

tró en aquella ocasion rapidez de accion y potencia muy superiores á las del freno Smith.

Por algunos se ha dicho que estas experiencias no son absolutamente concluyentes, porque si los sacos del sistema Smith hubieren sido mayores, se habria alcanzado la misma energia que con los frenos de aire comprimido. Pero esto no es exacto; porque al aumentar desmesuradamente la capacidad de los sacos, aumenta, sí, la presion de las zapatas sobre las llantas, pero no la energia del freno, porque aquel aumento de presion produce la calzadura de las ruedas, y no es en este caso en el que se produce la máxima energia. Además, dar á los sacos proporciones exageradas tiene la contra de ocupar mucho espacio y aumentar el peso muerto, y ambas cosas deben evitarse en lo posible.

*(Se continuará.)*

E. MARISTANY Y GIBERT.

---

## TRAMOS METÁLICOS

PARA EL

### PUENTE DEL GUADALIMAR, EN LA CARRETERA DE BAILÉN A BAEZA, PROVINCIA DE JAÉN.

---

Para sostener el tablero metálico, hay contruidos cuatro apoyos de fábrica, que dividen el puente en tres tramos de igual luz—30 metros—teniendo cada apoyo intermedio 2<sup>m</sup>,30 de ancho en la coronación; distan, pues, 94<sup>m</sup>,6 los paramentos de los apoyos extremos.

El tramo metálico proyectado—de cuya construcción está encargada una fábrica belga—ha de tener dos vigas rectas de alma llena, que sostengan viguetas, sobre las cuales se apoyen palastros combados, encima de los que ha de ir un firme de piedra machacada. A dar idea de las consideraciones que se han tenido en cuenta para decidir la forma y dimensiones de cada una de las piezas con que se ha de formar el tramo, se dirigen estos ligeros apuntes.

#### ALTURA Á QUE CONVIENE COLOCAR EL PISO.

Habia que resolver, al proyectar el puente, que convenia más: colocar las viguetas sobre las cabezas de las vigas, ó empotrarlas en los nervios interiores del alma.

Lo primero, exige dar mayor longitud á las viguetas y el gasto consiguiente, y fué por ello desechado; lo segundo, que es lo frecuente en los puentes de hierro, tiene en general el inconveniente de reducir el ancho

aprovechable para el tránsito á la diferencia entre la longitud del plano de rodillos y el duplo del ancho de las vigas en las cabezas; tiene en cambio la ventaja de servir las viguetas para el arriostamiento horizontal de las vigas, además de la señalada de ser más económicas.

En el caso actual, á pesar de ser de segundo orden la carretera y de siete metros de ancho por lo tanto, sólo es de 6<sup>m</sup>,12 la longitud de los planos de rodillos, y como el tránsito de carruajes es de gran importancia, no parecía aceptable reducir el ancho del puente á poco mas de cinco metros, como hubiese sucedido si se hubiera proyectado empotrar las viguetas en los nervios interiores, de modo que las vigas, sobresaliendo del piso, formaran pretilos.

Para cludir la dificultad, pareció lo mejor empotrar las viguetas á tal altura, que la rasante del firme quedara pocos centímetros por debajo de las cabezas de las vigas y establecer sobre éstas aceras para el paso de peatones.

Convenía para ello dar á las cabezas de las vigas mayor ancho del acostumbrado, dada la altura del alma; y como, dentro de ciertos límites, el exceso de gastos que así se origina no es importante, se resolvió fijarlo en 50 centímetros.

Pero aun así no resultaba cada acera con el ancho de un metro, que es el correspondiente á los paseos en las carreteras de segundo orden; y, como convenia llegar á él, se proyectó que volaran los paseos fuera de las cabezas de las vigas, según se representa en la sección transversal del tramo. Se consiguió así que la del puente tuviese las dimensiones del resto de la carretera y defender las barandas contra los choques de los carruajes por medio de los escalones de trece centímetros que han de formar las aceras.

Resuelta así la forma general del puente, se pasó á determinar la de cada una de sus partes, aceptando las usualmente adoptadas, ó sean las siguientes.

### Vigas.

Alma llena de tres metros de altura constante y un centímetro de grueso, formada con 79 palastros de 1<sup>m</sup>,20 de ancho y dos de 0<sup>m</sup>,94 para los extremos de cada viga.

Cabezas de 0<sup>m</sup>,50 de ancho, formadas con un palastro de 96<sup>m</sup>,68 de longitud y siete milímetros de grueso, reforzado sobre cada apoyo intermedio en una longitud de 5<sup>m</sup>,6, con otro palastro de seis milímetros de grueso.

Escuadras de ramas iguales de  $\frac{100 \times 100}{10}$  para unir el alma á las cabezas, por medio de roblones de 25 milímetros de diámetro.

Nervios que den al alma rigidez transversal y sirvan de cubrejuntas para las uniones de los palastros con que la constituyen, siendo los exteriores hierros de  $\perp$  de  $\frac{175 \times 60}{8 \times 8}$  milímetros, y disponiendo cada uno de los interiores con dos escuadras de  $\frac{80 \times 80}{8}$ , separadas un centímetro para empotrar entre ellas las cabezas de las viguetas.

### Viguetas.

Forma de doble T, de alma llena, de 46 centímetros de altura constante, 5<sup>m</sup>,50 de longitud y un centímetro de grueso.

Cabezas formada cada una con dos escuadras de  $\frac{100 \times 100}{10}$  milímetros, cosidas con roblones de 25 milímetros de diámetro.

En los planos se figura la manera de empotrar los extremos en los nervios interiores de las vigas, y en ellos se pueden ver todos los demás detalles que con la forma y dimensiones de cada pieza se relacionan, y cuya descripción no es necesaria teniendo aquéllos á la vista.

Nada más fácil, acordadas las dimensiones de cada pieza, que determinar el peso que debe sostener cada parte de la construcción, cuyo peso es el primer elemento que hay que conocer para decidir las condiciones de resistencia de cada pieza. Para facilitar la construcción del puente, los perfiles de las escuadras, hierros de  $\perp$ , de  $\cup$ , etc., son los de la fábrica de Cockerill, en Seraing, es decir, perfiles corrientes en el comercio, y resulta de aquí otra ventaja para los cálculos, y es que en el álbum de la fábrica figura el peso por metro lineal de cada pieza; ha sido, pues, sencilla aquella determinación, resultando lo siguiente:

#### PESO QUE CARGARÁ SOBRE CADA METRO LINEAL DE VIGA.

|                                            |                    |
|--------------------------------------------|--------------------|
| Peso del firme.. . . . .                   | 990,33 kilogramos. |
| Íd. de las aceras. . . . .                 | 132,44        »    |
| Íd. del piso de planchas combadas. . . . . | 232,34        »    |
| Íd. de las viguetas. . . . .               | 270,84        »    |
| Íd. propio de la viga.. . . . .            | 449,08        »    |
| <hr/>                                      |                    |
| TOTAL.. . . . .                            | 2.075,03        »  |

### Carga de prueba.

Según lo dispuesto en el pliego de condiciones, será de dos clases: la

de peso muerto dará 900 kilogramos por metro lineal; la de peso móvil unos 500 kilogramos.

Se admitió, pues, para calcular las condiciones de resistencia de cada viga, que ha de estar apoyada en sus extremos y sujeta á la acción de un peso uniformemente repartido de 2.200 kilogramos por metro lineal y de otra de 900 kilogramos, también por metro lineal, que puede actuar sucesivamente ó á la vez sobre los diversos tramos.

### Viguetas.

Cargará sobre cada metro lineal el siguiente peso:

|                                        |                    |
|----------------------------------------|--------------------|
| Del firme. . . . .                     | 475,36 kilogramos. |
| Del piso de planchas combadas. . . . . | 111,52       »     |
| Del de la vigueta. . . . .             | 127,69       »     |
| TOTAL... . . . .                       | 714,57       »     |

Y como carga de prueba el de dos carruajes de dos ruedas, cada uno de los cuales pesa nueve toneladas, ó sean cuatro fuerzas de 4.500 kilogramos cada una.

Se consideró, pues, á cada vigueta como empotrada en sus extremos, sujeta á un peso uniformemente repartido de 715 kilogramos por metro lineal y á la acción de cuatro pesos de 4,5 toneladas cada uno.

MOMENTOS DE FLEXIÓN, ESFUERZOS CORTANTES Y ESFUERZOS DE DESLIZAMIENTO LONGITUDINAL EN LAS VIGAS Y VIGUETAS.

### 1.º—Vigas.

Para el cálculo de estos elementos se va á seguir el método expuesto por Collignon, y que por ser bien conocido sería ocioso recordar aquí.

Se harán cinco hipótesis en cuanto á la colocación de la carga de prueba, á saber:

- 1.ª Que sólo esté cargado uno de los tramos extremos.
- 2.ª Que sólo lo esté el del centro.
- 3.ª Que lo estén á la vez dos tramos consecutivos.
- 4.ª Que lo estén á la vez los dos extremos.
- 5.ª Que estén cargados á la vez los tres tramos.

# PRIMERA HIPÓTESIS.

LA CARGA DE PRUEBA SÓLO ACTÚA SOBRE EL PRIMER TRAMO.

|            |       |            |       |            |       |                       |                           |
|------------|-------|------------|-------|------------|-------|-----------------------|---------------------------|
|            |       |            |       |            |       | Número de los apoyos. |                           |
| 4          |       | 2          |       | 3          |       | 4                     | Número de los tramos.     |
|            | 4     |            | 2     |            | 3     |                       | Peso por metro lineal.    |
|            | $p_1$ |            | $p_2$ |            | $p_3$ |                       | Longitudes de los tramos. |
|            | $l_1$ |            | $l_2$ |            | $l_3$ |                       | Serie $\alpha$ .          |
| $\alpha_2$ |       | $\alpha_1$ |       | $\alpha$   |       | 0                     | Serie $\gamma$ .          |
| 0          |       | $\gamma_0$ |       | $\gamma_1$ |       | $\gamma_2$            | Momentos de flexión.      |
| $M_1$      |       | $M_2$      |       | $M_3$      |       | $M_4$                 | Esfuerzos cortantes.      |
| $T_1$      |       | $T_2$      |       | $T_3$      |       | $T_4$                 | Presiones en los apoyos.  |
| $F_1$      |       | $F_2$      |       | $F_3$      |       | $F_4$                 |                           |

Empleando las mismas notaciones que Collignon, que son las del diagrama precedente, hé aquí los resultados á que se llega:

*Cargas.*

Según lo ya expuesto, se tiene para la primera hipótesis:

$$p_1 = 2.200\text{kg.} + 900\text{kg.} = 3.100\text{kg.}$$

$$p_2 = p_3 = 2.200\text{kg.}$$

Valores de  $x$  y  $\gamma$ .—Para el caso de tramos iguales se sabe que

$$x_0 = 1, x_1 = \gamma_1 = -4, x_2 = \gamma_2 = 15.$$

El denominador de los momentos de flexión sobre los apoyos, será:

$$L = x_2 l_1 = 15 \times 30 = 450.$$

$$\text{Valores de } P \dots \left\{ \begin{array}{l} P_2 = \frac{1}{4} (p_1 l_1^{-3} + p_2 l_2^{-3}) = 35.775.000 \\ P_3 = \frac{1}{4} (p_2 l_2^{-3} + p_3 l_3^{-3}) = 29.700.000 \end{array} \right.$$

*Momentos de flexión sobre los apoyos.*

$$\left. \begin{array}{l} M_2 = \frac{P_2 + P_3 x_1}{L} \\ M_3 = \frac{P_3 V_0 + P_3 V_1}{L} \end{array} \right\} \begin{array}{l} M_2 = -252.000 \text{ kilogrametros.} \\ M_3 = -184.500 \quad \text{id.} \end{array}$$

*Esfuerzos cortantes sobre los apoyos.*

$$\begin{aligned} T_1 &= \frac{1}{2} p_1 l_1 + \frac{M_2}{l_1} = 38.100 \text{ kilogramos.} \\ T_2 &= \frac{1}{2} p_2 l_2 + \frac{M_3 - M_2}{l_2} = 35.250 \quad \text{id.} \\ T_3 &= \frac{1}{2} p_3 l_3 - \frac{M_3}{l_3} = 39.150 \quad \text{id.} \end{aligned}$$

*Presiones sobre los apoyos.*

$$\begin{aligned} F_1 &= \frac{1}{2} l_1 p_1 + \frac{M_2}{l_1} \dots \dots \dots F_1 = 38.100 \text{ kilogramos.} \\ F_2 &= \frac{1}{2} p_1 l_1 + \frac{1}{2} p_2 l_2 - \frac{2M_2}{30} + \frac{M_3}{l_2} \dots F_2 = 90.150 \quad \text{id.} \\ F_3 &= \frac{1}{2} p_2 l_2 + \frac{1}{2} p_3 l_3 + \frac{M_2 - 2M_3}{30} \dots F_3 = 69.900 \quad \text{id.} \\ F_4 &= \frac{1}{2} p_3 l_3 + \frac{M_3}{l_3} \dots \dots \dots F_4 = 26.850 \quad \text{id.} \end{aligned}$$

*Momentos de flexión en una sección cualquiera.*

$$1.^{\text{er}} \text{ tramo. } M = T_1 x - \frac{1}{2} p_1 x^2. \quad . \quad . \quad M = 50 (31x^2 - 762x)$$

$$2.^{\circ} \text{ id. } M = M_2 + T_2 x - \frac{1}{2} p_2 x^2, \quad M = 50 (22x^2 - 705x + 5.040)$$

$$3.^{\text{er}} \text{ id. } M = M_3 + T_3 x - \frac{1}{2} p_3 x^2, \quad M = 50 (22x^2 - 783x + 3.960)$$

*Esfuerzo cortante en una sección cualquiera.*

$$1. \text{ tramo. } T = T_1 - p_1 x, \quad T = 50 (62x - 762)$$

$$2.^{\circ} \text{ id. } T = T_2 - p_2 x, \quad T = 50 (44x - 705)$$

$$3.^{\text{er}} \text{ id. } T = T_3 - p_3 x, \quad T = 50 (44x - 783)$$

Análogamente se deducen todos estos elementos para las diferentes hipótesis; en el cuadro que sigue se han reunido todos ellos.

ESTADO EN EL QUE SE CONSIGNAN LOS MOMENTOS DE FLEXIÓN, ESFUERZOS CORTANTES Y PRESIONES SOBRE LOS APOYOS EN LOS DIFERENTES TRAMOS PARA CADA UNA DE LAS HIPÓTESIS DE REPARTICIÓN DE LAS CARGAS.

184

REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS

| Valores de p.                                            | Valores de P.      | Momentos de flexión sobre los apoyos. | Esfuerzos cortantes en los apoyos. | Presiones sobre los apoyos. | Momentos de flexión y esfuerzos cortantes en una sección cualquiera.                                 |
|----------------------------------------------------------|--------------------|---------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>1.ª hipótesis.—CARGADO SOLAMENTE EL PRIMER TRAMO.</b> |                    |                                       |                                    |                             |                                                                                                      |
| $p_1 = 3.400$                                            |                    | $M_1 = 0$                             |                                    | $F_1 = 38.400$              | 1.º tramo. . . . . $\begin{cases} M = -50 (34x^2 - 762x) \\ T = -50 (62x - 762) \end{cases}$         |
| $p_2 = 2.200$                                            | $P_2 = 35.775.000$ | $M_2 = -252.000$                      | $T_1 = 38.400$                     | $F_2 = 90.150$              |                                                                                                      |
| $p_3 = 2.200$                                            | $P_3 = 29.700.000$ | $M_3 = -184.500$                      | $T_2 = 35.250$                     | $F_3 = 69.900$              | 2.º tramo. . . . . $\begin{cases} M = -50 (22x^2 - 703x + 5.040) \\ T = -50 (44x - 705) \end{cases}$ |
|                                                          |                    | $M_4 = 0$                             | $T_3 = 39.150$                     | $F_4 = 26.850$              | 3.º tramo. . . . . $\begin{cases} M = -50 (22x^2 - 783x + 3.690) \\ T = -50 (44x - 783) \end{cases}$ |
| <b>2.ª hipótesis.—CARGADO SÓLO EL TRAMO DEL CENTRO.</b>  |                    |                                       |                                    |                             |                                                                                                      |
| $p_1 = 2.200$                                            |                    | $M_1 = 0$                             |                                    | $F_1 = 25.050$              | 1.º tramo. . . . . $\begin{cases} M = -50 (22x^2 - 504x) \\ T = -50 (44x - 504) \end{cases}$         |
| $p_2 = 3.400$                                            | $P_2 = 35.775.000$ | $M_2 = -238.500$                      | $T_1 = 25.500$                     | $F_2 = 87.450$              |                                                                                                      |
| $p_3 = 2.200$                                            | $P_3 = 35.775.000$ | $M_3 = -238.500$                      | $T_2 = 46.500$                     | $F_3 = 87.450$              | 2.º tramo. . . . . $\begin{cases} M = -50 (34x^2 - 930x + 4.770) \\ T = -50 (62x - 930) \end{cases}$ |
|                                                          |                    | $M_4 = 0$                             | $T_3 = 40.950$                     | $F_4 = 25.050$              | 3.º tramo. . . . . $\begin{cases} M = -50 (22x^2 - 819x + 4.770) \\ T = -50 (44x - 819) \end{cases}$ |

|                                                         |                    |                  |                |                 |                                                                                                          |
|---------------------------------------------------------|--------------------|------------------|----------------|-----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>3.ª hipótesis.—CARGADOS LOS DOS PRIMEROS TRAMOS.</b> |                    |                  |                |                 |                                                                                                          |
| $p_1 = 3.400$                                           |                    | $M_1 = 0$        |                | $F_1 = 36.750$  | 1.º tramo. . . . . $\begin{cases} M = -50 (34x^2 - 734x) \\ T = -50 (62x - 735) \end{cases}$             |
| $p_2 = 3.400$                                           | $P_2 = 44.850.000$ | $M_2 = -292.500$ | $T_1 = 36.750$ | $F_2 = 103.000$ |                                                                                                          |
| $p_3 = 2.200$                                           | $P_3 = 35.775.000$ | $M_3 = -225.000$ | $T_2 = 46.500$ | $F_3 = 84.750$  | 2.º tramo. . . . . $\begin{cases} M = -50 (34x^2 - 930x + 5.850) \\ T = -50 (62x - 930) \end{cases}$     |
|                                                         |                    | $M_4 = 0$        | $T_3 = 40.500$ | $F_4 = 25.500$  | 3.º tramo. . . . . $\begin{cases} M = -50 (22x^2 - 840x + 4.500) \\ T = -50 (44x - 840) \end{cases}$     |
| <b>4.ª hipótesis.—CARGADOS LOS TRAMOS EXTERIORES.</b>   |                    |                  |                |                 |                                                                                                          |
| $p_1 = 3.400$                                           |                    | $M_1 = 0$        |                | $F_1 = 38.550$  | 1.º tramo. . . . . $\begin{cases} M = -50 (34x^2 - 774x) \\ T = -50 (62x - 774) \end{cases}$             |
| $p_2 = 2.200$                                           | $P_2 = 35.775.000$ | $M_2 = -238.500$ | $T_1 = 38.500$ | $F_2 = 87.450$  |                                                                                                          |
| $p_3 = 3.400$                                           | $P_3 = 35.775.000$ | $M_3 = 238.500$  | $T_2 = 33.000$ | $F_3 = 87.450$  | 2.º tramo. . . . . $\begin{cases} M = -50 (22x^2 - 660x + 4.770) \\ T = -50 (44x - 660) \end{cases}$     |
|                                                         |                    | $M_4 = 0$        | $T_3 = 54.450$ | $F_4 = 38.550$  | 3.º tramo. . . . . $\begin{cases} M = -50 (34x^2 - 4.089x + 4.770) \\ T = -50 (62x - 4.089) \end{cases}$ |
| <b>5.ª hipótesis.—CARGADOS LOS TRES TRAMOS.</b>         |                    |                  |                |                 |                                                                                                          |
| $p_1 = 3.400$                                           |                    | $M_1 = 0$        |                | $F_1 = 37.200$  | 1.º tramo. . . . . $\begin{cases} M = -50 (34x^2 - 744x) \\ T = -50 (62x - 744) \end{cases}$             |
| $p_2 = 3.400$                                           | $P_2 = 44.850.000$ | $M_2 = -279.000$ | $T_1 = 37.200$ | $F_2 = 102.300$ |                                                                                                          |
| $p_3 = 3.400$                                           | $P_3 = 44.850.000$ | $M_3 = 279.000$  | $T_2 = 46.500$ | $F_3 = 102.300$ | 2.º tramo. . . . . $\begin{cases} M = -50 (34x^2 - 930x + 5.580) \\ T = -50 (62x - 930) \end{cases}$     |
|                                                         |                    | $M_4 = 0$        | $T_3 = 55.800$ | $F_4 = 37.200$  | 3.º tramo. . . . . $\begin{cases} M = -50 (34x^2 - 4.446x + 5.580) \\ T = -50 (62x - 4.446) \end{cases}$ |

REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS

185

(Se continuará.)

JOSÉ MARÍA DE ITURRALDE.