LECCIONES de ARQUITECTURA

POR

LINO MARIA FLOR

Ingeniero civil, Profesor en la Universidad Central del Ecuador

(Continuación de la página 146 Nº 115)

261.—**Superficies de contacto.**—En las construcciones, toda superficie de contacto de sillares, ladrillos, adobes, debe quedar normal á la presión; porque si así no se verificara, esta fuerza se descompondría en una normal y otra paralela, tanto más grande cuanto mayor fuese la inclinación de la fuerza respecto al plano de contacto, que tendería á voltear ó dislocar la obra; mas por oponerse á esta fuerza, por una parte, el rozamiento que en la práctica se toma igual á 0,76 de la presión normal, y por ótra, la adherencia de los morteros ó cementos que ponen en equilibrio aun en pequeñas inclinaciones que no pasen de 37°, siempre que no hayan otros empujes horizontales que aumenten la intensidad de aquella fuerza paralela; en cuyo caso para equilibrar la obra se aumenta al propio peso de la fábrica, ótro que destruya aquellas fuerzas horizontales.

Antes de estudiar la situación de la resultante de las presiones, es necesario dar á conocer algunos términos que se han de emplear al tratar de dicha situación que puede variar tanto, cuanto que toda construcción está sujeta á alteraciones que provienen de *choques*, *temblores*, *vibraciones*, *descomposiciones químicas*, *de sobrecargas* que hacen necesarias en cada pieza mayores dimensiones para que resistan con estabilidad suficiente ese aumento considerable de esfuerzos que tienden á destruir la obra. Este aumento de dimensiones sobre las que da el cálculo es necesario, pero debe tener un límite, atendiendo á las condiciones indispensables de *solidez* y *estabilidad:* porque si se aumentan con exceso para cumplir con estas condiciones, crecen excesivamente los gastos; y si por economía, se disminuyen las dimensiones, la obra carece de solidez, y por consiguiente no es estable. La estabilidad requiere que las piezas no sufran alteraciones en sus dimensiones, formas y volúmenes, ya por descomposiciones químicas, ya por aquellos esfuerzos exteriores que tienden á producir deformaciones que ocasionan cambios en la obra, apareciendo, primeramente, desplomes, rajas, desarmaduras, erosiones, etc. etc., según la naturaleza de los materiales empleados.

Es pues preciso que los sólidos no solamente resistan á dichos esfuerzos exteriores, sino también á los pesos propios y sobrecargas; y además que permanezcan indeformables. En consecuencia el problema que hay que resolver consta de dos partes: la primera, debe tratar del cálculo de las dimensiones; y la ótra, del de las deformaciones, para en úno y otro caso establecer los términos precisos de una obra sólida y estable.

Carga relativa.—Es la que se refiere á la unidad de superficie, que en este caso es el centímetro cuadrado: se obtiene dividiendo la carga total por el área de la sección trasversal á las presiones; y que en la práctica se designa á este cociente como carga *relativa á la tracción*, *compresión*, *flexión* y *torsión*.

Se distinguen dos especies de cargas relativas, úna que se equilibra con la resistencia que opone por sí mismo un cuerpo para no alterar su forma; y ótra que equilibra el peso con la resistencia que opone el mismo cuerpo á la separación de sus partes: á la 1ª, se da los nombres de *elasticidad*, *carga límite de elasticidad*, *coeficiente de carga* ó *fuerza elástica;* á la 2ª, los de *resistencia, coeficiente de ruptura* ó *fuerza de ruptura.* Se llama elasticidad la propiedad que tienen los cuerpos de volver á sus dimensiones y formas que antes tenían, después de retiradas las fuerzas que les hicieron variar. En la práctica se determinan los límites de las cargas que producen variaciones lineales en el cuerpo, aumentando sucesivameute pequeñas cargas y retirándolas para observar las variaciones que sufren los cuerpos, pudiendo por este medio, averiguar el límite de elasticidad que se obtiene por el mismo aumento sucesivo de carga que produce variaciones lineales constantes, hasta que el cuerpo no vuelva á tomar la forma primitiva. A esta variación constante entre la carga y las dimensiones lineales, se da el nombre de *coeficiente elástico* ó *módulo elástico*, que para los cálculos lo señalamos con la letra E. Se pueden considerar los materiales de construcción, en teoría, sin cometer grandes errores, como iguales; esto es, homogéneos, sin solución de continuidad ni defectos; pero en la práctica, intoduciremos en los cálculos, solamente los resultados que den los experimentos directos, hechos para cada clase de material que se va á emplear, con los que no se cometerán grandes errores, que para evitarlos en lo absoluto, á estos resultados prácticos deducidos por experimentos especiales y por el cálculo, se aumentará la décima, novena, octava, séptima, hasta la mitad de sus valores respectivos, introduciendo de este modo en las operaciones lo que se llama *coeficiente de seguridad*, que lo llamamos S, el que nos permite distinguir las clases de materiales y que se debe deducir con preferencia á todo otro dato, siempre relacionado con la carga de elastidad que lo llamamos T. Además, designemos por *i* la variación relativa á la unidad producida por la carga límite de elasticidad P, y se tiene:

$$T=Ei \qquad (1)$$

y P=TA, en donde A es el área de la sección trasversal; de donde:

$$P=AEi=TA; \qquad (2)$$

pero como ya lo hemos dicho, que á los datos prácticos se deben aumentar de ciertas cantidades que den á la obra una solidez y estabilidad suficientes, podemos introducir (en 2) el *coeficiente de seguridad* en lugar de la carga de elasticidad ó de la de ruptura, así será:

$$P = SA. \tag{3}$$

262.—Resultante de las presiones.—En los sillares M y N fig. 143, Lám. XI, sea la superficie de contacto eh=A, donde e y h son las dimensiones de la sección trasversal *a b c*, y A la superficie misma que la vamos á considerar, teniendo en cuenta que lo deducido para ésta, corresponderá á las otras caras de contacto. Supongamos que por efecto de las presiones, la superficie *a b c* ha pasado á *m n o* y que el lado *m n* permanezca en línea recta como estaba *a b*, habiéndose trasmitido las mismas moléculas de úna á otra posición; y además que las presiones han sido desiguales, de modo que *m n* no sea paralela á *a b*, y que sean los acortamientos extremos am=y; bn=y.

Aplicando la fórmula (1) se tendra:

$$T = Ey, \text{ para el un extremo;} \tag{4}$$

y,

$$T' = Ey', \text{ para el ótro.} \tag{5}$$

Ahora considerando la presión producida sólo por el peso propio del sillar, se ve que la resultante debe tener por punto de aplicación el centro de gravedad; pero como los planos *a b c* y *m n o* interceptan un cuerpo cuya sección vertical es un trapecio, el centro de gravedad del sillar transformado por la presión se proyectará en el mismo centro de gravedad del trapecio *a b m n*. En esta virtud, llamaremos x la distancia de este centro á la arista AB, que la suponemos línea de referencia, según *la teoría de los momentos:* la superficie del trapecio multiplicada por la distancia x es igual á la superficie del triángulo *a m n*, multiplicada por la distancia $\frac{1}{3}h$ del centro de gravedad á la misma línea de referencia AB, más la superficie del otro triángulo *b a n* multiplicada por la distancia $\frac{1}{3}h$ del centro de gravedad á la misma línea, ó sea:

$$\tfrac{1}{2}h(y+y')x=\tfrac{1}{2}h(\tfrac{1}{3}hy+\tfrac{2}{3}hy')$$

$$(y+y')x=\tfrac{1}{3}hy+\tfrac{2}{3}hy' \qquad (6)$$

Podemos encontrar otra relación entre y é y', considerando los elementos del área ó plano de contacto, a, a', a'' . . . .; siendo p, p', p'', ... las presiones correspondientes á dichos elementos, cuyas variaciones relativas son: i, i', i'', ..., que según la fórmula [2], se tiene:

$$p=Eai;\quad p'=E'a'i';\quad p''=E''a''i'';\ldots.;$$

pero la suma de estas igualdades está representada por la fórmula P=SA, ó lo que es lo mismo, SA=E[ai+a'i' +a''i''+ . . . .]; en donde la suma de las cantidades que están dentro del paréntesis es el volumen del sillar comprendido entre los planos *a b c* y *m n o*, que se puede expresar también por el área del trapecio *a b m n*, y por el espesor ó tercera dimensión, y así tendremos:

$$SA=\tfrac{1}{2}Ehe[y+y'],$$

pero A=he: luego se tiene:

$$S=\tfrac{1}{2}E[y+y'] \qquad (7)$$

De la ecuación [6], tenemos:

$$x=\frac{\tfrac{1}{2}hy+\tfrac{2}{3}hy'}{y+y'}=\tfrac{1}{3}h+\tfrac{1}{3}h\times\frac{y'}{y+y'} \qquad (8)$$

y también:

$$x=\frac{\tfrac{2}{3}hy'+\tfrac{1}{3}hy}{y+y'}=\tfrac{2}{3}h-\tfrac{1}{3}h\times\frac{y}{y+y'} \qquad (9)$$

Ahora despejando $y+y'$ de la fórmula [7], poniendo su valor en las dos anteriores y despejando y' de la [8], é y de la [9], resulta:

$$y'=\frac{2S}{E}\left[\frac{3x}{h}-1\right], \qquad y=\frac{2S}{E}\left[2-\frac{3x}{h}\right],$$

que sustituidos en las fórmulas [4] y [5], dan:

$$T=2S\left[2-\frac{3x}{h}\right]; \tag{10}$$

y,

$$T'=2S\left[\frac{3x}{h}-1\right]. \tag{11}$$

En estas expresiones lo único variable es *x*, cantidad que fija la posición de la resultante de las presiones y que puede variar entre sus límites cero y la altura h que al ser x igual cero, estaría la resultante en *n* ó *b;* y al tener el valor igual á *h*, la posición será en *a* ó *m* mayor valor que tiene la altura *h*.

En estos casos los valores de T y T′ son:

$$\text{Para } x=0 \ldots\ldots\ldots \begin{cases} T=\ \ 4S \\ T'=-2S \end{cases}$$

$$\text{y para } x=h \ldots\ldots \begin{cases} T=-2S \\ T'=\ \ 4S \end{cases}$$

Estos valores no satisfacen, una vez que en úno y otro caso resultan valores negativos para el doble del coeficiente de seguridad, cosa inaplicable en la práctica y en la teoría sólo sirve para observar que la resultante de las presiones no debe pasar ni por *a* ni por *b*, límites de la altura *h* entre cero y su mayor valor, sino por algún punto intermedio; que supondremos esté entre $x=\frac{1}{3}h$, y $x=\frac{2}{3}h$; y entonces será:

$$\text{Siendo } x = \tfrac{1}{3}h \ldots\ldots\ldots \begin{cases} T = 2S \\ T' = 0 \end{cases}$$

$$\text{y para } x = \tfrac{2}{3}h \ldots\ldots\ldots \begin{cases} T = 0 \\ T' = 2S \end{cases}$$

Estos valores positivos para el coeficiente de seguridad son aceptables y manifiestan que el mismo coeficiente debe ser el doble de T ó T', carga límite de elasticidad para $x=\frac{1}{3}h$ y para $x=\frac{2}{3}h$; y que estos términos son los casos posibles para la estabilidad que fijan los límites de la posición de la resultante, que no debe pasar de la tercera parte intermedia de la base. Siendo por consiguiente el caso más favorable, el que corresponde á $x=\frac{1}{2}h$; porque entonces resulta $T=T'=S$. Según esto cuando la resultante de las presiones tienen su punto de aplicación en el punto medio de la superficie de contacto, el coeficiente de seguridad S, será igual á T carga límite de elasticidad, y esto basta para que un muro sea estable; pero cuando la resultante pasa por cualquier punto de la tercera parte intermedia, el coeficiente de seguridad debe ser el doble para que haya estabilidad en la obra.

263.—Espesor de muros según la densidad de los materiales.—Sea en la fig. 144. Lám. XI, la sección vertical *a b c d* de un muro, la altura igual *h*, el espesor *e*, la lonhitud *l* y *d* la densidad del material empleado. En este muro se debe considerar la presión que ejerce su propio peso, que llamándolo P, será:

$$P = held;$$

y también el empuje horizontal que produce el viento, que tomando como término medio 80 klgs. por metro cuadrado de superficie, se tiene:

$$V = 80hl.$$

El punto de aplicación r de la resultante *R* debe estar en la tercera parte intermedia, según el número anterior; y para que haya estabilidad perfecta, basta que el coeficiente de seguridad sea solamente igual á la carga límite de elasticidad, en cuyo caso debe verificarse que los brazos $\frac{1}{2}h$ de la fuerza V y $\frac{1}{2}e$ de la P, den:

$$\tfrac{1}{2}hV = \tfrac{1}{2}eP, \qquad \text{ó} \qquad hV = eP,$$

caso en que la resultante pasa por el punto medio de la base; pero los valores de V y P se tienen en las fórmulas anteriores que sustituídos en ésta, dan:

$$e^2 d = 80h;$$

de donde,

$$e = \sqrt{\frac{80h}{d}} \qquad (12)$$

Valor que no habría necesidad de aumentarlo, porque la estabilidad es perfecta, una vez que en este caso la resultante de las presiones pasa por el centro de la superficie de contacto; y para la resultante de la velocidad del viento, aplicada también á la mitad de la altura del muro, se ha tomado el término medio de las velocidades de tiempos normales; pero para obtener este resultado teórico es preciso que concurran todas estas circunstancias que aplicadas á la práctica den los mismos resultados, por medio de la fórmula anterior. Mas cuando la resultante de las presiones pase por un punto de la tercera parte intermedia, se verifica la igualdad siguiente:

$$\tfrac{1}{2}hV = \tfrac{1}{6}eP;$$

de donde:

$$\tfrac{1}{6}e^2 d = 40h, \qquad \text{y} \qquad e = \sqrt{\frac{240h}{d}} \qquad (13)$$

Valor proximamente duplo del anterior que se podría ir disminuyendo según el punto de aplicación de la resultante de las presiones se aproxime más y más al centro de la superficie de contacto. Mas, como en la práctica es difícil hacer que concurran las circunstancias indicadas, se hace preciso introducir el *coeficiente de seguridad* de la manera ya expuesta.

(Continuará)