo fijo de 21,50 metros y tres arcos de fábrica de 13,70 metros. La calzada va en rampa á cada lado hasta la mitad, tiene 965 metros de altura y hay en un borde un andén en saliente de 1,52 metros de ancho. El tablero está á una altura de 3,95 metros por encima de las mareas altas, y las pilas que corresponden al tramo móvil descienden á una profundidad de 9 metros sobre pilotes.

La parte metálica pesa próximamente 390.000 kilogramos, y está calculada para una carga móvil de 500 kilogramos por metro cuadrado de calzada y de andén, aumentada de un carretón eléctrico que pesa 36.000 kilogramos sobre cuatro

ejes distantes 1,83 metros, ó de un rodillo de vapor de 7.000 kilogramos.

La parte más interesante de la construcción es el sistema del tramo báscula. Este tramo se compone de dos vigas que oscilan sobre charnelas fijas en su extremidad exterior, de manera que pueda elevarse para abrir el paso. Cada una de estas vigas está articulada cerca de su extremidad interior á una varilla oblicua, cuya extremidad está fija á un carretón de rodillos móvil sobre una curva de forma particular; el carretón lleva un contrapeso convenientemente calculado y el trazado de la curva es tal, que el tramo basculante está en equilibrio en todas las posiciones. Se reconoce inmediatamente aquí el sistema propuesto, hace próximamente ochenta años por el capitán de Ingenieros Delille, para ser aplicado á los puentes levadizos de las plazas fuertes. Se sabe que el capitán Delille es uno de los inventores de la hélice que él ha propuesto y aun ensayado, pero rara vez se cita su nombre en este asunto.

El carretón contiene en una caja el contrapeso formado de hormigón y descansa sobre cuatro ruedas de 1,25 metros de diámetro que ruedan sobre caminos de palastro que forman la parte superior de las curvas y son guiadas lateralmente por un palastro vertical. Cada carretón está movido por un motor eléctrico; la caja que contiene el contrapeso de hormigón tiene 3,30 metros de longitud por 1,52 metros de altura y todo el ancho del puente. El carretón está provisto de un aparato de maniobras á brazo para el caso en que el motor eléctrico se inutilizase. La apertura ó el cierre de la parte móvil no exige más de dos minutos.

Las articulaciones sobre las cuales basculan los tramos móviles se componen de ejes de 0,254 metros de diámetro que descansan en una longitud de 0,556 metros sobre una pieza fija á la viga y sobresaliendo de 0,304 metros á cada lado para entrar en las agujas de los soportes fijados á los tramos laterales.

Las barras que enlazan los tramos móviles al carretón del contrapeso están articuladas á las extremidades de estos tramos por ejes de 0,33 metros de diámetro y de 1,25 metros de longitud, que descansan sobre los cojinetes del tramo en una longitud de 0,715 metros. Las barras de que hablamos tienen una longitud de 33,10 metros de eje á eje de las articulaciones; tienen una sección transversal en doble T, cuya mayor dimensión varía de 0,61 metros en el medio á 0,432 metros en las extremidades; estas últimas están formadas de piezas de acero que llevan un agujero para el paso de los ejes de articulación.

El montaje de la parte móvil ha sido ejecutado con ayuda de una potente grúa flotante. Ha habido bastantes dificultades por las corrientes producidas por las mareas.

La obra está actualmente terminada; el importe alzado del contrato fué de 1.300.000 francos.

La luz de la parte móvil del puente, 30,50 metros, es, como se ve, bastante importante, pero no llega ni con mucho á la del puente báscula que acaba de ser establecido para el paso del Baltimore Ohio Railroad, sobre la «ald River Bed», ramificación del río Cuyahoya, en Cleveland (Ohio). Es verdad que esta luz es, según parece, la más grande que existe en el mundo; llega á 64,50 metros y es franqueada en un solo tramo basculante.

Este puente es del sistema Scherzev, que es una variante del sistema Lamhhardie, aplicado en el Havre en 1825. La parte móvil se termina interiormente por un segmento en cuarto de círculo que rueda sobre un plano horizontal cuando el tramo se inclina.

Las vigas principales tienen 70,15 metros de longitud, el ancho del tablero es de 6,10 metros de centro á centro de las vigas y éstas son arriostadas en la parte superior, dejando una altura libre para el paso de 6,70 metros. El equilibrio se obtiene por medio de contrapesos de hormigón colocados en cajas bajo las extremidades de cada viga.

La maniobra se ejecuta por dos motores eléctricos de 75 caballos, actuando por engranajes sobre un árbol que acciona unos piñones que engranan con cremalleras fijas colocadas fuera de las vigas.

El mecánico encargado de la maniobra está en una garita que contiene los aparatos que indican todas las posiciones de las vigas; en cada extremidad del puente hay dispuestas señales enlazadas, como las agujas, á los órganos de maniobra; de suerte que ésta no puede tener lugar sin que las señales marquen peligro y los cambios de vía efectuados de manera que sea imposible á un tren de introducirse en el puente cuando esté abierto.

Las pilas son de hormigón cimentadas sobre pilotaje.—O.

TEORÍA DE LAS LÍNEAS DE INFLUENCIA

PARA EL CÁLCULO DE LOS PUENTES METÁLICOS

Con motivo de haberse presentado proyectos de puentes metálicos calculados por el método llamado de las «líneas de influencia», cuyo empleo no está muy extendido en España, he creído oportuno dar á conocer la teoría y cálculos en que se funda este nuevo procedimiento, por el que se determina con facilidad, y sobre todo con precisión, los momentos flectores y esfuerzos cortantes máximos que pueden desarrollarse en cada uno de los puntos de las vigas principales de un puente metálico de uno ó varios tramos rectos.

Consideremos tres tramos consecutivos de una viga continua (fig. 1.^a), cuyas luces sean iguales l , á excepción del primero y último, y supongamos que sobre el tramo central se mueve un peso aislado P , cuya distancia al apoyo K sea la cantidad variable x ; consideremos también una sección transversal D del mismo tramo distante del apoyo K la cantidad fija a . En cada una de las posiciones que sucesivamente venga ocupando el peso P se producirá en la sección D un momento flector M , ó un esfuerzo cortante E , que dependen única y exclusivamente de la posición de P , es decir, de la variable x , se tendrá, pues,

$$M = F(x)$$

$$E = F_1(x).$$

Las líneas representativas de estas ecuaciones se denominan *líneas de influencia* de los momentos flectores y de los esfuerzos cortantes.

Momentos flectores.

Vamos á tratar de determinar la primera de las dos ecuaciones anteriores, para lo cual consideremos el tramo de en medio como si aisladamente estuviese empotrado por sus extremos y sometido á la acción del peso P . Sabemos que en estas condiciones el momento flector en una sección cualquiera de la viga es la suma algebraica de las ordenadas de la recta ABA' de los momentos flectores correspondientes al caso de estar la viga solamente apoyada, más las de la recta MN que resulta de unir los M y N , tales que AM y $A'N$ sean, respectivamente, los momentos de empotramiento μ_{k-1} , μ_{k+1} (momentos flectores en los apoyos K y $K+1$ el considerar la viga continua), y se tiene:

$$M = DQ + DS,$$

pero

$$DQ = \frac{P(l-x)}{l} a \quad DS = DT + TS = \mu_k + a \operatorname{tg} \alpha$$

$$= \mu_k + a \frac{\mu_{k+1} - \mu_k}{l}$$

y substituyendo

$$M = \frac{P(l-x)}{l} a + \mu_k + a \frac{\mu_{k+1} - \mu_k}{l}$$

ó sea

$$M = \frac{P(l-x)}{l} a + \frac{\mu_k}{l} (l-a) + \frac{\mu_{k+1}}{l} a \quad (1)$$

Pero la deducción de esta fórmula hemos supuesto que D está comprendido entre P y el apoyo K , es decir, que $x > a$, y en el caso de considerar otra sección tal como D' en la que $x < a$ se tendrá

$$M = D'Q' + D'S' = \frac{Px}{l} (l-a) + \frac{\mu_k}{l} (la) + \frac{\mu_{k+1}}{l} a \quad (2)$$

Si ahora tomamos en cuenta uno de los tramos en los que no descansa el peso mencionado, éste no ejercerá más acción que la de producir en los apoyos dos momentos de empotramiento μ_n y μ_{n+1} , y en una sección intermedia un momento flector cuyo valor se obtendrá haciendo $P = 0$ en las ecuaciones anteriores.

$$M = \frac{\mu_n}{l} (l-a) + \frac{\mu_{n+1}}{l} a \quad \dots \dots \dots (3)$$

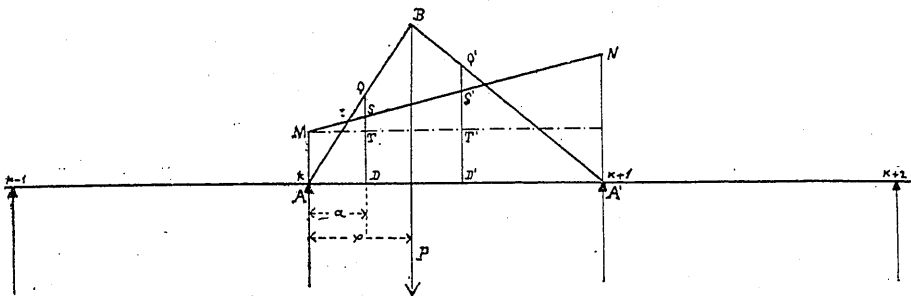


Fig. 1.^a

Los momentos flectores en los apoyos se determinan por medio del teorema de los tres momentos aplicado al caso de actuar sobre la viga una fuerza aislada y única (Bresse, *Cours de Mécanique appliquée*, III partie). Para mayor claridad, concretaremos la aplicación á una viga de seis tramos simétrica, en la que la relación entre las luces l_i de los tramos extremos y los de las centrales sea m , y supondremos que la carga aislada P se mueve de extremo á extremo sobre la viga. Tendremos aplicado el teorema antes citado.

1.º—Móvil en el primer tramo.

$$\left. \begin{aligned} 2\mu_1(l+m) + \mu_2 &= -\frac{Px(l_1^2 - x^2)}{ll_1} = f(x) \\ \mu_1 + 4\mu_2 + \mu_3 &= 0 \\ \mu_2 + 4\mu_3 + \mu_4 &= 0 \\ \mu_3 + 4\mu_4 + \mu_5 &= 0 \\ \mu_4 + 2\mu_5(1+m) &= 0 \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (4)$$

2.º—Móvil en el segundo tramo.

$$\left. \begin{aligned} 2\mu_1(1+m) + \mu_2 &= -\frac{Px(l_1 - x)(2l_1 - x)}{ll_1} = f_1(x) \\ \mu_1 + 4\mu_2 + \mu_3 &= -\frac{Px(l_1^2 - x^2)}{l_2} = f(x) \\ \mu_1 + 4\mu_2 + \mu_3 &= 0 \\ \mu_2 + 4\mu_3 + \mu_4 &= 0 \\ \mu_3 + 2\mu_4(1+m) &= 0 \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (5)$$

3.º—Móvil en el tercer tramo.

$$\left. \begin{aligned} 2\mu_1(1+m) + \mu_2 &= 0 \\ \mu_1 + 4\mu_2 + \mu_3 &= f_1(x) \\ \mu_2 + 4\mu_3 + \mu_4 &= f(x) \\ \mu_3 + 4\mu_4 + \mu_5 &= 0 \\ \mu_4 + 2\mu_5(1+m) &= 0 \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (6)$$