

Unidades

	SI	MKS	Inglés
Longitud	m	M	ft
Masa	kg	Kgf*s ² /m	lbf*s ² /ft
Tiempo	s	s	s
Fuerza	N=kg*m/s ²	kgf	lbf

- Fuerza

$$\text{kN} = 1000 \text{ N} = 100 \text{ kgf}$$

$$\text{kN} = 0.225 \text{ kips} = 225 \text{ lbf}$$

- Tensión/Esfuerzo

$$\text{MPa} = 10^6 \text{ Pa} = 10^6 \text{ N/m}^2 = 1 \text{ N/mm}^2 = 10 \text{ kgf/cm}^2$$

$$\text{MPa} = 0.145 \text{ ksi} = 145 \text{ psi (lbf/in}^2\text{)}$$



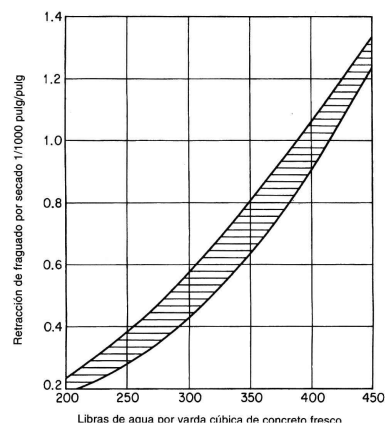
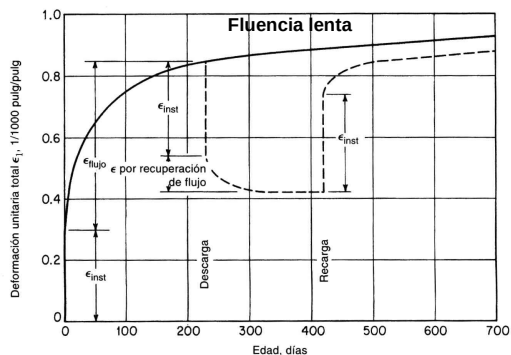
Hormigón – Propiedades

- Propiedades de deformación

- Retracción de fraguado

- Aumento con relación agua/cemento

- Creep = Deformación unitaria en el tiempo (cargas de larga duración)



Ref. Nilson (1999)

Hormigón – Propiedades

- Resistencia a tracción

- Tracción directa

$$f'_t = (0.25 \text{ a } 0.42)\sqrt{f'_c} \text{ (MPa)}$$

- Tracción indirecta

$$f_{ct} = (0.5 \text{ a } 0.66)\sqrt{f'_c} \text{ (MPa)}$$

- Módulo de rotura

$$f_r = (0.66 \text{ a } 1.0)\sqrt{f'_c} \text{ (MPa)} = \frac{6M}{bh^2}$$

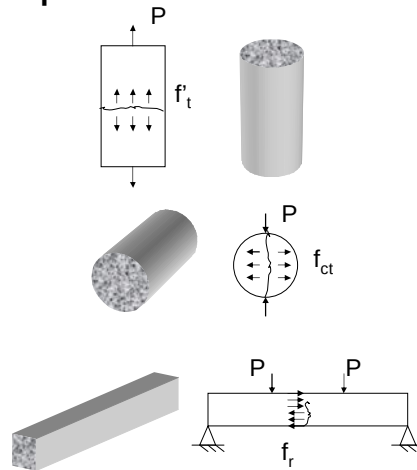
- ACI 318-05

$$f_r = 0.62\sqrt{f'_c} \text{ (MPa)}$$

Deformaciones & M_{cr} S9.5.2.3



Ingeniería Civil



Hormigón – Propiedades

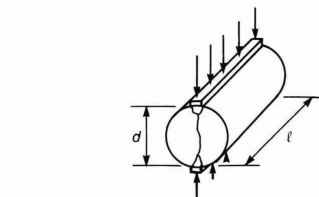
- Resistencia a tracción

- Tracción indirecta

$$f_{ct} = (0.5 \text{ a } 0.66)\sqrt{f'_c} \text{ (MPa)}$$

$$f_{ct} = \frac{2P}{\pi ld} \approx \frac{P \tan(\alpha)}{ld}$$

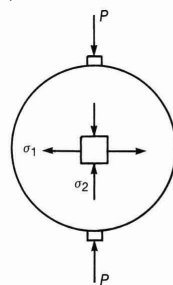
$(\alpha = 32.5^\circ)$



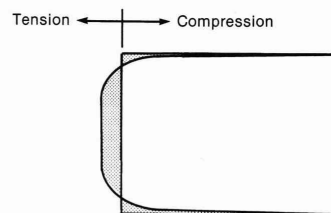
(a) Test procedure.



(b) Simplified force system.



(c) Stresses on element.



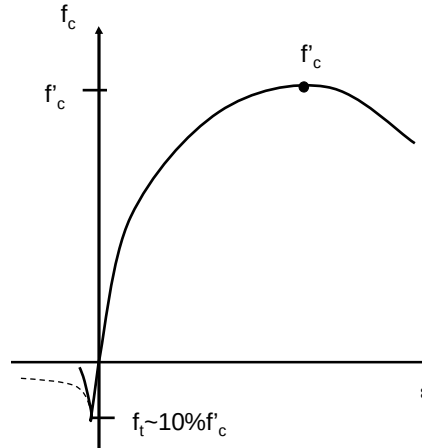
(d) Distribution of σ_1 on vertical diameter.



Ingeniería Civil

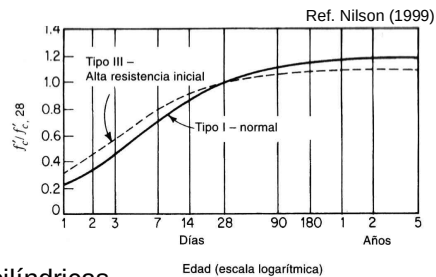
Hormigón – Propiedades

- Resistencia a tracción
 - Baja capacidad en tracción
 - Compensación con uso de acero
 - Módulo elástico similar al de compresión
 - Gran rigidez con baja capacidad → falla frágil



Hormigón – Propiedades

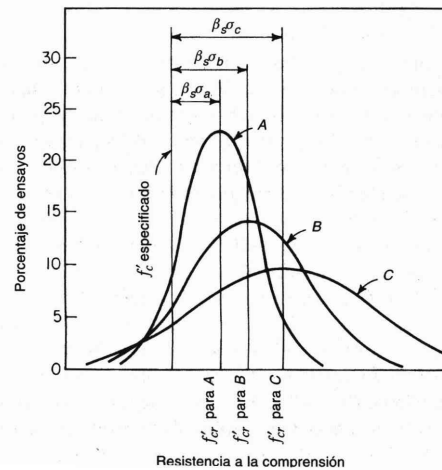
- Resistencia a compresión
 - Basada usualmente a 28 días (f'_c)
 - f'_c @ 28 días ~90% capacidad última (años)
 - Ensayo de probetas cúbicas/cilíndricas
 - Denominación: basada en probeta cúbica (20x20cm), ej., H-30 ($f_c^{cub} = 30$ MPa)
 - Ecuaciones de diseño (ACI 318-05) basado en probeta cilíndrica (15x30cm)



			Resistencia de Diseño	
Probeta cúbica	f_c^{cub}	MPa	5 - 25	30, 35, 40, 45, 50, 55, 60
correlación			$f'_c = f_c^{cub} \cdot 0.8$	$f'_c = f_c^{cub} - 5$ (MPa)
Probeta cilíndrica	f'_c	MPa	4 - 20	25, 30, 35, 40, 45, 50, 55

Hormigón – Propiedades

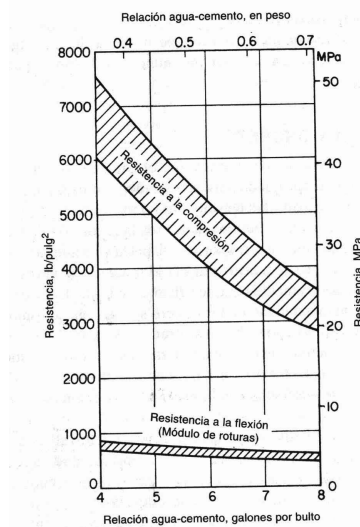
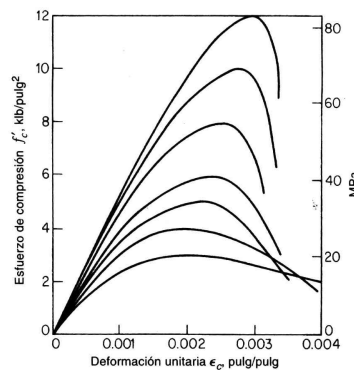
- Resistencia a compresión
 - Resistencia a compresión de diseño versus resistencia media requerida para la obra
 - Requerimiento de nivel de confianza (~90%)
 - Importancia de dispersión para el fabricante



Ref. Nilson (1999)

Hormigón – Propiedades

- Resistencia a compresión
 - Relación agua-cemento
 - Esfuerzo de compresión versus deformación unitaria



Ref. Nilson (1999)

Hormigón – Propiedades

- Resistencia a compresión

- Módulo elástico:

- Módulo secante a $0.5f'_c$

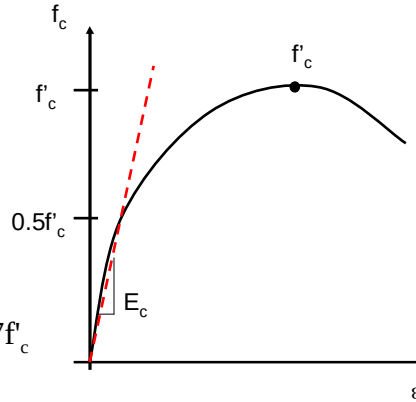
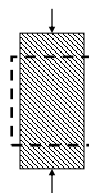
$$E_c = 4700 \sqrt{f'_c} \text{ (MPa)}$$

S.8.5.1 H. peso normal
 $f'_c < 55 \text{ MPa}$

- Módulo de Poisson

$\nu = 0.15 \text{ a } 0.2$, para $f_c < 0.7f'_c$

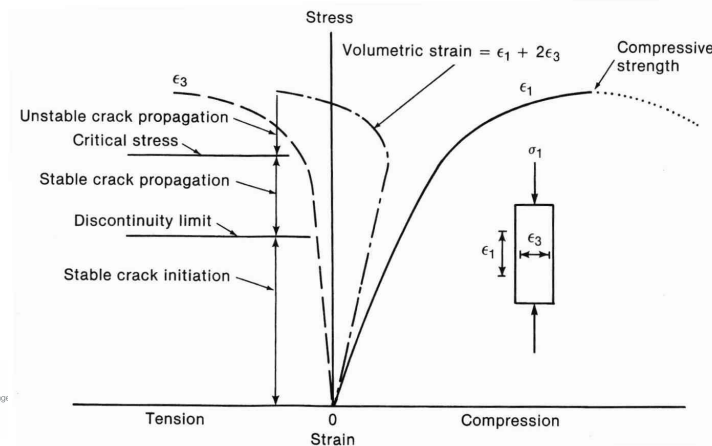
$$\nu = \frac{\epsilon_{transv}}{\epsilon_{axial}}$$



Hormigón – Propiedades

- Resistencia a compresión

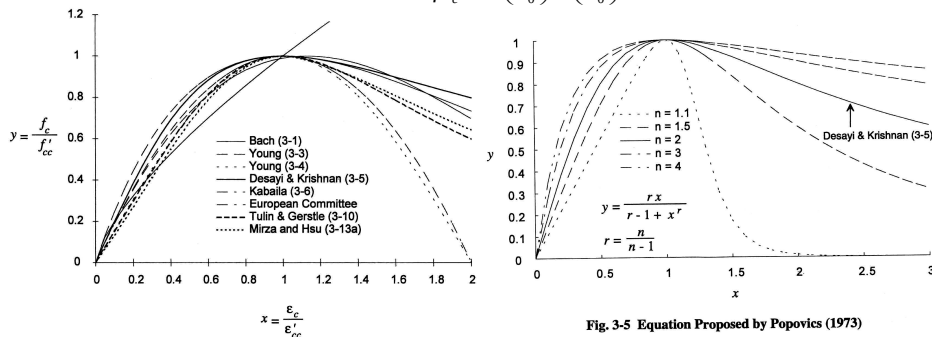
- Efecto de Poisson para pequeñas (0.15-0.2) y grandes deformaciones
 - Inestabilidad a $0.75 - 0.8f'_c$ que genera falla axial (bajo f'_c) para cargas de larga duración (creep – deformaciones de largo plazo)



Hormigón – Propiedades

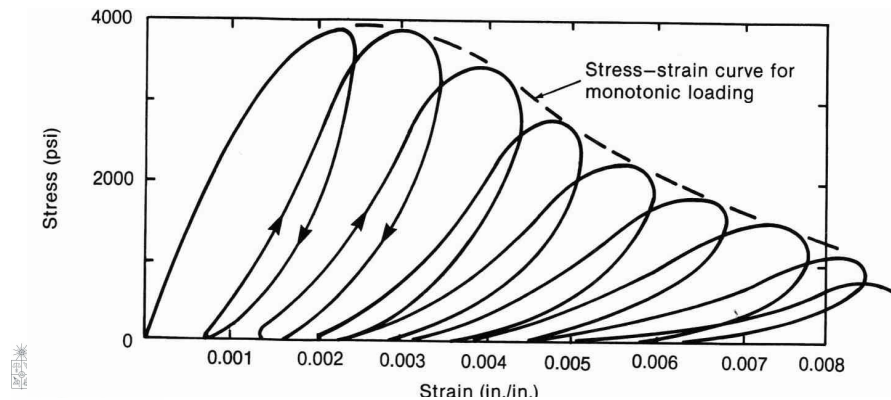
- Esfuerzo de compresión versus deformación unitaria
 - Características: tangente inicial, rama ascendente, peak, rama descendente
 - Varios modelos, Ej. Saenz (1964): modelo parabólico adoptado por el Comité Europeo

$$y = \frac{f_c}{f'_c} = 2 \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_0} \right) - \left(\frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_0} \right)^2 = 2x - x^2$$



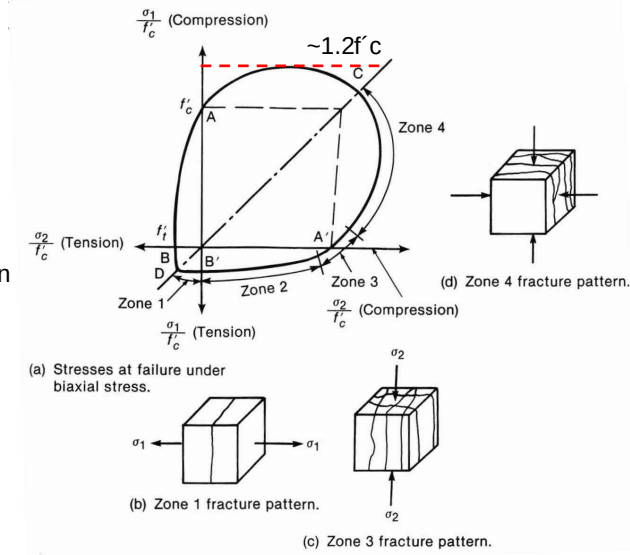
Hormigón – Propiedades

- Resistencia cíclica a compresión
 - Envolvente “similar” a comportamiento monotónico del hormigón en compresión
 - Deformaciones residuales a tensión cero representan deformaciones plásticas (daño o deterioro)



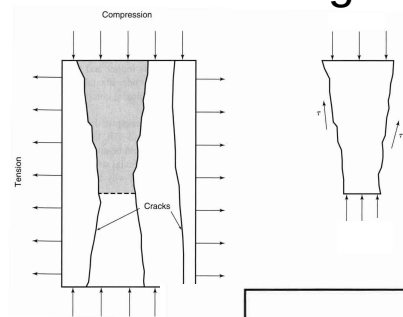
Hormigón – Propiedades

- Resistencia a Esfuerzo Biaxial Hormigón Simple
 - Ej. Vigas con cargas puntuales, muros con cargas sísmicas
 - Menor capacidad en zona en tracción (que en compresión)
 - Incremento de capacidad por compresión en ambas direcciones

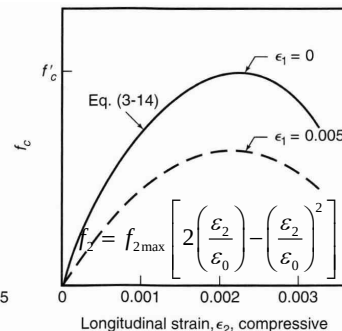
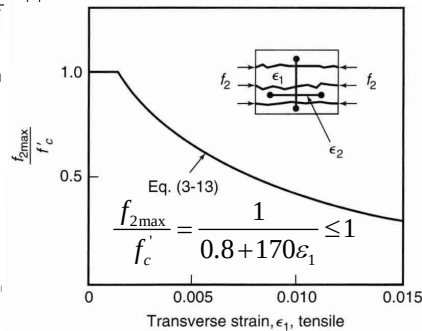


Hormigón – Propiedades

- Resistencia a Esfuerzo Biaxial Hormigón Armado
 - Ej. muros con cargas sísmicas
 - Deformaciones de tracción, ϵ_1 , (fisuras) disminuyen la capacidad de compresión del hormigón, f_{2max} (Ej., Vecchio y Collins, 1982)



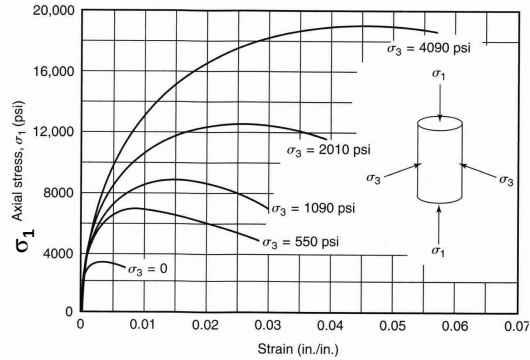
ϵ_0 = deformación para la tensión máxima de compresión
 ϵ_1 & ϵ_2 = deformaciones principales de tracción y compresión



Hormigón – Propiedades

- Resistencia a Esfuerzo Triaxial

- Ej. Confinamiento en columnas, nudos
- Tensiones de confinamiento, σ_3 (compresión):
 - Aumentan de capacidad en compresión (σ_1)
 - Aumento de ductilidad en compresión
- La expansión (por efecto de Poisson) lateral en columnas puede ser resistida por estribos que generan confinamiento

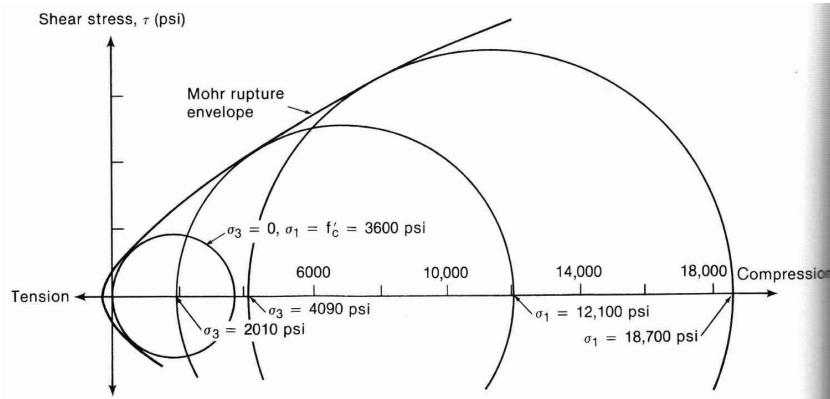


$$\sigma_1 = f'_c + 4.1\sigma_3$$

Nota: En hormigones de alta resistencia y hormigones livianos el efecto de confinamiento disminuye (coeficiente baja de 4.1 a 2.0)

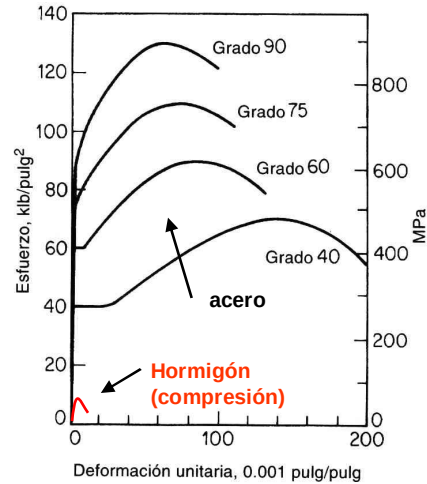
Hormigón – Propiedades

- Resistencia a Esfuerzo Triaxial
 - Interpretación por medio de la envolvente de falla de Mohr



Acero – Propiedades

- Resistencia tracción/compresión
 - Mayor resistencia que hormigón
 - $f_y = 280, 420$ MPa (acero)
 - $f'_c = 10 - 60$ MPa (hormigón)
 - Mayor rigidez que hormigón
 - $E_s = 200.000$ MPa (acero)
 - $E_c \sim 25.000$ MPa (hormigón)
 - Mayor ductilidad que hormigón
 - $\epsilon_{fracture} \sim 10$ a 20% (acero)
 - $\epsilon_{rotura} \sim 0.6$ a 1% (hormigón)



Ref. Nilson (1999)

Acero – Propiedades

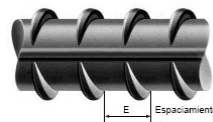
- Resistencia tracción/compresión

Propiedades mecánicas mínimas del acero de refuerzo para hormigón

Grado del acero	Resistencia a tracción f_u [MPa]	Límite de fluencia f_y [MPa]	Alargamiento mínimo %
A44-28H	440	280	18
A63-42H	630	420 ⁽¹⁾	≥8%

(1) $f_y \leq 580$ Mpa

- Diámetro de barra
 - $\phi = 6, 8, 10, 12, 16, 18, 22, 25, 28, 32, 36$ (mm)
 - $\phi = 6$ mm, no tiene resalte

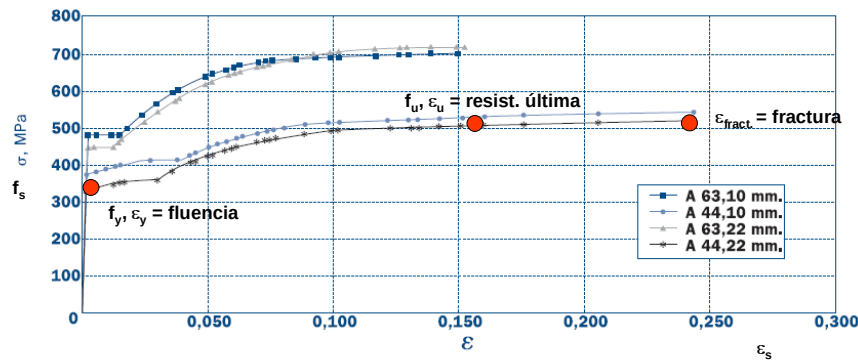


Acero – Propiedades

- Resistencia tracción/compresión

Gráfico 1.2.3.1

Curvas Tensión-Deformación Barras de Refuerzo Gerdau AZA para Hormigón

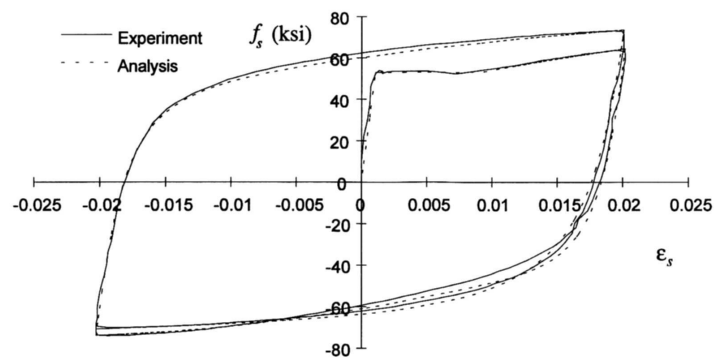


Fuente: Laboratorio de Ensayos IDIEM
fcfm Ingeniería Civil
 FACULTAD DE CIENCIAS
 FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
 UNIVERSIDAD DE CHILE

<http://www.gerdauaza.cl/>

Acero – Propiedades

- Resistencia cíclica



fcfm
 FACULTAD DE CIENCIAS
 FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
 UNIVERSIDAD DE CHILE

Fig. 2-34 Stress-Strain Experiment by Panthaki (1991), Specimen R5

Chang y Mander, 1994

Diseño en Flexión

- Criterio de diseño

$$\phi M_n \geq M_u$$

momento nominal minorado $\geq$ momento aplicado mayorado

capacidad nominal minorada $\geq$ demanda mayorada

- Falla Dúctil

- ACI 318-95

$$\rho \leq 0.75 \rho_b \quad \text{ó} \quad A_s \leq 0.75 A_{s,b}$$

ACI 318-05

$$\varepsilon_s \geq 0.004 \quad \text{S.10.3.5}$$

Para refuerzo más cercano a cara en tracción

- Cuantía mínima

$$\rho \geq \rho_{\min}$$

Para garantizar que el refuerzo es capaz de resistir el momento luego de fisuración del hormigón

S.10.5.1

$$M_n \geq M_{cr}$$



Ingeniería Civil

FACULTAD DE INGENIERÍA
FÍSICA Y MATEMÁTICA
UNIVERSIDAD DE CHILE

Diseño

- Criterio de diseño

$$\phi S_n \geq S_u, \quad S = \text{flexión, corte, etc.}$$

capacidad nominal minorada $\geq$ demanda mayorada

□ ϕ : coeficiente de reducción de resistencia

	ACI 318-95	ACI 318-05
1. Tracción axial	0.9	0.9
2. Flexión	0.9	0.9
3. Compresión (columnas)		
- con estribos	0.7	0.65
- zunchadas (espiral)	0.75	0.7
- cargas axiales pequeñas	0.7 ó 0.75-0.9	
4. Corte y torsión	0.85	0.75
5. Aplastamiento hormigón	0.7	0.65

S.9.3.2

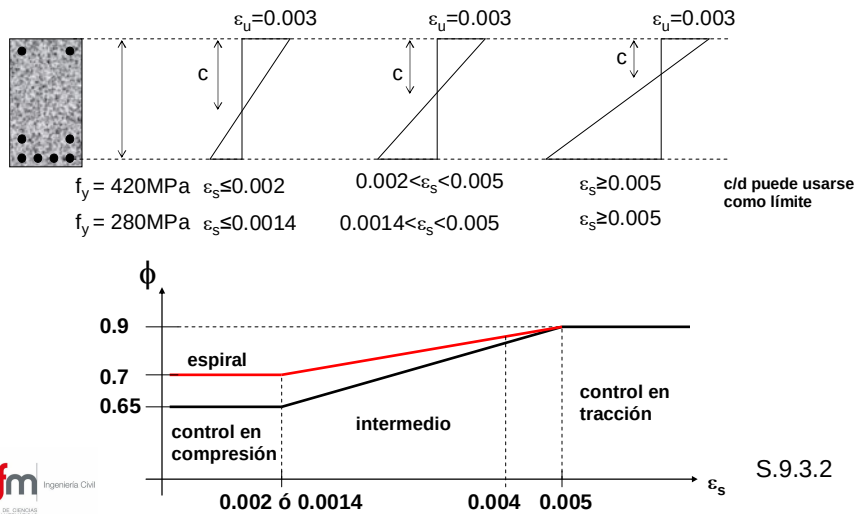


Ingeniería Civil

FACULTAD DE INGENIERÍA
FÍSICA Y MATEMÁTICA
UNIVERSIDAD DE CHILE

Diseño

ϕ : coeficiente de reducción de resistencia, **ACI 318-05**



Diseño

• Combinaciones de carga

$$\phi S_n \geq S_u, \quad S = \text{flexión, corte, etc.}$$

capacidad nominal minorada $\geq$ demanda mayorada

$$\phi S_n \geq S_u = \sum_i \gamma_i Q_i$$

$\longleftarrow$ Carga de diseño
 $\uparrow$ Factor de mayoración

Q_i ,

D = carga muerta o peso propio

L = carga viva o sobrecarga

W = viento

E = sismo

H = presión de tierra

F = fluidos

I = impacto

T = asentamiento, creep, retracción, temperatura (combinado)

Diseño – Combinaciones de Carga

- **ACI 318-95**

- Básica

$$S_u = 1.4D + 1.7L$$

- Viento

$$S_u = 0.75(1.4D + 1.7L + 1.7W), L=0 \& L \neq 0$$

$$S_u = 0.9D + 1.3W$$

- Sismo

$$S_u = 1.4(D + L + E)$$

$$S_u = 0.9D + 1.4E$$

} **NCh433**

Combinaciones con carga
sísmicas del ACI 318 no han
sido incluidas en este resumen

- Presión de tierra

$$S_u = 1.4D + 1.7L + 1.7H$$

$$S_u = 0.9D + 1.7H$$

- Fluidos: reemplaza 1.7H por 1.4F

- Impacto: reemplaza L por L+I

- Asentamiento, creep, retracción, temperatura (combinado)

$$S_u = 0.75(1.4D + 1.7L + 1.4T)$$

$$S_u = 1.4(D + T)$$



Ingeniería Civil

FACULTAD DE INGENIERÍA
FISICA Y MATEMÁTICA
UNIVERSIDAD DE CHILE

Diseño – Combinaciones de Carga

- **ACI 318-05**

S.9.2

$$S_u = 1.4(D + F)$$

$$S_u = 1.2(D + F + T) + 1.6(L + H) + 0.5P$$

$$S_u = 1.2D + 1.6P + (1.0L \text{ ó } 0.8W)$$

$$S_u = 1.2D + 1.6W + 1.0L + 0.5P$$

$$S_u = 0.9D + 1.6W + 1.6H$$

P, carga de techo:
viva ó nieve ó lluvia

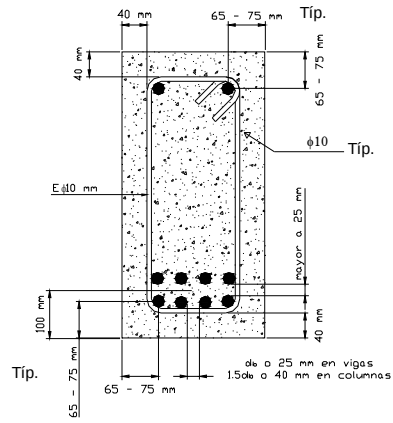
Combinaciones con carga
sísmicas no han sido incluidas
en este resumen



Ingeniería Civil

FACULTAD DE INGENIERÍA
FISICA Y MATEMÁTICA
UNIVERSIDAD DE CHILE

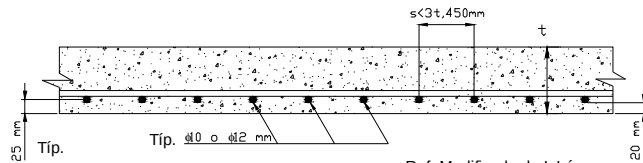
Diseño – Datos típicos



Recubrimiento	[mm]	S.7.7.1
-No expuesto intemperie		
-Losa, muro	20	$\phi \leq 36\text{mm}$
-Vigas, columnas	40	
-Expuesto intemperie		
- $\phi \leq 16\text{mm}$	40	
- $\phi > 16\text{mm}$	50	
-Contacto con terreno	75	

Espaciamiento entre barras	S.7.6
-Viga, Barras en capa	$s \geq d_b, 25\text{mm}$
-Viga, Sep. capas	$s \geq 25\text{mm}$
-Columnas	$s \geq 1.5d_b, 40\text{mm}$
-Columnas	$s \leq s_{\text{max}}$ (confinamiento)
-Muros y losas	$s \leq 3t, 450\text{mm}$

ver S.7.6,
7.7 & 7.8



Ref. Modificado de I. López