

NOMOGRAMA PARA CALCULAR SECCIONES ANULARES DE HORMIGÓN ARMADO SOMETIDAS A FLEXIÓN COMPUESTA Y TENSOFLEXIÓN

Por ANTONIO ANGULO, Ingeniero de Caminos.

Con objeto de evitar los laboriosos cálculos que ocasiona la determinación de las secciones que se indican en el epígrafe, ha ideado el autor el presente nomograma, que puede ser de utilidad práctica.

Los cálculos de flexión compuesta o de tensoflexión en las secciones anulares de hormigón armado, suelen ser enojosos y expuestos a errores. Con objeto de evitar estos inconvenientes, se ha ideado el adjunto nomograma, sin más virtud que la de índole práctica de simplificar y facilitar los cálculos.

Se han admitido, para su construcción, las mismas hipótesis y fórmulas que cita D. Alfonso Peña en su libro *Hormigón armado*, en las que establece las siguientes relaciones:

$$\left\{ \begin{array}{l} \xi = \frac{1}{2} \cdot \frac{\pi \cdot r \cdot q + \varphi - \sin \varphi \cos \varphi}{\sin \varphi - \varphi \cdot \cos \varphi - \pi \cdot r \cdot q \cdot \cos \varphi}; \\ \sigma = \frac{N}{M} \cdot y; \end{array} \right.$$

siendo:

- ξ = la excentricidad específica de la fuerza;
- r = el coeficiente de equivalencia entre acero y hormigón;
- q = la cuantía de acero;
- φ = el semiángulo central de la zona comprimida;
- m = el momento estático, respecto a la fibra neutra;
- y = distancia desde el punto a considerar, hasta la fibra neutra;
- σ = carga de trabajo en el punto considerado.

Si, además, llamamos:

- M = al momento flector solicitante;
- N = a la fuerza de compresión o tracción;
- R = al radio medio de la sección;
- e = al espesor de la sección;

tenemos que:

$$\xi = \frac{M}{N \cdot R};$$

y que el valor de m es:

$$m = 2 \cdot R^2 \cdot e \cdot [\sin \varphi - \varphi \cdot \cos \varphi - \pi \cdot r \cdot q \cdot \cos \varphi].$$

El artificio para construir el nomograma consiste en hacer uso de la cantidad K , cuyo valor sea:

$$K = 2 (\sin \varphi - \varphi \cdot \cos \varphi - \pi \cdot r \cdot q \cdot \cos \varphi),$$

y establecer, en coordenadas cartesianas, un eje de $r \cdot q$ y otro de K , que cuando φ es fijo, liganse mediante leyes lineales muy fáciles de trazar.

En vez de anotar en el nomograma los valores de φ , lo hacemos con los de:

$$\frac{Y_2}{R} = 1 - \cos \varphi;$$

que, según se observa en la figura, definen la relación entre la zona comprimida y el radio, puesto que Y_2 es la distancia a la fibra neutra del punto más alejado de la circunferencia media, dentro de la zona comprimida.

Con lo anteriormente establecido, tenemos que la carga de trabajo en cualquier punto es:

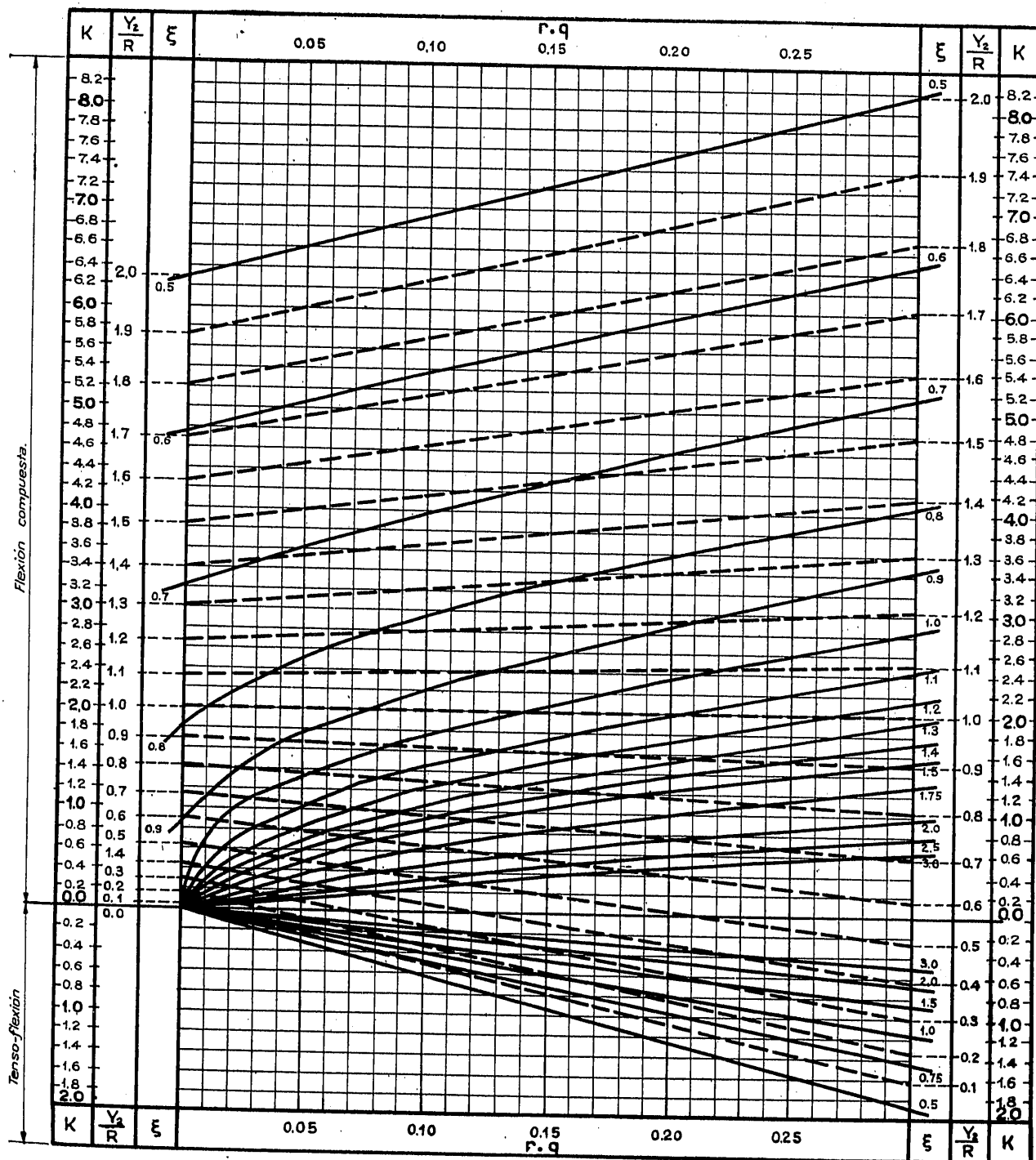
$$\sigma = \frac{N \cdot y}{R^2 \cdot e \cdot K}.$$

Cada punto del plano antes definido tiene dos coordenadas, que fijan $r \cdot q$ y K , y por estar entre el haz de rectas de $\varphi = \text{constante}$, puede interpolarse y hallar, por lo tanto, φ .

Conociendo φ y $r \cdot q$, se han calculado las líneas de $\xi = \text{constante}$, según la primera fórmula citada.

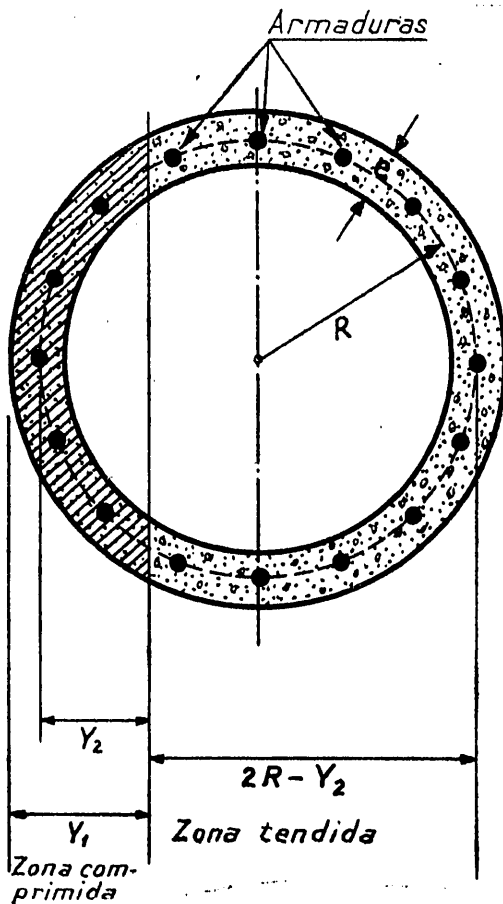
Ya con este nuevo haz de líneas, cada punto del plano marca cuatro valores, que son:

$$\begin{array}{l} \xi; \\ r \cdot q; \\ K; \\ \frac{Y_2}{R}; \end{array}$$



bastando saber dos de ellos para situar el punto en el plano y obtener los otros dos.

Con esto queda la sección totalmente definida, pues si se conoce la excentricidad e , el producto $r \cdot q$. (que suelen ser datos), utilizando el nomograma se calcula el coeficiente, K , del momento estático, y con él y la extensión de la zona comprimida, se pueden calcular las cargas de trabajo del material.



Haciendo referencia a la figura, se cuenta como punto de máxima carga, no el centro de la sección en la zona de máximas compresiones, sino el punto realmente más alejado de la fibra neutra, tal que:

$$Y_1 = Y_2 + \frac{e}{2}$$

Contaremos para los cálculos este valor, Y_1 , que es el máximo.

Hay una zona en la que K resulta ser negativo, y corresponde a sollicitación de tensoflexión, como es

lógico, al trabajar con los mismos signos las distintas partes de la sección, siendo de signo contrario la fuerza que actúa sobre el conjunto de ella.

Los mínimos valores de ξ son de 0,5, tanto en flexión compuesta como en tensoflexión, y pasando de ellos se deben considerar las fórmulas de compresión o tracción, superponiendo los esfuerzos producidos por la flexión simple, pues siendo ξ igual o menor que 0,5, cae la resultante dentro del núcleo central.

Ejemplo de uso del nomograma.

Datos:

$$M = 60\,000 \text{ m./Kg.}$$

$$N = 50\,000 \text{ Kg.}$$

$$R = 1,00 \text{ m.}$$

$$e = 0,12 \text{ m.}$$

$$r = 15.$$

$$q = 0,01.$$

Valores auxiliares:

$$r \cdot q = 0,01 \times 15 = 0,15;$$

$$\xi = \frac{60\,000}{50\,000 \times 1,00} = 1,20;$$

entramos en el nomograma con la abscisa $r \cdot q = 0,15$, y en esta vertical se busca el punto correspondiente a $\xi = 0,12$, obteniendo la ordenada K y el valor

$\frac{Y_2}{R}$ interpolando entre las rectas:

$$K = 1,50;$$

$$\frac{Y_2}{R} = 0,87.$$

Distancias a la fibra neutra:

$$Y_2 = 0,87 \times 1,00 = 0,87 \text{ m.}$$

$$Y_1 = 0,87 + \frac{0,12}{2} = 0,93 \text{ m., para el trabajo del hormigón.}$$

$$2R - Y_2 = 2,00 - 0,87 = 1,13 \text{ m., para el acero.}$$

Cargas de trabajo:

$$\sigma_h = \frac{50\,000 \times 93}{100^2 \times 12 \times 1,50} = 25,8 \text{ Kg./cm.}^2$$

$$\sigma_a = 15 \times \frac{50\,000 \times 113}{100^2 \times 12 \times 1,50} = 471 \text{ Kg./cm.}^2$$