

lo más urgente, es servir para la comodidad del público todas las localidades atravesadas y efectuar, cuanto sea posible, el drenaje del tráfico en donde se halle.

La única objeción verdaderamente seria que pueda oponerse á la vía estrecha, es que dificulta y desvía los transportes militares. Tenemos por regla de no replicar á argumentos de esta clase y á priori de inclinar la cabeza; pero nadie negará que aun bajo ese punto de vista la vía estrecha no sea susceptible de prestar grandísimos servicios, como lo demuestran ejemplos notables, entre éstos, la línea de Arzew á Saïda y Mecheria en Argelia (vía de 1,^m055), y en particular el ferrocarril de vía de 0,^m76, construido por los austriacos en Bosnia, y que de Brood-Zenica á Serajevo, mide una longitud total de 270 kilómetros (1).

(Se continuará.)

A. DE IBARRETA.

CONSIDERACIONES ACERCA DE LA ESTABILIDAD DE LAS BÓVEDAS

DETERMINACIÓN DE LAS PRESIONES POR MEDIO DE FÓRMULAS EMPÍRICAS Y TRAZADOS GRÁFICOS

POR

DON LUIS GAZTELU,

Ingeniero de Caminos.

(Conclusión.)

V.—FÓRMULAS PARA DETERMINAR LA PRESIÓN MEDIA EN LAS DIVERSAS JUNTAS.

Hemos indicado que el procedimiento de Laterrade puede aplicarse á cada una de las juntas consideradas en el primer estudio gráfico, deduciendo fórmulas análogas á las de dicho Ingeniero para todas ellas. Imaginemos que se haya hecho la división en ocho dovelas de la porción de bóveda comprendida entre la clave y la junta de rotura, y consideremos las partes limitadas por la junta de clave y otra cualquiera. Sea (figura 2.^a) una de estas porciones, limitada inferiormente por la n^{ma} junta. Si llamamos Q al empuje en la clave, R_n á la reacción en dicha junta, P_n al peso de la porción considerada con su sobrecarga, estas tres fuerzas se harán equilibrio y formarán un triángulo HIJ, en el cual tendremos:

$$R_n = \frac{P_n}{\cos. \text{IHJ}},$$

(1) M. Nordling. Carta á la Sociedad de Ingenieros civiles, 1882.

y llamando P_n á la presión media, l_n á la longitud de la junta,

$$P_n = \frac{P_n}{l_n \cos. IHJ}.$$

En las fórmulas de Laterrade se supone el ángulo HKD recto, y por lo tanto, el IHJ igual al que forma la junta DC con la horizontal. Como el ángulo de la reacción con la normal á la junta, siendo nulo en la clave, va aumentando gradualmente hasta la junta de rotura, según se observa en todos los trazados, podemos admitir sin ningún inconveniente la hipótesis de Laterrade, puesto que esta causa de error influirá menos en nuestras fórmulas que en las de aquel Ingeniero; pero tanto éstas como las demás simplificaciones y correcciones que adoptaremos, se introducen en las fórmulas á reserva de modificar en los resultados los coeficientes por comparación con los resultados de los estudios gráficos.

Hecha esta suposición, y siendo α_n el ángulo de la junta con la vertical, la fórmula de la presión media se convertirá en

$$P_n = \frac{P_n}{l_n \text{ sen. } \alpha_n}.$$

Para determinar P_n hace falta expresar las áreas ABCD de la porción de bóveda, y AELC de la sobrecarga.

Podría expresarse la primera por medio de la fórmula empírica de M. Laterade $S = mLe$; pero los tanteos verificados para determinar el coeficiente m nos han hecho ver que no da la suficiente exactitud. En vista de ello, hemos calculado estas áreas por un procedimiento aproximado que indica el mismo autor en su Memoria.

Sea ABCD (fig. 5.^a) la sección de la bóveda hasta la junta de rotura.

El área ABCD se compone del área de la corona circular ABDE y de triángulo mixtilíneo AEC. La primera tiene por valor $\frac{\pi}{6} e (L + e)$. La segunda puede determinarse aproximadamente considerando como base del triángulo $EC = e$, y como altura el arco AE desarrollado, siendo entonces su expresión $\frac{\pi}{12} e (L + 2e)$.

La suma de ambas expresiones dará el área buscada.

Para hallar el área correspondiente á cada una de las ocho porciones que se consideran en las fórmulas, bastará considerarlas descompuestas en la misma forma. Las partes de corona circular se obtendrán multiplicando $\frac{\pi}{6} e (L + e)$ por $\frac{1}{8}$, $\frac{2}{8}$, $\frac{3}{8}$; los triángulos deben considerarse como semejantes al total, y sus áreas se calcularán multiplicando $\frac{\pi}{12} e (L + 2e)$ por $\left(\frac{1}{8}\right)^2$, $\left(\frac{2}{8}\right)^2$, $\left(\frac{3}{8}\right)^2$...

De este modo se obtendrán los valores siguientes:

$$a_1 = \frac{\pi}{48} e (L + e) + \frac{\pi}{64 \cdot 12} e (L + 2e) = 0,070 e (L + 1,05e);$$

$$a_2 = \frac{\pi}{24} e (L + e) + \frac{\pi}{16 \cdot 12} e (L + 2e) = 0,161 e (L + 1,20e);$$

$$a_3 = \frac{3\pi}{48} e (L + e) + \frac{9\pi}{64 \cdot 12} e (L + 2e) = 0,233 e (L + 1,15e);$$

$$a_4 = \frac{\pi}{12} e (L + e) + \frac{\pi}{4 \cdot 12} e (L + 2e) = 0,325 e (L + 1,20e);$$

$$a_5 = \frac{5\pi}{48} e (L + e) + \frac{25\pi}{64 \cdot 12} e (L + 2e) = 0,429 e (L + 1,24e);$$

$$a_6 = \frac{\pi}{8} e (L + e) + \frac{9\pi}{16 \times 12} e (L + 2e) = 0,540 e (L + 1,27e);$$

$$a_7 = \frac{7\pi}{48} e (L + e) + \frac{49\pi}{64 \times 12} e (L + 2e) = 0,658 e (L + 1,30e);$$

$$a_8 = \frac{\pi}{6} e (L + e) + \frac{\pi}{12} e (L + 2e) = 0,785 e (L + 1,25e).$$

La comparación de la última fórmula con la de M. Laterrade, $S = \frac{3}{4} Le$, hace ver que estos resultados son exagerados; conviene, pues, reducir los coeficientes, y para ello hemos rebajado el de la última á 0,71; así modificada es perfectamente comparable con aquélla, como puede verse por los siguientes resultados, siendo algo mayores los de la nuestra, como conviene para hallar expresiones de la presión cuyo error sea por exceso.

Valores de L.	Valores de e.	Resultados de M. Laterrade.	Valores de a_8 .
10	0,80	6,00	6,24
20	1,00	15,00	15,08
30	1,40	31,50	31,55

Los coeficientes de las fórmulas restantes se han rebajado también, pero una relacion decreciente en progresión aritmética desde la última hasta la primera, que se ha conservado intacta. Las fórmulas de las áreas que se adoptan son, pues, las siguientes:

$$\begin{aligned}
 a_1 &= 0,07 e (L + 1,05 e); \\
 a_2 &= 0,15 e (L + 1,20 e); \\
 a_3 &= 0,21 e (L + 1,15 e); \\
 a_4 &= 0,30 e (L + 1,20 e); \\
 a_5 &= 0,39 e (L + 1,24 e); \\
 a_6 &= 0,49 e (L + 1,27 e); \\
 a_7 &= 0,60 e (L + 1,30 e); \\
 a_8 &= 0,71 e (L + 1,25 e).
 \end{aligned}$$

Tratemos de evaluar las áreas de los trapecios AEFC. Estos se componen del trapecio OEFC, menos la suma de la porción de bóveda ABCD (ya calculada) y del sector OBD.

Los sectores se calculan inmediatamente, y tienen por expresiones:

$$\begin{aligned}
 a'_1 &= \frac{\pi}{192} L^2 = 0,016 L^2; \\
 a'_2 &= \frac{\pi}{96} L^2 = 0,032 L^2; \\
 a'_3 &= \frac{\pi}{64} L^2 = 0,049 L^2; \\
 a'_4 &= \frac{\pi}{48} L^2 = 0,065 L^2; \\
 a'_5 &= \frac{5\pi}{192} L^2 = 0,082 L^2; \\
 a'_6 &= \frac{6\pi}{192} L^2 = 0,098 L^2; \\
 a'_7 &= \frac{7\pi}{192} L^2 = 0,114 L^2; \\
 a'_8 &= \frac{\pi}{24} L^2 = 0,130 L^2.
 \end{aligned}$$

Falta determinar las áreas de los trapecios OEFC, para lo cual debemos determinar la ecuación de la curva de trasdós en coordenadas polares, siendo OE el eje polar y O el polo. La verdadera ecuación del círculo de trasdós tiene una forma demasiado compleja, que introduciría radicales en las fórmulas, y para evitarlo, hemos supuesto que se reemplace el arco de círculo por una espiral de Arquímedes que pase por los puntos A y C. En este caso las longitudes de las juntas aumentan, y como este aumento ejerce evidentemente mayor influencia en el denominador que en el numerador de la expresión de la presión media, hallaríamos dichas presiones por defecto. Para evitar este inconveniente, hemos observado en varios trazados que reduciendo en una relación constante dichas longitudes, se obtiene sensiblemente la curva de trasdós, y hemos podido calcular los radios sec-

tores verdaderos, ó sea las longitudes OC correspondientes á cada punto de división del intradós, reduciendo en las expresiones de los radios vectores de la espiral la parte comprendida en la bóveda, según la relación indicada.

La ecuación del trasdós será, en este supuesto:

$$\rho = \frac{L}{2} + e + \frac{e}{1,047} \alpha,$$

siendo ρ el radio vector y α el ángulo.

Basta sustituir en vez de α los valores 0° , $7^\circ 30'$, 15° , $22^\circ 30'$ 60° , ó más bien los arcos correspondientes, siendo el radio la unidad $\alpha_1 = 0$, $\alpha_2 = 0,131$, $\alpha_3 = 0,262$, $\alpha_9 = 1,047$ para obtener los valores de ρ que buscamos; reducidas las partes comprendidas en la bóveda en la relación indicada, tendremos los verdaderos valores de las longitudes OC, según se expresa á continuación:

Ángulos.	Valores de ρ en la espiral.	Reducción del coeficiente de e .	Valores de ρ corregidos.
$\alpha_1 = 0$	$\rho_1 = \frac{L}{2} + e$	0	$\rho_1 = \frac{L}{2} + e;$
$\alpha_2 = 0,131$	$\rho_2 = \frac{L}{2} + 1,125 e$	$\frac{1}{14}$	$\rho_2 = \frac{L}{2} + 1,045 e;$
$\alpha_3 = 0,262$	$\rho_3 = \frac{L}{2} + 1,250 e$	$\frac{1}{7}$	$\rho_3 = \frac{L}{2} + 1,07 e;$
$\alpha_4 = 0,393$	$\rho_4 = \frac{L}{2} + 1,375 e$	$\frac{1}{7}$	$\rho_4 = \frac{L}{2} + 1,179 e;$
$\alpha_5 = 0,524$	$\rho_5 = \frac{L}{2} + 1,500 e$	$\frac{1}{7}$	$\rho_5 = \frac{L}{2} + 1,286 e;$
$\alpha_6 = 0,655$	$\rho_6 = \frac{L}{2} + 1,625 e$	$\frac{1}{9}$	$\rho_6 = \frac{L}{2} + 1,445 e;$
$\alpha_7 = 0,786$	$\rho_7 = \frac{L}{2} + 1,750 e$	$\frac{1}{9}$	$\rho_7 = \frac{L}{2} + 1,556 e;$
$\alpha_8 = 0,917$	$\rho_8 = \frac{L}{2} + 1,875 e$	$\frac{1}{15}$	$\rho_8 = \frac{L}{2} + 1,751 e;$
$\alpha_9 = 1,047$	$\rho_9 = \frac{L}{2} + 2 e$	0	$\rho_9 = \frac{L}{2} + 2 e.$

Las alturas de los trapecios son los valores $\rho_n \cos. \alpha_n$, fáciles de calcular. Por otra parte, tienen una base común $\frac{L}{2} + e + H$, y la otra es de la forma

$$H + \frac{L}{2} + e - \rho_n \text{ sen. } \alpha_n.$$

Las áreas se expresarán, pues, en general, por la fórmula

$$A_n = \left(H + \frac{L}{2} + e - \frac{\rho_n \text{ sen. } \alpha_n}{2} \right) \rho_n \cos. \alpha_n.$$

Verificados los cálculos, se obtienen los siguientes valores:

$$A_1 = \frac{1}{2} (2H + 0,505L + 0,964e) (0,065L + 0,136e) = 0,065LH + 0,136eH + 0,165L^2 + 0,065Le + 0,059e^2;$$

$$A_2 = \frac{1}{2} (2H + 0,517L + 0,966e) (0,129L + 0,279e) = 0,129LH + 0,279eH + 0,033L^2 + 0,134Le + 0,135e^2;$$

$$A_3 = \frac{1}{2} (2H + 0,538L + 0,911e) (0,191L + 0,451e) = 0,191LH + 0,451eH + 0,031L^2 + 0,208Le + 0,205e^2;$$

$$A_4 = \frac{1}{2} (2H + 0,567L + 0,886e) (0,250L + 0,643e) = 0,250LH + 0,643eH + 0,074L^2 + 0,293Le + 0,285e^2;$$

$$A_5 = \frac{1}{2} (2H + 0,604L + 0,834e) (0,304L + 0,880e) = 0,304LH + 0,880eH + 0,092L^2 + 0,396Le + 0,376e^2;$$

$$A_6 = \frac{1}{2} (2H + 0,647L + 0,90e) (0,353L + 1,100e) = 0,353LH + 1,10eH + 0,114L^2 + 0,514Le + 0,514e^2;$$

$$A_7 = \frac{1}{2} (2H + 0,696L + 0,934e) (0,396L + 1,338e) = 0,396LH + 1,388eH + 0,138L^2 + 0,668Le + 0,648e^2;$$

$$A_8 = \frac{1}{2} (2H + 0,750L + e) (0,433L + 1,732e) = 0,433LH + 1,732eH + 0,162L^2 + 0,865Le + 0,866e^2.$$

Conocidas ya todas las áreas, los pesos se expresarán por la fórmula

$$P_n = 2.500 a_n - 1.800 (A_n - a_n - a'_n).$$

Y las reacciones se obtendrán dividiendo estos pesos por $\text{sen. } \alpha_n$.

Desarrollados los cálculos y hechas todas las reducciones, se llega a los siguientes valores de las reacciones, omitiendo la correspondiente a la primera junta, que es la de la clave.

$$R_2 = (182,7 e^2 + 166 eL + 244,8 eH + 0,90 L^2 + 117 HL) \frac{1}{0,130} =$$

$$1045,31e^2 + 1276,77 eL + 1913,85 eH + 3,47 L^2 + 900 HL;$$

$$R_3 = (369 e^2 + 346,2 eL + 502,2 eH + 1,85 L^2 + 232,2 HL) \frac{1}{0,259} =$$

$$1424,71 e^2 + 1336,68 eL + 1938,99 eH + 6,95 L^2 + 896,52 HL;$$

$$R_4 = (466,05 e^2 + 521,4 eL + 811,80 eH + 3,60 L^2 + 343,8 HL) \frac{1}{0,383} =$$

$$1216,84 e^2 + 1361,35 Le + 2119,58 eH + 9,39 L^2 + 897,65 HL;$$

$$R_5 = (765,00 e^2 + 737,4 eL + 1157,4 eH + 10,80 L^2 + 450 HL) \frac{1}{0,50} =$$

$$1530 e^2 + 1474,8 Le + 2314,8 eH + 21,6 L^2 + 900 HL;$$

$$R_6 = (1015,32 e^2 + 985,8 eL + 1584 eH + 18 L^2 + 547 HL) \frac{1}{0,609} = \\ 1667,19 e^2 + 1618,87 eL + 2600,98 eH + 29,55 L^2 + 898 HL;$$

$$R_7 = (1360,81 e^2 + 1268,2 eL + 1980 eH + 28,8 L^2 + 635,6 HL) \frac{1}{0,707} = \\ 1993,35 e^2 + 1793,77 eL + 2800,56 eH + 40,73 L^2 + 898,72 HL;$$

$$R_8 = (1712,4 e^2 + 1622,4 eL + 2498,4 eH + 43,2 L^2 + 712,8 HL) \frac{1}{0,793} = \\ 2062 e^2 + 2045,89 eL + 3150,56 eH + 5447 L^2 + 982,86 HL;$$

$$R_9 = (1800 e^2 + 2054 eL + 3117,6 eH + 57,5 L^2 + 779,4 HL) \frac{1}{0,886} = \\ 2078,65 e^2 + 2371,7 eL + 3611,54 eH + 66,51 L^2 + 900 HL.$$

Sólo falta, para obtener la presión por centímetro cuadrado en cada junta, dividir las reacciones por las longitudes de aquéllas multiplicadas por 10.000, ó sea por $10.000 l_n$.

Verificadas las operaciones, se llega á las siguientes fórmulas:

$$p_2 = 0,12 e + 0,12 L + 0,18 H + \frac{L}{e} (0,086 H + 0,0002 L),$$

$$p_3 = 0,12 e + 0,12 L + 0,18 H + \frac{L}{e} (0,082 H + 0,0005 L);$$

$$p_4 = 0,12 e + 0,12 L + 0,18 H + \frac{L}{e} (0,076 H + 0,0009 L);$$

$$p_5 = 0,12 e + 0,12 L + 0,18 H + \frac{L}{e} (0,069 H + 0,0015 L);$$

$$p_6 = 0,12 e + 0,12 L + 0,18 H + \frac{L}{e} (0,062 H + 0,0020 L);$$

$$p_7 = 0,12 e + 0,12 L + 0,18 H + \frac{L}{e} (0,056 H + 0,0026 L);$$

$$p_8 = 0,12 e + 0,12 L + 0,18 H + \frac{L}{e} (0,050 H + 0,0030 L);$$

$$p_9 = 0,12 e + 0,12 L + 0,18 H + \frac{L}{e} (0,045 H + 0,0034 L).$$

Estas fórmulas dan valores bastante aproximados considerándolos en absoluto; pero no marcan bien la ley de variación de las presiones, lo cual no debe extrañar, atendiendo á que éstas varían muy poco en un mismo perfil, y á que en el curso del cálculo ha sido preciso admitir algunas correcciones aproximadas en los valores obtenidos. Es preciso corregir los coeficientes de modo que den los mismos valores que los trazados gráficos,

para lo cual he estudiado los casos en que $L=10$, $e=0,80$; $L=20$, $e=1,20$; $L=30$, $e=1,80$ y $H=1$ en todos. Conservando la misma estructura á las fórmulas y dejando intacta la parte común á todas ellas, lo que facilita su aplicación, pueden modificarse los coeficientes del factor que multiplica á $\frac{L}{e}$, determinándolos con la condición de que para los valores límites de L , 10 y 30, por ejemplo, den los mismos resultados que el trazado gráfico. He observado que procediendo así resulta un error demasiado grande, y por defecto en las luces inmediatas á 20 metros, por lo que he preferido adoptar dos grupos de fórmulas, aplicables las del primero á luces de 5 á 20 metros, y las segundas de 20 á 35. El cálculo de los coeficientes no ofrece dificultad alguna, pues se reduce á la resolución de un sistema de dos ecuaciones de primer grado con dos incógnitas. Las fórmulas que resultan son las siguientes, incluyendo la de la clave deducida del mismo modo que las restantes, y que puede sustituir á la de Laterrade, pues da valores que difieren muy poco de los de ésta, y excesivos, al contrario de lo que sucede con aquella fórmula, que da resultados demasiado pequeños para las luces medias.

Para abreviar llamaremos K á la parte común

$$K = 0,12 e + 0,12 L + 0,18 H.$$

Fórmulas de la presión media para luces que varían de 5 á 20 metros.

$$(A) \quad \left\{ \begin{array}{l} 1 - p_1 = K + \frac{L}{e} (0,011 H + 0,007 L); \\ 2 - p_2 = K + \frac{L}{e} (0,010 H + 0,006 L); \\ 3 - p_3 = K + \frac{L}{e} (0,009 H + 0,006 L); \\ 4 - p_4 = K + \frac{L}{e} (0,008 H + 0,0058 L); \\ 5 - p_5 = K + \frac{L}{e} (0,007 H + 0,0054 L); \\ 6 - p_6 = K + \frac{L}{e} (0,006 H + 0,0051 L); \\ 7 - p_7 = K + \frac{L}{e} (0,006 H + 0,0046 L); \\ 8 - p_8 = K + \frac{L}{e} (0,005 H + 0,0045 L); \\ 9 - p_9 = K + 0,006 \frac{L^2}{e}. \end{array} \right.$$

Fórmulas de la presión media para luces de 20 á 35 metros.

$$\begin{aligned}
 (B) \quad & \left\{ \begin{aligned}
 1 - p_1 &= K + \frac{L}{e} (0,099 H + 0,0022 L); \\
 2 - p_2 &= K + \frac{L}{e} (0,099 H + 0,0021 L); \\
 3 - p_3 &= K + \frac{L}{e} (0,075 H + 0,0027 L); \\
 4 - p_4 &= K + \frac{L}{e} (0,078 H + 0,0021 L); \\
 5 - p_5 &= K + \frac{L}{e} (0,111 H + 0,0003 L); \\
 6 - p_6 &= K + \frac{L}{e} (0,081 H + 0,0012 L); \\
 7 - p_7 &= K + \frac{L}{e} (0,086 H + 0,0006 L); \\
 8 - p_8 &= K + \frac{L}{e} (0,081 H + 0,00078 L); \\
 9 - p_9 &= K + \frac{L}{e} (0,06 H + 0,0034).
 \end{aligned} \right.
 \end{aligned}$$

Los resultados que dan estas fórmulas pueden compararse á los obtenidos por los trazados gráficos en el cuadro siguiente:

Juntas.	L = 10, e = 0,80.		L = 20, e = 1,20.		L = 30, e = 1,80.	
	PRESIONES MEDIAS.		PRESIONES MEDIAS.		PRESIONES MEDIAS.	
	Trazado gráfico.	Fórmulas.	Trazado gráfico.	Fórmulas.	Trazado gráfico.	Fórmulas.
1	2,70	2,80	5,04	5,24	6,66	6,75
2	2,62	2,75	5,00	5,07	6,61	6,70
3	2,51	2,60	4,80	4,90	6,52	6,60
4	2,45	2,55	4,64	4,80	6,24	6,35
5	2,40	2,50	4,60	4,70	5,91	6,00
6	2,30	2,40	4,41	4,55	5,84	5,95
7	2,26	2,30	4,32	4,40	5,65	5,74
8	2,23	2,28	4,34	4,33	5,75	5,70
9	2,41	2,45	4,75	4,74	6,44	6,50

Las fórmulas (1) de ambos grupos (A) y (B) coinciden, según hemos indicado, con las de Laterrade; para L = 15 da la nuestra 4,15 y aquella 4,10; para L = 25 se obtiene 7,15 y 7,05 respectivamente, y parecidas diferencias resultan en las luces de 12, 17, 22 y 27 metros.

Habiéndose establecido la primera obedeciendo á la ley que marcan las demás, deben todas ser igualmente aproximadas, y puede convencerse de ello aplicándolas á diferentes luces por los resultados que dan, conformes con la ley que se observa en los trazados que han servido, por decirlo así, de puntos de referencia.

VI.—CASO DE LAS BÓVEDAS REBAJADAS.

Consideraciones generales acerca de la aplicación de las fórmulas.

Las fórmulas anteriores pueden aplicarse aproximadamente al caso de las bóvedas rebajadas. En efecto, hemos indicado que cuando éstas se trazan con la condición de que la proyección vertical de la junta de arranque sea igual al espesor en la clave, la bóveda en cuestión forma parte de otra bóveda completa, cuya luz es la del arco de intradós, y cuyo trasdós se haya trazado tomando por longitud de la junta de arranque el doble del espesor en la clave, coincidiendo sensiblemente las curvas de trasdós de ambas bóvedas. Habrá, pues, en la segunda un cierto número de juntas pertenecientes á la bóveda rebajada, y á estas juntas se podrán aplicar las fórmulas correspondientes.

Estas fórmulas pueden emplearse *exclusivamente* sustituyendo á los trazados gráficos en los frecuentes casos que se presentan en la práctica de arcos comprendidos entre 5 y 20 metros de luz. Para arcos de luces mayores convendrá, generalmente, comprobar sus resultados con el trazado gráfico, ya porque tales bóvedas tienen una importancia suficiente para exigir un estudio más detenido, ya porque tratándose de arcos rebajados no se aplican las fórmulas exactamente. Pero aun en este caso podrán ser muy útiles para los tanteos previos, siendo fácil calcular los resultados del método de Méry para todas las soluciones que convenga comparar, aunque sólo sea aproximadamente.

Hay además otra razón que aconseja la comprobación gráfica cuando el diámetro del intradós es superior á 20 metros, y es la conveniencia de conocer la situación de la curva en las diversas juntas, acerca de la cual nada pueden indicar las fórmulas, y cuyo conocimiento puede tener interés para saber cuales son las regiones comprometidas de la bóveda que se estudia.

Hemos visto la facilidad y rapidez con que puede llevarse á cabo el estudio gráfico, pudiéndose asegurar que un operador medianamente ejercitado puede efectuarlo en poco más de una hora, y no es, por lo tanto, un trabajo que sea lícito omitir, tratándose del proyecto de una obra importante, como lo es siempre una bóveda de más de 20 metros de luz.

Pueden también tener útil aplicación nuestras fórmulas para redactar

tablas ó cuadros gráficos, auxiliando poderosamente al trazado gráfico, que bastaría aplicar á un corto número de casos para rectificar los pequeños errores de las fórmulas en los casos intermedios.

No deben perderse de vista en las aplicaciones las condiciones en que han sido establecidas las fórmulas. Por lo tanto, debe siempre recordarse que los valores que dan con exactitud son los correspondientes á luces de 10, 20 y 30 metros, hallándose suficientemente comprobadas para las intermedias; pero que no convendrá aplicarlas á luces inferiores á 6 metros ni superiores á 34.

Las fórmulas son, pues, aplicables á todos los casos que ordinariamente se presentan en la práctica, porque deben considerarse como extraordinarias las luces superiores á 34 metros. Citaremos para confirmar esta aserción dos testimonios importantes. Mr. Leblanc, Ingeniero francés que se distinguió por el gran número de puentes de fábrica cuya construcción tuvo á su cargo, no admitía como solución económica en la práctica las bóvedas de luces superiores á 20 metros. Mr. Sejourné, autor de una importante y reciente monografía de los puentes de Castelet, Lavaur y Antcinet de 41, 61 y 50 metros de luz respectivamente, y partidario de los arcos de fábrica de grandes luces, dice textualmente acerca de éstos (1): «Quizás resultará un aumento de gasto; pero el arte de la construcción de puentes nunca se perfeccionará demasiado, y no puede perfeccionarse sin grandes ejemplos; costará más la obra que se emprende, pero costarán menos las que se emprendan en lo sucesivo.» Es decir, que considera que deben construirse arcos de fábrica de grandes luces como un medio de experimentación, pero aceptando desde luego un aumento de coste, y por lo tanto, no las considera como solución práctica.

Deberá, finalmente, tenerse presente que nuestras fórmulas se han establecido para valores de $H = 1$, y no serán aplicables á los casos de grandes sobrecargas. Pero es sabido que las ordinarias y más frecuentes en la práctica son inferiores á la unidad, y por lo tanto, esta restricción carece de importancia.

Zaragoza 9 de Marzo de 1887.

LUIS GAZTELU,
Ingeniero de Caminos.

(1) Il en résultera peut-être un surcroît de dépense, mais l'act des Ponts ne saurait être trop perfectionné et il ne peut l'être que par de grands exemples; il en coûte plus pour l'ouvrage qu'on entreprend, mais il en coûte moins pour ceux qui suivent.

MADRID: 1887.

ESTABLECIMIENTO TIPOGRÁFICO DE GREGORIO JUSTE.
Calle de Pizarro, número 15, bajo.