

REVISTA DE OBRAS PÚBLICAS.

MADRID, 15 DE MARZO DE 1887.

4.ª Serie.

Tomo 5.º

Número 5.º

AÑO XXXV DE LA PUBLICACIÓN.

SUMARIO.

Resistencia de postes y columnas, por D. A. de la Cámara (continuación).—Ventajas de la vía estrecha, por M. Aug. Moreau (continuación).—Lámina 52.

RESISTENCIA DE POSTES Y COLUMNAS

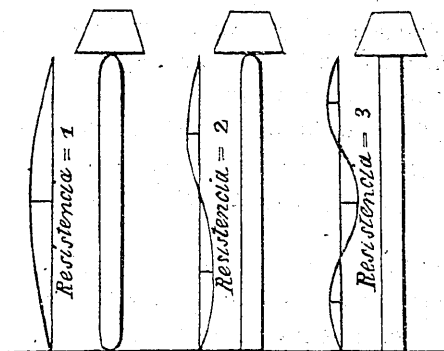
(Continuación.)

4.º Un poste largo, fijado irregularmente, de tal suerte que la resultante de la carga tome la dirección de la diagonal, pierde dos tercios de su resistencia, siendo este caso muy semejante al de un poste con sus extremos redondeados, cuya resistencia se ha visto que es sólo $\frac{1}{3}$ de la del poste con sus extremos planos. Esto demuestra la necesidad de repartir con mucha igualdad la presión en los dos extremos de un poste ó columna, lo que en la práctica es bastante difícil de conseguir.

5.º La resistencia en postes de dimensiones semejantes es proporcional al área de su sección transversal. De las experiencias de Hodgkinson resulta que en los postes de hierro fundido la resistencia varía proporcionalmente á la 1,865 potencia del diámetro ó de cualquier otra dimensión transversal, y en los de madera es proporcional al cuadrado del diámetro.

La posición del plano de fractura en los postes largos flexibles, varía según sea el modo de fijación de sus extremidades. En los postes de hierro fundido de sección uniforme la fractura se presenta en un solo punto, próximamente á la mitad del poste, cuando sus extremos están redondeados. Cuando el poste tiene una de sus extremidades planas y la otra redondeada, adquiere una doble flexión y tiende á romperse por dos puntos, situados en el tercio de la longitud, á contar de los dos extremos. Finalmente, si las dos extremidades del poste son planas, hay una triple flexión, y el poste se rompe hacia el medio de la pieza y cerca de sus dos extremidades. En la adjunta figura se representan las curvas que adquiere el eje del poste en cada uno de estos casos.

Fig. 2



Fórmulas empleadas en el cálculo de resistencia de postes y columnas.

—Hodgkinson ha dado fórmulas, deducidas de sus experiencias, para el cálculo de las columnas de hierro fundido, huecas ó macizas, y para el de postes de madera. Las primeras son en la práctica de uso complicado, teniendo la forma siguiente:

$$\text{Columnas macizas, } W = A \times \frac{d^{3.6}}{l^{1.7}}; \text{ columnas huecas, } W = A \frac{d^{3.6} - d'^{3.6}}{l^{1.7}}.$$

En las que W , carga de rotura de la columna; A , constante; d , diámetro exterior; d' , diámetro interior, y l , longitud de la pieza.

La fórmula que aplica á los postes de madera es más sencilla; $W = B \times \frac{d^4}{l^2}$; pero con los valores que Hodgkinson atribuye á la constante B se obtienen cargas excesivas, según resulta de experiencias posteriores, verificadas especialmente por C. Shaler Smith, con madera de la misma resistencia que la que sirvió á Hodgkinson en sus experiencias.

La siguiente fórmula, conocida por fórmula de Gordon, aunque en primer lugar propuesto por Tredgold, es más conveniente para el cálculo de estas piezas, y está basada en las experiencias de Hodgkinson, con las que concuerda muy aproximadamente.

$$\left. \begin{array}{l} (1) \text{ Postes termi-} \\ \text{nados en superficies} \\ \text{planas y perfecta-} \\ \text{mente empotrados..} \end{array} \right\} W = \frac{a}{1 + br^2} \quad \left. \begin{array}{l} (2) \text{ Postes con} \\ \text{sus extremos} \\ \text{articulados ó} \\ \text{imperfecta-} \\ \text{mente fijos.} \end{array} \right\} W = \frac{a}{1 + 4br^2}.$$

En las que W = carga de rotura del poste por unidad de superficie, ó sea resistencia-unidad del poste.

r = relación de la longitud al diámetro ó lado menor de la sección de la pieza.

a y b = constantes que dependen del material y de la sección de la pieza; pero a siendo poco diferente de la resistencia-unidad del material al aplastamiento en bloques pequeños.

La ecuación (2) está deducida de la (1), fundándose en la ley de Hodgkinson, que un poste flexible con sus dos extremos perfectamente fijos es tan fuerte como un poste de longitud mitad que la suya y con extremos redondeados.

La fórmula de Gordon es, además, de uso general, conviniendo á toda clase de materiales y secciones de los postes usados en la construcción, sin más que alterar el valor de las constantes a y b .

A continuación damos los valores que convienen en cada caso.

1.º Postes y columnas de hierro fundido.

Los valores de los coeficientes de la fórmula de Gordon para columnas cilíndricas de hierro fundido, ya sean huecas ó macizas, son los siguientes:

$$a = 5,60 \text{ toneladas, } b = \frac{1}{400};$$

siendo el valor de W con estos valores la carga de rotura en toneladas por centímetro cuadrado de la sección transversal de la columna.

Cuando el poste ó columna es de sección rectangular, parece resultar de las experiencias de Hodgkinson que su resistencia-unidad es 1,178 mayor que la del poste circular inscrito de igual longitud; y partiendo de este hecho, se ha determinado el valor del coeficiente b de la fórmula, haciéndolo igual á $\frac{1}{500}$, y representando r la relación de la longitud al lado menor de la sección del poste.

Con esos valores hemos formado la siguiente tabla, que facilitará el cálculo de las columnas y postes de hierro fundido.

TABLA IV

PARA CALCULAR LA RESISTENCIA DE LOS POSTES DE HIERRO FÚNDIDO DE SECCIÓN HUECA Ó MACIZA.

Carga de rotura en toneladas por centímetro cuadrado de la sección transversal.

Relación de la longitud al diámetro.	SECCIÓN CIRCULAR SÓLIDA Ó HUECA.		SECCIÓN RECTANGULAR SÓLIDA Ó HUECA.		Relación de la longitud al diámetro.
	Los extremos del poste con secciones pla- nas y fijos por completo.	Los extremos articulados ó imperfecta- mente fijos.	Los extremos del poste con secciones pla- nas y fijos por completo.	Los extremos articulados ó imperfecta- mente fijos.	
5	5,30	4,50	5,40	4,70	5
10	4,50	2,80	4,70	3,10	10
15	3,60	1,70	3,90	2,00	15
20	2,80	1,10	3,10	1,35	20
25	2,20	.78	2,50	.94	25
30	1,70	.56	2,00	.69	30
35	1,30	.42	1,60	.52	35
40	1,10	.33	1,35	.41	40
45	.92	.27	1,10	.33	45
50	.78	.22	.94	.27	50
55	.67	.18	.80	.22	55
60	.56	.15	.69	.19	60
65	.48	.13	.60	.16	65
70	.42	.11	.52	.14	70
75	.38	.10	.45	.12	75
80	.33	.09	.41	.11	80

Ejemplo.—1.º Carga de rotura de una columna de sección circular maciza de 3,00 metros de longitud y 5 centímetros de diámetro. La relación de la longitud al diámetro es de $\frac{300}{5} = 60$, por lo tanto, si las extremidades de la columna son planas y están empotradas con todo esmero, la carga de rotura por centímetro cuadrado de sección será 0,56 toneladas, y la del poste:

$$19,63 \times 0,56 = 10,993 \text{ toneladas.}$$

Si los extremos estuvieran articulados ó con mal asiento, la carga de rotura por centímetro cuadrado sería 0,15 toneladas, y la del poste

$$19,63 \times 0,15 = 2,945 \text{ toneladas.}$$

La carga práctica no debe ser superior á $\frac{1}{6}$ de la rotura; por lo tanto,

en el primer caso el poste podría soportar $\frac{10,993}{6} = 1,83$ toneladas, y en el segundo $\frac{2,943}{6} = 0,49$ toneladas.

2.º Carga de rotura de una columna de 4,00 metros de longitud de sección circular hueca de 15 centímetros de diámetro exterior y 1 $\frac{1}{2}$ centímetro de grueso. La relación de la longitud al diámetro exterior es de $\frac{400}{15} = 26,7$; por lo tanto, si la columna está bien empotrada y termina en secciones planas, su carga de rotura será:

$$(176,71 - 113,09) \times 2,03 = 129,15 \text{ toneladas};$$

y si los extremos están articulados ó irregularmente fijos:

$$(176,71 - 113,09) \times 0,71 = 45,19 \text{ toneladas}.$$

En el primer caso se la podrá cargar con $\frac{129,15}{6} = 21,5$ toneladas, y en el segundo con $\frac{45,19}{6} = 7,50$ toneladas.

En la fundición de columnas huecas es difícil conseguir un espesor uniforme en toda la pieza, siendo lo más frecuente que uno de los lados sea más grueso que el opuesto; la resistencia de la pieza no se altera por esta desigualdad, siempre que la diferencia de los espesores no sea mayor que la cuarta parte del espesor medio de la columna, á causa de que, como ya hemos dicho, la resistencia-unidad al aplastamiento aumenta cuando disminuye el espesor de las piezas fundidas; pero si el grueso de la pieza es considerablemente mayor en una de sus generatrices que en la opuesta, el metal se enfriará en la primera después que en la segunda, produciendo entonces una fuerte tensión en esta última, que llega á encorvar la pieza, debilitándola en extremo. Conviene, por lo tanto, comprobar los espesores que tengan las columnas huecas, ya aplicando cuidadosamente los calibradores, ya haciendo en ellas un pequeño taladro.

Otra regla práctica que se usa en la fundición de piezas es la de que en ningún punto tenga el metal un espesor menor que $\frac{1}{12}$ del diámetro exterior, siendo la relación media de $\frac{1}{10}$.

Los discos ó platillos con que terminan á veces los postes fundidos aumentar muy poco su resistencia, aunque sirven para facilitar las conexiones de la pieza. Tampoco se aumenta la resistencia ensanchando el diámetro de una columna hueca, ya en el medio de su longitud ó en uno de sus extremos con relación al otro; pero si la columna es maciza, se puede

ganar de $\frac{1}{7}$ á $\frac{1}{8}$ en la resistencia ensanchando el diámetro medio, siendo la ventaja más marcada en postes con extremidades redondeadas que en postes terminados por discos.

La resistencia de postes fundidos con secciones en forma de $+$ y de I guarda en la del poste cilíndrico hueco la siguiente relación, según Hodgkinson:

Poste cilíndrico hueco.	= 100
Ídem con sección de I	= 75
Ídem con sección de $+$	= 44

siendo los postes de la misma longitud y peso y con extremos redondeados.

También ha determinado Hodgkinson la resistencia proporcional de postes macizos de hierro fundido con secciones circular, cuadrada y triangular, que en postes de la misma área transversal y longitud, y por lo tanto, de igual peso, es la siguiente:

Poste macizo circular.	100
Ídem íd. cuadrado.	93
Ídem íd. triangular.	110

De aquí se sigue que el poste macizo cilíndrico es la forma más económica en la práctica, toda vez que la sección triangular rara vez será conveniente emplearla.

POSTES DE HIERRO FORJADO Ó LAMINADO.

Postes macizos de sección circular ó rectangular.—La fórmula de Gordon se puede aplicar al cálculo de los postes macizos de hierro forjado de sección rectangular, dando á los coeficientes a y b los valores siguientes:

$$a = 2,50 \text{ toneladas; } b = \frac{1}{3000}.$$

Los valores que da la fórmula de Gordon con estos coeficientes se aproximan mucho á los obtenidas en las experiencias de Hodgkinson, según puede verse en el cuadro gráfico de estas experiencias que va unido á estos apuntes, y en el que se ha trazado la curva que representa la fórmula en este caso.

Cuando los postes tienen sección circular, se admite que la resistencia-unidad disminuye en la misma proporción que tiene lugar en los postes de hierro fundido, y en su consecuencia el valor de la constante b se modifica, haciendo á

$$b = \frac{1}{2250}.$$

Postes huecos de sección cuadrada ó rectangular.—Las experiencias verificadas por Hodgkinson y Fairbairn con tubos de sección cuadrada ó rectangular, formados con planchas de palastro roblonadas en los ángulos, parecen indicar que la resistencia de estas piezas á la compresión es hasta cierto punto independiente de su longitud; pero que generalmente tienen mayor resistencia-unidad los tubos en que la plancha que forma los costados es de mayor grueso relativamente al ancho de estos costados, no contando la parte del ancho reforzada en los ángulos por la unión de las planchas. Resumiendo estas experiencias se obtienen los siguientes resultados:

Relación del lado de la sección del tubo no reforzado y su grueso	Carga de rotura en toneladas por centímetro cuadrado.	
134 á 136	0,95	Media de ocho experiencias.
60 á 70	1,60	Media de diez experiencias.
50 á 51	1,76	Media de tres experiencias.
31,7 á 38,2	1,85	Media de siete experiencias.

Las experiencias de Hodgkinson con estos tubos son poco concluyentes para determinar la verdadera resistencia de postes largos flexibles, porque las piezas ensayadas sólo tenían una longitud comprendida entre 30 y 3 diámetros, observándose que la rotura se verificaba más bien que por la flexión de toda la pieza, por la deformación de una pequeña parte de su longitud, presentándose un pliegue ó seno hacia el medio de la pieza. La fórmula de Gordon puede servir para el cálculo de los postes de sección hueca, con los siguientes coeficientes:

$$a = 2,45 \text{ toneladas; } b = \frac{1}{6000} ;$$

y con ellos se han calculado los valores de la tabla correspondiente, que pueden emplearse siempre que la relación entre la parte no reforzada del ancho de la pieza y el grueso de la plancha no exceda de 50.

Cuando los postes tienen sección circular hueca, los coeficientes de la fórmula de Gordon, que dan valores más aproximados á los resultados de las experiencias de Hodgkinson, son los siguientes:

$$a = 2,60, \quad b = \frac{1}{5000} .$$

En el cuadro gráfico ya citado, se representan los resultados obtenidos por Hodgkinson con estos tubos, que se figuran con pequeños círculos llenos. Si se traza la curva que los comprende, se obtienen los valores de la tabla que sigue:

TABLA V

DE LA RESISTENCIA-UNIDAD DE LOS POSTES DE HIERRO DE SECCIÓN HUECA
CILÍNDRICA, RESULTADOS DE LAS EXPERIENCIAS DE HODGKINSON.

Relación de la longitud al diámetro.	10	20	30	40	50	60	70	80
Carga de rotura en toneladas por cen- tímetro cuadrado.	2,67	2,25	2,04	1,90	1,76	1,62	1,34	1,05

Las cargas de rotura de los postes de hierro laminado ó forjado de sección rectangular ó circular, los da la tabla que sigue, deducida de la fórmula de Gordon, con los coeficientes que hemos ido indicado en cada caso.

TABLA VI

PARA CALCULAR LA RESISTENCIA-UNIDAD DE LOS POSTES DE HIERRO LAMINADO
Ó FORJADO DE SECCIÓN RECTANGULAR Ó CIRCULAR.

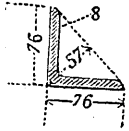
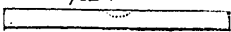
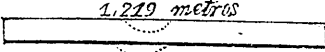
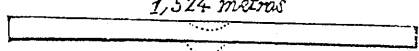
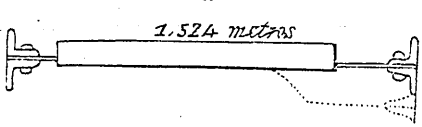
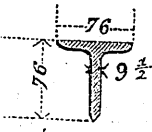
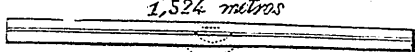
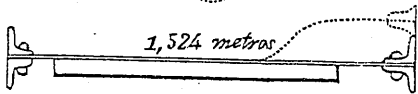
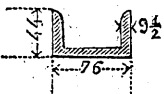
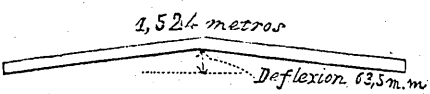
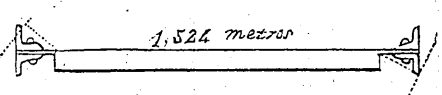
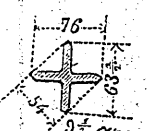
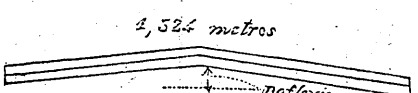
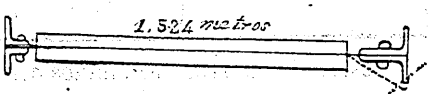
Cargas de rotura en toneladas por centímetro cuadrado.

Relación de la longitud al diámetro.	SECCIÓN CUADRADA.				SECCIÓN CIRCULAR.				Relación de la longitud al diámetro.
	HUECA.		MACIZA.		HUECA.		MACIZA.		
	Extremos planos y empo- trados.	Extremos arti- culados ó imper- fecta- mente fijos.	Extre- mos planos y empo- trados.	Extre- mos arti- culados ó imper- fecta- mente fijos.	Extre- mos planos y empo- trados.	Extre- mos arti- culados ó imper- fecta- mente fijos.	Extre- mos planos y empo- trados.	Extre- mos arti- culados ó imper- fecta- mente fijos.	
5	2,49	2,46	2,45	2,41	2,59	2,55	2,47	2,40	5
10	2,46	2,35	2,41	2,19	2,55	2,41	2,40	2,12	10
15	2,41	2,17	2,35	1,92	2,49	2,20	2,27	1,79	15
20	2,35	1,97	2,19	1,62	2,41	1,97	2,12	1,46	20
25	2,26	1,76	2,06	1,36	2,31	1,73	1,96	1,18	25
30	2,17	1,56	1,92	1,13	2,20	1,51	1,79	96	30
35	2,07	1,38	1,76	95	2,09	1,31	1,62	79	35
40	1,97	1,21	1,62	80	1,97	1,14	1,46	65	40
45	1,87	1,06	1,48	67	1,85	99	1,32	54	45
50	1,76	94	1,36	57	1,73	87	1,18	46	50
55	1,66	83	1,20	50	1,62	76	1,07	39	55
60	1,56	73	1,13	43	1,51	67	96	34	60
65	1,47	65	1,03	38	1,42	60	87	30	65
70	1,38	58	95	33	1,31	53	79	26	70
75	1,29	53	87	30	1,22	47	71	22	75
80	1,21	48	80	27	1,14	42	65	20	80

Postes de hierros laminados con secciones en forma de L I C + . —

Estas secciones, particularmente las tres primeras, son muy empleadas en las barras oblicuas de las vigas de puentes; cuando están sometidas á esfuerzos de compresión, Davies ha hecho algunas experiencias con postes de estas formas en los talleres de Crumlin, y á continuación damos un resumen de ellas.

EXPERIENCIAS DE DAVIES CON POSTES DE HIERROS LAMINADOS.

FORMA DE LA SECCIÓN.	Relación de la longitud al diámetro menor.	Relación del diámetro menor al grueso del metal.	Carga de rotura en toneladas por centímetro cuadrado.	OBSERVACIONES.
	8,0	7,2	2,771	
Ídem.	16,0	7,2	2,489	
Ídem.	21,3	7,2	2,074	
Ídem.	26,7	7,2	1,659	
Ídem.	26,7	7,2	1,084	
	20,0	8,0	2,109	
Ídem.	20,0	8,0	1,406	
	34,2	4,6	1,253	
Ídem.	34,2	4,6	1,023	
	28,2	5,66	1,432	
Ídem.	28,2	5,66	1,307	

(Se continuará.)

ESPERIENCIAS CON COLUMNAS TERMINADAS EN SECCIONES PLANAS NORMALES AL EJE

Referidas á la relacion de su longitud con el menor diametro $\frac{l}{d}=r$

