

REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS.

MADRID, 30 DE AGOSTO DE 1887.

4.ª Serie.

Tomo 5.º

Número 16.

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 Arenal, Ingeniero de Caminos — Láminas 58 y 59: *Puerto de Barcelona.*

PUERTO DE BARCELONA

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

(Continuación.)

PRIMERA HIPÓTESIS

BÓVEDA PRIMITIVA

(Lámina 58.)

Con objeto de concretar en lo posible estos cálculos y procedimientos, siempre algo complejos, y mucho más en el caso especialísimo de que se trata, comenzaré por fijar *á priori* los modos de rotura que lógicamente puedan presumirse en el sistema, deduciendo de ellos la clase de empujes y resistencias que nos conviene precisar.

Este método simplifica, en efecto, el problema, por cuanto de los *ocho* modos de rotura existentes para las bóvedas cilíndricas, con ó sin estribos, tan sólo *tres* pueden ser aplicables al caso actual, ó sea el de un arco de muy pequeña luz, de gran espesor y sometido á una sobrecarga enorme con relación á su propio peso.

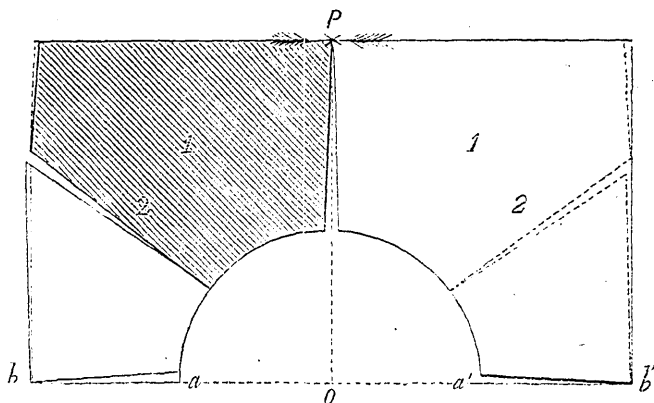
Conviene advertir, desde luego, que siendo siempre independientes los empujes de los apoyos y de los cimientos, me limitaré primeramente á fijar las condiciones de estabilidad de la bóveda sobre sus arranques, siendo sencillísima la comprobación posterior de su equilibrio sobre las bases respectivas de los macizos inferiores.

Los *tres* modos probables de rotura en las bóvedas de los bloques huecos, son los que se expresan á continuación:

1.º Empuje por rotación.—Resistencia por rotación.

Segmento que produce el empuje, menor que el que resiste.

(Fig. 8.ª)



(Escala de 0, m04.)

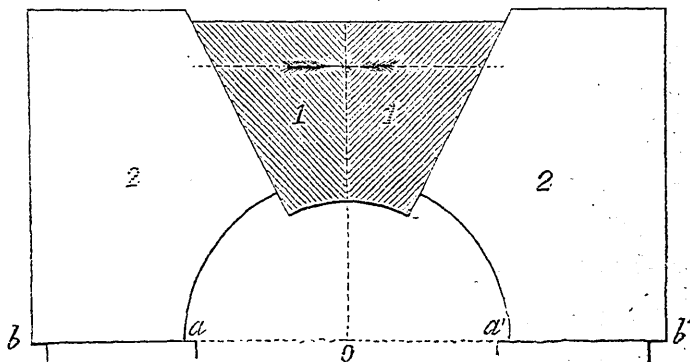
El segmento **1** cae hacia dentro, girando alrededor de la arista de intradós de la junta inferior. El segmento **2** es repelido al exterior, girando alrededor de la arista de trasdós de su junta análoga.

Se han indicado de puntos los segmentos de empuje y resistencia de la otra semibóveda, simétricos á los anteriores.

2.º Empuje por traslación.—Resistencia por traslación.

Segmento que produce el empuje, menor que el que resiste.

(Fig. 9.ª)

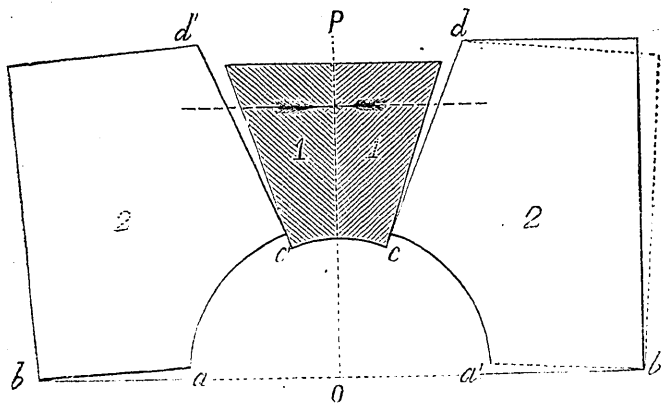


(Escala de 0, m04.)

El segmento **1** resbala hacia dentro. El segmento **2** resbala hacia fuera por la junta de rotura ab . En este caso no hay, como en el anterior, desunión en la junta del vértice.

3.º Empuje por traslación.—Resistencia por rotación.
Segmento que produce el empuje, menor que el que resiste.

(Fig. 10.)

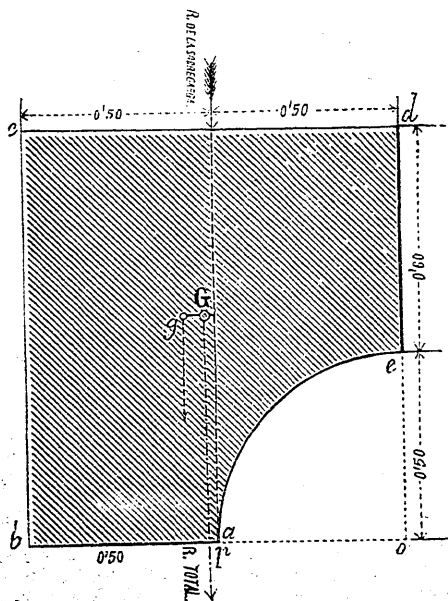


(Escala de 0, m04)

El segmento **1** desliza hacia dentro. El segmento **2** gira hacia fuera, alrededor de la arista de trasdós *b*, y la junta *cd* se abre al exterior.

Los cinco modos restantes de rotura sólo pueden presentarse en bóvedas de medio punto de muy poco espesor, en las sumamente rebajadas y débiles ó en las ojivales y peraltadas con una gran carga en los riñones, siendo, por lo tanto, innecesaria la determinación de los empujes y resistencias correspondientes.

(Fig. 11.)



(Escala de 0, m05.)

Aun de los *tres* casos examinados debe descartarse el primero, pues á poco que se reflexione sobre las condiciones de equilibrio del sistema, se comprenderá la imposibilidad de que se produzca el empuje por rotación.

Sea, en efecto, *abcde* la sección de la semibóveda desde el plano horizontal de los arranques hasta el vertical de la clave.

Dadas las dimensiones de esta sección, es evidente que la vertical del centro de gravedad de la sobrecarga, que se halla repartida por unidad superficial, caerá precisamente en el punto medio del plano *cd*, y coincidirá con la tangente á la circunferencia del intradós en la junta de arranque, y como el centro de gravedad de la semibóveda, se hallará en un punto *g*, situado á la izquierda de dicha vertical, por ser la superficie *abca'* mayor que la *aa'de* (siendo su diferencia el área del sector *oae*), el centro de gravedad *Ge* de todo el sistema quedará igualmente á la izquierda de aquella recta, y su vertical cortará al plano de la base en un punto *p*, interior á la junta *ab*, haciéndose imposible el giro alrededor de punto alguno del intradós.

Esto mismo se comprobará más adelante, cuando se hallen conocidos los centros de gravedad de los segmentos en que se fraccione la bóveda, tanto por las construcciones gráficas de los empujes, como por la aplicación del teorema de los Sres. Lamé y Clapeyron para la determinación de la junta de fractura.

Concretándonos por ahora á la comprobación directa de la estabilidad; no tendremos que construir gráficamente más que *tres* curvas. La primera nos determinará el empuje máximo por traslación, *único* que se debe considerar, y las *dos* restantes las *resistencias* por traslación y rotación correspondientes.

En la primera hipótesis establecida, el único volumen resistente será según se ha dicho, el de la *bóveda primitiva*, y el resto superior del bloque se considerará como formando parte de la sobrecarga. (Lámina 58.)

El método más sencillo para la fijación de este trasdós hipotético, es trazar un arco de círculo desde un punto del eje vertical, elevado sobre el centro del intradós, á una altura de *diez* centímetros, diferencia entre las rectas *oa* y *od* (figura anterior), suponiendo la pequeña recta de igual longitud comprendida entre la base de la bóveda y el extremo inferior de esta curva, como prolongación de la misma.

También podrían enlazarse los puntos *b* y *d* por una sola curva *oval* ó *elíptica*; pero esta construcción, más complicada, nos conduciría á resultados casi idénticos.

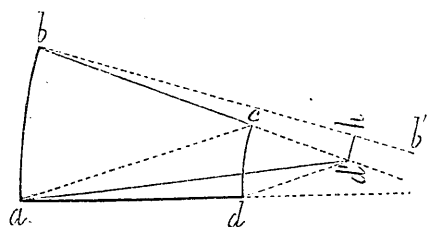
El trasdós así determinado, se ha dividido en *seis* partes iguales, correspondientes á otras tantas dovelas, número suficiente para poder reemplazar sin error sensible sus respectivas áreas por las de los cuadriláteros

formados por sus planos de junta y cuerdas de sus arcos respectivos. Numerando estos elementos parciales, á partir de la junta de la clave, habrá quedado dividida la semi-bóveda en seis segmentos comprendidos entre aquélla y cada uno de los planos 1,1' y 2,2', etc..... hasta el 6,6', correspondiente á la junta de arranque é igual al volumen total.

Debiendo valuar los pesos combinados de cada uno de estos segmentos con la sobrecarga correspondiente y determinar sus centros de gravedad, ó mejor dicho, las verticales que por ellos pasan, comenzaremos por deducir los parciales de cada dovela, como base indispensable de aquellas deducciones.

Para esto, sabemos que si en una dovela cualquiera $abcd$ trazamos

(Fig. 12.)



por d una paralela á la diagonal ac , y por el punto d' en que aquélla corta á la prolongación de la junta bc , se traza una perpendicular á la normal bb' de la curva de trasdós, la magnitud bh será proporcional á la superficie de la dovela. Los triángulos acd y acd' , en efecto, tienen el

mismo área, por ser su base común y tener sus vértices en una paralela á la misma.

El área de la dovela tendrá, pues, por expresión

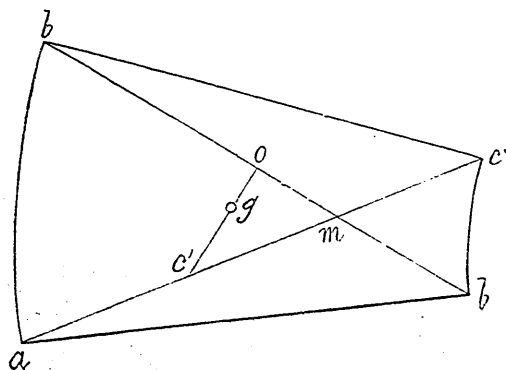
$$A = ab \times \frac{1}{2} bh,$$

y representando ab por la constante a (puesto que esa magnitud se ha tomado igual en todas las dovelas)

$$A = a \times \frac{bh}{2}.$$

Los centros de gravedad de cada dovela, se han encontrado asimismo de una manera sencilla, indicada en la adjunta construcción gráfica.

(Fig. 13.)



Sea $abcd$ la dovela en cuestión. Si desde el punto m en que se cortan sus diagonales llevamos sobre una de ellas la ac , por ejemplo, una distancia $mc' = mc$ y unimos el punto c' con el o , punto medio de la otra diagonal bd , el punto g , tomado desde la o al tercio de la recta oc' , será el centro de gravedad buscado.

Sobrecarga.—Para determinar el peso de la sobrecarga que actúa sobre cada dovela, hay que empezar por fijar la altura equivalente de la sobrecarga total en una fábrica igual á la de la bóveda, ó sea en hormigón. Dicha altura recibe en la estática el nombre de sobrecarga reducida.

El peso total repartido por unidad de superficie que debe considerarse aplicado sobre los bloques para el cálculo de su estabilidad, se deduce fácilmente de los datos y cifras consignados en la primera parte de esta Memoria.

Siendo los de primera hilada los bloques más expuestos, sabemos que la carga total sobre sus bóvedas será igual al peso del muro superior, más la carga accidental que se suponga sobre el mismo. Ahora bien:

	Kilogramos.
Peso del muro superior.	66.137
Peso de la sobrecarga, suponiéndola de diez toneladas por metro cuadrado y un retallo de 0 ^m ,65 desde la arista exterior del muelle: 2 ^m ,17 $\times$ 10.000 kilogramos.. . . .	21.700
TOTAL.	87.837

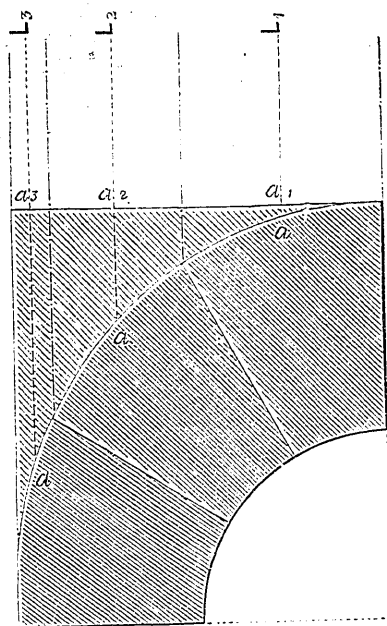
luego por unidad superficial sobre el bloque y bóveda inferior, tendremos:

$$S = \frac{87.837}{3,55 \times 2.240} = 11^m,05,$$

que representará la altura equivalente en hormigón de la sobrecarga por unidad superficial.

Determinada esta cifra, si por cada punto de división del trasdós trazamos la vertical correspondiente, claro es que las fracciones de sobrecarga que gravitan sobre cada dovela, estarán representadas por las áreas de los rectángulos cuya altura común sea 11^m,05 y cuyas bases se hallen representadas por las distancias a , a_1 , etc..., interceptadas por dichas verticales sobre la horizontal del punto superior de la clave.

(Fig. 14.)



(Escala de 0, m05.)

Hay que advertir, sin embargo, que para determinar las verdaderas cifras de estas sobrecargas parciales en la hipótesis actual, debe añadirse, según se advirtió oportunamente, al área de cada uno de estos rectángulos, la de los pequeños trapezoides comprendidos entre las rectas anteriores y la curva del trasdós, que pueden á su vez expresarse en función de esas mismas distancias a_1, a_2 , etc., por la simple medición de sus ordenadas medias verticales. Por lo tanto, una sobrecarga parcial cualquiera será igual á su base a_n multiplicada por una altura representada por la suma de 11^m,05 y de la ordenada media o_n ; es decir:

$$S_n = a_n (11,05 + o_n);$$

pero como las superficies de las dovelas se han calculado en función de la constante a , será conveniente transformar la ecuación de S_n del siguiente modo:

$$S_n = \frac{a \times a_n}{a} (11,05 + o_n) = a \times r_n \times L_n;$$

representando por r_n la relación $\frac{a_n}{a}$ y por L_n la longitud de la altura total.

De este modo, las superficies representativas de los volúmenes de cada dovela, más su sobrecarga, tendrán por expresión común:

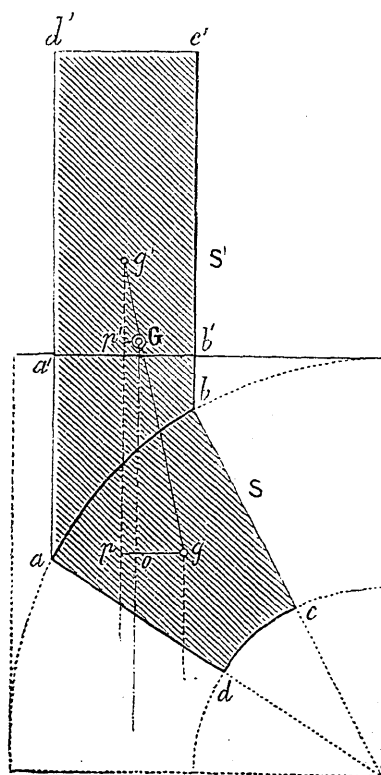
$$S_n = a \times \frac{bh_n}{2} + a \times r_n \times L_n = a \times L'_n;$$

representando por L' la suma de $\frac{bh_n}{2} + r_n \times L_n$; luego dichas superficies, y por lo tanto, sus pesos, serán proporcionales á las longitudes L'_n , que podemos tomar gráficamente sobre el dibujo, ó calcular por sencillas operaciones aritméticas.

Conocidos estos pesos, deberán combinarse entre sí en la forma indicada, á saber: S_1 , $S_1 + S_2$, $S_1 + S_2 + S_3$, etc., á fin de hallar los que corresponden á cada segmento, fijando después las verticales de sus centros de gravedad, con lo que tendremos determinadas dichas fuerzas elementales, cuyas resultantes buscamos en magnitud y posición.

Claro es que no necesitando fijar los centros de gravedad, sino las verticales que por ellos pasan, podíamos excusar la construcción auxiliar enunciada por medio de un doble polígono funicular; pero como quiera que las verticales correspondientes á una dovela y su sobrecarga parcial han de estar sumamente próximas en algunos casos, creo más exacta su determinación directa, por el cálculo mediante el siguiente sencillo procedimiento.

(Fig. 15.)



Sea $abcd$ la dovela en cuestión, y $abc'd'$ su sobrecarga, compuesta del rectángulo $a'b'c'd'$ y el trapecio $abb'a'$. Se trata de encontrar la vertical del centro de gravedad G de ambas superficies combinadas, conocidos el g de la dovela y la vertical $g'p$, del de la sobrecarga.

Por las leyes de la Estática sabemos que si llamamos S y S' las dos superficies en cuestión

$$\frac{S}{S'} = \frac{g'G}{Gg}; \text{ ó bien}$$

$$\frac{S + S'}{S} = \frac{gg'}{g'G};$$

pero en los triángulos rectángulos $g'p'G$ y $g'pg$, formados bajando desde los puntos G y g , las normales Gp' y gp sobre $g'p$, se tiene

$$\frac{gg'}{g'G} = \frac{gp}{op} = \frac{S + S'}{S};$$

de donde

$$op = gp : \frac{S + S'}{S};$$

en cuyo segundo miembro no hay cantidad alguna desconocida. Llamando, pues, d_1, d_2, d_3 , etc., á las distancias gp , fáciles de medir en el dibujo, y

$R_1, R_2, \dots, R_n$ las relaciones $\frac{S + S'}{S}$, las distancias op , que llamaremos ψ ,

tendrán por expresión general

$$\psi_n = \frac{d_n}{R_n}.$$

(Se continuará.)

JULIO VALDÉS,
Ingeniero de Caminos.

CONDICIONES QUE DEBEN EXIGIRSE PARA LA RECEPCIÓN DE LOS CEMENTOS

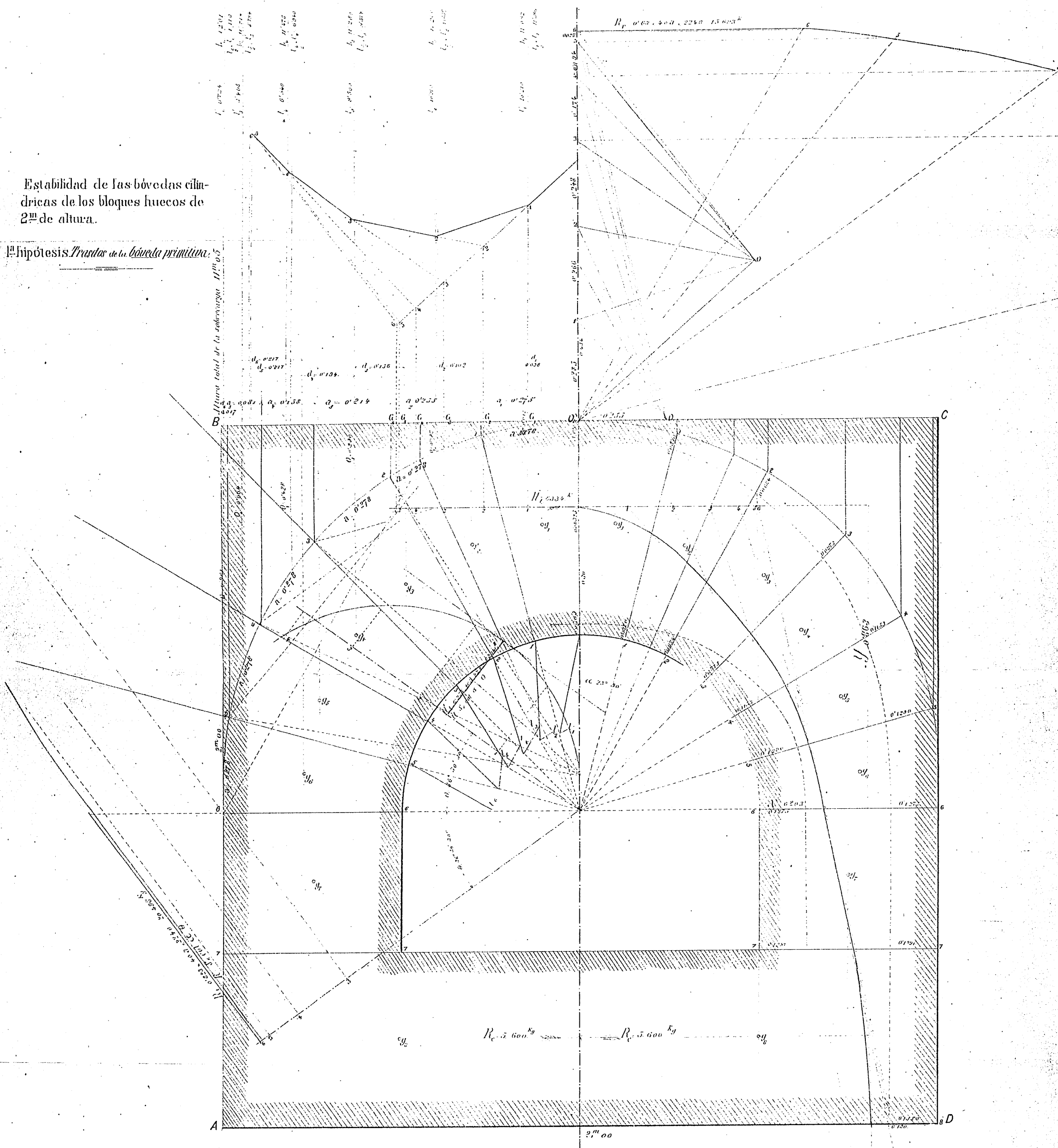
(Continuación.)

Es, pues, un caso bien claro de la importancia que tiene la arena, cuando en lugar de ser materia químicamente inerte, contiene elementos susceptibles de descomponerse.

De todos modos, antes de proceder á las pruebas de resistencia, hay que examinar cuidadosamente si los ejemplares presentan alguna señal de alteración en la superficie, que es donde primero se ha de hallar, si el mortero es atacado por el agua del mar. Si esto sucede con pruebas hechas

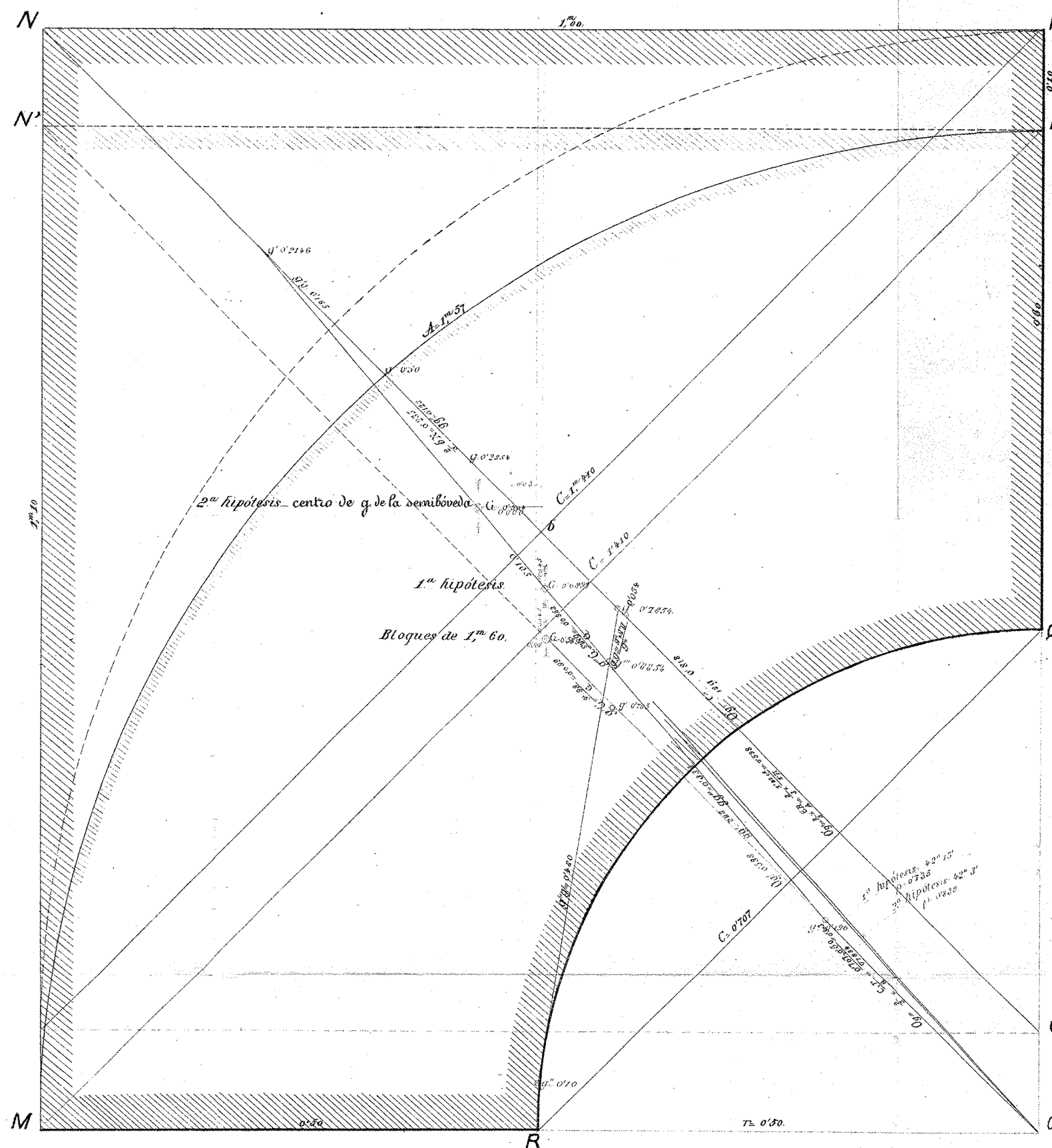
Estabilidad de las bóvedas cilíndricas de los bloques huecos de 2^{da} de altura.

1ª hipótesis *Trasladar de la bóveda primitiva.*



Escala

De $0^m 10 \frac{1}{10}$ para la sección del bloque y de $\frac{1}{20000}$ para las fuerzas.
De $\frac{1}{400} \frac{1}{12}$ para el polígono funicular, curva de empuje por traslación, curvas de resistencias por traslación y rotación, y curva de presiones hasta arriagues.
De $\frac{1}{400} \frac{1}{22 \times 24}$ para los paralelogramos de la curva de presiones.



*Centros de gravedad de las semi-bor-
das en los distintos casos y modelos, y
determinacion de los pares, producidos
por la traslacion de las sobrecargas.*

Escala de 1/200.