

REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS.

MADRID, 30 DE OCTUBRE DE 1887.

4.^a Serie.

Tomo 5.^o

Número 20.

AÑO XXXV DE LA PUBLICACIÓN.

SUMARIO.

Puerto de Barcelona. Estudio teórico y práctico de los bloques huecos propuestos para la construcción de los nuevos muelles, por D. Julio Valdés, Ingeniero de Caminos (continuación).—Consideraciones acerca de la estabilidad de las bóvedas, por D. Luis Gaztelu, Ingeniero de Caminos (conclusión).—Los ferrocarriles de interés local. Ventajas de la vía estrecha, por M. Aug. Moreau.—Lámina 62: *Puerto de Barcelona*.

PUERTO DE BARCELONA

ESTUDIO TEÓRICO Y PRÁCTICO DE LOS BLOQUES HUECOS PROPUESTOS PARA
LA CONSTRUCCIÓN DE NUEVOS MUELLES.

(Continuación.)

Del examen de la curva de presiones pueden deducirse de un modo completo las condiciones de estabilidad del bloque aislado. Desde luego se comprueba la resistencia al giro y á la traslación, demostrada anteriormente por las relaciones de los empujes gráficos, puesto que dicha curva cae por entero en el *núcleo* de la semi-bóveda. Nos resta, pues, comprobar su resistencia á la compresión y al deslizamiento.

Resistencia al aplastamiento.—De dos modos puede examinarse esta resistencia, á saber: por el trazado de las *curvas límites* y por su comprobación directa en cada uno de los segmentos.

Primer método.—Se entiende, como sabemos, por *curvas límites* para los esfuerzos de compresión en una bóveda cualquiera, las trazadas de tal modo que en cada uno de los planos de junta, las extensiones de los mismos comprendidas entre sus perímetros y las curvas del trasdós ó el intradós respectivamente, sean suficientes para que la presión máxima, debida á la acción de las fuerzas que sobre ellas actúan, iguale con toda exactitud al límite práctico de resistencia al aplastamiento.

Claro es que si la curva de presiones queda comprendida en toda su extensión entre las dos límites citadas, la estabilidad por *compresión* quedará asegurada, y bastará para comprobarla y aun para apreciar su mayor

ó menor coeficiente en cada junta, dirigir una simple ojeada sobre los trazados correspondientes.

Para la determinación de estas curvas hay que empezar por deducir el valor de la presión efectiva P en cada una de las juntas, y una vez conocida, podrá deducirse el esfuerzo máximo de compresión correspondiente, tomando los $\frac{2}{3}$ de su valor, que se han de suponer aplicados á toda su extensión superficial. Ahora bien; como este esfuerzo ha de ser igual al límite de resistencia, bastará dividir el valor de $\frac{2}{3} P$ por dicho límite para obtener la extensión de junta comprendida entre las curvas y los perímetros del trasdós y del intradós.

Comenzaremos, por lo tanto, por hallar los valores sucesivos de P , y para ello conviene recordar que cada una de las resultantes totales en cada segmento, que llamaremos R , debe descomponerse en dos direcciones: normal la una, y paralela la otra al plano de la junta inferior. La primera representará el esfuerzo total de compresión, ó sea la fuerza P , y la segunda el llamado de deslizamiento, siendo sus valores respectivos, llamando θ al ángulo de la resultante con la componente normal, y T al esfuerzo tangencial.

$$P = R \cos. \theta;$$

$$T = R \sin. \theta.$$

El valor de θ (y de sus líneas trigonométricas, por lo tanto), puede deducirse con suma sencillez de los datos del problema, como puede verse á continuación.

Dos casos pueden ocurrir en la práctica, según que la resultante R corte á la junta del segmento á la derecha ó á la izquierda de la normal en su punto de aplicación; pero las fórmulas deducidas en una y otra hipótesis, conducen, como es natural, á resultados completamente idénticos.

Sean RR' la resultante total en el segmento que tiene por base la junta ab ; oR' la vertical que pasa por el centro de la bóveda; RP y RT las componententes normal y tangencial con relación á la junta ab ; θ el ángulo de RR' con RP ; α el de la junta con la vertical, y, finalmente, ψ el de ésta con la resultante RR' .

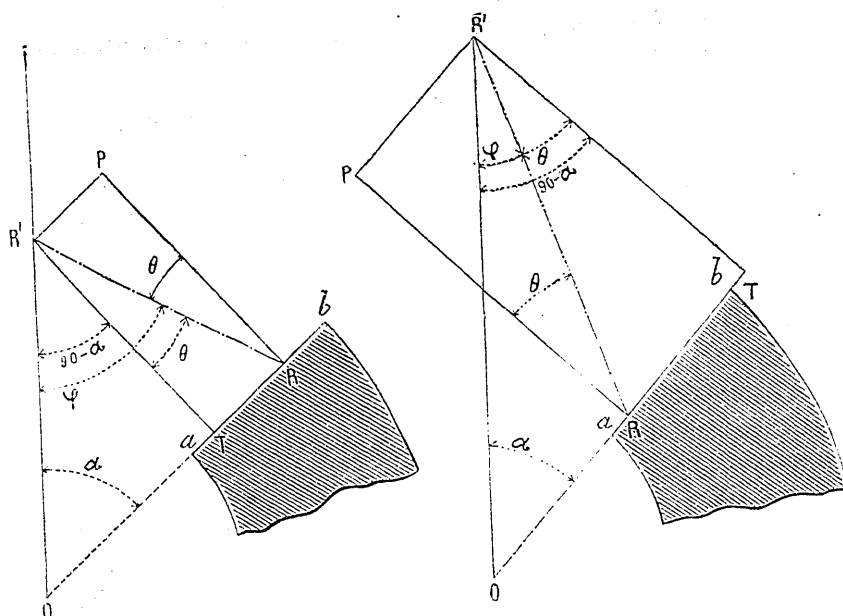
Con estos datos, tendremos:

Primer caso:

$$RP' = \cos. \theta = RR' \cos. (\psi - (90^\circ - \alpha)) = RR' \cos. (\psi + \alpha - 90^\circ).$$

Segundo caso:

$$RP = RR' \cos. (90^\circ - \alpha - \psi) = RR' \cos. (90^\circ - (\psi + \alpha));$$



(Figuras 17 y 18.)

pero $(\psi + \alpha) - 90^\circ$ y $90^\circ - (\psi + \alpha)$ se diferencian en 180° ; luego sus líneas trigonométricas serán iguales, bastando aplicar una cualquiera de las fórmulas, y como α y ψ son perfectamente conocidos, el primero por los datos del problema, y el segundo por la relación entre el empuje y los pesos de los segmentos (que nos dará su tangente), de aquí que se pueda deducir inmediatamente el valor de $\cos. \theta$, y por lo tanto, el de P .

En el adjunto cuadro se han agrupado en el orden natural de su determinación los diversos elementos que han servido para el trazado de las curvas límites figuradas en el plano con líneas de trazos de carmín.

PRIMERA SOLUCIÓN.

Juntas	R.	α .	ψ .	θ .	Cos. θ .	$P = R \cos. \theta$.	$\frac{2}{3} P$.	$\frac{2}{2} P$. Kilogs.	Distan- cias nu- méricas.
Clave	0,255	0	90°	0	1	0,255	0,170	4.235	0,0303
1. ^a	0,378	15°	$41^\circ, 49'$	$33^\circ, 11'$	0,837	0,312	0,208	5.181	0,0370
2. ^a	0,608	30°	$25^\circ, 50'$	$34^\circ, 10'$	0,866	0,526	0,351	8.743	0,0624
3. ^a	0,840	45°	$17^\circ, 43'$	$27^\circ, 17'$	0,889	0,737	0,491	12.230	0,0873
4. ^a	1,008	60°	$14^\circ, 41'$	$15^\circ, 19'$	0,964	0,972	0,648	16.150	0,1153
5. ^a	1,090	75°	$13^\circ, 26'$	$1^\circ, 34'$	0,999	1,089	0,726	18.084	0,1290
6. ^a	1,103	90°	$13^\circ, 6'$	$13^\circ, 6'$	0,974	1,075	0,716	17.851	0,1275
7. ^a	1,117	90°	12°	12°	0,978	1,093	0,789	18.157	0,1297
8. ^a	1,138	90°	0	0	1	1,138	0,759	18.905	0,1350

Como se ve, la curva de presiones cae dentro toda ella de las curvas límites. Tenemos, pues, la seguridad de que en ningún punto del bloque se halla sometido el material á un esfuerzo superior al límite de resistencia; pero si queremos determinar la importancia de estos esfuerzos en cada una de las juntas de la bóveda y segmentos inferiores, es más conveniente hacer uso del segundo método de comprobación, ó sea el de la determinación directa de las presiones máximas por unidad superficial.

Segundo método.—Las fórmulas generales que nos dan las presiones máximas por unidad de superficie en los extremos ó aristas de cada junta, tienen por expresión, en el caso de que la curva de presiones caiga dentro del núcleo ó tercio medio de la bóveda

$$R_1 = \frac{P}{\Omega} \left(1 + \frac{6e}{\Omega} \right); \quad R_2 = \frac{P}{\Omega} \left(1 - \frac{6e}{\Omega} \right),$$

en las que

P = Presión normal igual á la componente de R .

Ω = Longitud representativa del área de la junta.

e = Distancia del punto medio de la junta al de cruce de ésta con la curva de las presiones.

Dichas fórmulas se reducen á la forma más sencilla:

$$R_1 = \frac{6M_1}{\Omega^2}; \quad R_2 = \frac{6M_2}{\Omega^2},$$

representando por M_1 y M_2 los momentos de la fuerza P con relación á cada uno de los puntos límites del *núcleo*.

Sustituyendo para cada una de las juntas en las ecuaciones anteriores los valores sucesivos de M_1 , M_2 y Ω , obtendremos los esfuerzos de compresión máximos en las aristas de la semi-bóveda y estribos, y escogiendo los mayores de ambos esfuerzos en cada sección, se ha formado el adjunto cuadro, que da una idea bastante clara de la distribución de estos esfuerzos en el interior del macizo.

Esfuerzos máximos de compresión en cada una de las juntas.

Juntas.	Esfuerzos por cent. ²
Clave.	1.166
1. ^a	1.805
2. ^a	3.493
3. ^a	6.337
4. ^a	9.124
5. ^a	10.334
6. ^a	9.016
7. ^a	7.955
8. ^a	10.170

Para hacer esta distribución más perceptible y poder efectuar su comparación con las obtenidas por otras hipótesis ó *modelos* distintos, se han consignado gráficamente dichos resultados en la curva trazada en la lámina 62, figura 1.^a, tomando por abscisas distancias proporcionales al desarrollo del arco de intradós entre las juntas, y por ordenadas los esfuerzos máximos de compresión á cada una correspondiente. La horizontal superior designa el límite fijado para la resistencia al aplastamiento, bastando, por consiguiente, dividir su ordenada constante por cada una de las anteriores para obtener los respectivos coeficientes de estabilidad de cada segmento.

En la figura se ha indicado solamente el coeficiente *mínimo* obtenido que corresponde á la junta núm. 5, ó sea hacia los *riñones* de la bóveda, y cuyo valor es igual

$$C = \frac{14}{10.334} = 1,355.$$

Fijándonos en la construcción de esta curva, resulta evidente que las áreas comprendidas entre su traza, el eje de abscisas y dos ordenadas cualesquiera, serán proporcionales á los trabajos desarrollados por dichos esfuerzos en el segmento de bloque determinado por las últimas. Por consecuencia, el área total representará el trabajo de estas fuerzas de compresión en todo el semi-bloque, y bastará dividir por ella la superficie del rectángulo formado por la horizontal del límite de resistencia para obtener el coeficiente *medio* de estabilidad. Llamando A' y A las áreas respectivas de estas superficies, dicho coeficiente tendrá por expresión:

$$C_m = \frac{A}{A'} = \frac{364}{195,35} = 1,863.$$

Resistencia al deslizamiento.—Claro es que esta resistencia puede variar entre límites extraordinarios y hasta alcanzar cifras enormes, según las hipótesis que se establezcan para la división del macizo monolítico de la semi-bóveda, pues bastaría inclinar los planos de junta hacia la dirección normal á los valores de R , reduciendo en cambio los de T á cantidades despreciables. Dicha hipótesis no tendría nada de anormal, y antes bien, es lo probable que las reacciones moleculares del macizo obren siempre, dadas su cohesión y homogeneidad constante, según planos normales á las presiones respectivas. Pero, fiel á mi propósito de examinar y discutir tan sólo las hipótesis desfavorables, calcularemos los valores de T , ó sea de la componente tangencial, con arreglo á las inclinaciones reales de las juntas. Dichos valores tienen por expresion

$$T = P \operatorname{tg.} \theta.$$

En una bóveda ordinaria compuesta de dovelas aisladas, en que la cohesión del mortero de las juntas no se puede tener en cuenta, es necesario, para evitar el deslizamiento, llamando f á la tangente del ángulo límite que

$$f > \operatorname{tg.} \theta,$$

ó lo que es lo mismo, que la componente tangencial T sea menor que el rozamiento R_t , que es proporcional á la presión, y cuyo valor es:

$$R_t = P \times f.$$

Pero en el caso actual dicho deslizamiento no puede verificarse en punto alguno sin que tenga lugar un verdadero desgarramiento ó fractura del macizo, debiendo, por consecuencia, añadir esta nueva fuerza de entidad no despreciable á las reacciones que se oponen al expresado movimiento, ó sea al valor de R_t . Esta resistencia, debida á la cohesión, es fácilmente calculable conociendo la superficie de cada junta, y si la llamamos R_c , tendrá por expresión:

$$R_c = 1,12 \times \Omega \times 2.240.$$

El equilibrio estático exigirá, pues, la igualdad $T = R_t + R_c$, y en el caso de sobrar resistencia, el coeficiente de estabilidad se obtendría por la relación $\frac{R_t + R_c}{T} = c$.

Los diversos valores de las fuerzas T , R_t y R_c , son los que á continuación se expresan:

Juntas.	R. — Metros.	Sen. θ	$T = R \operatorname{sen.} \theta$ $= P \operatorname{tg.} \theta$ — Kilogramos.	$R_t = PF$ — Kilogs.	$R_c = 1,12 \Omega$	$R_t + R_c$	$C = \frac{R_t + R_c}{T}$
Clave...	0,255	0,00	0,00	4.700	6.720	11.420	"
1. ^a ...	0,378	0,547	5.156	5.752	6.775	12.427	2,412
Fractura.	0,514	0,583	7.472	7.685	6.563	14.248	1,906
2. ^a ...	0,608	0,562	8.490	9.714	6.552	16.266	1,916
3. ^a ...	0,840	0,458	9.589	13.574	6.362	19.936	2,079
4. ^a ...	1,008	0,264	6.626	17.909	6.093	24.002	3,622
5. ^a ...	1,090	0,027	733	20.072	5.824	25.896	35,328
Arranques. 6. ^a	1,103	0,227	6.236	19.815	5.600	25.415	4,075
Estribo 7. ^a	1,117	0,208	5.779	20.151	5.600	25.751	4,458
Base del bloque 8. ^a	1,138	0,000	0,000	20.913	0,000	20.973	"

Como se ve por el cuadro anterior, el coeficiente mínimo de estabilidad corresponde á la junta de fractura por traslación, según es forzoso, comprobándose de este nuevo modo la exactitud de su determinación.

Dicho coeficiente resulta igual en la presente hipótesis á

$$C = \frac{14.248}{7.472} = 1,906.$$

En la misma hoja núm. 9 se han dibujado en la figura núm. 2 los resultados obtenidos para estos esfuerzos y resistencias. Las abscisas son iguales á las de la figura anterior, y en cada una de las ordenadas se han señalado las magnitudes proporcionales al esfuerzo tangencial T, y á cada una de las resistencias R_t y R_c.

Estas últimas se han tomado unas á continuación de las otras, de modo que la curva superior, ó sea la que representa la resistencia total, tiene por ordenadas las sumas de las dos resistencias parciales. Con la sola inspección de estas curvas puede, pues, apreciarse la estabilidad del bloque en cada uno de sus segmentos, bajo el concepto de su resistencia á la traslación, y comparár ésta fácilmente con la de otras hipótesis ó modelos que se propongan.

Para obtener los coeficientes medios de estabilidad, bastará recordando lo dicho al tratar de la curva gráfica anterior, dividir las áreas determinadas por cada una de las resistencias por la correspondiente á los valores de T, y así hallaremos dos relaciones correspondientes la primera al coeficiente de estabilidad, teniendo tan solo en cuenta el rozamiento, y la segunda el verdadero coeficiente medio de todas las fuerzas resistentes.

(Se continuará.)

JULIO VALDÉS,
Ingeniero de Caminos.

LOS FERROCARRILES DE INTERÉS LOCAL

VENTAJAS DE LA VÍA ESTRECHA

POR

M. AUG. MOREAU

(Continuación.)

V.

INCONVENIENTES DE LA VÍA ESTRECHA, EL TRASBORDO, ETC.

La objeción á que los adversarios de la vía estrecha dan mayor importancia es, sin duda alguna, la del trasbordo forzoso que deben sufrir todas