

MADRID, 1.º DE DICIEMBRE DE 1880.

TOMO XXVIII.

NÚM. 23.

SUMARIO.

Puente de hierro en San Francisco (Bilbao), por D. Pablo de Alzola (continuacion).—Progreso y adelanto de las obras del puerto de Cartagena durante el año económico de 1879 á 1880.—Enlace geodésico y astronómico de Europa y Africa (continuacion).—Parte oficial.—Subastas.—Noticias varias. Personal.—Suelos.

EXTRACTO DE LA MEMORIA DEL PROYECTO DE PUENTE DE HIERRO PARA LA RIA DE BILBAO EN SAN FRANCISCO.

(Continuacion.)

CAPÍTULO III.

CÁLCULO DEL ARCO METÁLICO.

17. *Viguetas*.—Conocida ya la estructura y disposicion de las diversas partes del puente, vamos á proceder á justificar las dimensiones adoptadas, empezando por las viguetas que sostienen el pavimento. Estas se hallan empotradas en sus extremidades, que son los puntos de rotura, en los que el momento de flexion es $\frac{1}{12} pl^2$, siendo p el peso por metro lineal y l la longitud de cada vigueta, que es de 3^m,50, y tendríamos:

$$\frac{RY}{v} = \frac{1}{12} pl^2,$$

en que las letras del primer miembro son las usuales en los momentos de rotura, y aplicando las dimensiones de las piezas de doble T que forman las viguetas, lámina 107, figura 1.ª, que están compuestas de un alma de palastro y cuatro escuadras, se deduce para el momento de inercia

$$Y = 0,000038.$$

El peso propio de cada una de aquéllas, con los largueros de madera y la tabazon que sostiene, resulta de 483 kilogramos. La carga de prueba para las pasaderas suele ser de 200 kilogramos por metro cuadrado; pero aún admitiendo el doble para el cálculo de las viguetas, resulta, dada la longitud de 3^m,50 de cada vigueta por 1^m,50 de separacion,

un peso de 2.100 kilogramos, que unidos á los 483 de la carga permanente, hacen 2.583 kilogramos, y el trabajo por milimetro cuadrado será de

$$R = \frac{pl^2 \times v}{12000000 \times Y} = 2,47 \text{ kilogramos};$$

y si se supone que el mismo peso obre en el centro de la vigueta, el trabajo del hierro será el doble, ó sean 4,94 kilogramos, é inferior á los 6 kilogramos que suelen admitirse para esta clase de piezas.

18. *Parábola de intrados*.—Sea $2l$ la luz del arco y f la flecha; y tomando para ejes coordenados los dos ejes principales de la parábola, su ecuacion es

$$y = \frac{f}{l^2} x^2;$$

y haciendo $l = 21^m,00$ y $f = 3^m,00$,

$$y = \frac{1}{147} x^2 : x^2 = 147 y;$$

de modo que el parámetro es de 147 metros, y las distancias desde el vértice al foco y á la directriz de $\frac{147}{4} = 36^m,75$.

La tangente en el arranque se trazará tomando para la subtangente 3 metros, y la subnormal será igual á la mitad del parámetro; de manera que el intrados puede trazarse, bien en virtud de las propiedades de la parábola, ó para simplificar la montea, por medio de una tabla de ordenadas que acompañamos al proyecto.

El desarrollo del intrados se obtiene poniendo la ecuacion en la forma

$$y = \frac{m}{2} x^2$$

por la expresion

$$\int_0^x \sqrt{1+m^2 x^2} dx = \frac{1}{2} x \sqrt{1+m^2 x^2} + \frac{1}{2m} \log. (mx + \sqrt{1+m^2 x^2});$$

y haciendo $m = \frac{2f}{l^2}$ y sustituyendo, se convierte en

$10,9201 + 36,75 \log. 1,3257$; y teniendo en cuenta que este logaritmo es neperiano, por lo cual hay que multiplicarlo por la base, se

obtiene para el desarrollo de la mitad del intrados $21^m,2814$, y para la fibra media del arco, que distará $0^m,30$ de aquella curva, $21^m,367$.

19. *Arcos de seccion constante.*—Los cuchillos del tramo constan del arco y larguero unidos por un tímpano rígido; pero para hacer el primer avance de cálculo, supondremos que los tímpanos estén apoyados sobre los arcos, y que la seccion trasversal de éstos sea simétrica y tenga las dimensiones acotadas en la figura 2.^a de la lámina 107, admitiendo la hipótesis de que la curva de presiones coincida con la fibra media, y llamando Q á la componente horizontal del empuje en los arranques, en el supuesto de que esté tambien aplicado al centro de la seccion, la ecuacion de equilibrio, con la condicion de que el acortamiento de la cuerda debido á dicho empuje y á los momentos de flexion sea nulo, da

$$Q = \frac{\varphi(x)}{\int_0^l y^2 dx} \times \frac{1}{1 + \frac{lr^2}{\int_0^l y^2 dx}} = Q \times \frac{1}{1 + \frac{15r^2}{8f^2}} (*)$$

siendo la ecuacion de la parábola referida á la línea de arranques y al eje principal

$$y = f(1 - \frac{x^2}{l^2});$$

r es el radio de giro, cuyo cuadrado es $r^2 = \frac{Y}{\omega}$,

y ω el área de la seccion trasversal.

En el caso de que el arco esté sometido á un peso uniformemente repartido en toda su longitud

$$Q = \frac{pl^2}{2f} \times \frac{1}{1 + \frac{15r^2}{8f^2}}$$

en que el primer factor se debe al equilibrio estático y el segundo término del denominador procede del acortamiento debido á la fuerza horizontal del empuje; y aplicando las dimensiones acotadas en la citada figura, resulta;

$$Q = 72,397 p.$$

El momento M que actúa en un punto cualquiera es

$$M = Qy + \frac{p}{2}(l-x)^2 - pl(l-x) = 0,$$

que es una parábola que pasa por el centro del arco. Para $x=0$.

$$M = -3,31 p < 0;$$

lo cual demuestra que la hipótesis de la coinciden-

(*) Memoria de Mr. Darcel sobre los arcos metálicos. *Anales de Puentes y Calzadas* de 1862.

cia de ambas curvas es absurda, pero que M se aproximará más á cero, si la curva de presiones pasa en el centro por el trasdos del arco.

La compresion ó tension en cada punto del intrados y trasdos estará dada por

$$R = \frac{Q}{\omega} \pm \frac{Mv}{Y},$$

en que p , ó sea el peso por metro lineal, se compondrá de unos 600 kilogramos que para una primera aproximacion deducimos para la carga permanente y otros 600 kilogramos de la de prueba, que corresponden á 2 metros cuadrados del tablero del puente á razon de 300 kilogramos que admitimos para carga de prueba, por parecernos algo reducido el de 200 kilogramos, aun tratándose de una pasadera, y resulta

$$R = 3^k,24 \mp 0,54.$$

ó sean 2,70 kilogramos por el intrados y 3,78 kilogramos para el trasdos; y teniendo en cuenta que la curva de presiones pasa por el trasdos, de manera que la compresion de dicha seccion la sufrirá casi exclusivamente la cabeza superior de la doble **T**, el valor de R se duplicará, convirtiéndose en 7,56 kilogramos; esfuerzo algo excesivo, por más de que, teniendo en cuenta el efecto de las escuadras, se reducirá á poco más de 5 kilogramos por milímetro cuadrado, que es el tipo generalmente adoptado para las secciones más fatigadas de los arcos metálicos; pero como los tímpanos no están apoyados, como hemos supuesto hasta ahora, vamos á calcular las dimensiones, teniendo en cuenta la disposicion del proyecto.

20. *Cuchillos con articulaciones.*—Dijimos en el capitulo anterior que no colocamos rótulas, pero vamos á suponer que se adopten en los arranques en la curva de intrados y en la clave á $0^m,20$ del trasdos, en cuyo caso la curva de presiones será otra parábola determinada por

$$y = f'(1 - \frac{x^2}{l^2}),$$

en que $f' = 3^m,40$ será la flecha; y para conseguir que todas las moléculas sufran iguales compresiones ó tensiones, será preciso que dicha curva coincida con la línea de los centros de gravedad de las secciones, repartiéndose la materia en partes inversamente proporcionales á las distancias de dicha curva al intrados y trasdos. La recta que limita el larguero gana, como sabemos, un desnivel de $0^m,20$ de la clave á los arranques, y su ecuacion es

$$y = f' + 0,20 - \frac{0,20}{l} x$$

Ahora bien,

$$Q = \frac{p l^2}{2 f'} = 61,25 p = 73.500^k f,$$

y para hallar los esfuerzos que actúan en las cabezas del cuchillo, tanto en el intrados como en el larguero, tendremos que, por ejemplo, para $x = \frac{1}{2} l$, las ordenadas de aquellas dos líneas serán de 2^m,25 y 3^m,70; y como la de la curva de presiones es de 2^m,70, dichas fuerzas serán de

$$\frac{Q}{1,45} \times 1,00 = 50689^k \text{ y } \frac{Q}{1,45} \times 0,45 = 22810^k.$$

La seccion de cada cabeza, suponiendo que se le da 0^m,025 de espesor, es de 0^m,40 $\times$ 0^m,025, ó sean 10.000 milímetros cuadrados; y añadiendo por las escuadras 0^m,20 $\times$ 0^m,01, ó sea otros 2.000, resultan 12.000, lo que da una compresion para el intrados de 4,22 kilogramos y de 1,90 kilogramos en el trasdos, compresion que llega á 6,12 kilogramos en la clave, y que resulta excesiva.

Si la carga actuase solamente en medio tramo, se demuestra fácilmente que la línea de presiones es la recta AG (fig. 3.^a) en la parte vacía, y la parábola GD'B, cuyo eje está á $\frac{1}{4} l$ en el semitramo cargado. La subtangente JD' = D'H = 0^m,45.

El empuje será la mitad que anteriormente, ó sea 30,625 p = 18.375 kilogramos, y los esfuerzos de compresion y tension se calculan como ántes, debiendo agregarles los debidos á la carga permanente; y reuniendo luego los valores máximos que se deducen, ya sea cuando esté extendida la carga de prueba sobre todo ó sobre la mitad del tramo, llegamos á los resultados del siguiente cuadro:

ABSCISAS. Metros.	ESFUERZOS máximos en el intrados. Kilogramos.	ESFUERZOS máximos en el larguero. Kilogramos.
0	1,53	4,6
5,25	2,45	3,86
10,50	4,22	2,38
15,75	5,44	0,96
21,00	6,12	0

Vemos, pues, que el problema se simplifica notablemente para los arcos con articulaciones; pero no habiendo adoptado esta disposicion, vamos á resolverlo en toda su generalidad.

21. Cuchillos apoyados en arranques planos.—Su-

pondremos que tanto el larguero como el arco, tengan secciones constantes é iguales, y que se cuente exclusivamente con la resistencia de las cabezas extremas de la T, que son la parábola BD y la recta D'E, figura 4.^a

La línea de los centros de figura B'D' sería una parábola si fuese el larguero horizontal, y aún en el caso que nos ocupa puede admitirse dicha hipótesis, pues el error es insignificante, siendo su ecuacion

$$y = f'' \left(1 - \frac{x^2}{l^2}\right), \text{ con } f'' = 1,^m 60,$$

Sabemos que se desconoce el punto de aplicacion del empuje, y llamando i á la distancia vertical hasta el centro de figura B' y a á la altura de la seccion en un punto cualquiera, el empuje estará dado para la carga p extendida uniformemente en todo el tramo por la expresion,

$$Q = \frac{p l \int_0^l \frac{l(l-x)(y+i) dx}{r^2} - \frac{p}{2} \int_0^l \frac{(l-x)^2 (y+i) dx}{r^2}}{l + \int_0^l \frac{(y+i)^2}{r^2} dx}$$

sabemos que $r^2 = \frac{Y}{\omega}$,

y el momento de inercia, cuando el alma no tiene espesor, es $Y = \frac{1}{4} w a^2$ que da

$$r^2 = \frac{1}{4} a^2, \quad r = \frac{1}{2} a.$$

Para hacer las integraciones, procederemos por las diferencias finitas, dividiendo la luz en ocho partes, haciendo $\Delta x = \frac{l}{4}$ y

$$l - x = \frac{m l}{4},$$

en que m tomará los valores 4, 3, 2, 1, 0.

$$Q = \frac{\frac{p l^2}{4} \left(\sum \frac{m(y+i)}{a^2} - \frac{1}{8} \sum \frac{m^2(y+i)}{a^2} \right)}{1 + \sum \frac{(y+i)^2}{a^2}},$$

que para $i = 1^m, 80$, ó sea cuando el punto de aplicacion del empuje es B, y despues de hechos todos los cálculos, da para el empuje

$$Q = \frac{p l^2}{4} \times \frac{25,143 - \frac{1}{8} \times 72,429}{1 + 26,683} = 64,055 p;$$

resultado que se aproxima bastante al que hemos deducido para el cuchillo con articulaciones, que es de 61,25 p .

El momento está dado por

$$M = Q(y+i) + \frac{p}{2}(l-x)^2 - pl(l-x) = \\ = Q(y+i) + \frac{pl^2}{8}(2m - \frac{m^2}{4}).$$

Los esfuerzos de compresion ó tension en el intrados y larguero son

$$R = \frac{Q}{\omega} \pm \frac{2M}{a\omega}.$$

Si $x=l$, $R = \frac{2Q}{\omega} = 6,4$ kilogramos por milímetro cuadrado, y repitiendo las operaciones, se obtienen los siguientes esfuerzos:

i Metros.	ABCISAS. — Metros.	ESFUERZOS	
		En el intrados. — Kilógramos.	En el larguero. — Kilógramos.
1,80	0	2,86	3,54
	5,25	3,70	2,71
	10,50	5,05	1,35
	15,75	5,92	0,48
	21,00	6,40	0

Si la carga se extiende sobre medio tramo, se deduce para el momento

$$M' = Q'(y+i) - \frac{pl^2}{32}(6m-m^2);$$

en que $Q' = \frac{1}{2} Q$;

y hallando los valores correspondientes de R' , se deduce que la influencia del semi-tramo cargado sólo excede del caso en que el peso se extiende sobre toda la cercha en una parte del larguero, produciendo ligeros aumentos en el trabajo del metal.

En la Memoria hacemos también los cálculos para el caso extremo en que $i=0$, por más que esta hipótesis es sólo teórica, puesto que hay imposibilidad material de que la curva de presiones suba hasta B' , pues para ello tendría que variar la disposición del puente.

Reuniendo después en un estado los valores máximos de R para los dos casos de la sobrecarga, se ve que difieren poco de los deducidos para el cuchillo con articulaciones, siendo por consiguiente aquel método suficientemente exacto y mucho menos pesado.

(Se continuará.)

PROGRESO Y ADELANTO

DE LAS OBRAS DEL PUERTO DE CARTAGENA
durante el año económico de 1879 á 1880.

Al publicar la Junta encargada de dichas obras la cuenta general de gastos é ingresos á la terminación del año económico de 1879 á 1880, acompaña una Memoria, en la que detalladamente se expresa el progreso de las obras durante el mencionado año.

Empieza dicha Memoria por una Introduccion, en la que se hace constar el notable aumento que han experimentado las operaciones de la Junta respecto á las del año anterior.

Los ingresos procedentes de los distintos conceptos que se indican en el extracto de la cuenta general han excedido en este año á los del precedente. También, aunque en menor proporción, han sido este año mayores que en el anterior los gastos ocasionados por las obras, si bien este aumento se circunscribe á dos solos servicios, á saber: el muelle de Alfonso XII y el dragado. En la primera de estas obras se han invertido 449.000 pesetas, 258.574 más que en el año anterior, y los gastos ocasionados por el dragado han excedido en 25 por 100 á los realizados en el citado período; pero en cambio el aumento en los productos extraídos ha sido de 115 por 100.

Como resumen, y después de ligeras indicaciones sobre los gastos ocasionados por algunos otros servicios, la Junta hace constar que, á pesar de la magnitud de los trabajos en actividad, cierra su cuenta del año 1879 á 1880 con una existencia disponible en efectivo de 211.549,79 pesetas, ó sean 13.975,28 pesetas más que tenía al terminar el anterior, y además cuatro libranzas pendientes de cobro, importantes 166.666,64 pesetas.

Por Real orden de 30 de Setiembre de 1879 fué aprobado el proyecto para la terminación de las obras de este puerto, haciéndose sin embargo, por la Superioridad algunas prevenciones para su ejecución, entre las que se indicaba la conveniencia de la variación del emplazamiento del varadero para pequeñas embarcaciones, y el dique de carenas, propuestos en el proyecto. La Junta Consultiva proponía también, que el Ingeniero Jefe de la provincia, consultando previamente con las autoridades de Marina y Junta de Obras, señalara el punto que le pareciese reunir las mejores condiciones para ambos objetos. No trascurrió mucho tiempo sin que este incidente fuere remitido á la Superioridad, y á la