

REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS.

MADRID, 30 DE SEPTIEMBRE DE 1887.

4.ª Serie.

Tomo 5.º

Número 18.

AÑO XXXV DE LA PUBLICACIÓN.

SUMARIO.

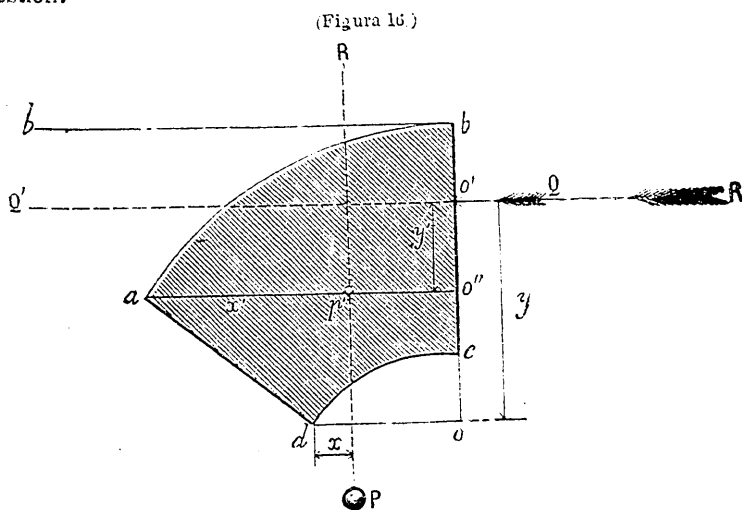
Puerto de Barcelona. Estudio teórico y práctico de los bloques huecos propuestos para la construcción de los nuevos muelles, por D. Julio Valdés, Ingeniero de Caminos (continuación) — Condiciones que deben exigirse para la recepción de los cementos, por D. Fernando García Arévalo, Ingeniero de Caminos (conclusión).

PUERTO DE BARCELONA

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

(Continuación.)

La inspección de la figura adjunta podrá contribuir al esclarecimiento de la cuestión.



Sea $abcd$ el segmento considerado; RP la vertical de su centro de gravedad, y O' el punto de aplicación en la junta vertical de la clave del empuje horizontal Q .

Si por los puntos d y a trazamos los planos horizontales do y ao'' , tendremos por la igualdad de momentos $Px = Qy$; $Px' = Ry'$; de donde $Q = \frac{Px}{y}$; $R = \frac{Px'}{y'}$, que son los empujes y resistencias por rotación.

Para hallar Q ó R , es, pues, indispensable conocer el brazo de palanca y ó el y' , como se quería demostrar.

En la práctica suele tomarse $y = ob'$ ó $y' = o''b$, lo que equivale á suponer el punto de aplicación del empuje en el vértice de la clave, ó lo que es lo mismo, que las dos semi-hóvedas se hallan en equilibrio estático; pero es evidente que para la comprobación de un espesor determinado, esta hipótesis puede conducir á resultados bastante erróneos, toda vez que aquel espesor no ha de ser el correspondiente á dicho equilibrio, sino al producto de este límite teórico por el coeficiente de estabilidad.

Por los cálculos desarrollados en su lugar correspondiente para fijar este punto de aplicación del empuje, se deduce su posición exacta resultante en la semi-clave superior á 0,0633 de distancia de su punto medio.

Trazando por él un plano horizontal, y fijando las intersecciones con el mismo de las verticales de los centros de gravedad de los segmentos, bastará para encontrar la resistencia por rotación, unir los nuevos puntos con sus correlativos en el trasdós de cada dovela; trazar por el vértice de la bóveda paralelas á dichas rectas, enlazando por una curva continua los puntos de encuentro de las mismas con los normales correspondientes á la base del polígono funicular, y encontrar, por último, el *mínimo* de sus ordenadas sobre esta base, que será el correspondiente á la junta de arranque. Dicha ordenada tendrá, en efecto, por valor el mínimo de la expresión general $R = \frac{Px}{y}$, como puede comprobarse fácilmente por la serie de los procedimientos gráficos indicados.

La ordenada que representa esta resistencia mide en la figura una longitud de 0,063. Su verdadero valor será, por lo tanto, de

$$0,63 \times 11,12 \times 2.240^k = 15.693 \text{ kilogramos.}$$

Nulidad del empuje por rotación.—Si con los datos anteriores quisiéramos determinar el empuje por rotación, ó sea el *máximo* de la expresión

$$Q = \frac{Px}{y},$$

tendríamos que unir en este caso los puntos inferiores de cada dovela ó divisiones del intradós con las intersecciones de las verticales de los centros de gravedad de los segmentos y la horizontal del empuje; trazar por el vértice de la bóveda las paralelas correspondientes y construir la curva resultante de sus encuentros con las normales correlativas á la base del polígono funicular. El máximo de la ordenada se determinará por la tangente á dicha curva paralela á la base.

Pero si nos fijamos en que las referidas verticales caen en todos los segmentos á la izquierda de los puntos inferiores de sus juntas de intradós, se verá que las paralelas por el vértice se encontrarán todas á la izquierda de la vertical ó base del polígono, y, por lo tanto, las ordenadas de la curva de empujes resultarán negativas, y su máximo en la junta de arranque, demostrando que no sólo no hay tendencia al giro en el sistema, sino que las fuerzas exteriores tienden más bien á producir una contrapresión en sentido contrario, un verdadero esfuerzo de tracción, que tiene su mayor intensidad para el segmento igual á la semi-bóveda completa, y que tendería á separar en vez de comprimir la junta de la clave, aunque siempre en proporción muy limitada, si no existiera otro empuje más enérgico de compresión debido á la acción del deslizamiento.

Esto mismo se deduce del examen directo de la ecuación fundamental

$$Q = \frac{Px}{y},$$

en la que siendo x negativo, puesto que la vertical del peso cae á la izquierda del punto inferior del segmento, es forzoso el cambio de signo del empuje, toda vez que P é y tienen siempre signos positivos.

Como última comprobación, resta el teorema de los Sres. Lamé y Clapeyron, aplicable á la determinación de la junta llamada de *fractura*, en el caso de empuje por rotación.

Por dicho teorema sabemos, que si se construye el lugar geométrico de las intersecciones de las tangentes á los puntos del intradós y de las verticales de los centros de gravedad de los segmentos por aquéllos determinados, trazando desde el encuentro de dicha curva con la horizontal del punto superior de la clave (1) una tangente al arco de intradós, la junta que pase por su punto de contacto será la de *fractura*.

Aplicando dicho teorema á nuestro caso, se verá, en efecto, que el lugar geométrico así determinado, en vez de cortar á la horizontal superior de la clave, se irá alejando cada vez más de ella, á medida que se considera un segmento mayor, lo que demuestra: 1.º, que no hay junta de *fractura*, ni por lo tanto, empuje alguno por rotación; y 2.º, que la estabilidad de la bóveda será un máximo en dicho concepto para las juntas inferiores ó sea en los arranques.

Coefficiente de estabilidad.—Siendo el valor del empuje obtenido inferior al de las resistencias correspondientes, se deduce desde luego: 1.º Que la estabilidad de la bóveda será perfecta bajo el punto de vista de su equilibrio estático para la sobrecarga considerada. 2.º Que la tendencia á la

(1) Ó con la horizontal del empuje, si se quiere hacer más exacta esta construcción.

rotura en este sistema será más enérgica por rotación que por traslación, por la menor diferencia existente entre el empuje y la resistencia por aquel concepto. Y 3.º Que los respectivos coeficientes de estabilidad en uno y otro, estarán dados por las relaciones $\frac{R}{Q}$, iguales para la resistencia por la traslación á

$$C = \frac{20.498}{6.334} = 3,23,$$

y para la de rotación

$$C = \frac{15.693}{6.334} = 2,48.$$

No obstante la importancia de estos coeficientes, no puede responderse todavía de la estabilidad completa de la bóveda, pues falta comprobar sus condiciones de resistencia en cada junta al resbalamiento, y sobre todo á la compresión.

Para ello es indispensable la construcción de la *curva de presiones*, y como base de la misma la determinación exacta del punto de aplicación del empuje sobre la junta vertical de la clave.

Cálculo analítico del empuje y de su punto de aplicación.—En la antigua teoría de resistencia de las bóvedas (desde que Mery inició la idea de construir la llamada *curva de presiones*), y que todavía es aplicada con bastante generalidad, se considera que una bóveda es perfectamente estable desde el momento en que puede trazarse una de las citadas curvas comprendidas por entero en el *tercio* medio de la bóveda, y que las presiones por unidad superficial en cada junta no sobrepujan los límites impuestos.

Para aplicar este procedimiento, hay que fijar arbitrariamente *tres* puntos de la curva, que son generalmente los que corresponden á la clave y á los arranques, si bien bastarían estos últimos, ó sea la llamada *línea de cerramiento* y la intersección con una junta cualquiera. Generalmente se comienza por ensayar la curva de presiones más próxima á la curva media del arco, tomando el punto de aplicación del empuje horizontal en el medio de la clave, y por línea de cerramiento, la que une los puntos medios de las juntas extremas. Si no es posible esta construcción, se varía el primer punto hasta sus límites para el esfuerzo de compresión (*tercio inferior* ó superior de dicha junta), y se continúa el *tanteo* hasta obtener un resultado satisfactorio, en cuyo caso se da la curva resultante como la *efectiva* de las presiones, y la bóveda como estable.

Este procedimiento es tan cómodo como sencillo; pero ni se ha demostrado aun su exactitud, ni pueden inspirar confianza alguna sus resultados.

Sería, no obstante, imposible hacer cesar esta indeterminación, considerando la bóveda como un sólido completamente rígido. Es evidente, en efecto, que en tales circunstancias la fuerza resultante de todas las acciones exteriores puede descomponerse de infinitud de modos distintos en dos presiones que la mantengan en equilibrio sobre sus planos límites de apoyo, supuestos invariables, y por caras de contacto de una extensión superficial finita.

Hay, pues, que hacer entrar en juego la *elasticidad* de la bóveda (lo que también es más exacto bajo el punto de vista práctico), y entonces podrán precisarse con todo rigor los puntos de aplicación de los empujes en cada una de las juntas, y los espesores reales y efectivos para una estabilidad determinada, prescindiendo de coeficientes inciertos y arbitrarios.

Este ingenioso procedimiento, iniciado hace bastantes años por el insigne Ingeniero Sr. Saavedra en sus interesantes notas adicionales al *Tra-tado de estabilidad de las construcciones*, de M. Michon, y desarrollado más especialmente para la determinación de los espesores en una bóveda cilíndrica *simétrica* y *simétricamente cargada*, constituye asimismo la base fundamental de la nueva teoría planteada por H. Muller Breslau en su moderna y excelente obra *Elementos de Estática gráfica aplicada á las construcciones*, y mediante la cual se deduce y plantea la *ecuación general* de la curva efectiva de presiones en una bóveda cualquiera.

Ahora bien; como la hipótesis ó condiciones preliminares en que se apoyan estos cálculos pueden resultar defectuosas (como indica su propio autor), en algunos casos como el que discutimos, de una bóveda sometida á una superposición de fábrica muy elevada, en el que no puede prefijarse con acierto la ley según la cual se transmite á la bóveda la carga de esta parte superior, ni cuál es la influencia de este exceso de sobrecarga en la deformación de la bóveda, he creído más conveniente abstenerme de aplicar la ecuación fundamental deducida para el trazado de la *curva de presiones*, concretándome á la determinación teórica del empuje horizontal y de su punto de aplicación en la clave, con arreglo al método propuesto por el Sr. Saavedra, cuyos fundamentos de cálculo se ajustan, por el contrario, satisfactoriamente á las bóvedas cilíndricas de los bloques, que pueden mejor que otra cualquiera formada de piezas independientes, considerarse como un solo cuerpo elástico, siéndole aplicables, por lo tanto, las fórmulas de resistencia de materiales relativas á la flexión de piezas curvas. De este modo, determinado con precisión el punto de arranque de la curva sobre la clave de la bóveda, y siendo horizontal su línea de cerramiento, podrá trazarse aquélla con bastante exactitud, por la sucesiva combinación de los pesos de cada segmento con su sobrecarga reducida, y el empuje horizontal constante.

Las fórmulas deducidas por el Sr. Saavedra son las siguientes, dando la primera el valor teórico de Q = empuje horizontal, y la segunda el de N = momento del empuje con relación al punto medio de la clave; bastando, por lo tanto, hallar la relación $\frac{N}{Q}$ para deducir la distancia al centro de la clave del punto de aplicación del empuje, ó sea el de arranque de la curva de presiones, cuya distancia se tomará hacia la parte superior é inferior de la clave, según el signo de N sea positivo ó negativo.

$$N = P_p \frac{C + (C - A - (1 - r)^2 c) z}{1 + bz} + \mu \frac{D - (1 - r)bz}{1 + bz}$$

$$Q = P \frac{A \left(1 - \frac{a}{1 - r^2} \alpha\right)}{1 + bz} + \frac{\mu}{p} \frac{B}{1 + bz},$$

en las que representan e el espesor de la clave, ψ el ángulo formado por las juntas extremas de la bóveda con la vertical de la clave, θ el ángulo variable que con dicha junta vertical forma el radio que pasa por el centro de gravedad de cada segmento.

P = Peso total de la semi-bóveda con su sobrecarga.

μ = Par originado por la traslación al centro de gravedad de un segmento de la sobrecarga correspondiente al mismo.

p = Radio del semi-círculo medio (1).

(Se continuará)

JULIO VALDÉS,
Ingeniero de Caminos.

CONDICIONES QUE DEBEN EXIGIRSE PARA LA RECEPCIÓN DE LOS CEMENTOS

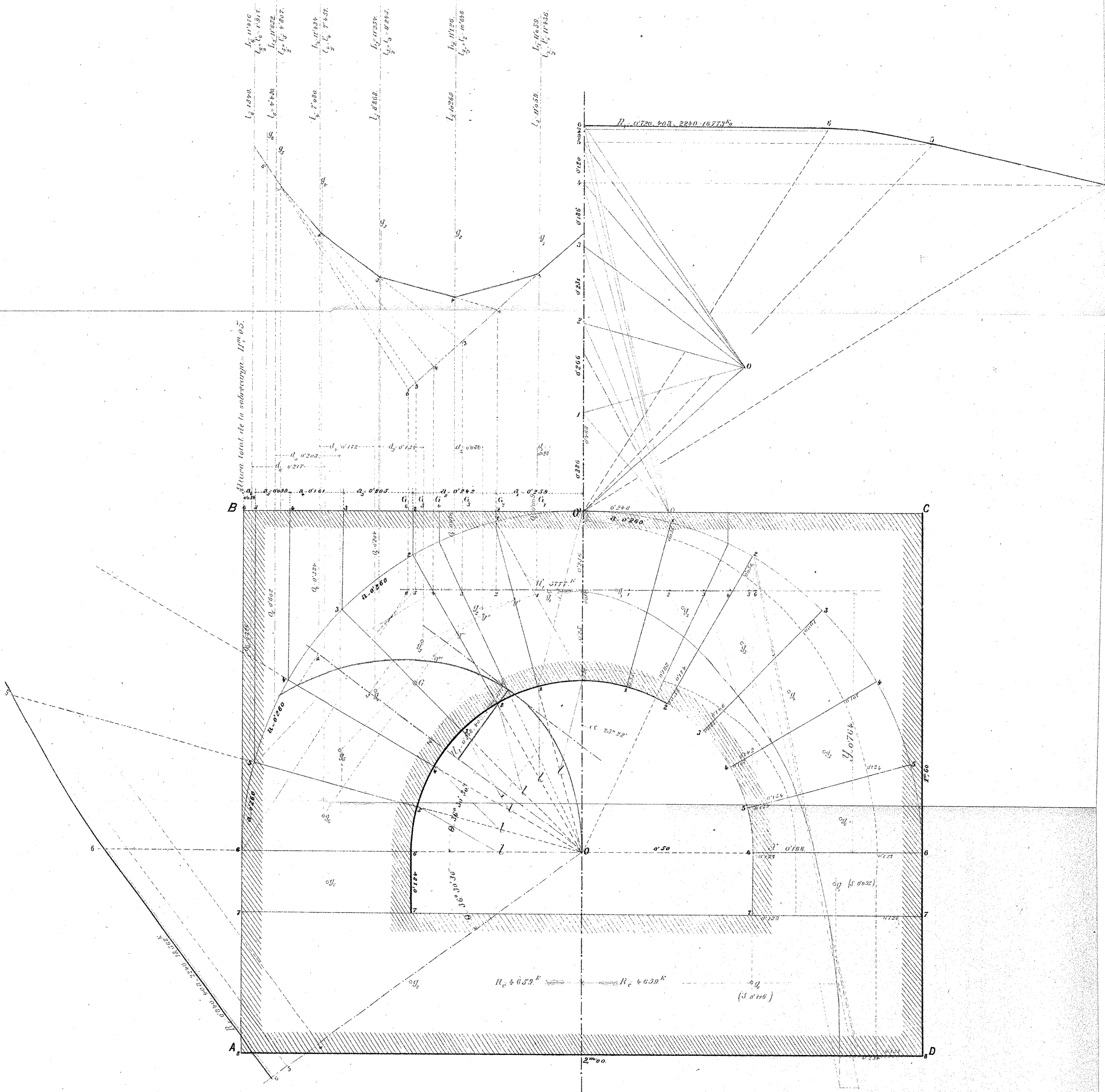
(Conclusión.)

d) Si se añade 1 ó 2 por 100 de agua á la cantidad que se considere como normal, la pasta que era firme y trabada se hará semi-fluida, y si se disminuye en la misma proporción, resultará seca y poco ligada, resquebrajándose al caer de la altura de 50 centímetros.

(1) Procediendo con toda exactitud, debe tomarse para p el radio de curvatura de la curva de los centros de gravedad, en el correspondiente al segmento.

Estabilidad de las bóvedas cilíndricas
de los bloques huecos de 1^{ro} 60 de altura.

Hipótesis única-Bóveda primitiva.



Escalas { $\frac{De 0^{m}10}{10'40} = \frac{1}{400}$ para la sección del bloque y de $\frac{1}{20,000}$ para las fuerzas.
 $\frac{De 10'40}{10'40} = \frac{1}{400}$ para el polígono funicular, curva de empuje por fricción, curvas de resistencia por tracción y rotación y curva de presiones hasta los arranques.
 $\frac{De 10'40}{10'40} = \frac{1}{400}$ para los paralelogramos de la curva de presiones.