CALCULO RAPIDO DE SECCIONES RECTANGULARES DE HORMIGON SOMETIDAS A FLEXION

Por ANTONIO ANGULO, Ingeniero de Caminos.

Presenta el autor un método muy simplificado y rápido para el cálculo de secciones rectangulares de hormigón sometidas a flexión, con el auxilio de la regla de cálculo y sin necesidad de emplear tablas o ábacos, del que expone varios ejemplos.

Uno de los aspectos más sugestivos del cálculo de secciones de hormigón armado lo constituye la viga de sección rectangular. Buena prueba de ello la suministra la considerable cantidad de gráficos, tablas, nomogramas, etc., que han sido publicados, y cuyo objeto es facilitar al proyectista tales cálculos, liberándole de los más enojosos de localización de la fibra neutra, momento de inercia, momento resistente, hasta llegar a la deseada carga de trabajo.

Precisamente, el que suscribe es autor de una serie de fórmulas y nomogramas que comprenden todas las posibles solicitaciones de una sección rectangular de hormigón armado, abarcando desde la compresión excéntrica a la tensoflexión, pasando por la flexión simple y compuesta y estudiando incluso la flexión oblicua, que corresponde a la coexistencia de una fuerza y dos momentos flectores perpendiculares.

Desde luego que, más o menos, todos los métodos de cálculo propuestos son prácticos. Sobre todo para su autor. No debemos olvidar que si muchos métodos de cálculo se han publicado, hay otra gran cantidad de métodos inéditos, es decir, que sin exageración podemos afirmar que hay una grandísima cantidad de métodos de cálculo de secciones rectangulares de hormigón sometidas a flexión.

Dando por buenos todos los procedimientos, encontramos adolecen de un defecto: que se precisa disponer del gráfico, tabla, nomograma, etc. Bien es verdad que para el Ingeniero que tenga que realizar cotidianamente su trabajo de proyecto tal defecto no existe, pues dispone en su mesa de tal elemento de trabajo, pero es diferente cuando, por circunstancias que no son del caso, se precisa calcular muchísimas secciones, a título de tanteo, siendo conveniente entonces utilizar métodos aún más rápidos que los normales, o bien no se dispone de ninguna tabla o gráfico (por ejemplo, cuando se precisa dimensionar vigas en la obra); también ocurre cuando se está apartado de esta técnica, y llegado el momento de calcular una sección, resulta laborioso en extremo aprender el manejo de una tabla o gráfico, comparado con lo rápido y concreto de la aplicación del mismo, sobre todo si ha de calcularse una sola o muy pocas secciones.

Los cálculos que citamos a continuación enfocan el problema desde un punto de vista muy sencillo y elemental, que podemos llamar

Fundamento del método.

Un momento flector origina en la pieza que lo soporta tracciones y compresiones. Las resultante de ambos esfuerzos distan entre sí una longitud que se denomina *brazo de palanca*, o sea que en flexión simple la resultante de tracción y la de compresión, que tienen idéntico valor, se obtienen dividiendo el momento flector por el brazo de palanca de la sección.

Cuando se trata de flexión compuesta o tensoflexión, la resultante de las compresiones (más difícil de localizar) se halla dividiendo el momento flector tomado respecto a la posición de la resultante de las tracciones (que está a la altura de las armaduras) por el brazo de palanca. La resultante de las tracciones es la diferencia entre la fuerza exterior y la resultante de las compresiones.

Estos cálculos son muy sencillos y se pueden verificar mentalmente o con auxilio de una regla de cálculo.

Consideraciones sobre el "brazo de palanca".

Es frecuente definir el brazo de palanca por el producto de un coeficiente por el canto útil de la viga (limitado, como es sabido, por las armaduras de tracción, no por su paramento).

Este coeficiente depende de las cargas de trabajo del acero y del hormigón, y también del coeficiente de equivalencia.

Cuando la carga de trabajo de las armaduras es cero, este coeficiente vale $\frac{2}{3} = 0{,}666$, como se puede apreciar en la figura 1.ª

Cuando la carga de tracción de las armaduras tiene un valor A, si llamamos H a la carga máxima de compresión en el hormigón y r al coeficiente de equivalencia, la expresión del mencionado coeficiente es:

$$1 - \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{1 + \frac{A}{H \cdot r}}. \qquad [1]$$

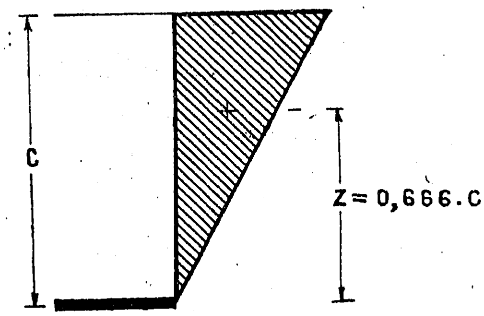

Figura 1.ª

Esta expresión, deducida de un modo general (figura 2.ª), tiene, sin embargo, una importante simplificación. Dando valores a las letras para:

$$A = 1\,200 \text{ Kg./cm.}^2.$$

(artículo 31 de la "Instrucción para el proyecto de obras de hormigón"),

$$H = 40 \text{ Kg./cm.}^2 \text{ con } r = 15.$$
$$H = 53 \text{ Kg./cm.}^2 \text{ » } r = 12.$$
$$H = 66 \text{ Kg./cm.}^2 \text{ » } r = 10.$$

(artículos 27 y 30 de la misma "Instrucción"), nos encontramos que el coeficiente anterior vale:

0,882
0,884
0,889

es decir, que es prácticamente constante e igual a 0,88, prescindiendo de las milésimas.

Así, pues, *para los casos corrientes, el brazo de palanca vale 0,88 del canto útil.*

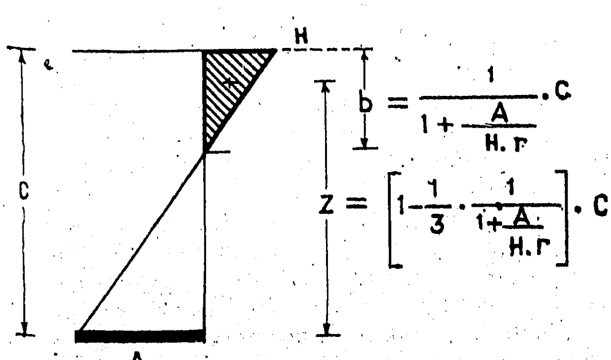

Figura 2.ª

Consideraciones sobre la zona comprimida.

Dando por buena la repartición lineal de tensiones (cuya discusión no encontrámos adecuada en este lugar), la expresión de la altura de la zona comprimida (fig. 2.ª) es:

$$b = c \cdot \frac{1}{1 + \frac{A}{H \cdot r}}, \qquad [2]$$

y aplicando los valores de la "Instrucción" ya mencionados, encontramos que este coeficiente vale $0{,}333 \cdot c$, $0{,}348 \cdot c$ y $0{,}355 \cdot c$, según las características del hormigón.

No hay, pues, ningún inconveniente en admitir que *la zona comprimida tiene una altura 0,35 del canto útil,* pues las diferencias que puedan apreciarse son insignificantes en comparación con los errores cometidos al establecer las hipótesis de cálculo (coeficiente de equivalencia, prescindir de la plasticidad, etc.).

Datos fundamentales.

De lo anterior se deduce una "receta" que es extraordinariamente sencilla, por lo que se puede retener fácilmente en la memoria y resulta suficiente para todos los cálculos.

Esta "receta" dice que *para los hormigones normales y con una tracción en el acero de 1 200 kilogramos/cm.², el brazo de palanca vale 0,88 del canto útil, y la zona comprimida, 0,35 del canto útil.*

Con tan sencillo recordatorio, comprobamos más adelante que es suficiente para calcular secciones.

EJEMPLOS

Viga a flexión simple. — Momento flector, 1 000 metros kilogramos. Adoptamos un canto útil de 33 cm., cuya dimensión fijamos a estima.

El brazo de palanca valdrá:

$$z = 33 \cdot 0{,}88 = 29 \text{ cm.} = 0{,}29 \text{ m.};$$

de modo que la resultante de tracción, igual a la de compresión, vale:

$$F = \frac{1\,000 \text{ m. Kg.}}{0{,}29 \text{ m.}} = 3\,450 \text{ Kg.}$$

Si la carga del hierro es de 1 200 Kg./cm.², hará falta una sección de

$$S_a = \frac{3\,450 \text{ Kg.}}{1\,200 \text{ Kg./cm.}^2} = 2{,}88 \text{ cm.}^2.$$

Pondremos 2 redondos de 14, cuya sección es de 3,07 cm.².

Respecto al hormigón, la altura de la zona comprimida vale:

$$b = 33 \cdot 0{,}35 = 11{,}5 \text{ cm.}$$

Si admitimos una carga máxima en el hormigón de 50 Kg./cm.^{2}, cada centímetro de anchura de la viga ejercerá una fuerza de

$$\frac{1}{2} \cdot 50 \cdot 11{,}5 = 25 \cdot 11{,}5 \text{ (Kg./cm.)},$$

de modo que, para soportar los 3 450 Kg. hace falta una anchura de

$$a = \frac{3\,450 \text{ Kg.}}{25 \cdot 11{,}5 \text{ Kg./cm.}} = 12 \text{ cm.},$$

quedando la sección totalmente calculada.

Puede apreciarse que el método pudiera denominársele "cálculo de secciones por la cuenta de la vieja", destacando que su elementalidad garantiza la seguridad de no cometer errores.

El cálculo anterior parece más largo de lo que en realidad es, por los comentarios que se han hecho para su más fácil comprensión. Sin embargo, es muy breve, como se podrá apreciar por el siguiente ejemplo, en el que se han suprimido los comentarios:

Forjado a flexión simple. — Momento flector, 500 m. Kg./m.; canto útil, $c = 8$ cm.

$$z = 0{,}88 \cdot 8 = 7{,}05 \text{ cm.} = 0{,}0705 \text{ m.}$$

$$F = \frac{500}{0{,}0705} = 7\,100 \text{ Kg./m.}$$

$$S_a = \frac{7\,100}{1\,200} = 5{,}92 \text{ cm.}^2 \text{ (8}\varphi\text{ de 10 mm., tienen 6,27 cm.}^2\text{)}$$

$$b = 0{,}35 \cdot 8 = 2{,}8 \text{ cm.}$$

Carga media de trabajo $= \frac{7\,100}{100 \cdot 2{,}8} = 25{,}4$ kilogramos por centímetro cuadrado.

Carga máxima de compresión en el hormigón, $H = 2 \cdot 25{,}4 = 50{,}8$ Kg./cm.^{2}.

Queda así determinada la armadura de 1 m. de forjado y comprobada la compresión en el hormigón.

Viga a flexión compuesta. — Momento flector, respecto al eje de la viga = 1 400 m. Kg.; compresión = 3 000 Kg.

Comprobaremos una viga de 40 cm. de canto útil:

El momento flector, respecto a las armaduras de tracción, deberá hallarse incrementando el momento calculado en el producto de la compresión por la distancia entre el eje geométrico de la sección y las armaduras de tracción, cuya distancia es la mitad del canto útil.

Por lo tanto, en nuestro caso, el momento a considerar es de

$$1\,400 + 3\,000 \cdot \frac{0{,}40}{2} = 2\,000 \text{ m. Kg.}$$

El brazo de palanca vale:

$$0{,}88 \cdot 40 = 35{,}2 \text{ cm.}$$

y, por lo tanto, la fuerza de compresión tiene una resultante de

$$\frac{2\,000 \text{ m. Kg.}}{0{,}352 \text{ m.}} = 5\,690 \text{ Kg.}$$

La resultante de las compresiones se reparte, con ley lineal, en una zona cuya altura es de

$$0{,}35 \cdot 40 = 14 \text{ cm.}$$

y si fijamos la carga máxima en 50 Kg./cm.^{2}, la carga media es de 25 Kg./cm.^{2}, precisándose una superficie comprimida de

$$\frac{5\,690}{25} = 228 \text{ cm.}^2.$$

Como su altura es de 14 cm., la anchura deberá ser de

$$\frac{228}{14} = 16{,}3 \text{ cm.}$$

Respecto a las tracciones, valen la diferencia entre la resultante de las compresiones (5 690 Kg.) y la fuerza exterior (3 000 Kg.); es decir, 2 690 Kg. con la carga de trabajo del acero de armaduras de 1 200 Kg./cm.^{2}, se precisa una sección de

$$\frac{2\,690}{1\,200} = 2{,}24 \text{ cm.}^2.$$

Dos redondos de 12 mm. de diámetro tienen una superficie de 2,26 cm.^{2}, por lo que pueden adoptarse, quedando calculada la sección.

Existencia de armaduras de compresión.

Hasta ahora nos hemos referido solamente al caso de armadura asimétrica, por lo que hemos de ocuparnos, siquiera sea brevemente, de las armaduras disimétricas.

La situación de las armaduras de compresión suele coincidir, en una primera aproximación, con la resultante de las compresiones del hormigón, por lo cual *no se altera la magnitud del brazo de palanca.*

Cuando se colocan armaduras de compresión, conservando el mismo canto de la pieza, puede reducirse su anchura, puesto que estas armaduras soporglilla, y lo que indique sobre este trazo la escala de cuadrados de la regla es el volumen buscado.

Así, en la figura 3.ª se ha indicado el volumen de un cilindro de cuatro unidades de diámetro y dos unidades de altura. El volumen resultante es de 25 unidades cúbicas, aproximadamente.

Modificando el significado, establecemos que: *si en lugar del diámetro del cilindro tomamos el canto útil de la sección de hormigón, y en vez de altura del cilindro la anchura de la sección, expresadas en decímetros, el resultado obtenido es el momento flector que resiste la sección (sin armaduras de compresión) expresado en centenares de metros-kilogramos.*

En nuestro ejemplo de la figura 3.ª resulta que una viga cuyo canto útil es de 4 dm. (40 cm) y de 2 dm. (20 cm.) de anchura, el momento flector que puede soportar, sin armaduras de compresión, es de

$$25 \cdot (100 \text{ m. Kg.}) = 2\,500 \text{ m. Kg.}$$

La demostración es inmediata, ya que la expresión de la fuerza (en Kg.) de compresión, designando la anchura, a, y el canto útil, c, en decímetros, es la siguiente:

$$0{,}35 \cdot 10 \cdot c \cdot 10 \cdot a \cdot \frac{H}{2} = 35 \cdot c \cdot a \cdot \frac{H}{2} \text{ (Kg.)},$$

siendo H la carga máxima de trabajo del hormigón en Kg./cm.^{2}.

El brazo de palanca, expresado en metros, es:

$$0{,}88 \cdot c \cdot \frac{1}{10} \text{ (m.)}.$$

Luego el momento, en metros-kilogramos, tiene por expresión:

$$M = \frac{35 \cdot 0{,}88}{2 \cdot 10} \cdot c^2 \cdot b \cdot H = 1{,}54 \cdot c^2 \cdot b \cdot H.$$

En centenares de metros-kilogramos será:

$$M = \frac{1{,}54 \cdot H}{100} \cdot c^2 \cdot b.$$

La operación indicada implica que el momento tiene un valor

$$M = \frac{\pi}{4} \cdot c^2 \cdot b,$$

de modo que, igualando ambas expresiones, coinciden siempre que

$$H = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{100}{1{,}54} = 51 \text{ Kg./cm.}^2;$$

pero esta carga de trabajo es totalmente normal, lo que demuestra la corrección del procedimiento.

De lo anterior se deduce que: *para dimensionar una viga de sección rectangular, se colocará el trazo del cursor en la cifra que en la escala de cuadrados de la regla indique el número de centenares de metros-kilogramos que tiene el momento flector. Después se desplazará la reglilla, tanteando valores, recordando que la cifra leída en la escala de cuadrados de la reglilla bajo el trazo del cursor indica la anchura de la sección en decímetros, y la cifra que aparece en la escala directa bajo la* c *de la reglilla (próxima al valor 1,13) representa el canto útil, en decímetros.*

Determinadas las dimensiones de la pieza como queda dicho, podemos fijar la sección de armaduras con gran facilidad.

Se ha indicado que la expresión de la fuerza de tracción que han de soportar las armaduras es la siguiente:

$$F = \frac{M \text{ (m. Kg.)}}{0{,}88\, c \text{ (m.)}} = 10 \cdot \frac{M \text{ (m. Kg.)}}{0{,}88\, c \text{ (dm.)}} \text{ (Kg.)}.$$

Si admitimos como carga normal de las armaduras la de 1 200 Kg./cm.^{2}, tenemos que la sección de armaduras debe ser:

$$S_a = \frac{F \text{ (Kg.)}}{1\,200 \text{ (Kg./cm.}^2)} = \frac{10 \cdot M \text{ (m. Kg.)}}{0{,}88 \cdot 1\,200 \cdot c \text{ (dm.)}} = \frac{M \text{ (m. Kg.)}}{105{,}6 \cdot c \text{ (dm.)}} \text{ (cm.}^2) \qquad [3]$$

que las define de un modo exacto.

Si adoptamos que el coeficiente del denominador sea 100 en lugar de 105,6, llegamos a la siguiente regla: *"La sección de las armaduras de tracción, en centímetros cuadrados, es el cociente de dividir el momento flector, expresado en centenares de metros-kilogramos, por el canto útil expresado en decímetros".* La aplicación de esta regla introduce, como se ha visto, un error sistemático, arrojando un exceso de armaduras del 5,6 por 100.

Bien sea aplicando la fórmula [3], que es exacta, como la regla aproximada que acabamos de indicar, el cálculo de la sección de armaduras es sencillo.

Una vez calculada la sección total de armaduras, queda determinar el número y diámetro de barras precisas. Es una aplicación elemental y clásica, pues su expresión es igual a la del volumen de un cilindro, sólo que en lugar de la altura es el número de secciones a considerar, y en vez del volumen, lo que se obtiene es la superficie de todas las secciones.

El ejemplo de la figura 3.ª puede representar que dos armaduras de cuatro unidades de diámetro cada tan parte de las compresiones, haciendo innecesario cierto volumen de hormigón.

Así, en la misma viga calculada en el ejemplo anterior, para soportar un esfuerzo de flexión compuesta, supongamos que a 4 cm. del paramento superior colocásemos dos redondos de 12 mm. de diámetro.

El brazo de palanca correspondiente a estas armaduras será el canto útil (40 cm.), menos esta distancia de 4 cm. entre las armaduras de compresión y el paramento superior, es decir, 36 cm. Recordando que el brazo de palanca considerado era de 35,2 cm., apreciamos la escasa diferencia de esta magnitud.

La carga de trabajo de estas armaduras la calculamos por proporcionalidad, teniendo en cuenta la ley lineal de variación de tensiones, desde cero a 14 cm. bajo el paramento superior, a 50 Kg./cm.^{2} (o el valor fijado) en el mismo paramento.

Así, pues, las armaduras de compresión trabajarán a

$$r \cdot \frac{14 - 4}{14} \cdot 50 \text{ Kg./cm.}^2,$$

y dando a r el valor 12, resulta una carga de trabajo de 429 Kg./cm.^{2}. La sección de estos dos redondos de 12 mm. de diámetro es 2,26 cm.^{2}, o sea, que soportan una fuerza de

$$429 \cdot 2{,}26 = 970 \text{ Kg.},$$

quedando para el hormigón solamente

$$5\,690 - 970 = 4\,720 \text{ Kg.},$$

y reduciendo la anchura obtenida, de 16,3 cm. proporcionalmente a las fuerzas que debe soportar, hallamos una anchura de

$$16{,}3 \cdot \frac{4\,720}{5\,690} = 13{,}6 \text{ cm.},$$

quedando calculada la sección.

Se ha podido apreciar, por los ejemplos anteriores, que recordando tan sólo dos números (0,88 y 0,35), se pueden resolver con relativa facilidad todos los casos de dimensionado de secciones rectangulares de hormigón para las solicitaciones normales (salvo la flexión oblicua). El método indicado tiene otra ventaja, cual es que las magnitudes resultantes son ponderables, no coeficientes de significado físico desconocido.

Se ha presentado, pues, un método práctico y relativamente rápido, adecuado principalmente, por su elemental simplicidad, para quien realiza pocos cálculos de secciones.

Para un uso intensivo, todo se simplifica considerablemente merced a las

"Casualidades" de la regla de cálculo.

Utilizando reglas de cálculo, las operaciones anteriores se simplifican al poder agruparse en un solo movimiento de reglilla varias operaciones, pero estas simplificaciones son más acentuadas si se aprovechan algunas coincidencias de las reglas de cálculo.

Nos referiremos a un tipo de regla que encontramos muy práctico y completo. En él, además de las escalas centimétricas propias de la regla, tiene:

En la parte superior de la regla, escala de cubos.
En los bordes superiores de regla y reglilla, escalas de cuadrados.
En el centro de la reglilla, escala de inversos.
En los bordes inferiores de regla y reglilla, escalas directas.
En la parte inferior de la regla, mantisas de logaritmos decimales.

Es cosa sabida que el volumen de un cilindro se calcula directamente, moviendo la reglilla hasta que una c (próxima al valor 1,13) situada en ella coincida con el diámetro en la escala directa de la regla. Luego se hace coincidir el hilo del cursor con la altura del cilindro, en la escala de cuadrados de la re-

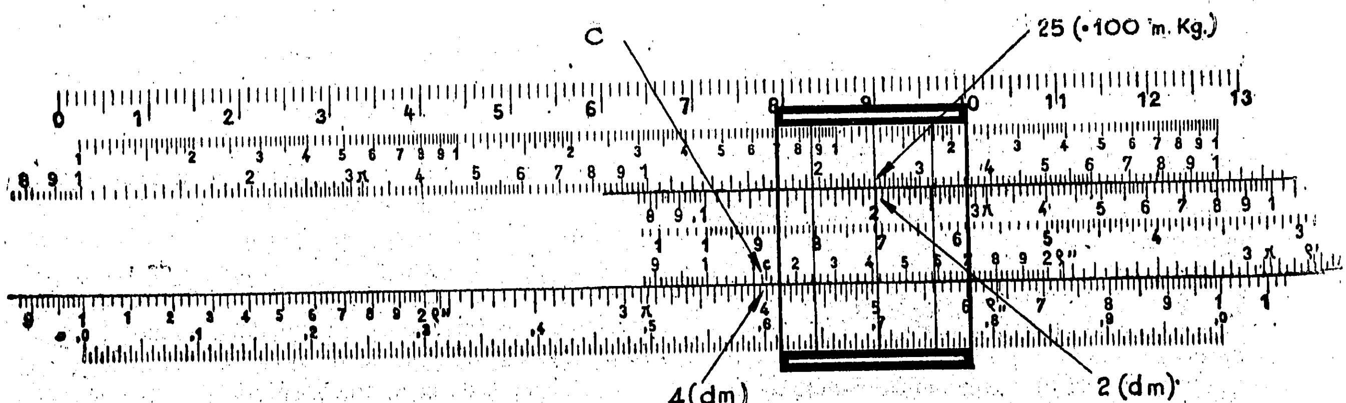

Figura 3ª

una, dan una superficie total de 25 unidades cuadradas, aproximadamente.

Una aplicación interesante del mismo fundamento y de una coincidencia, es la evaluación del peso por metro de varias armaduras del mismo diámetro.

Los cursores de las reglas de cálculo tienen tres trazos, equidistantes dos a dos, una longitud tal que, en la escala de cuadrados, vale $\frac{\pi}{4}$.

Ahora bien: como la fracción anterior, reducida a decimales, es 0,7854, y la densidad media del hierro es 7,85, resulta que *si hacemos coincidir el trazo de la derecha del cursor con el diámetro (en cm.) de las armaduras en la escala directa de la regla, el trazo de la izquierda marca en la escala de cuadrados de la regla el peso de esta armadura en Kg./m.* La operación puede completarse haciendo coincidir en este peso unitario el 1 de la escala superior de la reglilla, que queda como factor. Otro factor, el número de armaduras, leído en la escala superior de la reglilla, da en la escala correspondiente de la regla el peso por metro de todas las armaduras.

La demostración de lo que se ha indicado es sencilla, y la omitimos para no alargar excesivamente el presente artículo. Aplicaremos su fundamento al ejemplo indicado en la figura 4.ª, en la que se determina el peso de 8 redondos de 14 mm., procediendo del modo siguiente: Se coloca el cursor de modo que su trazo derecho coincida con el diámetro (1,4 cm.) en la escala directa de la regla. Se hace coincidir el 1 de la reglilla con el trazo izquierdo del cursor, obteniendo en la escala de cuadrados de la regla el peso de una barra (1,21 Kg./m.). Luego se corre el cursor hasta el 8 de la escala superior de la reglilla, por corresponder a 8 armaduras. Sobre esta cifra aparece en la regla el número 9,68, que es el peso (en kilogramos por metro) de las 8 barras de 14 mm. indicadas.

Simplificación máxima.

Obedece a un tipo sistematizado de sección y a otra "casualidad" de la regla de cálculo, pero entendemos que merece párrafo aparte, por su gran sencillez.

La sección está definida por:

> 1.º La anchura es la mitad del canto útil.
> 2.º La armadura de tracción está constituída por dos redondos cuyo diámetro es la décima parte de la anchura.

Estableciendo las condiciones de equilibrio, el momento flector que puede resistir una sección definida por su canto útil, c (dm), y en función de la carga de trabajo, H, del hormigón, en Kg./cm.^{2}, tiene la siguiente expresión:

$$M = (0{,}35 \cdot c \cdot 0{,}5 \cdot c) \cdot 100 \cdot \frac{H}{2} \cdot \frac{0{,}88 \cdot c}{100} =$$

$$= \frac{1{,}54}{2} \cdot H \cdot c^3 \text{ (m. Kg)},$$

y si lo expresamos, como hasta ahora, en centenares de metros-kilogramos, se convierte en

$$M = \frac{1{,}54}{2 \cdot 100} \cdot H \cdot c^3.$$

Ahora bien: la distancia en la escala de cubos entre el borde derecho y el trazo izquierdo del cursor de las reglas de cálculo es aproximadamente 0,40. Por lo tanto, si hacemos coincidir el borde derecho con el canto útil, c, en la escala de cubos leeremos:

$$0{,}40 \cdot c^3.$$

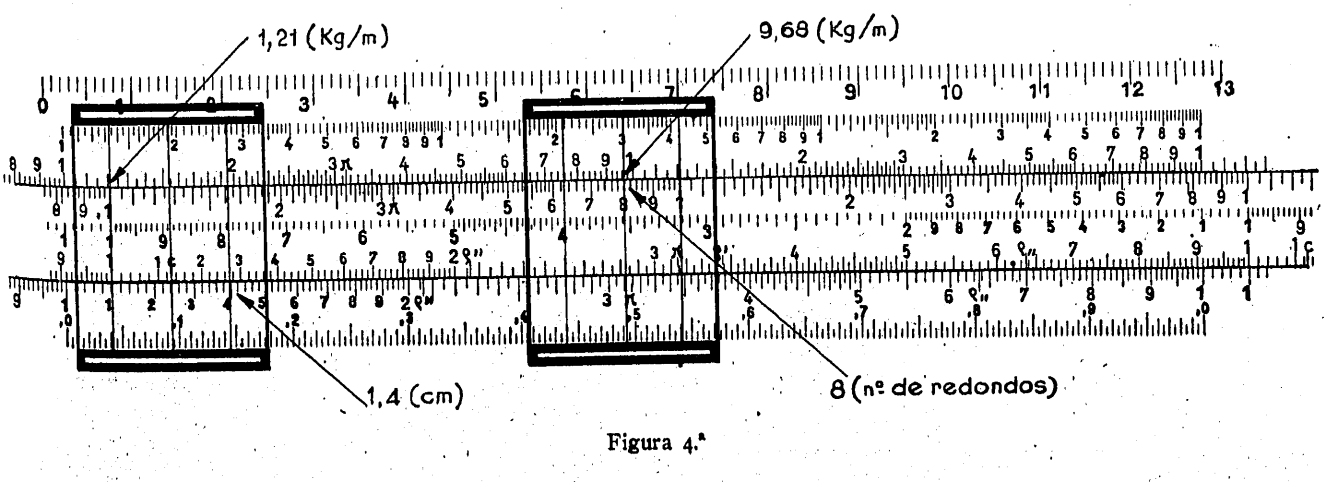

Figura 4.ª

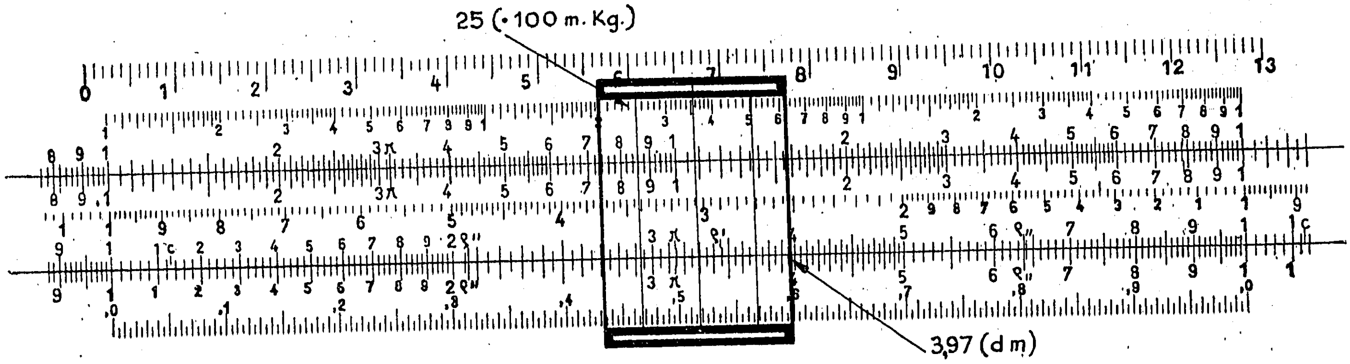

Figura 5.ª

Imponemos que esta cifra represente el momento flector, según la expresión anterior, y para que sea cierto, es preciso que

$$H = 0{,}40 \cdot \frac{2 \cdot 100}{1{,}54} = 52 \text{ Kg /cm.}^2,$$

que es una carga prácticamente aceptable.

No fatigamos más la tención del lector con los cálculos correspondientes, pero sobre esta base, la carga de trabajo de las armaduras resulta de 1 159 kilogramos/cm.², que también es admisible.

Por lo tanto, la "receta" para el cálculo que pudiéramos llamar "extrarrápido", es la siguiente:

Se hace coincidir el trazo izquierdo del cursor con el momento flector, expresado en centenares de metros-kilogramos en la escala de cubos. El borde derecho da el canto útil, en decímetros, en la escala directa de la regla. La anchura es la mitad del canto útil, y la armadura, dos redondos de diámetro décima parte de la anchura.

En la figura 5.ª se ha indicado la posición del cursor para un momento flector de 2 500 m. Kg. (25 centenas de metros-kilogramos). Resulta un canto útil de 3,97 dm. Redondeando, pondremos directamente:

Canto útil = 4 dm. = 40 cm.

$$\text{Anchura} = \frac{40}{2} = 20 \text{ cm.}$$

Armaduras = 2 redondos de 20 mm.

y queda la sección totalmente calculada.

Resumen.

En el presente trabajo, desde lo más general (fórmulas [1], [2] y [3]) a lo más particular, se han indicado una serie de simplificaciones que en todo caso reducen los cálculos, y lo que es más importante, permiten su realización sin auxilio de tabla ni gráfico alguno. Se pueden hacer mentalmente o con gran facilidad con una regla de cálculo.

Los *momentos flectores se han expresado,* en todos los casos, en *centenares de metros-kilogramos;* las dimensiones de *la sección, en decímetros,* y la *superficie y diámetro de las armaduras, en centímetros.*