

**Ecuación fundamental de verificación (Método de Diseño por Resistencia)**

En un elemento flexionado, debe cumplirse en todas las secciones la siguiente inecuación:

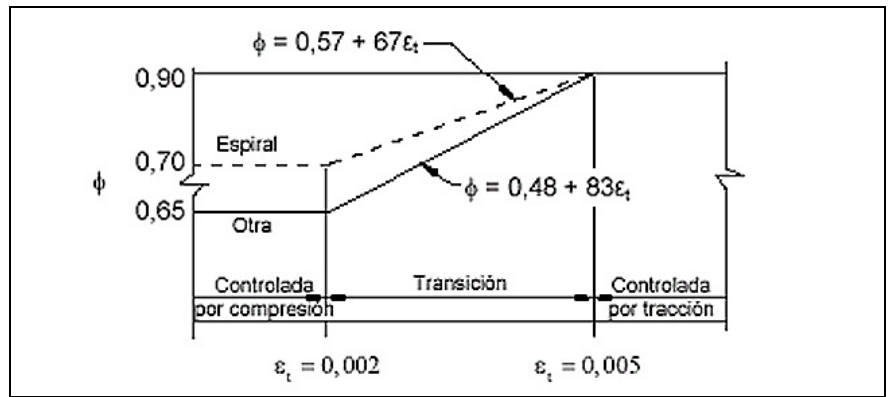
$$\phi \times M_n \geq M_u$$

siendo :

- $\phi$  : Factor que reduce la resistencia para considerar las incertidumbres en los materiales y en las dimensiones
- $M_n$  : Momento resistente nominal de la sección transversal
- $M_u$  : Momento actuante mayorado. Se obtiene aplicando las cargas de servicio especificadas por los reglamentos de acciones, combinadas con la aplicación de los factores de mayoración de cargas (Ver FT01)

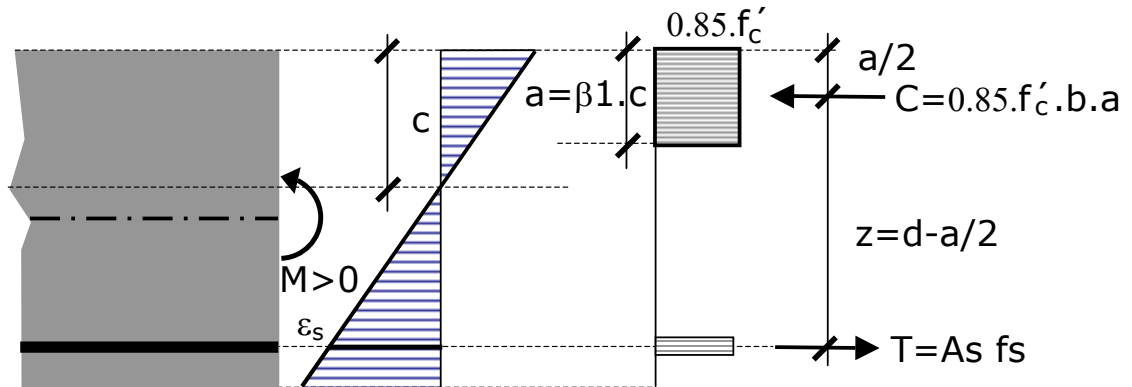
**Valores del factor de reducción de la resistencia  $\phi$**

Secciones controladas por <b>tracción</b>	<b>0,90</b>
Secciones controladas por <b>compresión</b>	<b>0,65</b>



**Determinación del momento resistente nominal**

El momento  $M_n$  se determina con las siguientes hipótesis acerca de las deformaciones y tensiones en el hormigón y en el acero :



El valor de  $\beta_1$  para calcular la altura del diagrama rectangular de tensiones es :

$$\text{para } f'_c \leq 30 \text{ MPa: } \beta_1 = 0.85$$

$$\text{para } f'_c > 30 \text{ MPa: } \beta_1 = 0.85 - 0.05 \times \frac{(f'_c - 30 \text{ MPa})}{7}$$

$$\beta_1 \geq 0.65$$

**HIPOTESIS:**

- ✓ Adherencia perfecta entre A° y H°
- ✓ No se considera la resistencia a tracción del H°
- ✓ Las deformaciones en la armadura y en el hormigón son proporcionales a la distancia desde el eje neutro
- ✓ Como máxima deformación en la fibra extrema comprimida del H° se toma  $\varepsilon_u = 0.003$
- ✓ La tensión en el acero se calcula como:  $E_s \cdot \varepsilon_s \leq f_y$

**Armadura mínima**

Para asegurar la capacidad de la sección de alcanzar la curvatura correspondiente a las condiciones de resistencia nominal, y evitar la falla frágil en el período elástico, se especifica una armadura mínima :

$$A_{s,\min} = \frac{(f'_c)^{1/2} b_w d}{4 f_y} \leq \frac{1.4 b_w d}{f_y}$$

**Cuantía máxima**

Para asegurar un modo de falla dúctil, con preaviso, debe limitarse la cantidad de armadura de manera que la deformación específica de tracción para las condiciones de resistencia nominal resulte:

$$\varepsilon_t \geq 0.004$$

lo que resulta aproximadamente equivalente a controlar que no se supere el 75% de la “cuantía balanceada”:

$$\rho \leq 0.75 \rho_b$$

donde la cuantía se define como:

$$\rho = \frac{A_s}{b \times d}$$

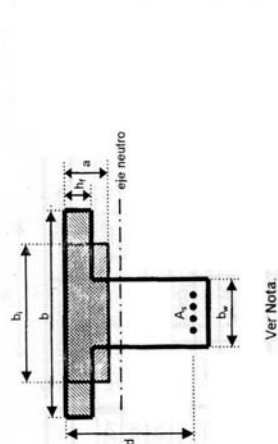
y  $\rho_b$  es función de los materiales utilizados:

$$\rho_b = 0.85 \beta_1 \frac{f'_c}{f_y} \frac{600}{600 + f_y} [\text{MPa}]$$

Ayudas de cálculo

Se encuentran disponibles numerosas ayudas de cálculo, gráficos, tablas, software para facilitar el dimensionamiento a flexión según ACI-318.

CIRSOC presenta las siguientes tablas (estructuradas de manera similar a las tablas “kh” utilizadas habitualmente en nuestro medio para el dimensionamiento según el reglamento en vigencia), en su publicación de Noviembre 2002, **“Tablas para el diseño de elementos estructurales de hormigón”**.



$$M_{eu} = M_n - N_n \cdot y_e$$

$$k_d = \frac{d}{\sqrt{\frac{M_{eu}}{b}}}$$

$$k_d = \frac{m}{\sqrt{\frac{MNm}{m}}}$$

$$A_{s,req} = k_e \cdot M_{eu} + \frac{N_n}{f_y} \cdot 10\,000$$

$$cm^2 = \frac{cm^2 \cdot MNm}{MN \cdot m} + \frac{MN}{MPa} \cdot 10\,000$$

Hormigón:	f'c = 20 MPa
	f'c = 25 MPa
	f'c = 30 MPa
Acero:	fy = 420 MPa

β1	H20		H25		H30		fy (MPa=MN/m²)	Es (MPa=MN/m²)	ke	ec	et	kc	kz	Adimens.	Adimens.	Acero en el periodo de fluencia
	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85	0,85										
	1,218	1,089	0,994	0,994	0,994	0,994	24,301	0,25	5,00	0,043	0,980	0,980	0,980	0,980	0,980	0,980
	0,890	0,796	0,727	0,727	0,727	0,727	24,766	0,50	5,00	0,091	0,961	0,961	0,961	0,961	0,961	0,961
	0,749	0,670	0,612	0,612	0,612	0,612	25,207	0,75	5,00	0,130	0,945	0,945	0,945	0,945	0,945	0,945
	0,668	0,598	0,546	0,546	0,546	0,546	25,625	1,00	5,00	0,167	0,929	0,929	0,929	0,929	0,929	0,929
	0,615	0,550	0,502	0,502	0,502	0,502	26,021	1,25	5,00	0,200	0,915	0,915	0,915	0,915	0,915	0,915
	0,577	0,516	0,471	0,471	0,471	0,471	26,399	1,50	5,00	0,231	0,902	0,902	0,902	0,902	0,902	0,902
	0,548	0,490	0,447	0,447	0,447	0,447	26,758	1,75	5,00	0,259	0,890	0,890	0,890	0,890	0,890	0,890
	0,525	0,470	0,429	0,429	0,429	0,429	27,100	2,00	5,00	0,286	0,879	0,879	0,879	0,879	0,879	0,879
	0,507	0,453	0,414	0,414	0,414	0,414	27,427	2,25	5,00	0,310	0,868	0,868	0,868	0,868	0,868	0,868
	0,492	0,440	0,402	0,402	0,402	0,402	27,739	2,50	5,00	0,333	0,858	0,858	0,858	0,858	0,858	0,858
	0,479	0,429	0,391	0,391	0,391	0,391	28,038	2,75	5,00	0,355	0,849	0,849	0,849	0,849	0,849	0,849
	0,469	0,419	0,383	0,383	0,383	0,383	28,324	3,00	5,00	0,375	0,841	0,841	0,841	0,841	0,841	0,841

Nota: En el caso que sea Viga Placa, si la altura a supera la altura c (el ala hf de dicha Viga, se empleará un ancho colaborante modificado b1.

$$a = \beta_1 \cdot k_c \cdot d$$

$$b_1 = \chi_b \cdot b$$

$$\chi_b = 1 - \left[ \left( 1 - \frac{b_w}{b} \right) \cdot \left( 1 - \frac{h_f}{d} \right) \right]$$

Ver Nota

Tablas de cálculo para secciones con zona comprimida rectangular con armadura comprimida.

Hormigón:	$f'_c = 20 \text{ MPa}$
	$f'_c = 25 \text{ MPa}$
	$f'_c = 30 \text{ MPa}$
Acero:	$f_y = 420 \text{ MPa}$

$$M_{eu} = M_n - N_n \cdot y_e$$

$$k_d = \frac{d}{\sqrt{\frac{M_{eu}}{b}}}$$

$$k_d = \frac{m}{\sqrt{\frac{\text{MNm}}{\text{m}}}}$$

$$A'_{s_{rec}} = k' \cdot e \cdot \frac{M_{eu}}{d}$$

$$\text{cm}^2 = \frac{\text{cm}^2 \cdot \text{MNm}}{\text{MN} \cdot \text{m}}$$

$$A_{s_{rec}} = k_e \cdot M_{eu} + \frac{N_n}{f_y} \cdot 10000$$

$$\text{cm}^2 = \frac{\text{cm}^2 \cdot \text{MNm}}{\text{MN} \cdot \text{m}} + \frac{\text{MN}}{\text{MPa}} \cdot 10000$$

H20 - H25 - H30  $f_y = 420 \text{ MPa}$

$k_d / k_d'$	0.07		0.08		0.10		0.12		0.14		0.16		0.18		0.20		0.22	
	$k_e$ cm <sup>2</sup> /MN	$k_e$ cm <sup>2</sup> /MN	$k_e$ cm <sup>2</sup> /MN	$k_e$ cm <sup>2</sup> /MN	$k_e$ cm <sup>2</sup> /MN	$k_e$ cm <sup>2</sup> /MN	$k_e$ cm <sup>2</sup> /MN	$k_e$ cm <sup>2</sup> /MN	$k_e$ cm <sup>2</sup> /MN	$k_e$ cm <sup>2</sup> /MN	$k_e$ cm <sup>2</sup> /MN	$k_e$ cm <sup>2</sup> /MN	$k_e$ cm <sup>2</sup> /MN	$k_e$ cm <sup>2</sup> /MN	$k_e$ cm <sup>2</sup> /MN	$k_e$ cm <sup>2</sup> /MN	$k_e$ cm <sup>2</sup> /MN	$k_e$ cm <sup>2</sup> /MN
1.00	0.000	28.324	0.000	28.324	0.000	28.324	0.000	28.324	0.000	28.324	0.000	28.324	0.000	28.324	0.000	28.324	0.000	28.324
0.95	2.496	28.058	2.523	28.085	2.579	28.141	2.716	28.200	3.015	28.261	3.374	28.326	3.811	28.393	4.353	28.464	5.040	28.538
0.90	4.864	27.806	4.917	27.859	5.026	27.969	5.292	28.083	5.876	28.202	6.575	28.328	7.427	29.459	8.462	28.597	9.822	28.742
0.85	7.104	27.568	7.182	27.645	7.341	27.805	7.729	27.972	8.582	28.147	9.603	28.329	10.847	28.521	12.388	28.723	14.346	28.934
0.80	9.217	27.344	9.317	27.444	9.524	27.651	10.027	27.867	11.133	28.094	12.458	28.331	14.071	28.580	16.071	28.841	18.610	29.116
0.75	11.201	27.133	11.322	27.254	11.574	27.506	12.185	27.769	13.530	28.044	15.141	28.333	17.101	28.635	19.531	28.953	22.617	29.287
0.70	13.057	26.935	13.199	27.077	13.492	27.371	14.205	27.677	15.772	27.998	17.650	28.334	19.934	28.687	22.768	29.057	26.395	29.446
$\Gamma_c$ [MPa]	420.000		420.000		420.000		408.000		376.000		344.000		312.000		280.000		248.000	

$\xi = d'/d$