

MADRID, 15 DE DICIEMBRE DE 1877.

TOMO XXV.

NÚM. 24.

SUMARIO.

Resistencia de materiales (conclusion), por E. de P.—
Nuevo sistema de via, por D. Adolfo De Soignie.—Ley
de Obras públicas (conclusion).—Parte oficial.—Subas-
tas.—Suelto.—Anales de la construccion y de la in-
dustria.

RESISTENCIA DE MATERIALES.

Método nuevo para el trazado de la curva de
presiones en las bóvedas de fábrica,

por

M. SZYSTOWSKI.

(Conclusion.)

Efectuando las operaciones indicadas, tendré-
mos:

$$y_0 = \frac{1}{P} \left[x_0 \int_0^x p \{ f(x) + \alpha \} dx - \int_0^x p \{ f(x) + \alpha \} x dx \right]$$

de donde

$$(16) \quad P = \frac{1}{y_0} \left[x_0 \int_0^x p \{ f(x) + \alpha \} dx - \int_0^x p \{ f(x) + \alpha \} x dx \right]$$

Harémos observar de paso que las cantidades x_0
é y_0 están ligadas por la ecuacion (9)

$$y_0 = F(x_0);$$

por consiguiente, combinando las ecuaciones (9),
(10), (14), (15) y (16) obtendrémos la ecuacion de-
finitiva, que permite calcular el empuje en la cla-
ve, que será:

$$(17) \quad P = \frac{d x_0}{d y_0} \times \frac{d Y_0}{d X_0} \times P_0$$

Método simplificado para trazar la curva M K L.

Hemos visto en lo que precede que la construc-
cion de la curva de presiones depende principal-

mente del conocimiento de la curva M K L; sería
por tanto muy natural fijar más nuestra atencion
sobre su construccion.

Es verdad que hemos dado ya un medio para
trazar esta curva, que si bien es natural bajo el
punto de vista científico, y aplicable á bóvedas de
cualquier forma, deja mucho que desear bajo el
punto de vista práctico, porque el trazado de las
tangentes á las curvas X E V, H E' U, valiéndose de
la escuadra, no puede satisfacer en manera algu-
na las exigencias de una precision matemática.

Para aumentar esta precision tan indispensable
vamos á tratar de utilizar los principios de la for-
macion de las curvas X E V y H E' U y la aplica-
rémos al problema que hemos elegido en el pre-
sente trabajo.

La bóveda de que aquí nos ocupamos es la elip-
tica A B C D; cuyos trasdós é intradós están repre-
sentados por arcos de elipses A D y C B; por consi-
guiente la curva X E V, lugar geométrico de los
puntos distantes del intradós una cantidad igual al
tercio de las longitudes de las juntas correspon-
dientes, debe ser tambien un elipse.—Sabemos
por otra parte que el trazado de las tangentes á
una elipse se ejecuta muy fácil y exactamente, re-
cordando que las sub-normales de esta curva tie-
nen la propiedad siguiente:

$$\frac{s}{p} = \frac{b^2}{a^2},$$

representando s la sub-normal $\Xi \eta$ del punto δ , x la
abscisa del mismo punto y a y b los dos semi-ejes
de la elipse.

Bastará, pues, calcular los valores de b^2 y a^2 ,
trasladarlos despues sobre las rectas $o Y$ y $o D$, to-
mando en ellas las longitudes proporcionales $O b$ y
 $O a$, y unir en seguida el punto b con el a .

Para trazar la tangente á la elipse X E V en el
punto δ , bastará trazar la vertical $\delta \zeta$, y desde el
punto ε , sobre la recta εO , tomar el valor:

$$\varepsilon \eta = \mu \gamma = \frac{b^2}{a^2} x.$$

Unir en seguida el punto η con δ y tirar la δM
perpendicular á la normal $\delta \eta$; la recta así encon-

trada será precisamente la tangente que se busca.

Para trazar las tangentes á la curva HE' U es menester construir desde luego la curva auxiliar B T T', cuyas ordenadas contadas á partir de B J son proporcionales á los pesos de las partes de la bóveda comprendidas entre la clave y la vertical correspondiente. Los pesos se han reducido á la escala adoptada para trazar el polígono de las fuerzas; así la ordenada $f_1 f_2 = (1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6 + \dots)$

Para tener la tangente á la curva HE' U en el punto γ , es menester trazar desde luego por dicho punto la vertical $\gamma_1 \gamma_2$ y por el punto γ_2 la horizontal $\gamma_1 \gamma_3$ hasta la intersección con el polígono de las fuerzas B Y, y en seguida es menester tirar γM paralela al radio R γ_3 .

Recordando las propiedades del polígono de las fuerzas y del polígono polar, vemos que la recta γM es y debe ser tangente á la curva HE' U.

Las rectas M y γM tienen además la propiedad de que permaneciendo tangentes á las curvas XEV y HE' U, sus puntos de tangencia están colocados sobre la misma vertical $\gamma_1 \gamma_2$, y por consiguiente, el punto M pertenece á la curva M K L.

IV.—SUPLEMENTO.

Fórmulas empíricas para calcular los espesores en la clave.

Sabiendo por experiencia de cuánta utilidad son los datos prácticos contenidos en el presente capítulo, nos hemos decidido á reunirlos aquí, en la confianza que podrán prestar grandes servicios en la redacción de proyectos.

Notaciones.—Adoptamos constantemente la misma notación para todas las fórmulas que siguen, que podemos reunir aquí de la manera siguiente:

e representa el espesor de la clave.

f la flecha. —

D la luz.

R el radio del intradós para las bóvedas en arco de círculo.

H la altura del terraplen encima del trasdós.

1.º *Fórmula de Perronet* para las bóvedas de medio punto:

$$e = 0,0547 D + 0^m,525$$

Para luces mayores de 50^m, da esta fórmula espesores demasiado grandes.

2.º *Fórmulas de Déjardin.*—(a) Bóvedas de medio punto

$$e = 0,08 D + 0^m,50$$

(b) — Bóvedas escarzanadas.

$$e = 0,050 R + 0^m,50 \text{ para la luz de } 60^m,00$$

$$e = 0,055 R + 0^m,50 \text{ » » } 50^m,00$$

$$e = 0,020 R + 0^m,50 \text{ » » } 40^m,00$$

(c) — Bóvedas carpaneles rebajadas á $\frac{1}{3}$

$$e = 0,07 R_1 + 0^m,50$$

R_1 representa el radio de curvatura del intradós en la clave de la bóveda.

3.º *Fórmula de Leveillé*

$$e = 0^m,55 + \frac{1}{50} D$$

4.º *Fórmula de Lesguillier.*

$$e = 0,2 \sqrt{D} + 0^m,10$$

5.º *Fórmula empleada en Austria y Rusia.*

$$e = 0,45 + \frac{1}{10} R + \frac{1}{50} H.$$

En esta fórmula se tiene en cuenta el terraplen.

6.º *Fórmula de Culmann de Zurich.*

$$e = 0^m,50 + 0,025 D + 0,02 R.$$

7.º *Fórmula Minard*, deducida de los datos prácticos contenidos en su obra titulada «*Navigation des rivières et canaux*».

$$e = 0,65 + (D - 5^m,00) 0,06.$$

Esta fórmula sirve para determinar el espesor en la clave para los depósitos de agua, cuando la altura de ésta es igual á 4^m,65.

Cuando D es igual á 5^m,00, el espesor en la clave debe ser igual á 0^m,60.

Reglas prácticas que deben seguirse para hacer un proyecto de bóveda.—Las reglas que siguen se han tomado del curso explicado en la Escuela de Puentes y Calzadas por M. Croizette-Desnoyer.

I.—*Bóvedas de medio punto.*—1.º El espesor en la clave se obtiene por medio de la fórmula siguiente:

$$e = 0,15 + 0,15 \sqrt{2 R},$$

en donde R , representa el radio de la bóveda. —

2.º A la altura correspondiente á la mitad de la fle-

cha, el espesor de la bóveda medido según la longitud de la junta, debe ser doble del adoptado en la clave.

Para la bóveda de medio punto, la flecha es igual al radio.

3.º El trasdós de la bóveda debe ser un arco de círculo que pase por dos puntos situados como hemos dicho antes.

4.º La ecuación empírica entre la luz del arco x y el empuje en la clave y es ésta:

(a) tímpanos macizos.

$$y = 750 x + 74,75 x^{1,89}$$

(b) tímpanos aligerados

$$y = 869 x + 64,50 x^{1,81}$$

Véanse las tablas I, II, III.

II.—*Bóvedas en arco de círculo*.—1.º El espesor en la clave debe calcularse por la fórmula:

$$e = 0'15 + 0'15 \sqrt{2 R},$$

en donde R representa el radio del intradós.

2.º El espesor de la bóveda en los arranques debe ser igual á

1,80 e —	para las bóvedas rebajadas á	$\frac{1}{4}$
1,40 e —	»	$\frac{1}{6}$
1,25 e —	»	$\frac{1}{8}$
1,15 e —	»	$\frac{1}{10}$
1,10 e —	»	$\frac{1}{12}$

3.º El trasdós de la bóveda debe pasar por dos puntos situados conforme ántes se ha indicado.

4.º El empuje en la clave se obtiene por medio de las tablas IV y V.

III.—*Bóvedas elípticas*.—1.º El espesor en la clave debe calcularse por medio de la fórmula:

$$e = 0,15 + 0,15 \sqrt{2 R}$$

en donde R representa el radio del círculo rebajado al mismo grado que la elipse considerada.

2.º El espesor de la bóveda, medido según la longitud de la junta correspondiente á la mitad de la longitud de la flecha, debe ser igual á

2,00 e	para la elipse rebajada á	$\frac{1}{5}$
1,80 e	»	$\frac{1}{4}$
1,80 e	»	$\frac{1}{5}$

3.º El trasdós de la bóveda debe ser una elipse que pase por los dos puntos que están indicados más arriba.

4.º Las ecuaciones que indican la relación entre la luz de la bóveda x y el empuje en la clave y son:

Para los tímpanos macizos:

(a) — Rebajada al $\frac{1}{5}$

$$y = 1145 x + 100,55 x^{1,35}$$

(b) — Rebajada al $\frac{1}{4}$

$$y = 1550 x + 161,00 x^{1,73}$$

(c) — Rebajada al $\frac{1}{5}$

$$y = 1560 x + 265,70 x^{1,71}$$

Véanse las tablas VI y VII.

TABLA I.—Bóvedas de medio punto.

Esta tabla contiene los resultados pertenecientes á bóvedas completamente terminadas, despues del descimbramiento.

Luz de la bóveda.	Espesor en la clave.	Altura de la mampostería encima del fuste, en la clave.	BÓVEDAS CON TÍMPANOS MACIZOS.				BÓVEDAS CON TÍMPANOS ALIGERADOS.			
			Angulo de la junta de rotura.	Empuje horizontal.	Empuje medio en la clave.	Empuje medio en la junta de rotura.	Angulo de la junta de rotura.	Empuje horizontal.	Empuje medio en la clave.	Empuje medio en la junta de rotura.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
10	0,62	0,40	32°	13,340	2,15	2,31	32°	12,340	1,99	1,96
20	0,82	0,40	31°	36,720	4,48	4,99	32°	31,730	3,87	3,76
30	0,97	0,40	28°	69,000	7,11	8,49	32° 5'	54,740	5,64	5,28
40	1,10	0,40	27°	109,880	9,99	12,30	32° 40'	85,650	7,79	7,08
50	1,21	0,40	26°	159,020	13,14	16,57	33° 00'	118,190	9,77	8,99
60	1,31	0,40	25°	216,360	16,52	21,26	33° 45'	159,190	12,17	11,32
70	1,40	0,40	24°	281,720	20,12	26,39	33° 52'	205,250	14,66	13,53
80	1,49	0,40	23°	355,080	23,83	31,95	33° 58'	248,900	16,70	15,31
90	1,57	0,40	23°	436,270	27,79	37,34	33° 54'	297,840	18,97	17,48
100	1,65	0,40	22°	525,220	31,83	43,64	33° 47'	352,250	21,35	19,83

TABLA II.—Bóvedas de medio punto.

Esta tabla contiene los resultados durante el descimbramiento.

Luz de la bóveda.	Circulo de la junta de rotura.	Empuje horizontal.	EMPUJE MEDIO.	
			En la clave.	En la junta de rotura.
1	2	3	4	5
20 ^m	38°	19,200 ^k	2 ^k ,34	2 ^k ,12
60 ^m	40° 30'	91,970	7,02	6,24
100 ^m	45° 35'	193,580	11,78	10,38

TABLA III.—Bóvedas de medio punto.

Esta tabla contiene resultados comparativos entre puentes construidos para ferro-carriles ó para carreteras.

Luz de la bóveda.	Espesor en la clave.	PUENTES PARA CARRETERAS.				PUENTES PARA FERRO-CARRILES.			
		ALTURA CORRESPONDIENTE Á LA CARGA.		EMPUJE MEDIO EN LA CLAVE.		ALTURA CORRESPONDIENTE Á LA CARGA.		EMPUJE MEDIO EN LA CLAVE.	
		Permanente.	Permanente con sobrecarga.	Permanente.	Permanente y accidental.	Permanente.	Permanente y accidental.	Permanente.	Permanente y accidental.
20	0,82	0,40	0,62	3,87	4,25	1,00	1,55	4,90	5,87
60	1,31	0,40	0,62	12,17	21,89	1,00	1,55	14,13	15,93
100	1,65	0,40	0,62	21,35	22,28	1,00	1,55	23,92	26,29

TABLA. IV.—Bóvedas en arco de círculo.

Esta tabla contiene los resultados pertinentes á bóvedas completamente terminadas con timpanos macizos.

Surbais- sement.	Luz de la bóveda. D.	Espesor en la clave. e	Coefi- ciente del espe- sor en la junta de arran- que.	Empuje horizontal.	EMPUJE MEDIO		Surbais- sement.	Luz de la bóveda. D.	Espesor en la clave. e	Coefi- ciente del espe- sor en la junta de arran- que.	Empuje horizontal.	EMPUJE MEDIO	
					en la clave.	en los arran- ques.						en la clave.	en los arran- ques.
1	2	3	4	5	6	7	1	2	3	4	5	6	7
1/4	10 ^m	0,68	1,80	18,310	2,69	2,83	1/8	10 ^m	0,84	1,25	30,350	3,61	3,54
	20	0,90	id.	50,950	5,66	6,11		20	1,13	id.	85,860	7,60	7,43
	30	1,07	id.	95,620	8,94	9,84		30	1,35	id.	159,630	11,82	11,60
	40	1,21	id.	152,160	12,57	14,01		40	1,53	id.	249,880	16,33	16,08
	50	1,34	id.	220,540	16,46	18,52		50	1,70	id.	355,430	20,91	20,65
	60	1,45	id.	299,160	20,63	23,40		60	1,84	id.	477,140	25,93	25,67
	70	1,55	id.	388,010	25,03	28,60		70	1,98	id.	613,810	31,00	30,77
	80	1,65	id.	489,340	29,66	34,01	1/10	10	0,92	1,15	36,620	3,98	3,98
	90	1,74	id.	600,050	34,49	39,75		20	1,23	id.	102,390	8,32	8,28
1/6	10	0,76	1,40	24,620	3,24	3,21		30	1,47	id.	191,300	13,01	12,93
	20	1,02	id.	68,210	6,69	6,67		40	1,68	id.	299,590	17,83	17,74
	30	1,21	id.	127,490	10,54	10,65		50	1,86	id.	424,190	22,81	22,74
	40	1,37	id.	200,690	14,65	14,87		60	2,02	id.	566,750	28,06	28,01
	50	1,52	id.	286,750	18,86	19,32	1/12	10	0,98	1,10	41,400	4,22	4,26
	60	1,65	id.	388,780	23,56	24,22		20	1,33	id.	118,820	8,93	8,98
	70	1,77	id.	501,000	28,30	29,25		30	1,59	id.	221,980	13,96	13,97
	80	1,87	id.	626,160	33,31	34,63		40	1,81	id.	347,380	19,19	19,27
								50	2,01	id.	494,193	24,59	24,63

TABLA V.—Bóvedas en arco de círculo.

Esta tabla contiene los resultados relativos á las bóvedas en arco de círculo completamente acabadas, con timpanos aligerados.

Surbaisement. $\frac{f}{D}$	Luz de la bóveda.	Espesor en la clave.	Empuje horizontal.	EMPUJE MEDIO	
				en la clave.	en la junta de rotura.
1/4.....	50 ^m	1,34 ^m	180,600 kilóg.	13 ^k ,50	13 ^k ,25
	90	1,74	458,712	26,36	26,53
1/6.....	50	1,52	254,520	16,74	15,89
	80	1,88	523,728	27,85	26,49
1/8.....	50	1,70	317,544	18,67	17,53
	70	1,98	524,976	26,51	24,92
1/10.....	50	1,86	388,584	20,89	20,26
	60	2,02	509,736	25,23	24,44
1/12.....	50	2,01	468,840	23,32	22,98

TABLA VI.—Bóvedas elípticas.

Esta tabla contiene los resultados relativos á las bóvedas elípticas completamente terminadas con tímpanos macizos.

Surbais- sement	Luz de la bóveda.	Espesor en la clave.	Coefi- ciente del espe- sor de la junta corres- pondien- te á la mitad de la flecha.	Empuje horizontal.	EMPUJE MEDIO		Surbais- sement	Luz de la bóveda.	Espesor en la clave.	Coefi- ciente del espe- sor de la junta corres- pondien- te á la mitad de la flecha.	Empuje horizontal.	EMPUJE MEDIO	
					en la clave.	en la junta de rotura.						en la clave.	en la junta de rotura.
$\frac{f}{D}$	D.	e.			6	7	$\frac{f}{D}$	D.	e			6	7
1/3..	10 ^m	0,64	2,00	18,550	2,89	2,12	1/4..	40 ^m	1,21	1,80	168,420	13,92	10,14
	20	0,85	id.	48,510	5,71	4,32		50	1,34	id.	238,070	17,77	13,44
	30	1,00	id.	88,570	8,86	6,78		60	1,45	id.	316,470	21,83	16,22
	40	1,14	id.	138,130	12,12	9,52		70	1,55	id.	404,310	26,09	19,56
	50	1,25	id.	196,760	15,74	12,63		80	1,65	id.	500,940	30,36	23,22
	60	1,36	id.	264,180	19,42	16,47		90	1,74	id.	606,090	34,83	26,65
	70	1,46	id.	340,130	23,31	19,99							
	80	1,55	id.	424,440	27,38	24,10		10	0,72	1,60	27,120	3,77	2,80
	90	1,63	id.	516,920	31,71	28,01		20	0,96	id.	71,450	7,44	5,58
	100	1,71	id.	617,440	36,11	32,07		30	1,14	id.	129,310	11,34	8,18
1/4..	10	0,68	1,80	23,200	3,41	2,41	1/5..	40	1,29	id.	199,160	15,44	11,53
	20	0,90	id.	60,320	6,70	4,81		50	1,43	id.	280,010	19,58	14,71
	30	1,07	id.	109,070	10,19	7,39		60	1,55	id.	371,170	23,95	18,02
								70	1,66	id.	472,100	28,44	21,49
								80	1,76	id.	582,380	33,09	25,11

TABLA VII.—Bóvedas elípticas.

Esta tabla contiene los resultados relativos á bóvedas elípticas completamente terminadas con tímpanos aligerados.

Surbaissement	Luz de la bóveda.	Espesor en la clave.	Empuje horizontal.	EMPUJE MEDIO	
				en la clave.	en la junta de rotura.
$\frac{f}{D}$					
1/3.....	50 ^m	1,25	156,240 kilóg.	12,50	8,69
	70	1,46	276,000	18,90	13,51
	90	1,63	387,600	23,78	18,10
1/4.....	50	1,34	198,240	14,79	9,81
	70	1,55	331,920	21,41	13,53
	90	1,74	496,800	28,55	19,13
1/5.....	50	1,43	244,440	17,04	12,38
	80	1,76	490,800	27,89	19,96

E. DE P.

NUEVO SISTEMA DE VIA.

Presentan á menudo las playas del Océano un cuadro sobremano interesante y rico de enseñanzas. La zona más elevada, que marca de las olas el avance más embravecido y la frontera de su dominio, aparece generalmente constituida de cantos rodados, y nos brinda no pocas veces un tipo que no debiéramos olvidar en nuestros pro-

yectos de defensa, en nuestras obras hidráulicas; la zona que la sigue y parece de las rompientes el campo obligado, sólo presenta una masa incoherente, arenas profundamente removidas, que nos dicen la lucha de los elementos, útil sin duda á la gran obra de la naturaleza; más abajo, y próxima al mayor retroceso de las aguas, se extiende una tercera zona, cuyas condiciones sorprenden doblemente por el antagonismo que con las precedentes ofrece, pues constituida de materias per-