

**DISEÑO DE SECCIONES SOMETIDAS A FLEXIÓN
COMPUESTA, CON GRAN EXENTRICIDAD SEGÚN EL
REGLAMENTO ACI 318-02**

Fernando Perdomo*

RESUMEN:

Descripción de los cambios más significativos en el nuevo Reglamento de las Construcciones para Hormigón Estructural ACI 318-02, en lo referente al diseño de secciones de hormigón armado sometidas a flexión y flexión compuesta con gran excentricidad.

Se presenta la deducción de las fórmulas básicas para el diseño de secciones de hormigón armado usando los nuevos criterios introducidos en el Reglamento, así como las nuevas tablas de coeficientes para diseño.

PALABRAS CLAVES:

Hormigón armado, concreto reforzado, diseño estructural, Reglamento ACI

1. INTRODUCCIÓN

La nueva versión 2002 del ACI 318 contiene los mayores y más fundamentales cambios hechos al Reglamento en casi 40 años. En este artículo vamos a estudiar con detalle cómo estos cambios han afectado los procedimientos de diseño de secciones rectangulares sometidas a flexión compuesta con gran excentricidad.

(*) Samuel S. Conde & Asociados, Santo Domingo, República Dominicana

Los cambios más significativos son la eliminación de los conceptos “Diseño como Viga” y “Diseño como Columna”, y la eliminación del concepto de “Cuantía Máxima”. En la nueva versión sólo se tienen elementos sometidos a flexión compuesta. Según el capítulo 10.3 “Principios y Requisitos Generales”, cuando la excentricidad es muy grande, como en el caso de las vigas, se trata de secciones con “tracción dominante” (§10.3.4), y en el caso de excentricidades pequeñas, como el caso de las columnas, se trata de secciones con “compresión dominante” (§10.3.3). A diferencia de las versiones anteriores, la definición del tipo de sollicitación (tracción o compresión dominante) no se hace a partir de la magnitud de la fuerza axial, sino de la deformación unitaria de la armadura traccionada.

En ambos casos, el procedimiento de diseño es el mismo: se debe demostrar que las fuerzas interiores producidas por las cargas factorizadas son menores o iguales que las fuerzas nominales de rotura de la sección multiplicadas por el factor de reducción de resistencia ϕ . En general tendremos:

$$M_u \leq \phi \cdot M_n$$

$$N_u \leq \phi \cdot N_n$$

En las versiones anteriores del reglamento, el control de deformaciones en las armaduras traccionadas se hacía a través del control de la cuantía. Al limitar la cuantía a una fracción de la cuantía de la sección balanceada (cuantía máxima), lo que se hacía era asegurar una deformación en las armaduras traccionadas mayor que la deformación de fluencia. En esta nueva versión del Reglamento no se limita la cuantía, sino que el control de las deformaciones se hace a través del factor ϕ , el cual depende directamente de la deformación del acero, penalizando los casos donde las deformaciones del acero son pequeñas con valores menores de ϕ .

2. FACTORES DE CARGA

Para obtener las cargas factorizadas o cargas de rotura, se deben multiplicar las cargas de servicio por los factores de carga (§9.2). A continuación se presenta un resumen de las principales combinaciones:

Combinación	Resistencia Requerida
Carga muerta (D) y carga viva (L):	1.4D 1.2D + 1.6L
Carga muerta (D), carga viva (L) y Viento (W):	1.2D + 1.6Lr + 0.8W 1.2D + 1.0L + 1.6W 0.9D + 1.6W
Carga muerta (D), carga viva (L) y Sismo (E):	1.2D + 1.0L + 1.0E 0.9D + 1.0E

La lista completa de combinaciones de carga es como sigue (§9.2):

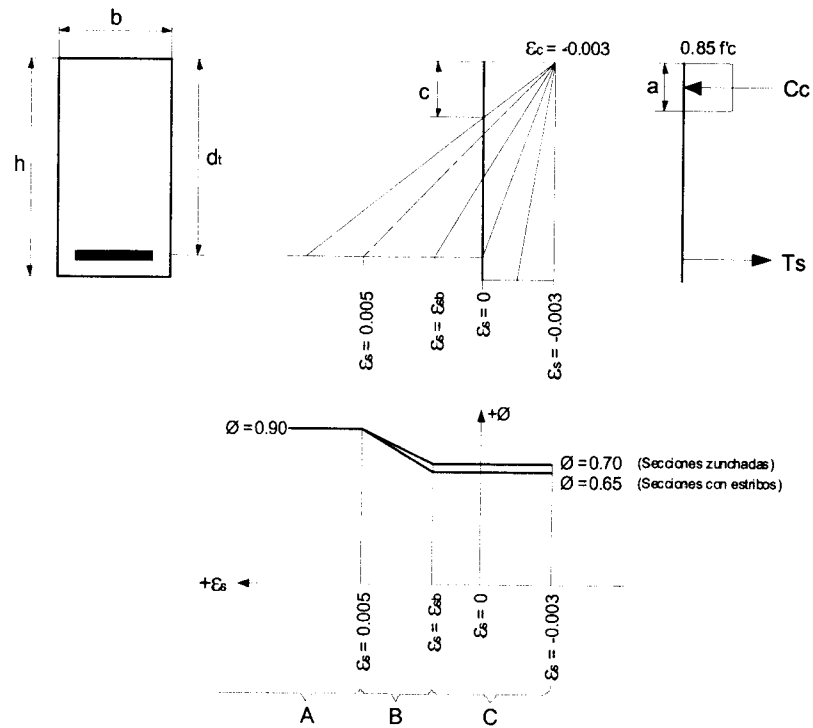
Ecuación 9-1:	$U = 1.4(D + F)$
Ecuación 9-2:	$U = 1.2(D + F + T) + 1.6(L + H)$
Ecuación 9-3:	$U = 1.2D + 1.6(Lr \text{ ó } S \text{ ó } R) + (1.0L \text{ ó } 0.8W)$
Ecuación 9-4:	$U = 1.2D + 1.6W + 1.0L + 0.5(Lr \text{ ó } S \text{ ó } R)$
Ecuación 9-5:	$U = 1.2D + 1.0E + 1.0L + 0.2S$
Ecuación 9-6:	$U = 0.9D + 1.6W + 1.6H$
Ecuación 9-7:	$U = 0.9D + 1.0E + 1.6H$

Nomenclatura:

D: Carga muerta	Lr: Carga viva de techo
L: Carga viva	R: Lluvia
E: Sismo	T: Temperatura, asentamientos, cambios de volumen
W: Viento	
F: Presión de fluidos	S: Nieve
H: Peso y/o empuje de tierra	

Donde las cargas sísmicas sean cargas de servicio, se debe usar 1.4E en vez de 1.0E en las ecuaciones 9-5 y 9-7.

El valor del factor de reducción de resistencia ϕ ya no depende de la Fuerza Axial N_u , sino de la deformación del acero más alejado del borde comprimido.



Valores de ϕ :

Zona A: Tracción dominante: $\epsilon_s \geq 0.005$ $\phi = 0.90$

Zona B: Zona de transición: $0.005 \geq \epsilon_s \geq \epsilon_{sb}$

$\phi = 0.65 + 0.25 * (\epsilon_s - \epsilon_{sb}) / (0.005 - \epsilon_{sb})$ (Sección con estribos)

$\phi = 0.70 + 0.20 * (\epsilon_s - \epsilon_{sb}) / (0.005 - \epsilon_{sb})$ (Secciones zunchadas)

$\epsilon_{sb} = f_y / E_s$: Deformación de fluencia del acero
(= 0.002 para acero de pretensado)

Para $f_y = 4.2 \text{ ton/cm}^2$ o para acero de pretensado ($\epsilon_{sb} = 0.002$):

$\phi = 0.4833 + 83.33 * \epsilon_s$ (Secciones con estribos)

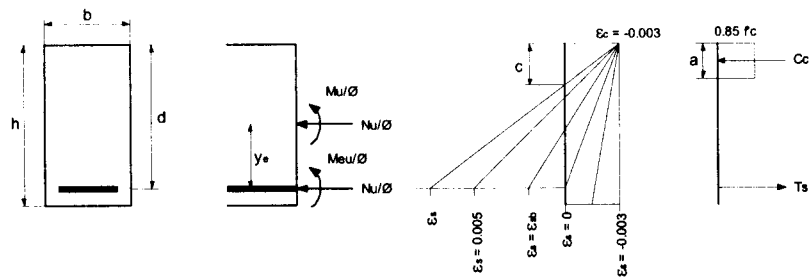
$\phi = 0.5667 + 66.67 * \epsilon_s$ (Secciones zunchadas)

Zona C: Compresión dominante: $\epsilon_s \leq \epsilon_{sb}$

$\phi = 0.65$ (Secciones con estribos)

$\phi = 0.70$ (Secciones zunchadas)

4. PLANTEAMIENTO GENERAL PARA ZONAS A Y B:



$$\boxed{M_{eu} = M_u + N_u * y_e}$$

$$k_c = c / d$$

$$y_e = d - h / 2$$

$$k_a = a / d$$

+ N_u = compresión

Posición del eje neutro: (deformaciones con su signo: $\varepsilon_c = -0.003$)

$$(\varepsilon_s - \varepsilon_c) / d = -\varepsilon_c / c$$

de donde $c / d = \boxed{k_c = -\varepsilon_c / (\varepsilon_s - \varepsilon_c)}$ (Ecuación 4.1)

o sea:

$$\boxed{c = k_c * d}$$

Altura del bloque de compresión:

$$a = b_1 * c = \beta_1 * k_c * d \quad ka = \beta_1 * k_c \quad \text{(Ecuación 4.2)}$$

$$a = k_a * d$$

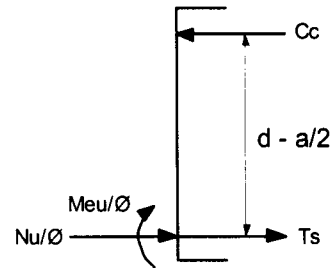
Para $f'_c \leq 280 \text{ kg/cm}^2$: $\beta_1 = 0.85$

$$f'_c > 280 \text{ kg/cm}^2 : \beta_1 = 0.85 - (f'_c - 280) / 1400 \geq 0.65$$

Condiciones de equilibrio:

$$C_c = 0.85 * f'_c * a * b$$

$$T_s = f_s * A_s$$



$$a) \quad \Sigma N = N_u / \varnothing + T_s - C_c = 0$$

$$b) \quad \Sigma M_T = M_{eu} / \varnothing - C_c * (d - a/2) = 0$$

$$c) \quad \Sigma M_C = M_{eu} / \varnothing - (N_u / \varnothing + T_s) * (d - a/2) = 0$$

de la ecuación (b):

$$M_{eu} = \varnothing * C_c * (d - a/2)$$

$$0.85 * \varnothing * f'_c * a * b * (d - a/2) \quad a = k_a * d$$

$$0.85 * \varnothing * f'_c * b * d^2 * k_a * (1 - k_a/2)$$

$$M_{eu} / (f'_c * b * d^2) = 0.85 * \varnothing * k_a * (1 - k_a/2)$$

haciendo
$$m_r = \frac{M_{eu}}{f'_c * b * d^2}$$

tendremos: $m_r = 0.85 * \phi * k_a * (1 - k_a/2)$

de la ecuación (c):

$$\begin{aligned} M_{eu} &= \phi * (N_u / \phi + T_s) * (d - a/2) & T_s &= f_s * A_s \\ &= (N_u + \phi * T_s) * (d - a/2) \\ &= N_u * (d - a/2) + \phi * f_s * A_s * (d - a/2) \end{aligned}$$

de donde despejamos A_s :

$$A_s = \frac{M_{eu}}{\phi * f_s * (d - a/2)} - \frac{N_u}{\phi * f_s}$$

Como $f_s = f_y$ (la armadura traccionada debe estar en fluencia),
y haciendo

$$\frac{M_{eu}}{\phi * f_y * (d - a/2)} = \omega * \frac{f'_c}{f_y} * b * d$$

tendremos:
$$A_s = \omega * (f'_c / f_y) * b * d - N_u / (\phi * f_y)$$

ω : cuantía mecánica

$$\omega = \frac{M_{eu} * f_y}{\phi * f_y * (d - a/2) * f'_c * b * d}$$

$$\omega = \frac{M_{eu}}{\phi * f'_c * b * d^2 * (1 - k_a/2)} \quad a = k_a * d$$

$$\frac{M_{eu}}{f'_c * b * d^2} = m_r = 0.85 * \emptyset * k_a * (1 - k_a/2)$$

$$\omega = 0.85 * k_a$$

Podemos encontrar una relación directa entre m_r y ω despejando k_a de la ecuación $m_r = 0.85 * \emptyset * k_a * (1 - k_a/2)$

$$m_r = 0.85 * \emptyset * k_a - 0.85 * \emptyset * k_a^2 / 2$$

$$k_a = 1 - \sqrt{1 - \frac{m_r}{0.425 * \emptyset}} \quad (\text{Ecuación 4.3})$$

por tanto:

$$\omega = 0.85 * \left[1 - \sqrt{1 - \frac{m_r}{0.425 * \emptyset}} \right]$$

Se puede notar que los valores de ω , \emptyset , m_r y k_a dependen de ε_s , por lo que se puede construir una tabla con estos valores y usarla para diseño. (Ver tablas anexas)

Si se va a hacer un programa o se va a hacer el diseño a mano, se debe usar un proceso iterativo:

- [1] Suponer que $\emptyset = 0.90$
- [2] Calcular k_a a partir de \emptyset y m_r (Ecuación 4.3)
- [3] Con k_a y β_1 calcular ε_s (Ecuación 4.1 y 4.2)
- [4] Con ε_s calcular el nuevo valor de \emptyset
- [5] Si el nuevo valor de \emptyset es diferente del valor inicial, volver al paso [2]

Una forma de saber de antemano cual es el valor de \emptyset es calcular el valor del momento reducido m_r para el estado de deformación $\varepsilon_s = 0.005$. Para definir este estado usaremos el subíndice "5".

$$\varepsilon_s = 0.005$$

$$k_{c5} = 0.003 / (0.003 + 0.005) = 0.375$$

$$k_{a5} = \beta_1 * k_{c5} = 0.375 * \beta_1$$

$$\emptyset_5 = 0.90$$

$$m_{r5} = 0.85 * 0.90 * 0.375 * \beta_1 * (1 - 0.375 * \beta_1 / 2) \\ = 0.2869 * \beta_1 * (1 - 0.1875 * \beta_1)$$

f'c	β_1	m_{r5}
[kg/cm²]	[—]	[—]
≤280	0.85	0.205
350	0.80	0.195
420	0.75	0.185
500	0.69	0.173
560	0.65	0.164

cuando se tenga $m_r = m_{r5}$ siempre tendremos $\emptyset = 0.90$

Son muy raros los casos donde haya que iterar. Las deformaciones del acero donde el factor \emptyset no es 0.90 son muy pequeñas, lo que corresponde a secciones muy solicitadas. En estos casos generalmente es más económico aumentar el peralte de la sección.

5. SECCIONES CON ARMADURA DE COMPRESIÓN

Según §10.3.5, para elementos no pretensados con una fuerza axial de compresión menor de $0.10 * f'_c * A_g$, la deformación de la armadura mas traccionada ε_t no debe ser menor de 0.004. Esta deformación del acero corresponde a la zona B, o sea la zona de transición.

Usando el subíndice l para definir este estado de deformación, tendremos:

$$\varepsilon_{sl} = 0.004$$

$$k_{cl} = 0.003 / (0.003 + 0.004) = 0.4286$$

$$k_{al} = \beta_1 * k_{cl} = 0.4286 * \beta_1$$

$$\phi_l = 0.65 + 0.25 * (\varepsilon_{sl} - \varepsilon_{sb}) / (0.005 - \varepsilon_{sb})$$

$$m_{rl} = 0.85 * \phi_l * k_{al} * (1 - k_{al}/2)$$

El momento máximo que puede resistir la sección sin armadura de compresión será:

$$M_{eul} = m_{rl} * f'_c * b * d^2$$

o sea que cuando el valor m_r sea menor que m_{rl} , la sección no necesita armaduras de compresión.

LÍMITE PARA SECCIONES SIN ARMADURAS DE COMPRESIÓN

$$\varepsilon_{sl} = 0.004 \quad k_{cl} = 0.4286$$

$$a) \quad f_y = 2800 \text{ kg/cm}^2 \quad \varepsilon_{sb} = 0.0013 \quad \phi_l = 0.8318$$

f'_c [kg/cm ²]	β_1 [—]	k_{al} [—]	m_{rl} [—]	ω_l [—]
≤280	0.85	0.3643	0.211	0.310
350	0.80	0.3429	0.201	0.291
420	0.75	0.3214	0.191	0.273
500	0.69	0.2969	0.179	0.252
560	0.65	0.2786	0.170	0.237

$$b) \quad f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2 \quad \varepsilon_{sb} = 0.0020 \quad \phi_l = 0.8167$$

f'_c [kg/cm ²]	β_1 [—]	k_{al} [—]	m_r [—]	ω_l [—]
≤ 280	0.85	0.3643	0.207	0.310
350	0.80	0.3429	0.197	.291
420	0.75	0.3214	0.187	0.273
500	0.69	0.2969	0.176	0.252
560	0.65	0.2786	0.166	0.237

Cuando $M_{eu} > M_{eul}$ (o lo que es lo mismo: $m_r > m_{rl}$) el exceso de momento por encima de M_{eul} deberá ser resistido por un par de armaduras adicionales en tracción y compresión.

$$\Delta M_{eu} = M_{eu} - M_{eul}$$

a) Armadura traccionada:

$$\Delta A_s = \frac{\Delta M_{eu}}{\phi_l * f_y * (d - d)} \quad f_s = f_y \quad (\varepsilon_s = 0.004 > f_y / E_s)$$

La armadura traccionada total será:

$$A_s = w_l * (f'_c / f_y) * b * d - N_u / (\phi_l * f_y) + \Delta A_s$$

b) Armadura comprimida:

$$A'_s = \frac{\Delta M_{eu}}{\phi_l * (f'_s - 0.85 * f'_c) * (d - d')}$$

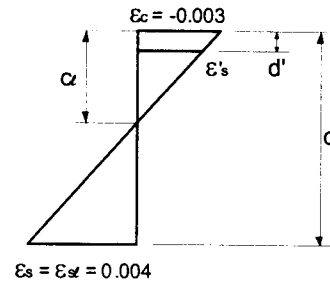
Se resta $0.85f'_c$ a f'_s para descontar el área ocupada por el acero en la zona comprimida de hormigón.

El esfuerzo f'_s de la armadura comprimida depende de ε'_s , que podemos calcular por relación de triángulos:

$$\frac{\varepsilon_s - \varepsilon_c}{d} = \frac{\varepsilon'_s - \varepsilon_c}{d'}$$

$$\frac{0.004 + 0.003}{d} = \frac{\varepsilon'_s + 0.003}{d'}$$

$$\boxed{\varepsilon'_s = 0.007 \frac{d'}{d} - 0.003}$$



El esfuerzo en la armadura comprimida será:

$$f' = E * \varepsilon'_s \leq f_y$$

Aun cuando no esta prohibido por el reglamento, en la practica es preferible evitar secciones donde el factor ϕ sea menor de 0.90, pues esto da como resultado secciones antieconómicas, al penalizar la resistencia de la sección para compensar la poca ductilidad. Como las secciones con armaduras de compresión siempre caen en este rango, en general es preferible aumentar el peralte de la sección que usar estas secciones.

ANEXO

**TABLAS PARA EL DISEÑO DE SECCIONES
RECTANGULARES SOMETIDAS A FLEXIÓN
COMPUESTA CON GRAN EXCENRICIDAD**

REGLAMENTO ACI 318-02

DISEÑO DE SECCIONES DE HORMIGÓN ARMADO

$$f_y = 2800 \text{ kg/cm}^2$$

$$f'_c \leq 280 \text{ kg/cm}^2$$

$$\varepsilon_{sb} = 0.0013$$

$$\beta_1 = 0.85$$

$$k_{cl} = 0.429$$

$$k_{al} = 0.364$$

$$\phi_l = 0.832$$

$$m_{rl} = 0.211$$

m_r	ϕ	k_a	k_c	ε_s	ω
0.050	0.900	0.068	0.080	0.0347	0.058
0.055	0.900	0.075	0.088	0.0311	0.063
0.060	0.900	0.082	0.096	0.0282	0.070
0.065	0.900	0.089	0.105	0.0257	0.076
0.070	0.900	0.096	0.113	0.0235	0.082
0.075	0.900	0.103	0.122	0.0217	0.088
0.080	0.900	0.111	0.130	0.0200	0.094
0.085	0.900	0.118	0.139	0.0186	0.100
0.090	0.900	0.126	0.148	0.0173	0.107
0.095	0.900	0.133	0.157	0.0162	0.113
0.100	0.900	0.141	0.165	0.0151	0.120
0.105	0.900	0.148	0.174	0.0142	0.126
0.110	0.900	0.156	0.183	0.0134	0.133
0.115	0.900	0.164	0.193	0.0126	0.139
0.120	0.900	0.172	0.202	0.0119	0.146
0.125	0.900	0.180	0.211	0.0112	0.153
0.130	0.900	0.188	0.221	0.0106	0.159
0.135	0.900	0.196	0.230	0.0100	0.166
0.140	0.900	0.204	0.240	0.0095	0.173
0.145	0.900	0.212	0.249	0.0090	0.180
0.150	0.900	0.220	0.259	0.0086	0.187
0.155	0.900	0.229	0.269	0.0081	0.194
0.160	0.900	0.237	0.279	0.0077	0.202
0.165	0.900	0.246	0.289	0.0074	0.209
0.170	0.900	0.255	0.300	0.0070	0.216
0.175	0.900	0.263	0.310	0.0067	0.224
0.180	0.900	0.272	0.320	0.0064	0.232
0.185	0.900	0.281	0.331	0.0061	0.239
0.190	0.900	0.291	0.342	0.0058	0.247
0.195	0.900	0.300	0.353	0.0055	0.255
0.200	0.900	0.309	0.364	0.0052	0.263
0.205	0.900	0.319	0.375	0.0050	0.271
0.210	0.849	0.352	0.414	0.0043	0.299
0.211	0.843	0.356	0.418	0.0042	0.302

DISEÑO DE SECCIONES DE HORMIGÓN ARMADO

$$f_y = 2800 \text{ kg/cm}^2$$

$$f'_c = 350 \text{ kg/cm}^2$$

$$\varepsilon_{sb} = 0.0013$$

$$\beta_1 = 0.80$$

$$k_{cl} = 0.429$$

$$k_{al} = 0.343$$

$$\phi_l = 0.832$$

$$m_{rl} = 0.201$$

m_r	ϕ	k_a	k_c	ε_s	ω
0.050	0.900	0.068	0.085	0.0325	0.058
0.055	0.900	0.075	0.093	0.0291	0.063
0.060	0.900	0.082	0.102	0.0263	0.070
0.065	0.900	0.089	0.111	0.0240	0.076
0.070	0.900	0.096	0.120	0.0220	0.082
0.075	0.900	0.103	0.129	0.0202	0.088
0.080	0.900	0.111	0.138	0.0187	0.094
0.085	0.900	0.118	0.148	0.0173	0.100
0.090	0.900	0.126	0.157	0.0161	0.107
0.095	0.900	0.133	0.166	0.0150	0.113
0.100	0.900	0.141	0.176	0.0141	0.120
0.105	0.900	0.148	0.185	0.0132	0.126
0.110	0.900	0.156	0.195	0.0124	0.133
0.115	0.900	0.164	0.205	0.0117	0.139
0.120	0.900	0.172	0.214	0.0110	0.146
0.125	0.900	0.180	0.224	0.0104	0.153
0.130	0.900	0.188	0.234	0.0098	0.159
0.135	0.900	0.196	0.245	0.0093	0.166
0.140	0.900	0.204	0.255	0.0088	0.173
0.145	0.900	0.212	0.265	0.0083	0.180
0.150	0.900	0.220	0.275	0.0079	0.187
0.155	0.900	0.229	0.286	0.0075	0.194
0.160	0.900	0.237	0.297	0.0071	0.202
0.165	0.900	0.246	0.307	0.0068	0.209
0.170	0.900	0.255	0.318	0.0064	0.216
0.175	0.900	0.263	0.329	0.0061	0.224
0.180	0.900	0.272	0.340	0.0058	0.232
0.185	0.900	0.281	0.352	0.0055	0.239
0.190	0.900	0.291	0.363	0.0053	0.247
0.195	0.900	0.300	0.375	0.0050	0.255
0.200	0.864	0.321	0.402	0.0045	0.273
0.201	0.860	0.324	0.405	0.0044	0.275

DISEÑO DE SECCIONES DE HORMIGÓN ARMADO

$$f_y = 2800 \text{ kg/cm}^2$$

$$f'_c = 420 \text{ kg/cm}^2$$

$$\epsilon_{sb} = 0.0013$$

$$\beta_1 = 0.75$$

$$k_{cl} = 0.429$$

$$k_{al} = 0.321$$

$$\phi_l = 0.832$$

$$m_{rl} = 0.191$$

m_r	ϕ	k_a	k_c	ϵ_s	ω
0.050	0.900	0.068	0.090	0.0303	0.058
0.055	0.900	0.075	0.100	0.0271	0.063
0.060	0.900	0.082	0.109	0.0245	0.070
0.065	0.900	0.089	0.119	0.0223	0.076
0.070	0.900	0.096	0.128	0.0204	0.082
0.075	0.900	0.103	0.138	0.0188	0.088
0.080	0.900	0.111	0.148	0.0173	0.094
0.085	0.900	0.118	0.157	0.0161	0.100
0.090	0.900	0.126	0.167	0.0149	0.107
0.095	0.900	0.133	0.177	0.0139	0.113
0.100	0.900	0.141	0.187	0.0130	0.120
0.105	0.900	0.148	0.198	0.0122	0.126
0.110	0.900	0.156	0.208	0.0114	0.133
0.115	0.900	0.164	0.218	0.0107	0.139
0.120	0.900	0.172	0.229	0.0101	0.146
0.125	0.900	0.180	0.239	0.0095	0.153
0.130	0.900	0.188	0.250	0.0090	0.159
0.135	0.900	0.196	0.261	0.0085	0.166
0.140	0.900	0.204	0.272	0.0080	0.173
0.145	0.900	0.212	0.283	0.0076	0.180
0.150	0.900	0.220	0.294	0.0072	0.187
0.155	0.900	0.229	0.305	0.0068	0.194
0.160	0.900	0.237	0.316	0.0065	0.202
0.165	0.900	0.246	0.328	0.0061	0.209
0.170	0.900	0.255	0.340	0.0058	0.216
0.175	0.900	0.263	0.351	0.0055	0.224
0.180	0.900	0.272	0.363	0.0053	0.232
0.185	0.899	0.282	0.376	0.0050	0.239
0.190	0.889	0.287	0.383	0.0048	0.244
0.191	0.892	0.286	0.381	0.0049	0.243

DISEÑO DE SECCIONES DE HORMIGÓN ARMADO

$$f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$$

$$f'_c \leq 280 \text{ kg/cm}^2$$

$$\varepsilon_{sb} = 0.0020$$

$$\beta_1 = 0.85$$

$$k_{cl} = 0.429$$

$$k_{al} = 0.364$$

$$\phi_l = 0.817$$

$$m_{rl} = 0.207$$

m_r	ϕ	k_a	k_c	ε_s	ω
0.050	0.900	0.068	0.080	0.0347	0.058
0.055	0.900	0.075	0.088	0.0311	0.063
0.060	0.900	0.082	0.096	0.0282	0.070
0.065	0.900	0.089	0.105	0.0257	0.076
0.070	0.900	0.096	0.113	0.0235	0.082
0.075	0.900	0.103	0.122	0.0217	0.088
0.080	0.900	0.111	0.130	0.0200	0.094
0.085	0.900	0.118	0.139	0.0186	0.100
0.090	0.900	0.126	0.148	0.0173	0.107
0.095	0.900	0.133	0.157	0.0162	0.113
0.100	0.900	0.141	0.165	0.0151	0.120
0.105	0.900	0.148	0.174	0.0142	0.126
0.110	0.900	0.156	0.183	0.0134	0.133
0.115	0.900	0.164	0.193	0.0126	0.139
0.120	0.900	0.172	0.202	0.0119	0.146
0.125	0.900	0.180	0.211	0.0112	0.153
0.130	0.900	0.188	0.221	0.0106	0.159
0.135	0.900	0.196	0.230	0.0100	0.166
0.140	0.900	0.204	0.240	0.0095	0.173
0.145	0.900	0.212	0.249	0.0090	0.180
0.150	0.900	0.220	0.259	0.0086	0.187
0.155	0.900	0.229	0.269	0.0081	0.194
0.160	0.900	0.237	0.279	0.0077	0.202
0.165	0.900	0.246	0.289	0.0074	0.209
0.170	0.900	0.255	0.300	0.0070	0.216
0.175	0.900	0.263	0.310	0.0067	0.224
0.180	0.900	0.272	0.320	0.0064	0.232
0.185	0.900	0.281	0.331	0.0061	0.239
0.190	0.900	0.291	0.342	0.0058	0.247
0.195	0.900	0.300	0.353	0.0055	0.255
0.200	0.900	0.309	0.364	0.0052	0.263
0.205	0.899	0.319	0.375	0.0050	0.271
0.207	0.817	0.364	0.429	0.0040	0.310

DISEÑO DE SECCIONES DE HORMIGÓN ARMADO

$$f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$$

$$f'_c = 350 \text{ kg/cm}^2$$

$$\epsilon_{sb} = 0.0020$$

$$\beta_1 = 0.80$$

$$k_{cl} = 0.429$$

$$k_{al} = 0.343$$

$$\phi_l = 0.817$$

$$m_{rl} = 0.197$$

m_r	ϕ	k_a	k_c	ϵ_s	ω
0.050	0.900	0.068	0.085	0.0325	0.058
0.055	0.900	0.075	0.093	0.0291	0.063
0.060	0.900	0.082	0.102	0.0263	0.070
0.065	0.900	0.089	0.111	0.0240	0.076
0.070	0.900	0.096	0.120	0.0220	0.082
0.075	0.900	0.103	0.129	0.0202	0.088
0.080	0.900	0.111	0.138	0.0187	0.094
0.085	0.900	0.118	0.148	0.0173	0.100
0.090	0.900	0.126	0.157	0.0161	0.107
0.095	0.900	0.133	0.166	0.0150	0.113
0.100	0.900	0.141	0.176	0.0141	0.120
0.105	0.900	0.148	0.185	0.0132	0.126
0.110	0.900	0.156	0.195	0.0124	0.133
0.115	0.900	0.164	0.205	0.0117	0.139
0.120	0.900	0.172	0.214	0.0110	0.146
0.125	0.900	0.180	0.224	0.0104	0.153
0.130	0.900	0.188	0.234	0.0098	0.159
0.135	0.900	0.196	0.245	0.0093	0.166
0.140	0.900	0.204	0.255	0.0088	0.173
0.145	0.900	0.212	0.265	0.0083	0.180
0.150	0.900	0.220	0.275	0.0079	0.187
0.155	0.900	0.229	0.286	0.0075	0.194
0.160	0.900	0.237	0.297	0.0071	0.202
0.165	0.900	0.246	0.307	0.0068	0.209
0.170	0.900	0.255	0.318	0.0064	0.216
0.175	0.900	0.263	0.329	0.0061	0.224
0.180	0.900	0.272	0.340	0.0058	0.232
0.185	0.900	0.281	0.352	0.0055	0.239
0.190	0.900	0.291	0.363	0.0053	0.247
0.195	0.900	0.300	0.375	0.0050	0.255
0.197	0.817	0.343	0.429	0.0040	0.291

DISEÑO DE SECCIONES DE HORMIGÓN ARMADO

$$f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$$

$$f'_c = 420 \text{ kg/cm}^2$$

$$\varepsilon_{sb} = 0.0020$$

$$\beta_1 = 0.75$$

$$k_{cl} = 0.429$$

$$k_{al} = 0.321$$

$$\phi_l = 0.817$$

$$m_{rl} = 0.187$$

m_r	ϕ	k_a	k_c	ε_s	ω
0.050	0.900	0.068	0.090	0.0303	0.058
0.055	0.900	0.075	0.100	0.0271	0.063
0.060	0.900	0.082	0.109	0.0245	0.070
0.065	0.900	0.089	0.119	0.0223	0.076
0.070	0.900	0.096	0.128	0.0204	0.082
0.075	0.900	0.103	0.138	0.0188	0.088
0.080	0.900	0.111	0.148	0.0173	0.094
0.085	0.900	0.118	0.157	0.0161	0.100
0.090	0.900	0.126	0.167	0.0149	0.107
0.095	0.900	0.133	0.177	0.0139	0.113
0.100	0.900	0.141	0.187	0.0130	0.120
0.105	0.900	0.148	0.198	0.0122	0.126
0.110	0.900	0.156	0.208	0.0114	0.133
0.115	0.900	0.164	0.218	0.0107	0.139
0.120	0.900	0.172	0.229	0.0101	0.146
0.125	0.900	0.180	0.239	0.0095	0.153
0.130	0.900	0.188	0.250	0.0090	0.159
0.135	0.900	0.196	0.261	0.0085	0.166
0.140	0.900	0.204	0.272	0.0080	0.173
0.145	0.900	0.212	0.283	0.0076	0.180
0.150	0.900	0.220	0.294	0.0072	0.187
0.155	0.900	0.229	0.305	0.0068	0.194
0.160	0.900	0.237	0.316	0.0065	0.202
0.165	0.900	0.246	0.328	0.0061	0.209
0.170	0.900	0.255	0.340	0.0058	0.216
0.175	0.900	0.263	0.351	0.0055	0.224
0.180	0.900	0.272	0.363	0.0053	0.232
0.185	0.896	0.283	0.377	0.0050	0.240
0.187	0.817	0.321	0.429	0.0040	0.273