

Cálculo gráfico de perfiles comprimidos

Por JOSÉ FERNÁNDEZ AMIGO, de la Escuela de Ingenieros Aeronáuticos.

La aplicación de las normas técnicas dispuestas en el Reglamento para la aplicación del Decreto sobre restricciones del hierro en la edificación, resulta bastante engorrosa cuando sea preciso el cálculo del pandeo en la forma que marca el apartado e) del artículo 3.º

Dispónese, en efecto, que se emplee la fórmula $\sigma = \frac{mP}{F}$, en la que σ es la sección, P la carga centrada, F el coeficiente de trabajo y m un coeficiente que varía en cada caso, desde 1 hasta 14,78, a medida que la esbeltez $\lambda = \frac{L}{i}$, siendo L la longitud e i el radio del giro mínimo, lo hace de 0 a 250 (máxima admitida), de acuerdo con los valores correspondientes a una tabla en la que aparecen también indicadas las diferencias proporcionales a fin de facilitar las interpolaciones. Se comprende fácilmente que dicho cálculo, al no ser directo e inmediato, resulta un poco pesado por los tanteos que es preciso hacer comprobando en cada perfil supuesto, que reúne la doble condición de tener la sección necesaria para un valor m correspondiente a su esbeltez. No nos referimos, importa aclarar esto, al ingeniero especializado en la materia, ya que a éste, o bien le bastará un solo tanteo, o empleará los perfiles que le marque en cada caso el *Stahl im Hochbau*, calculado ya precisamente con arreglo a las mismas normas (Tabla de valores correspondientes a m y λ) que sigue nuestro Reglamento, sino al proyectista en general para quien el cálculo de entramados metálicos sea tan sólo un aspecto parcial de su actividad. Quisiéramos que a éste sí le pareciera útil e interesante nuestro trabajo.

Aunque sea innecesario, queremos comenzar justificando la utilidad general de los métodos gráficos, ya que es corriente aún la objeción de que su empleo debe ser limitado en todo lo posible a causa de su menor precisión.

En el caso particular de que nos ocupamos, es cierto que los valores obtenidos son menos exactos que los que pueden hallarse con la aplicación de las fórmulas mediante una serie

de tanteos; pero no es menos verdad que la precisión teórica ni es posible sea alcanzada por ningún medio, ni nos es necesario ni siquiera conveniente. La Ingeniería, no lo olvidemos, es una ciencia práctica.

En efecto, ¿qué se consigue calculando exactamente el perfil que para una determinada longitud soporta una carga también fijada, si en la práctica ni la longitud será la misma, ni la carga la prevista, ni el perfil comercial aquel que hayamos hallado teóricamente? En una armadura, por ejemplo, hemos de partir de unas cargas aproximadas, de unas sobrecargas estimadas con gran amplitud de variación sobre las reales, y construir de ordinario un cremona con errores que se acumulan sucesivamente a medida que avanza su trazado; suponiendo, además, que los nudos, bien roblonados y acartelados en la práctica, están absolutamente libres. ¿Cuál no será el error con que aparezcan los esfuerzos de los diferentes elementos de la misma? ¿De qué nos vale una exactitud en el cálculo de la pieza partiendo de una carga que arrastra tantas causas de inexactitud?

Y por añadidura, será caso poco frecuente que los perfiles del catálogo sean en cada caso los que precisamente necesitamos; pero aún será más extraño que los que empleemos, llegado el caso de ejecutar el proyecto, coincidan con las especificaciones correspondientes que para cada uno venían detalladamente reseñadas, a causa de tolerancias y peculiaridades de fabricación. En estas condiciones se comprende que el empleo del ábaco que acompañamos se encuentra plena y totalmente justificado.

Veamos su descripción. Existen en él, como puede verse, tres columnas verticales: la de la izquierda está graduada en kilogramos, correspondientes a la carga axial que ha de soportar la pieza; la del centro tiene unos coeficientes a , que relacionan la esbeltez y el valor de m , y la de la derecha, otros b , dependientes del radio de giro mínimo de cada pieza y de su sección, para los perfiles que aparecen especificados. Al pie del ábaco hay una tabla de coeficientes de longitudes,

Perfiles

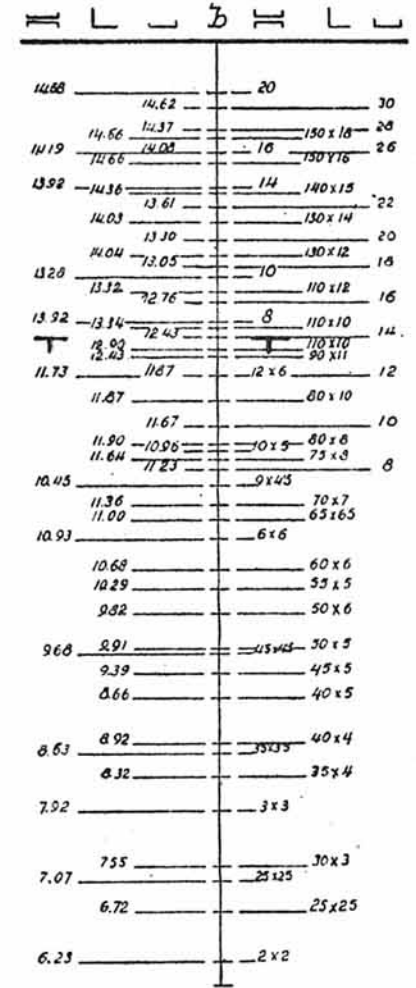
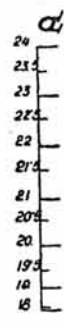


Tabla de Coeficientes de Longitudes

Cm	$\alpha + b$	Cm	$\alpha + b$	Cm	$\alpha + b$	Cm	$\alpha + b$	Cm	$\alpha + b$	Cm	$\alpha + b$
50	26.99	145	31.61	240	33.80	335	35.25	425	36.28	515	37.12
55	27.40	150	31.76	245	33.89	340	35.31	430	36.33	520	37.16
60	27.78	155	31.90	250	33.98	345	35.38	435	36.38	525	37.20
65	28.13	160	32.04	255	34.06	350	35.44	440	36.43	530	37.24
70	28.45	165	32.17	260	34.15	355	35.50	445	36.48	535	37.28
75	28.75	170	32.30	265	34.23	360	35.56	450	36.53	540	37.32
80	29.03	175	32.43	270	34.31	365	35.62	455	36.58	545	37.36
85	29.29	180	32.55	275	34.39	370	35.68	460	36.63	550	37.40
90	29.54	185	32.67	280	34.47	375	35.74	465	36.67	555	37.44
95	29.78	190	32.79	285	34.55	380	35.80	470	36.72	560	37.48
100	30.00	195	32.90	290	34.62	385	35.85	475	36.77	565	37.52
105	30.21	200	33.01	295	34.70	390	35.91	480	36.81	570	37.56
110	30.41	205	33.12	300	34.77	395	35.97	485	36.86	575	37.60
115	30.61	210	33.22	305	34.84	400	36.02	490	36.90	580	37.63
120	30.79	215	33.32	310	34.91	405	36.09	495	36.95	585	37.67
125	30.97	220	33.42	315	34.98	410	36.12	500	36.99	590	37.71
130	31.14	225	33.52	320	35.05	415	36.18	505	37.03	595	37.75
135	31.30	230	33.62	325	35.12	420	36.23	510	37.08	600	37.78
140	31.46	235	33.71	330	35.18						

en que se indican los valores de $a + b$ correspondientes a cada longitud de la pieza.

Su empleo no puede ser más sencillo: basta, en efecto, apoyar una regla o borde de un papel en el punto de la primera columna, en que está indicada la carga de que se trata, y hacerla pasar también por un punto cualquiera de la columna tercera, correspondiente a un perfil determinado, haciendo mentalmente la suma de a y b , que aparece en dicha alineación: si es mayor o menor que el valor de $a + b$ que marca la tabla de coeficientes para la longitud fijada, bajaremos o subiremos el apoyo derecho de la regla hasta conseguir el menor valor *por exceso*, que corresponderá al perfil que viene especificado en la parte derecha de la columna b .

Vemos, pues, que todo el tanteo ha quedado simplemente reducido a unas cuantas sumas mentales de dos números sencillos.

Claro es que, como para mayor generalidad hemos construido el ábaco para hierros $\perp \top \sqcup$ y $\sqcup \sqcup$, las soluciones posibles son varias, e incluso ocurre que existen perfiles más bajos que otros en la columna de la derecha, teniendo, por el contrario, un valor mayor de b . Esto no tiene nada de extraño considerando que el radio de giro (del que es función el valor de b) no depende sólo de la sección (determinante de la altura respectiva en la columna de la derecha), sino también de la forma de la pieza, por lo que si consideraciones de montaje no nos obligan a otra cosa, será en cada caso conveniente adoptar el perfil que esté más bajo cuando existan dos a diferente altura con el mismo radio de giro, y con mayor razón son preferibles los perfiles que tienen un coeficiente b mayor que otros situados por encima de ellos.

Los problemas inversos que pueden presentarse se resuelven tan sencillamente, que los pasamos por alto.

Una observación necesaria es la de indicar que el ábaco está calculado para un coeficiente de trabajo de 1.300 kilogramos/centímetro cuadrado, media de los valores—1.200 y 1.400—que fija nuestro Reglamento como extremos. Claro es que el ábaco sirve para toda clase de tensiones admisibles, sin más que considerar como cargas axiales el valor $P' = \frac{P \cdot 1.300}{\sigma}$, siendo P la carga que se nos da y σ , el coeficiente de trabajo.

Aún se ha de añadir que si bien la columna de la izquierda admite todas las interpolaciones y extrapolaciones que precise según la ley logarítmica en que está construída, la de la derecha no puede considerarse como continua, sino escalonada en los puntos determinados a cada perfil, y en la central, aunque puede interpolarse por estimación aproximada, no cabe extrapolación alguna, ya que los puntos situados por encima de ella corresponden a esbelteces superiores a las admitidas por los Reglamentos, y las inferiores, a otras negativas, carentes de todo sentido y significación.

Creemos, por último, interesante exponer los valores que hemos obtenido para comprobar el ábaco, a fin de que nos sirva como ejemplo de aplicación y prueba de su exactitud.

Trazando una línea que pase por el valor $a = 22$ y $b = 13,34$, leemos en el ábaco que corresponden $P = 4.600$ kilogramos de carga a un angular 110×10 , con una longitud $l = 342,5$ cm. (por interpolación en la tabla de coeficientes); pues bien: como quiera que en el S. I. H. (*Stal im Hochbau*) no están calculados estos angulares más que para 1.200 y 1.400 kg./cm², buscamos el valor $P' = \frac{P \cdot 14}{13} = 4.949,6$ kg., observando que para el perfil 110×10 está situado entre los 5.090 y 4.780, que a su vez corresponden a longitudes $l = 340$ cm. y $l = 350$, que comprenden al valor 342 que obtuvimos gráficamente.

Análogamente, para el angular 35×4 , $a = 23,5$, $b = 8,32$, tenemos $a + b = 31,82$, $l = 154$, $p = 290$, y $p' = 312$, comprendido en el S. I. H. entre los $p' = 320$ y 290 para los valores de $l = 150$ y 160 , respectivamente. Y del mismo modo para la combinación $\sqcup \sqcup$, formada por dos \sqcup de 16, $a = 23$ y $b = 14,19$, leemos en $a + b = 37,19$, $l = 524$, $P = 6.500$ y $P' = 6.994$; valor que en el S. I. H. está comprendido entre el 7.880 para $l = 500$ y el 6.510 para $l = 550$.

Hasta aquí, según vemos, existe una exactitud casi matemática; pero hemos de insistir en que no concedemos a este hecho demasiada importancia, pues aun para un valor que no lo sea, por error de coincidencia precisa o dibujo, la cosa no tiene trascendencia alguna dentro de los límites en que estamos operando y de la precisión con que se ha delineado el ábaco. Así, por ejemplo, efectuando gran número de comprobaciones sistemáticas, hemos tropezado en una ocasión en un cierto error aparentemente apreciable, pero que es fácil reducir a sus justos límites. Fué para la combinación $\sqcup \sqcup 10$, $a = 19,5$ y $b = 13,28$, en que leímos $P = 18.000$ kilogramos, $P' = 19.368$, para $l = 190$ cm. ($a + b$ es igual a 32,78); el S. I. H. da, en cambio, precisamente para el valor $l = 190$ centímetros, $P' = 20.400$, o sea un error de 1.000 kg. aproximadamente. Basta, sin embargo, una sencilla regla de tres simple,

$$\frac{20400}{19368} = \frac{14}{\varphi} \dots \varphi = 12,31,$$

para comprobar que adoptando los valores del ábaco obtenemos tan sólo la diferencia de hacer trabajar el hierro a 1.231 kilogramos/cm², en vez de los 1.300 a que pretendíamos hacerlo; error completa y absolutamente admisible.

Aún podemos añadir que el ábaco puede utilizarse también para el cálculo de piezas sometidas a extensión, sin más que hacer pasar la línea correspondiente por el punto inferior de la columna central b , ya que a él corresponde una esbeltez cero y un coeficiente $\omega = 1$, sin necesidad, como es lógico, de considerar en este caso los valores de radio de giro o longitudes.