

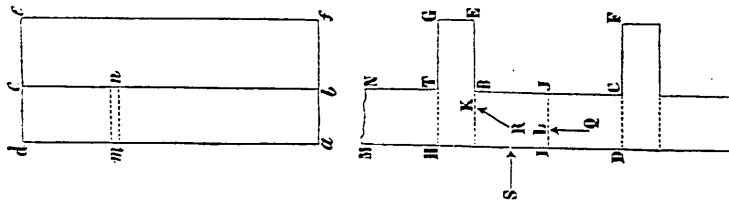
de contratos. Para este nuevo pliego pueden aceptarse como materiales casi todas las disposiciones vigentes, sin mas que cambiar en algunas la forma, pues son muy pocas en nuestro concepto, las que habria que añadir y las que habria que desechar.

El plan que deberia adoptarse para la formacion de este nuevo pliego de condiciones generales, cuya utilidad no creemos necesario encarecer, será el objeto de otro articulo.

G. RODRIGUEZ.

TEORÍA DE LOS CONTRAFUERTES.

1. Los contrafuertes son macizos salientes que se colocan en uno de los paramentos de un muro destinado á sostener empujes,



dose todo el tramo paralelamente á si mismo, ó girando sobre su base. Llamando

- h á la altura del muro.
 - e á su espesor AB,
 - D á la longitud AD del tramo
 - π al peso de la unidad de volumen de la fábrica
 - f al coeficiente de rozamiento del muro sobre su base
 - γ á la cohesion del muro paralelamente á la superficie de rotura,
 - P al empuje por unidad de longitud,
- el equilibrio de traslacion de la masa ABCD estará expresado por la ecuacion

$$PD = f\pi Dh e + 2\gamma h e$$

que se deduce de la igualdad del empuje con el rozamiento sobre la base y la cohesion en toda la altura de los dos planos AB y DC. De aqui se saca el valor de e que es

con el objeto de aumentar su resistencia por rotacion, proporcionando al mismo tiempo economia de material. Los contrafuertes son *exteriores* ó *interiores*, segun el paramento en que se colocan, pueden aplicarse á toda clase de muros, y para ejemplo se tomarán los de sostenimiento.

2. Pudiendo considerarse como invariables las partes salientes A EGH (*) que forman todo el cuerpo de los contrafuertes, se supondrá al muro dividido en tramos ABCD independientes unos de otros, que se sostienen por su propio peso y por la adherencia con los contrafuertes inmediatos. El empuje que se ejerce en la longitud AD tenderá á desprender toda la masa del tramo rompiendo su union con el contrafuerte en los planos AB y CD, y este movimiento se puede verificar trasladán-

$$e_1 = \frac{PD}{f\pi D h + 2\gamma h} \dots \dots (1)$$

5. El equilibrio de rotacion al rededor de la linea BC de la base tendrá lugar cuando el momento del empuje disminuido del momento de rotura de las superficies AB y CD sea mayor que el momento del peso del tramo. El momento de rotura del rectángulo $abcd$ girando al rededor de un punto de la base ab se puede considerar representado por la fórmula $\frac{1}{2} \gamma e h^2$, si se supone que la cohesion de cada elemento mn se concentra en su punto medio conservando la direccion horizontal. Llamando entonces M al momento del empuje por unidad de longitud, y σ' al menor coeficiente de estabilidad que se puede admitir (Nota sobre el coeficiente de estabilidad (**)) 6), la ecuacion de equilibrio será la siguiente:

(*) Falta en el grabado una A en la interseccion de las lineas HI y EB prolongada.
 (***) Véase el tomo VII de la REVISTA, pág. 279.

$$\sigma' \left[MD - \frac{2}{3} \gamma e h^2 \right] = \frac{1}{2} \pi D h e^2,$$

de la que se deduce para el espesor del muro, haciendo para simplificar, $\frac{M}{\pi h} = m$,

$$e_2 = -\frac{2\sigma' \gamma h}{3\pi D} + \sqrt{\frac{4\sigma'^2 \gamma^2 h^2}{9\pi^2 D^2} + 2\sigma' m} \dots (2)$$

4. Si la adherencia con los refuerzos en AB y CD no permite que el tramo ceda al empuje en una sola pieza, este tenderá á abrirse por el medio IJ girando cada mitad al rededor de los puntos B y C. y si no se rompe será porque cada una de las mitades ejercerá sobre la otra en la extension IJ una presión Q que compuesta con el empuje S que corresponde á la longitud AI produzca una resultante R que impida que el cuerpo AIJB se separe del plano AB, sin que se altere el material en el punto B por la presión, y además la presión Q ha de ser suficiente para que no haya abertura en el punto J, ni aplastamiento en el punto I. Para que no haya abertura en el punto A se necesita que $KB = \frac{1}{3} e$, y para que no la haya en I se necesita que $IL = \frac{1}{3} e$, de modo que el valor de Q deberá satisfacer á la condicion

$$Q \times \frac{1}{3} AB = S \times \frac{1}{2} AI.$$

Tomando los valores de las fuerzas para una faja mn infinitamente delgada; cuya altura sea dh, si Q representa la presión por unidad de altura, la que corresponde á esta faja será Qdh, y el empuje será $S = \frac{1}{2} D \frac{dP}{dh} dh$, suponiendo que P sea función de la altura variable h, y entonces la ecuacion anterior da

$$Q = \frac{3}{8} \frac{D^2}{e} \frac{dP}{dh}.$$

Para que la presión en B y en I no esceda del limite R que se puede adoptar para las cargas permanentes en el material de la obra,

se ha de verificar (Nota sobre el coeficiente de estabilidad, 8.)

$$\frac{2Qdh}{e dh} = R$$

y eliminando entre las dos últimas ecuaciones la presión Q, resulta

$$e_3 = D \sqrt{\frac{3}{4R} \frac{dP}{dh}} \dots (3)$$

en donde se deberá poner el mayor valor de $\frac{dP}{dh}$, que siempre corresponde á la base. (*)

5. El espesor que se adopte para el muro será el mayor que resulte de las fórmulas (1), (2) y (3), que por lo comun será el de la fórmula (2). Aplicándolas á un muro de 10 metros de altura, como el de la nota citada (12) en que se tenga además, $\pi = 2500$, resultará

$$P = \frac{1}{2} \pi h^2 t^2 = 14166,6 \quad m = 1,8888,$$

$$\frac{dP}{dh} = \pi h t^2 = 2855,55 \text{ en su valor máximo.}$$

y como segun los experimentos de Boistard (**) se puede tomar el valor de $\gamma = 700$ kilogramos por metro cuadrado y el de $f = 0,6$, resultarán para los espesores las fórmulas siguientes:

$$e_1 = \frac{1,012 D}{1 + 1,071 D},$$

$$e_2 = -\frac{2,154}{D} + \sqrt{\frac{4,640}{D^2} + 4,36}, \quad e_3 = 0,092 D.$$

Haciendo la separacion de los contrafuertes igual á 5,7 y 10 metros sucesivamente, resulta para estos espesores,

$$D = 5 \dots e_1 = 0^m,80 \dots e_2 = 1^m,76 \dots e_3 = 0^m,46$$

$$D = 7 \dots e_1 = 0^m,84 \dots e_2 = 1^m,80 \dots e_3 = 0^m,64$$

$$D = 10 \dots e_1 = 0^m,85 \dots e_2 = 1^m,88 \dots e_3 = 0^m,92$$

(*) L' Eveillé, en su teoría de los contrafuertes (Ann. des p. et. ch. 1.º sem. 1844) que es la mas completa que se ha escrito, no determina el espesor del muro mas que por una consideracion análoga á esta, pero la comparacion que sigue en el texto hace ver que conduce á espesores demasiado pequeños, y que los muros calculados por esta fórmula se romperian por sus dos uniones con los contrafuertes contiguos.

(**) NAVIER, 285 y siguientes.

en donde se vé que siempre e_2 es el mayor. Se puede observar que desde $D=7$ en adelante el valor de e_2 es casi constante y difiere poco del que se encontraría por la ecuacion sencilla del equilibrio estricto

$$m = \frac{1}{2} e^2$$

que es $e=1^m,94$, y que se puede adoptar siempre que no se necesite una grande exactitud. Se notará igualmente que e_2 no puede llegar nunca á valer $2^m,08$.

6. Para hallar las dimensiones de los contrafuertes se considerará el equilibrio de la parte MNIJ comprendida entre el centro de dos tramos inmediatos y solicitada por el empuje que se ejerce en la longitud IM. Como los contrafuertes son las partes principales de la obra y requieren gran solidéz, se adoptará en la ecuacion de equilibrio el coeficiente de estabilidad σ_1 (*) y haciendo $GE=D'$, $BE=e'$, se tendrá

$$\sigma_1 M(D+D') = \pi h [(D+D')e + D'e'] v_2.$$

y para el valor de σ_1 (Nota citada)

$$\sigma_1 = \frac{v_1 v_2 [(D+D')e + D'e']}{I}$$

quedando la ecuacion de equilibrio bajo la forma

$$m(D+D') = \frac{I}{v_1} \dots (4)$$

Descomponiendo la figura IJBEGTNMI en los dos rectángulos IJNM y BEGT se encontrará para la distancia del centro de gravedad á la arista MI

(*) L' Eveillé adopta para los contrafuertes el coeficiente que se ha designado por σ' y que corresponde á las obras ligeras, pero por una errata en el planteo de una ecuacion (pág. 222) resulta su valor demasiado pequeño para el caso de los contrafuertes interiores.

$$v_1 = \frac{D'e e' + \frac{1}{2}(D+D')e^2 + \frac{1}{2}D'e'^2}{(D+D')e + D'e'}$$

para la distancia del mismo punto á la arista GE

$$v_2 = \frac{(D+D')e e' + \frac{1}{2}(D+D')e^2 + \frac{1}{2}D'e'^2}{(D+D')e + D'e'}$$

y para el momento de inercia

$$I = \frac{1}{12}(D+D')e^3 + \frac{1}{12}D'e'^3 + \frac{1}{4} \frac{(D+D')D'e e'}{(D+D')e + D'e'} (e+e')^2$$

Haciendo para simplificar

$$\frac{(D+D')}{D'} = p, \frac{e'}{e} = q,$$

las tres últimas fórmulas se pueden escribir de este modo

$$v_1 = \frac{1}{2} e \frac{1 + \frac{2q}{p} + \frac{q^2}{p}}{1 + \frac{q}{p}}, \quad v_2 = \frac{1}{2} e \frac{1 + 2q + \frac{q^2}{p}}{1 + \frac{q}{p}}$$

$$I = \frac{1}{4} (D+D') e^3 \left[\frac{1}{3} + \frac{1}{3} \frac{q^2}{p} + \frac{q(1+q)^2}{1 + \frac{p}{q}} \right]$$

7. En el caso en que los contrafuertes sean exteriores, es decir, que el muro reciba la presión por la cara MD, el giro tiende á hacerse al rededor de la arista GE, y la ecuacion (4) tal como está escrita será la de equilibrio, en la que se sustituirán los valores de I y v_1 últimamente hallados, resultando en la siguiente forma:

$$\frac{2m}{e^2} = \frac{\frac{1}{3}q^4 + \frac{4}{3}p q^3 + 2p q^2 + \frac{4}{3}p q + \frac{1}{3}p^2}{p(q^2 + 2q + p)} \dots (5)$$

Si los contrafuertes son interiores, es decir, que el muro recibe la presión de las tierras por la cara CN y el giro tiende á efectuarse por la arista IM, habrá que poner en la ecuacion (4) v_2 en lugar de v_1 y resultará

$$\frac{2m}{e^2} = \frac{\frac{1}{3}q^4 + \frac{4}{3}p q^3 + 2p q^2 + \frac{4}{3}p q + \frac{1}{3}p^2}{p(q^2 + 2p q + p)} \dots (6)$$

8. Los segundos miembros de las ecuaciones (5) y (6) son enteramente independientes de las dimensiones absolutas de la obra, pues en ellos entran solo las relaciones entre las

longitudes y los espesores del tramo y del contrafuerte. El primer miembro depende solo de las dimensiones de la seccion vertical del muro y difiere poco de la unidad cuando $D > 0,7$ de la altura y se toma para e el valor menor posible, que se halla por la ecuacion (2). De todos modos, hallado su valor se puede encontrar q haciendo algunos tanteos en la ecuacion correspondiente, en que se haya despejado p , que está solo elevada á la segunda potencia. Es fácil observar que á igualdad de valores de m , e y p , la ecuacion (6) los da para q mayores que la (5), y por consiguiente que los contrafuertes interiores han de ser mas salientes que los exteriores.

9. El valor de D' es arbitrario y se fija en $\frac{1}{2}$ ó $\frac{1}{10}$ de la altura para que el macizo saliente tenga suficiente estabilidad lateral. El valor de D no se hace menor, que la mitad de la altura (*) de modo que suele ser $p=5$ y $q=1,5$ en los contrafuertes exteriores, y para un muro de 10 metros de alto se tendrá (**)

$$e=1^m,76, e'=2^m,64:$$

en los contrafuertes interiores se hallaria un valor casi doble.

Estas dimensiones son próximamente las que producen el menor valor absoluto de e' para un mismo muro, á igualdad de valor de D' , propiedad que se ha encontrado por medio de tanteos gráficos.

10. El empleo de los contrafuertes, especialmente los exteriores, puede proporcionar alguna economía de material en la construccion ó en el refuerzo de un muro. Para hacer la comparacion se tomará el volúmen de la parte MI comprendida entre los centros de dos tramos, que es

(*) L' Eveillé determina un límite para el valor de D por la resistencia al aplastamiento en la cara AH, pero estando la cara opuesta GE enteramente libre, esta consideracion no puede tener lugar.

(**) Con los mismos datos, L' Eveillé deduce $e=1^m,15$, y $e'=5^m,66$.

$$h(D+D')e\left(1+\frac{q}{p}\right)$$

y se dividirá por la longitud MI, lo que dará para el volúmen por unidad de longitud

$$V=he\left(1+\frac{q}{p}\right)$$

Haciendo variar correlativamente las cantidades e , p y q se verá que el volúmen necesario para obtener la misma estabilidad disminuye rápidamente á medida que p aumenta ó sea que se separan mas los contrafuertes, pero antes de que D llegue á ser la mitad de la altura este volúmen queda casi constante y próximamente igual á los dos tercios del de un muro recto de la misma estabilidad, ó á 0,86 de uno con la estabilidad ordinaria.

EDUARDO SAAVEDRA.

MEMORIA

SOBRE LOS CAMINOS DE LA ISLA DE CUBA.

(Conclusion.)

Mas no se piense por esto que mi ánimo es proscibir toda innovacion ó mejora que pueda hacerse. Alegrariame por el contrario, que fuésemos tan felices, que á las ventajas de que gozáramos con los buenos caminos, uniésemos tambien la gloria de haberlos sabido construir por un método peculiar nuestro. Tampoco me atreveré á negar que ninguno de los sistemas propuestos sea capaz de producir algun resultado favorable. Las palabras *buen camino* son muy relativas, y entre los diversos grados de su bondad, media una enorme diferencia; así no es extraño, que uno llame camino *escelente*, el que otro llamará *bueno*, y tal vez *mediano*, ó acaso *malo*. Hago esta indicacion, porque acostumbrados nosotros á viajar por unos caminos casi intransitables en una parte del año, es muy posible que consideremos como *escelente y perfecto* el que otros