

PUERTO DE BARCELONA

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

(Continuación.)

DETERMINACIÓN TEÓRICA DEL ESPESOR QUE DEBIERA DARSE Á UN MURO FORMADO POR BLOQUES MACIZOS, EN IGUALES CONDICIONES DE RESISTENCIA QUE EL ANTERIOR DE BLOQUES HUECOS.

Demostrada la perfecta estabilidad del sistema en los muros formados por bloques huecos de las dimensiones prefijadas, en todas las hipótesis más desfavorables en la práctica, la determinación del espesor del muro de bloques macizos equivalente al anterior en resistencia, es sumamente sencilla, pues bastará igualar los momentos estáticos de uno y otro muro con relación á sus aristas exteriores, expresando el segundo en función del espesor desconocido, que llamaremos x , y resolviendo la ecuación de segundo grado resultante de este procedimiento de cálculo.

El momento de resistencia del muro de bloques huecos con relación á su arista exterior es igual, como sabemos, á

$$M_4 = 183.733 \text{ kilogramos,}$$

resultado de multiplicar el peso total del muro = 81.934 kilogramos, por la distancia á dicha arista de la vertical de su centro de gravedad G_4 ; es decir, por su brazo de palanca correspondiente, igual á 2^m.242.

Si queremos, no obstante, comprobar por el cálculo la exactitud de este resultado, obtenido en parte por construcciones gráficas, calcularemos este momento sumando los momentos parciales de cada uno de los diversos elementos del muro, cuyos pesos y brazos de palanca se deducen con facilidad de los datos preliminares del problema.

Tendremos, pues, llamando M al momento total buscado, m al del murete superior, m' al del prisma de tierras sobre la cuarta hilada de bloques y P al peso de un semi-bloque:

$$M = m + m' + P \left(0,60 + 0,40 + 0,20 + \frac{4 \times 3,75}{2} \right) = m + m' + 8,70 \times P;$$

ahora bien,

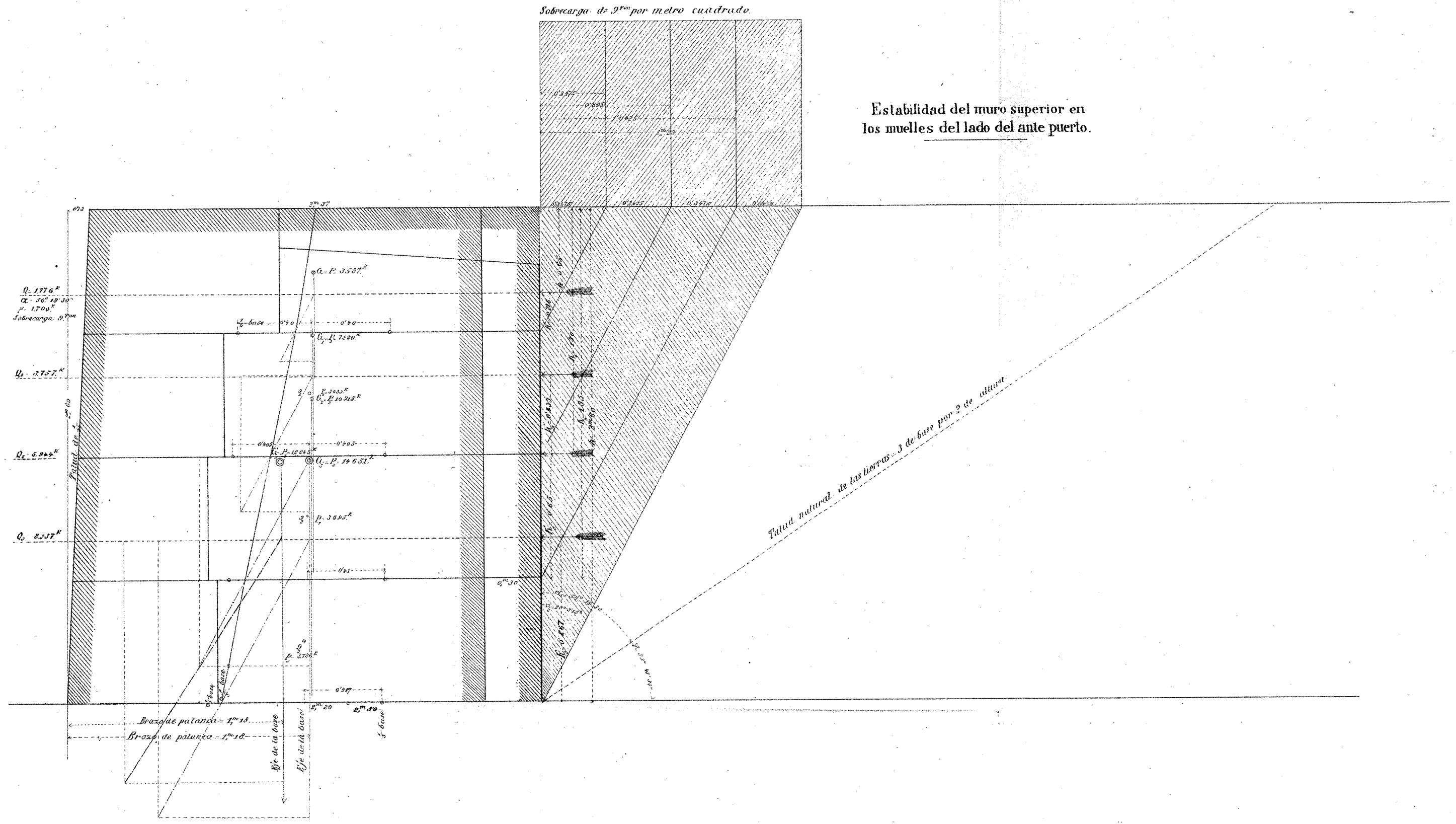
$$m = 14.651 \times 2,09 = 30.620,$$

$$m' = 4.095 \times 3,83 = 15.683,$$

$$P = 15.797,$$

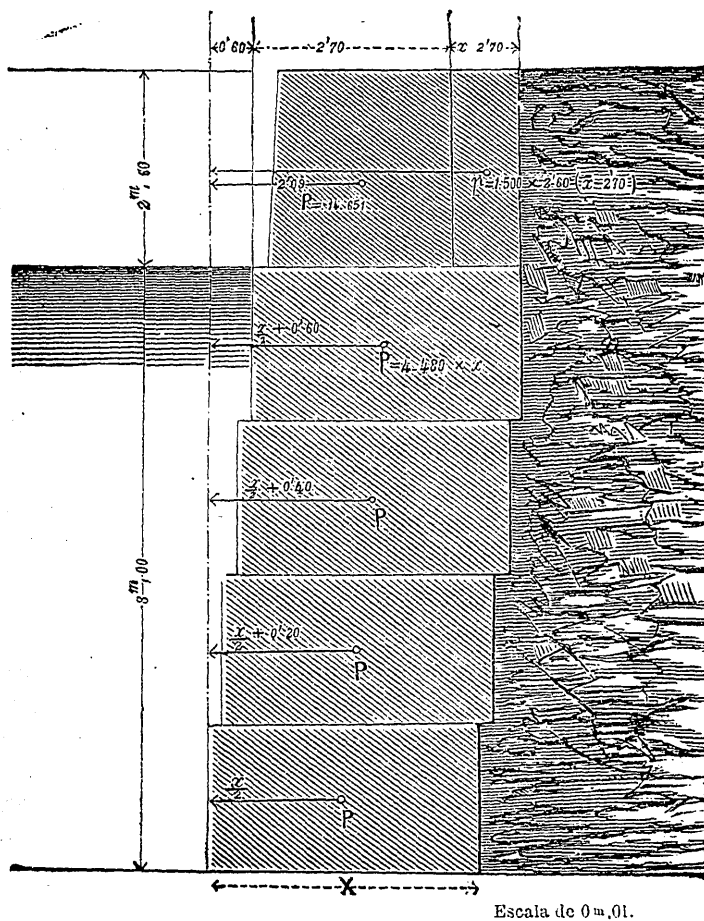
y substituyendo

$$M = 30.620 + 15.683 + 137.433 = 183.736 \text{ kilogramos,}$$



resultado casi idéntico al anterior, puesto que la diferencia es igual á 3 kilogramos.

Para calcular el momento resistente del segundo muro, bastará expresar los pesos y distancias parciales á la arista inferior, en función de x , del modo indicado en la fig. 7.^a

(Fig. 7.^a)

Escala de 0 m,01.

Tendremos, pues, llamando M' al momento total

$$M' = m + (1.500 \times 2,60 (x - 2,70) (0,60 + 2,70 + \frac{x - 2,70}{2}) + P (0,60 + \frac{x}{2}) + P (0,40 + \frac{x}{2}) + P (0,20 + \frac{x}{2}) + P \times \frac{x}{2}$$

Sustituyendo en vez de m su valor conocido y constante 30.620 kilogramos, y expresando P = (peso de un semi-bloque) en función de x ,

$$P = 2 \times 2.240 \times x = 4.480 \times x$$

obtendremos, igualando los valores de M y M' , y efectuando las operaciones aritméticas, la ecuación

$$10.910 \times x^2 + 7.716 \times x = 173.640,$$

que se reduce á la más sencilla

$$x^2 + 0,707 \times x = 15.915$$

de donde

$$x = -0,353 + \sqrt{0,125 + 15.915} = 3^m,65.$$

Este será, pues, el espesor del muro de *bloques macizos*, equivalente al anterior en resistencia.

Si queremos comprobar este resultado por los procedimientos de la estática gráfica (lámina 55), bastará construir para uno cualquiera de los segmentos del nuevo muro, el último, por ejemplo, la resultante definitiva de todas las fuerzas que actúan sobre el sistema, y comprobar si dicha resultante corta á la base en un punto análogo á su semejante en el muro anterior.

Los datos para esta construcción gráfica, son los siguientes:

$$Q_4 = 47.716 \text{ kilogramos}; \quad Q'_4 = 32.000 \text{ kilogramos},$$

$$P_4 = 83.764 \text{ kilogramos}; \quad p \text{ (peso de un semi-bloque)} = 16.351 \text{ kilos.}$$

$$\text{Peso de la carga líquida en los retallos} = 2.400 \text{ kilogramos.}$$

$$\text{Brazo de palanca de } G_4 \text{ con relación á la arista exterior} = 2^m,193,$$

$$\frac{1}{6} a = 0^m,609; \quad S = 10.000 \text{ kilogramos por m.}^2$$

Con estos datos se ha construido la resultante, que como se ve en el plano, corta á la base en el punto límite c_1 , exactamente del mismo modo que la resultante análoga á la base del muro en el caso anterior para la sobrecarga de 10 toneladas.

ECONOMÍA DE MATERIAL.

Comparando los volúmenes de hormigón que entran en cada muro, se deduce por una simple diferencia la economía obtenida en el material por *metro lineal* de muelle, economía cuya determinación ha sido el objeto primordial del cálculo anterior.

Volumen de hormigón por metro lineal de muelle.—

1.º *Bloques huecos.*—Espesor del muro = $3^m,75$.

Número de semi-bloques (de $1^m,00$ de amplitud) = 4.

Volumen de un semi-bloque descontando el hueco y las ranuras = $6^m,256$.

Volumen total = $4 \times 6.256 = \dots \dots \dots$ 25.024

Metros cúbicos.

2.º Bloques macizos.—Espesor del muro = 3^m,65.

Número de semi-bloques = 4.

Volumen de semi-bloques descontando las ranuras =

7^m³,245.

Volumen total = $4 \times 7.145 = \dots\dots\dots$ 28.980

DIFERENCIA. $\dots\dots\dots$ 3.956

ó sean cuatro metros cúbicos próximamente por metro lineal de muelle.

Fijándonos, no obstante, en los pesos totales que resultan para los bloques macizos equivalentes, se comprende la necesidad de reformar el cálculo comparativo anterior ante las exigencias de la práctica.

Dicho peso será, en efecto, de $2 \times 7,245 \times 2,240 = 32.458$ kilogramos; y como la resistencia de todo el material fijo y flotante destinado á la renovación y asiento de los bloques (carro elevador hidráulico, torno del embarcadero y cabrias para la colocación y asiento), se halla calculado para una carga máxima de 30 toneladas, de aquí la imposibilidad de construir estos bloques macizos de dos metros de altura, y de aumentar, por lo menos en una, el número de las hiladas.

Fijando éstas en cinco, el nuevo bloque tendrá una altura de 1^m,60, y la amplitud de los retallos exteriores (con objeto de obtener el mismo talud en ambos paramentos que en el caso anterior), se habrá rebajado de veinte á diez y seis centímetros.

El volumen por metro lineal de muelle será en este caso:

Espesor del muro = 3^m,65.

Número de semi-bloques = 5.

Volumen de un semi-bloque descontando las ranuras

$(1,60 \times 3,65) - 0,048 = 5.792.$

Volumen total = $5 \times 5.792 = \dots\dots\dots$ 28.960

resultado sensiblemente igual al anterior.

El peso de cada bloque resultará en este caso de

$2 \times 5,792 \times 2,240 = 25.948$ kilogramos,

inferior ya en más de cuatro toneladas á la resistencia comprobada de los aparatos.

De la aplicación de los precios de presupuesto al volumen economizado en el material, no puede deducirse directamente la verdadera economía en el coste de la unidad que hemos elegido (metro lineal de muelle), por cuan-

to entran en ella otra porción de elementos de diversa naturaleza, relacionados algunos con las condiciones de fabricación de nuevos bloques, y que es preciso tener en cuenta para la exactitud del resultado. De esto me ocuparé en la tercera y última parte de esta Memoria. Debo, no obstante, antes de terminar la relativa al estudio de los muros, dejar consignada una observación importante.

El método seguido para determinar la economía resultante del empleo de los bloques huecos en la construcción de los muelles (estrictamente ajustado á la disposición superior trascrita), es sin duda alguna el más lógico y conforme con las prescripciones de la ciencia. Pero como quiera que la idea de los bloques huecos nació precisamente del examen de otro sistema de construcción de muelles, que aunque dotado de una resistencia algo exagerada, había recibido repetidas veces la sanción de la superioridad en proyectos anteriores ya realizados, y constituía, por decirlo así, la práctica de tales obras, no es menos lógico verificar otro estudio comparativo bajo el punto de vista económico, con este sistema anterior, que de ser propuesto se hubiera seguramente aceptado por el precedente establecido, y que nos dará la medida del verdadero ahorro producido por la innovación, toda vez que se ha demostrado la posibilidad y conveniencia de disminuir los antiguos coeficientes de estabilidad, y que dicha cifra dará el importe exacto de la economía que hubiera podido obtenerse en la ejecución de las obras existentes de haberse empleado este nuevo sistema de construcción.

Prescindiendo del muelle de costa (Depósito, Muralla, Atarazanas y San Beltrán), cuyo espesor ha sido ya modificado en los proyectos posteriores, disminuyéndolo de 4^m á 3^m,85, examinaremos tan solo este último con el que han sido construídos los muelles de Barcelona, Capitanía, Pescadores y el adosado al Dique de Poniente.

El volumen por *metro lineal* de muelle (concretándonos al muro inferior de bloques de hormigón), será en este caso:

Espesor del muro — 3^m,85.

Número de semi-bloques = 6.

Volumen de un semi-bloque (descontando la ranura) = 5^m,00.

Volumen total = $6 \times 5,00 = \dots \dots \dots 30,00$

y siendo de 25^m,024 el correspondiente al muro de bloques huecos, la economía de material será en este caso de 4^m,976, ó sean 5^m,00 próximamente.

SEGUNDA PARTE

ESTABILIDAD DE LOS BLOQUES HUECOS CONSIDERADOS AISLADAMENTE.

Los cálculos desarrollados en la primera parte, relativos á la estabilidad de los muros formados por bloques huecos, suponen la resistencia perfecta de cada uno de estos elementos; siendo indispensable, por lo tanto, la comprobación de su resistencia en las hipótesis más desfavorables que pueden hacerse sobre la distribución y energía de las acciones ó fuerzas exteriores.

Cada uno de estos bloques, aisladamente considerados, afecta en su parte hueca la forma de una bóveda monolítica de hormigón, en cañón recto, de sección circular de 0^m,50 de radio, trasdosada de nivel, y con espesores en la clave y en los arranques, iguales respectivamente á 0^m,60 y 0^m,50.

Los estribos tienen una altura en su parte interna de 0^m,40 y en la exterior de 0^m,90, estando enlazados uno á otro por un macizo del mismo material de 0,50 de espesor.

Claro es que el cálculo de resistencia de este sistema, que forma una sola pieza ó monolito, con un enlace íntimo y una trabazón perfecta en todas sus partes, no puede plantearse en rigor por los sistemas ordinariamente adoptados, en que se puede juzgar á priori de la racional distancia de las fuerzas en el interior de la fábrica, como base indispensable para su determinación.

Fundados, además, todos estos sistemas en hipótesis más ó menos racionales, pero basadas en el equilibrio de un conjunto de elementos independientes, y variables, por lo tanto, con la forma, homogeneidad y posiciones respectivas de los mismos, es indudable que su aplicación al caso actual nos conduciría á resultados muy inferiores á la verdadera estabilidad del macizo.

Esto no obstante, apelaremos á dichos medios para nuestros cálculos, tanto por esa mayor seguridad de obtener coeficientes más pequeños que los efectivos para la resistencia, como porque dicho camino será siempre más seguro, á mi juicio, para llegar á conclusiones precisas sobre la realidad de los hechos, que no otro alguno trazado por hipótesis y presunciones que, en el mero hecho de ser nuevas, tienen que ser vagas, y más aun, desprovistas de toda comprobación en sus aplicaciones prácticas.

Supondré, por lo tanto, lo que es teóricamente admisible, que las reacciones moleculares obran en el interior de estos macizos exactamente del mismo modo que en una bóveda ordinaria constituida por dovelas independientes, que se transmiten sus mutuas presiones según fuerzas normales ó paralelas á las juntas de apoyo trazadas perpendicularmente á la curva de intradós, teniendo cuidado solamente de variar, dentro de esta

hipótesis fundamental, la forma de las dovelas ó segmentos arbitrarios en que se fraccione el conjunto, ó bien, lo que es más breve, estudiar los dos límites naturales que para estas formas pueden racionalmente adoptarse, correspondiente el primero al trasdós conocido en la *Estática* por el de la *bóveda primitiva*, y el segundo el determinado por el plano horizontal superior del bloque. Es evidente que si construimos las curvas de presiones correspondientes á estos dos límites, dichas curvas encerrarán entre sí las que resultaren de otras soluciones intermedias, por anómalas que éstas fueran, bajo el punto de vista de la distribución y trabajo de las fuerzas moleculares.

Á fin de no tener en cuenta circunstancia alguna favorable á la estabilidad, prescindiré en absoluto, para el cálculo, de los notables aumentos que han de producirse en la resistencia por las propias condiciones de la construcción. Así, por ejemplo, un bloque no deberá lógicamente calcularse como un sólido aislado; pues si bien es cierto que sus juntas comunes en los muros sólo en *teoría* pueden considerarse cerradas, y *prácticamente* se llamarían perfectas aun cuando midieran *tres* y más centímetros de amplitud en muchos de sus puntos, y hasta por *regla general*, en una gran parte de su extensión, en virtud de las tierras que han de rellenarlas, se apoyarán entre sí con más ó menos energía, pudiendo de este modo transmitirse de unas en otras parte de los esfuerzos ó presiones que actúen en sentido transversal á los bloques. Además, las partes huecas no lo serían nunca en el sentido literal de esta frase, pues siempre se hallarán ocupadas por las tierras ó por el agua, más ó menos cargada de sustancias en suspensión. Por lo tanto, en uno y otro caso habrá siempre un medio resistente de apoyo y enlace, una especie de cimbra natural, sobre la que descargará una fracción importante del peso de la bóveda y de su sobrecarga, y que podrá, transmitiendo directamente á la base las componentes normales de estas presiones, variar las leyes establecidas para su distribución en el macizo, disminuyendo su intensidad y modificando la dirección de cada resultante elemental. Ya he dicho, esto no obstante, que supondré los bloques completamente aislados y sus bóvedas sin apoyo interior de ningún género.

Establecidas estas premisas principales, nos ocuparemos sin más dilaciones de plantear y desarrollar los cálculos necesarios para la comprobación de la estabilidad en cada una de las hipótesis límites establecidas.

(Se continuará.)

JULIO VALDÉS,
Ingeniero de Caminos.

MADRID: 1887.

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