



GEOTECNIA APLICADA 94.09

REPASO ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN I

Contenido

1. Diseño según ACI 318 – CIRSOC 201-05 (LRFD)
2. Teoría de flexión
3. Teoría de corte
4. Teoría de bielas y tirantes
5. Ménsulas cortas
6. Verificación a punzonado

Diseño según ACI 318 – CIRSOC 201-05 (LRFD)

Estados Límites: condición en la cual una estructura o un elemento estructural ya no es aceptable para el uso que se le pretende dar.

- **Estados Límites Últimos (E.L.U.):** Que no colapse y que sea estable.
 - Agotamiento: colapso por esfuerzos normales, por flexión, por corte, por torsión, por punzonamiento, por esfuerzos rasantes, o por una combinación de estos tipos de sollicitación.
 - Equilibrio: pérdida del equilibrio porque no pueden desarrollarse las reacciones de vínculo necesarias, o porque se transforma en un mecanismo.
 - Inestabilidad (pandeo): incidencia de las deformaciones en las sollicitaciones lleva a la estructura a la falla.
- **Estados Límites de Servicio (E.L.S.):** Que no se deforme, se fisure, vibre, o se incline de manera de quedar inutilizado.
- **Estados Límites Especiales (E.L.E.):** Daño o falla debido a acciones extraordinarias.

Diseño según ACI 318 – CIRSOC 201-05 (LRFD)

Estados Límites: condición en la cual una estructura o un elemento estructural ya no es aceptable para el uso que se le pretende dar.

Estados Límites Últimos (E.L.U.)

- Dimensionamiento a flexión
- Dimensionamiento a corte
- Verificación a punzonado
- Etc...

¡¡Cálculo de armaduras!!

Estados Límites de Servicio (E.L.S.)

- Deformaciones
- Fisuración
- Vibraciones
- Etc...

¡¡Tensiones sobre el terreno!!

Diseño según ACI 318 – CIRSOC 201-05 (LRFD)

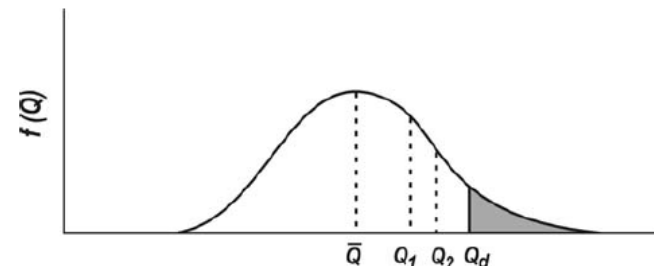
Existen numerosas **incertidumbres**:

Resistencias:

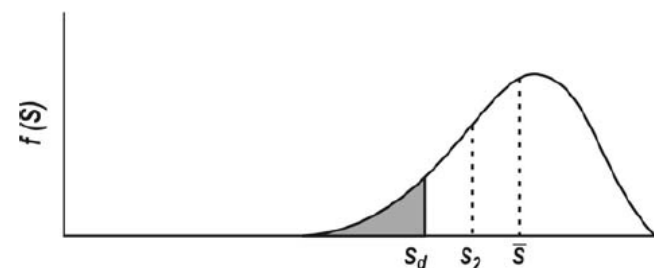
- La resistencia real de los materiales puede diferir de la especificada.
- Se hacen hipótesis simplificativas del comportamiento de los materiales.
- Las dimensiones reales pueden diferir con las especificadas
- La posición final de la armadura puede diferir de la supuesta en el cálculo.

Solicitaciones:

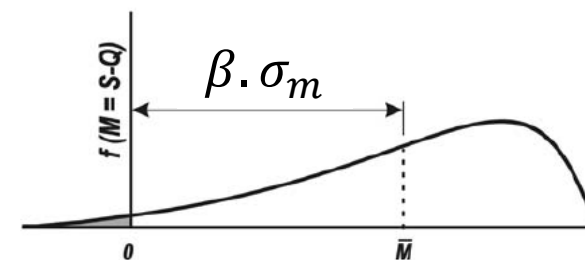
- No se conoce el valor exacto ni la distribución exacta de las cargas que actuarán.
- Se modelan los vínculos de manera simplificada.



(a) Carga Q



(b) Resistencia S



(c) Margen de seguridad $M = S - Q$

Diseño según ACI 318 – CIRSOC 201-05 (LRFD)

$$P_u \leq \phi P_n$$

Determinación de las **cargas de diseño**

$$P_u = \sum \gamma_i \cdot Q_i = \begin{cases} 1.4 D \\ 1.2 D + 1.6 L \\ 1.2 D + 1.6 H \\ 0.9 D + 1.6 H \\ 1.2 D + 1.6 W \\ 0.9 D + 1.6 W + 1.6 H \end{cases}$$

i: Tipo de carga (permanente, variable, viento, etc.)

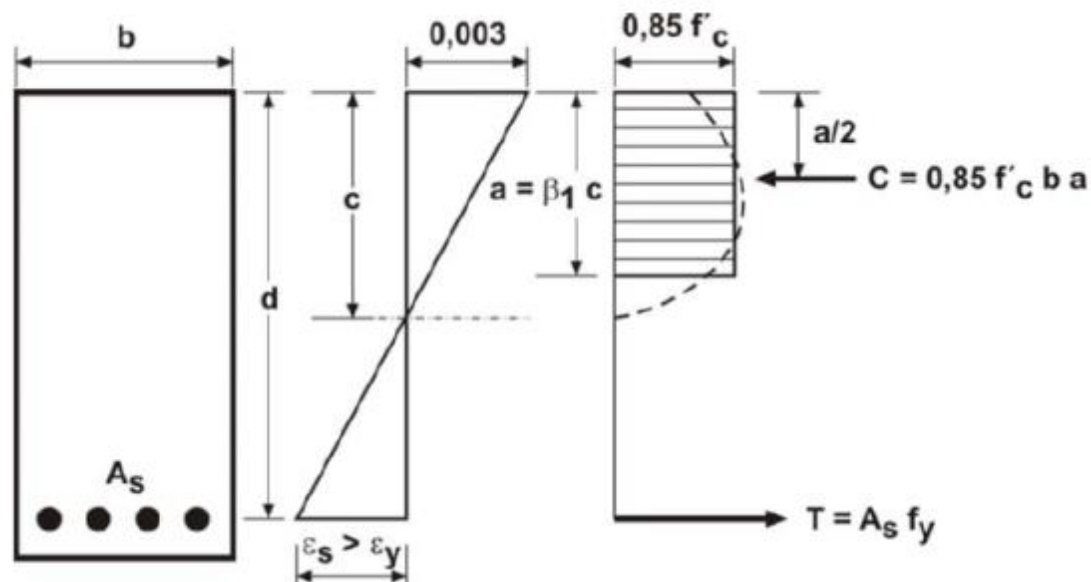
Diseño según ACI 318 – CIRSOC 201-05 (LRFD)

$$P_u \leq \phi P_n$$

Determinación de los coeficientes de reducción de resistencia:

Solicitud	ϕ
Falla controlada por tracción	0.90
Falla controlada por compresión (estribos/zunchos)	0.65/0.70
Corte y torsión	0.75
Aplastamiento	0.65
Modelo de bielas	0.75

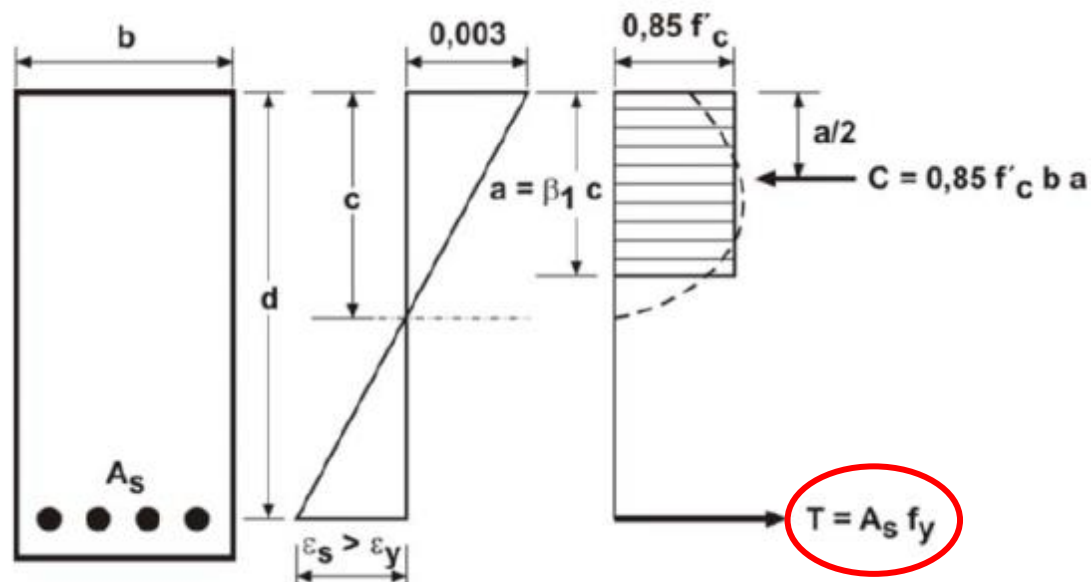
Teoría de flexión



Hipótesis utilizadas en esta cátedra:

- Sección rectangular
- Falla controlada por tracción
- Flexión simple
- Resistencia característica H-30
- Acero ADN-420

Teoría de flexión



Bajo estas hipótesis:

$$\left. \begin{aligned} \sum F_h = 0 & \Rightarrow T = C \\ \sum M = 0 & \Rightarrow M = T \cdot j_{dc} = C \cdot j_{dc} \end{aligned} \right\} \begin{aligned} T_n = C_n &= \frac{M_u}{\phi \cdot j_{dc}} \\ A_{s_{nec}} &= \frac{M_u \cdot F_d}{\phi \cdot 0,85 \cdot d \cdot f_y} \end{aligned}$$

$F_d \cong 1.20$ (Factor de durabilidad)

Teoría de flexión

$$A_{S_{nec}} = \frac{M_u \cdot F_d}{\phi \cdot 0,85 \cdot d \cdot f_y}$$

FLEXION 3.

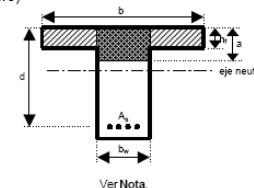
Hormigón:	$f'_c = 20 \text{ MPa}$ $f'_c = 25 \text{ MPa}$ $f'_c = 30 \text{ MPa}$
Acero:	$f_y = 420 \text{ MPa}$

$M_n = M_{n_w} + M_{n_f}$ (En viga rectangular M_{n_f} es igual a cero)

$$k_d = \frac{d}{\sqrt{\frac{M_n}{b}}} \quad [k_d] = \frac{m}{\sqrt{\text{MNm}}}$$

$$A_s = k_e \cdot \frac{M_{n_w}}{d} + \frac{M_{n_f}}{f_y \cdot \left(d - \frac{h_f}{2}\right)} \cdot 10.000$$

$$\text{cm}^2 = \frac{\text{cm}^2}{\text{MN}} \cdot \frac{\text{MNm}}{m} + \frac{\text{MNm}}{\text{MPa} \cdot m} \cdot 10.000$$



	H20	H25	H30					
	MPa = MN/m ²							
	20	25	30		f_y (MPa=MN/m ²)			420
β_1	0,85	0,85	0,85		E_s (MPa=MN/m ²)			200000
	k_d				k_z	ϵ_s	ϵ_t	k_c
	m / $\sqrt{\text{MN}}$				cm ² /MN	‰	‰	adimens.
								adimens.
	1,218	1,089	0,994	24,301	3,00	60,00	0,048	0,980
	0,890	0,796	0,727	24,766	3,00	30,00	0,091	0,961
	0,749	0,670	0,612	25,207	3,00	20,00	0,130	0,945
	0,668	0,598	0,546	25,625	3,00	15,00	0,167	0,929
	0,615	0,550	0,502	26,021	3,00	12,00	0,200	0,915
	0,577	0,516	0,471	26,399	3,00	10,00	0,231	0,902
	0,548	0,490	0,447	26,758	3,00	8,57	0,259	0,890
	0,525	0,470	0,429	27,100	3,00	7,50	0,286	0,879
	0,507	0,453	0,414	27,427	3,00	6,67	0,310	0,868
	0,492	0,440	0,402	27,739	3,00	6,00	0,333	0,858
	0,479	0,429	0,391	28,038	3,00	5,45	0,355	0,849
	0,469	0,419	0,383	28,324	3,00	5,00	0,375	0,841

Nota: En el caso que sea Viga Placa, si la altura a supera la altura del ala h_f de dicha Viga, se determinará un nuevo k_d pero utilizando el momento nominal M_{n_w} y el ancho b_w , ambos correspondientes al alma de la Viga.

$$M_n = M_{n_w} + M_{n_f}$$

$$M_{n_f} = 0,85 \cdot f'_c \cdot h_f \cdot (b - b_w) \cdot \left(d - \frac{h_f}{2}\right)$$

$$M_{n_w} = M_n - M_{n_f}$$

FLEXION 6.

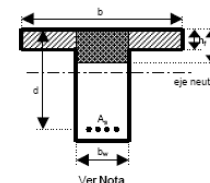
Hormigón:	$f'_c = 35 \text{ MPa}$ $f'_c = 40 \text{ MPa}$ $f'_c = 50 \text{ MPa}$
Acero:	$f_y = 420 \text{ MPa}$

$M_n = M_{n_w} + M_{n_f}$ (En viga rectangular M_{n_f} es igual a cero)

$$k_d = \frac{d}{\sqrt{\frac{M_n}{b}}} \quad [k_d] = \frac{m}{\sqrt{\text{MNm}}}$$

$$A_s = k_e \cdot \frac{M_{n_w}}{d} + \frac{M_{n_f}}{f_y \cdot \left(d - \frac{h_f}{2}\right)} \cdot 10.000$$

$$\text{cm}^2 = \frac{\text{cm}^2}{\text{MN}} \cdot \frac{\text{MNm}}{m} + \frac{\text{MNm}}{\text{MPa} \cdot m} \cdot 10.000$$



Nota: En el caso que sea Viga Placa, si la altura a supera la altura del ala h_f de dicha Viga, se determinará un nuevo k_d pero utilizando el momento nominal M_{n_w} y el ancho b_w , ambos correspondientes al alma de la Viga.

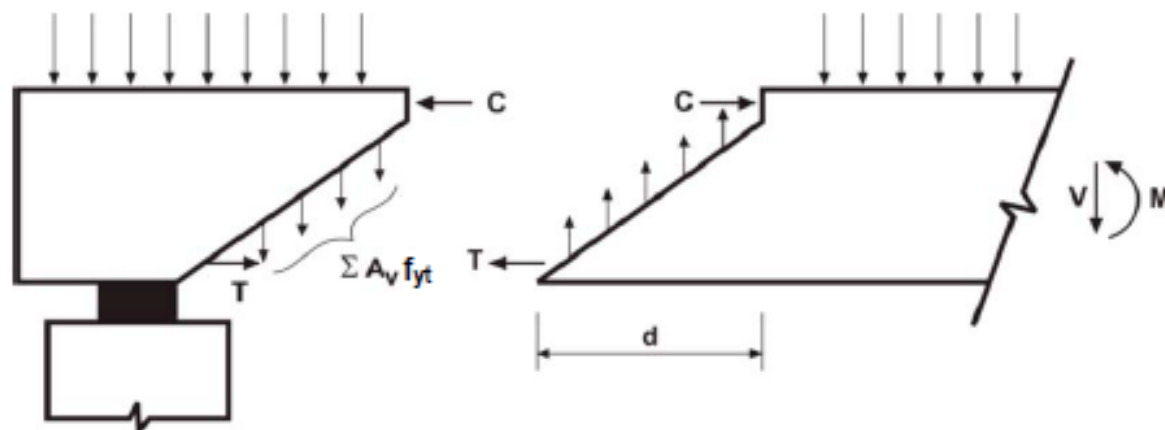
$$M_n = M_{n_w} + M_{n_f}$$

$$M_{n_f} = 0,85 \cdot f'_c \cdot h_f \cdot (b - b_w) \cdot \left(d - \frac{h_f}{2}\right)$$

$$M_{n_w} = M_n - M_{n_f}$$

	H35	H40	H50						
	MPa = MN/m ²			f _y (MPa=MN/m ²)			420		
	35	40	50	E _s (MPa=MN/m ²)			200000		
β ₁	0,81	0,77	0,69	H35	H40	H50			
	k _d			k _e	k _e	k _e	ε _c	ε _t	k _c
	m / √MN			cm ² /MN	cm ² /MN	cm ² /MN	‰	‰	adimens.
	0,943	0,904	0,853	24,278	24,254	24,207	3,00	60,00	0,048
	0,688	0,660	0,622	24,720	24,673	24,580	3,00	30,00	0,091
	0,580	0,555	0,523	25,137	25,068	24,931	3,00	20,00	0,130
	0,517	0,495	0,466	25,533	25,442	25,262	3,00	15,00	0,167
	0,475	0,455	0,428	25,908	25,796	25,574	3,00	12,00	0,200
	0,445	0,426	0,401	26,264	26,131	25,869	3,00	10,00	0,231
	0,423	0,405	0,380	26,603	26,450	26,148	3,00	8,57	0,259
	0,405	0,388	0,364	26,925	26,752	26,413	3,00	7,50	0,286
	0,391	0,374	0,351	27,232	27,040	26,664	3,00	6,67	0,310
	0,379	0,363	0,340	27,525	27,315	26,903	3,00	6,00	0,333
	0,370	0,353	0,331	27,805	27,577	27,131	3,00	5,45	0,355
	0,361	0,345	0,323	28,073	27,827	27,348	3,00	5,00	0,375

Teoría de corte



Hipótesis utilizadas en esta cátedra:

- Sección rectangular
- Flexión simple (sin axil)
- Resistencia característica H-30
- Acero ADN-420
- Ángulo de armadura 45°

$$V_u \leq \phi_c V_n$$

$$V_n = V_c + V_s$$

$$V_u \leq \phi_c (V_c + V_s)$$

Teoría de corte

Bajo estas hipótesis:

Resistencia al corte del hormigón: $V_c = \frac{1}{6} \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d$

Resistencia al corte de la armadura: $V_s = \frac{n_e \cdot A_{ve} \cdot f_y \cdot d}{s}$

Armadura de corte mínima: $A_{v,min} = \frac{1}{16} \cdot \sqrt{f'_c} \cdot \frac{b_w \cdot s}{f_y} \geq 0,33 \cdot \frac{b_w \cdot s}{f_y}$

Zona de corte	Límites	Separaciones máximas
I (Solicitaciones bajas)	$V_s < \frac{1}{2} \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d$	$s_{max} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,80 \cdot d \\ 30 \text{ cm} \end{array} \right.$
II (Solicitaciones medias)	$\frac{1}{2} \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d < V_s < \frac{1}{3} \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d$	$s_{max} = \min \left\{ \begin{array}{l} d/2 \\ 30 \text{ cm} \end{array} \right.$
III (Solicitaciones altas)	$\frac{1}{3} \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d < V_s < \frac{2}{3} \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d$	$s_{max} = \min \left\{ \begin{array}{l} d/4 \\ 15 \text{ cm} \end{array} \right.$

Teoría de corte

Disposiciones reglamentarias:

- Reducciones por corte cercano al apoyo:

✓ Válido: Casos (c) y (d)

✓ No válido: Casos (e) y (f)

- Se recomienda que la separación entre ramas de estribos no exceda:

$$s_{ramas} \begin{cases} 2/3 \cdot d \\ 40 \text{ mm} \end{cases}$$

- Por lo tanto en vigas “anchas” se colocan estribos múltiples (n_e).

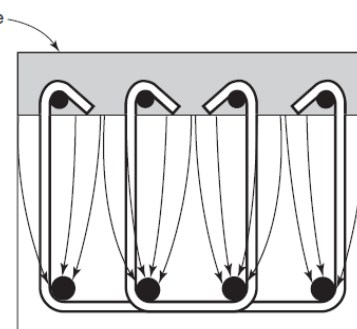
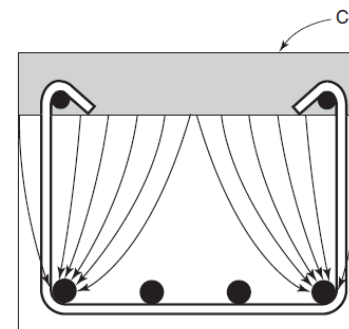
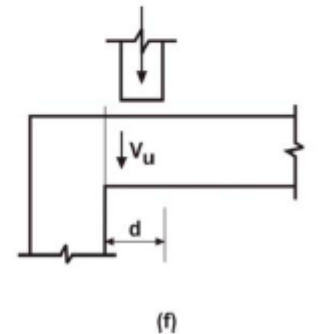
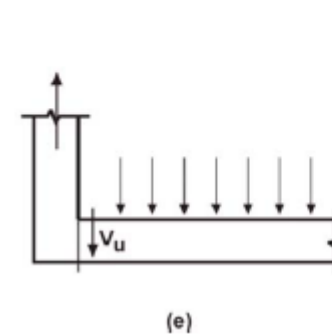
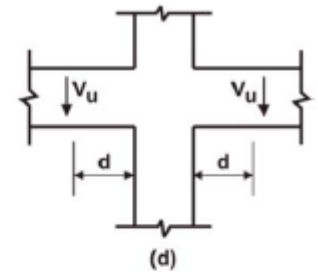
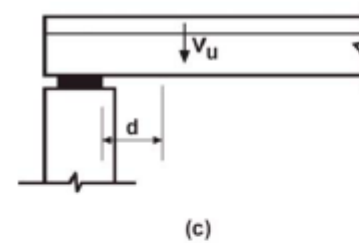


Fig. 6-28
Flow of diagonal compression
force in the cross sections of
beams with stirrups.

Teoría de bielas y tirantes

(Teorema del Límite Inferior del Calculo Plástico)

Si bien el método podría generalizarse a cualquier sector de una estructura, el reglamento CIRSOC 201-2005 los indica especialmente para el análisis de los sectores de una estructura en los que no se verifique la hipótesis de mantenimiento de las secciones planas, Regiones “B” (“Bernoulli”). Estos sectores reciben el nombre de Regiones “D” (“Disturbed”).

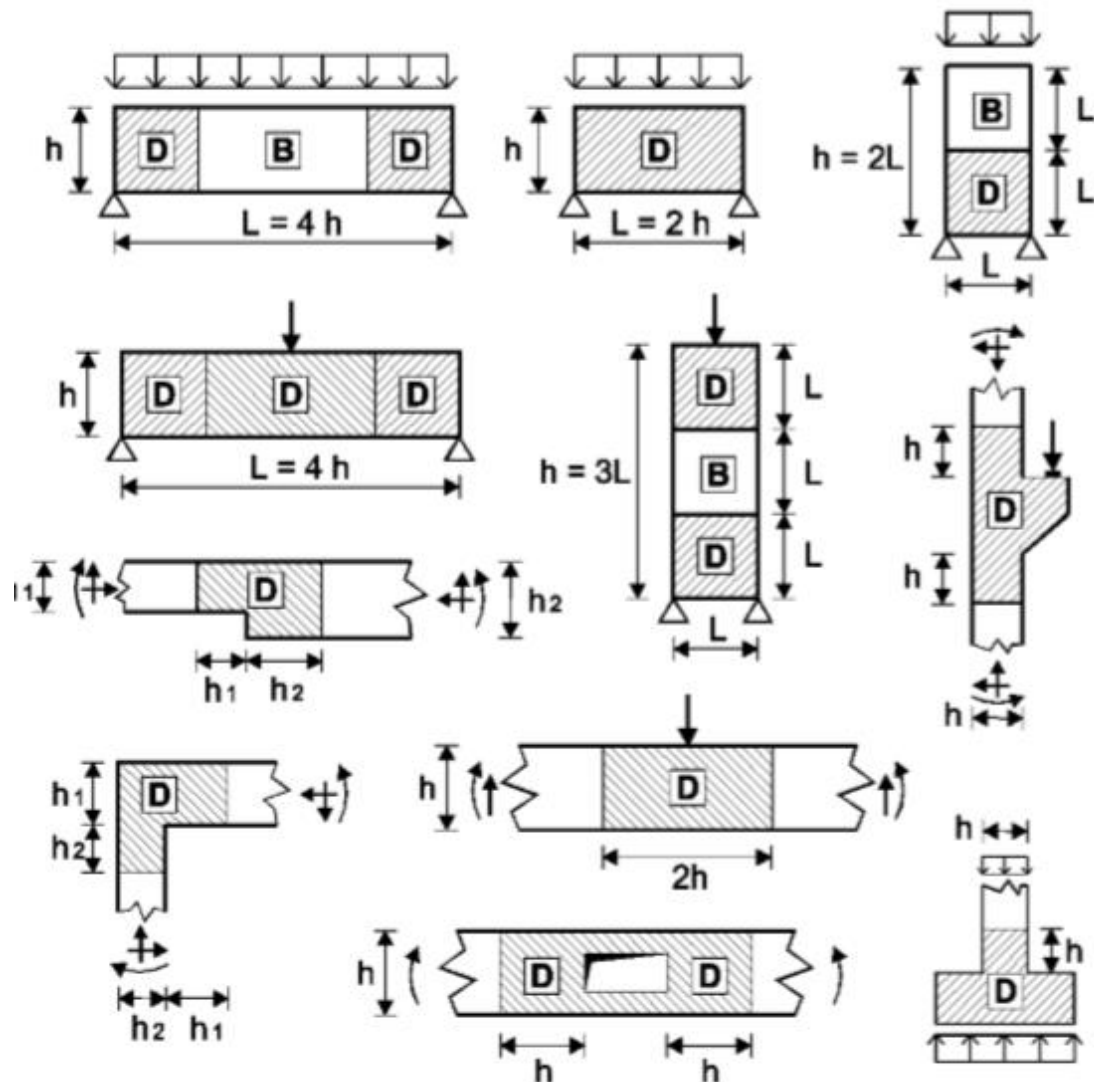
Pasos propuestos para el diseño:

1. *Definir y aislar cada una de las regiones “D” (Discontinuidades en función de la carga o discontinuidades geométricas);*

Nota: La extensión de las zonas “D” podría determinarse a partir de la aplicación del principio de Saint Venant.

Teoría de bielas y tirantes

(Teorema del Límite Inferior del Calculo Plástico)



Teoría de bielas y tirantes

(Teorema del Límite Inferior del Calculo Plástico)

1. Definir y aislar cada una de las regiones “D” (Discontinuidades en función de la carga o discontinuidades geométricas);

Nota: La extensión de las zonas “D” podría determinarse a partir de la aplicación del principio de Saint Venant.

2. Determinar los esfuerzos resultantes que actúan sobre los bordes o frontera de cada una de las Regiones “D” (Acciones exteriores, Reacciones exteriores, Esfuerzos provenientes de regiones “B” linderas);

3. Seleccionar el modelo de reticulado respetando equilibrio, resistencia y compatibilidad;

Teoría de bielas y tirantes

(Teorema del Límite Inferior del Calculo Plástico)

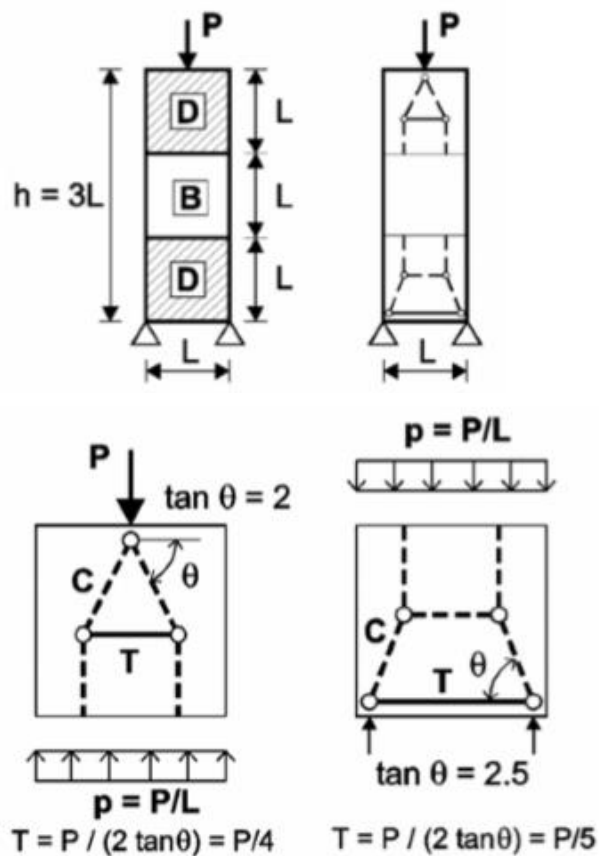
3. Seleccionar el modelo de reticulado respetando equilibrio, resistencia y compatibilidad;

Nota: El reglamento indica algunas cuestiones de carácter general que tienden a garantizar en forma indirecta la compatibilidad:

- Los tensores pueden cruzar a los puntales;*
- Los puntales no pueden cruzarse entre si aunque pueden encontrarse en los nodos;*
- Los nodos se ubican en las zonas en que los esfuerzos internos experimentan cambios bruscos de dirección;*
- El ángulo entre el eje de cualquier puntal y el eje de cualquier tensor que concurran a un mismo nudo no debe ser nunca menor que 25° .*

Teoría de bielas y tirantes (Teorema del Límite Inferior del Calculo Plástico)

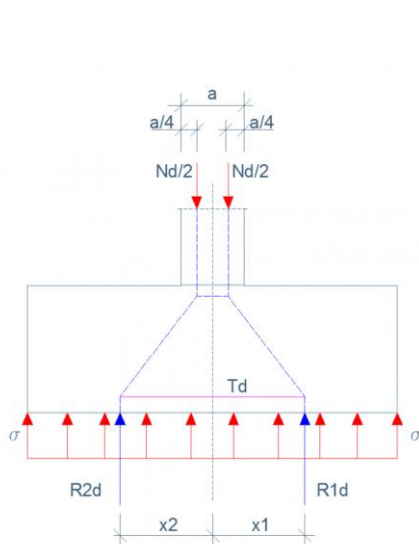
Algunos ejemplos....



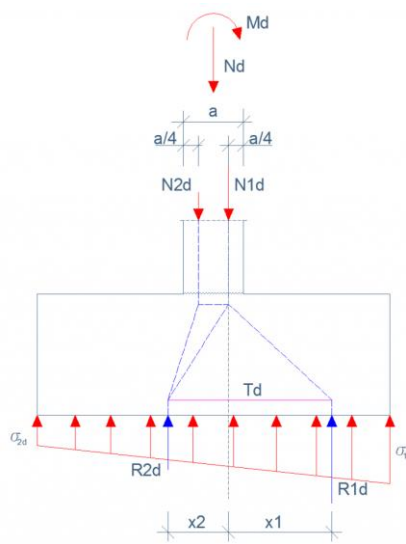
ESQUEMA DE CARGAS	FLUJO DE TENSIONES	ESQUEMA DE BIELAS, NUDOS Y TIRANTES
16 CARGA PUNTUAL EN MENSULA CORTA 		
17 ENCEPADO DE DOS PILOTES 		
18 ENCEPADO DE TRES PILOTES 		

Teoría de bielas y tirantes (Teorema del Límite Inferior del Calculo Plástico)

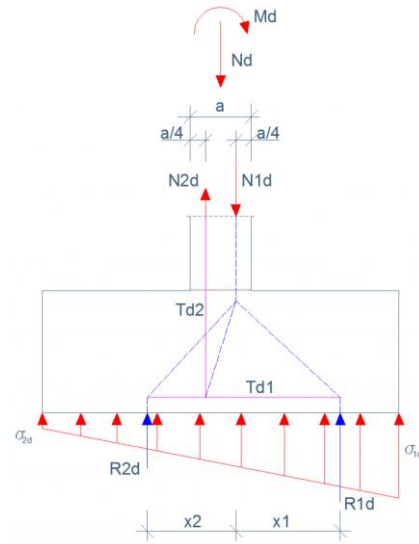
Algunos ejemplos....



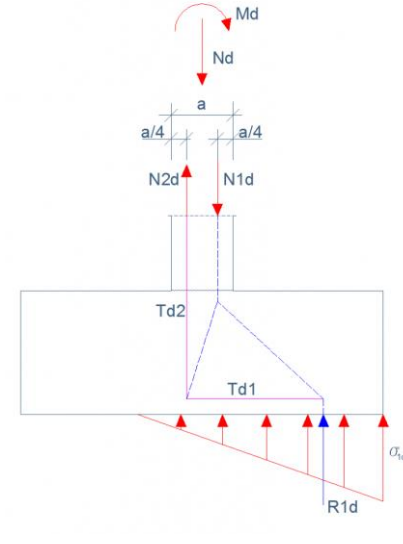
Sin Excentricidad



Excentricidad dentro
de Núcleo Central de
Columna



Excentricidad fuera de
Núcleo Central de
Columna



Excentricidad fuera de
Núcleo Central de la
Base

Teoría de bielas y tirantes (Teorema del Límite Inferior del Calculo Plástico)

Verificación

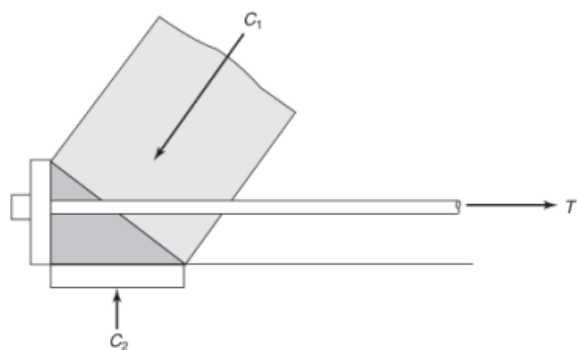
$$F_u \leq \phi F_n$$

Donde,

- F_u : *Solicitación en un puntal, tensor o cara de una zona nodal calculada para cargas mayoradas;*
- F_n : *Resistencia nominal de un puntal, tensor o cara de una zona nodal;*
- ϕ : *Coeficiente de reducción de resistencia = 0.75*

Teoría de bielas y tirantes (Teorema del Límite Inferior del Calculo Plástico)

Zonas nodales



$$F_{un} \leq \phi F_{nn}$$

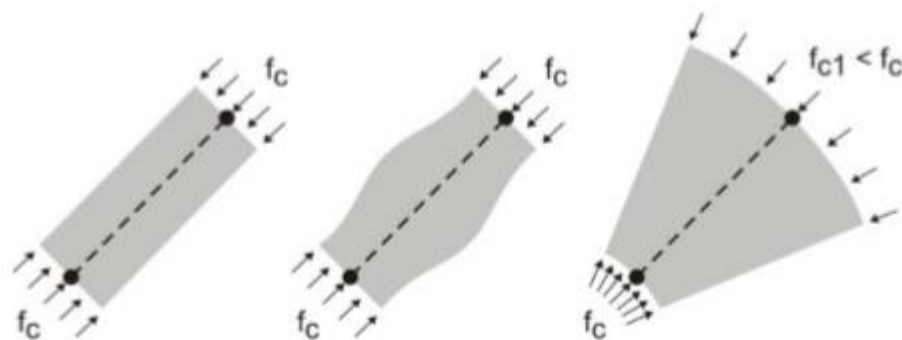
$$F_{nn} = f_{ce} A_{nz}$$

$$f_{ce} = 0.85 \beta_n f'_c$$

$$\beta_n = \begin{cases} 1.0 & \text{En zonas nodales limitadas por punt., areas de apoyo o ambas} \\ 0.8 & \text{En zonas nodales que anclan un tensor} \\ 0.6 & \text{En zonas nodales que anclan dos o mas tensores} \end{cases}$$

Teoría de bielas y tirantes (Teorema del Límite Inferior del Calculo Plástico)

Puntales



$$F_{us} \leq \phi F_{ns}$$

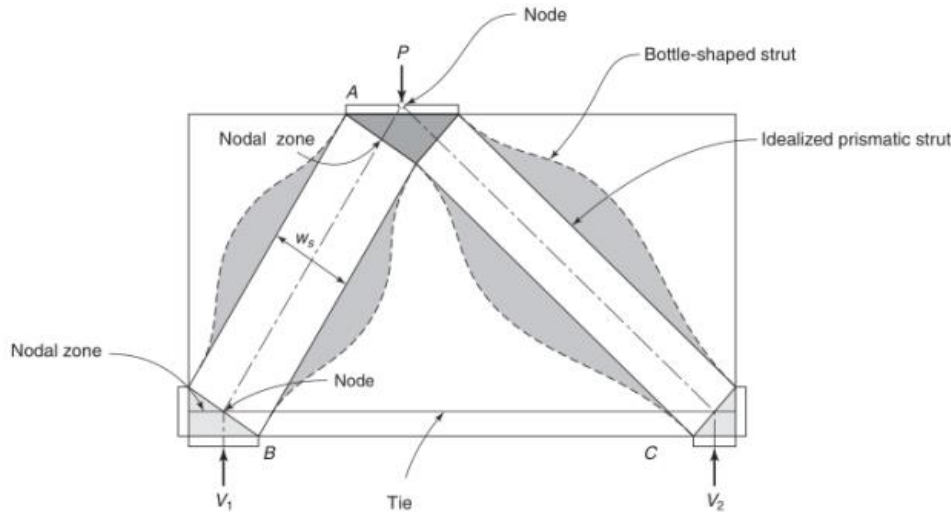
$$F_{ns} = f_{ce} A_{cs}$$

$$f_{ce} = 0.85 \beta_s f'_c$$

$$\beta_s = \begin{cases} 1.00 & \text{Puntales de sección constante} \\ 0.75 & \text{Puntales con forma de botella con y sin } A_s \text{ para tomar} \\ 0.60 & \text{tracciones de expansión lateral} \\ 0.40 & \text{Puntales que se encuentren en elementos traccionados} \end{cases}$$

Teoría de bielas y tirantes (Teorema del Límite Inferior del Calculo Plástico)

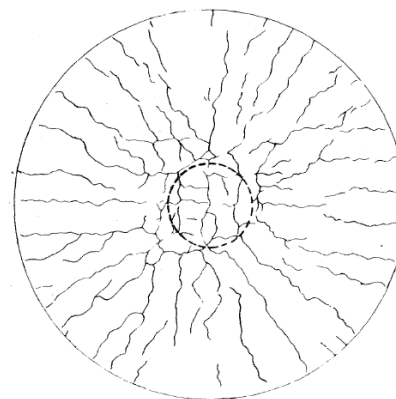
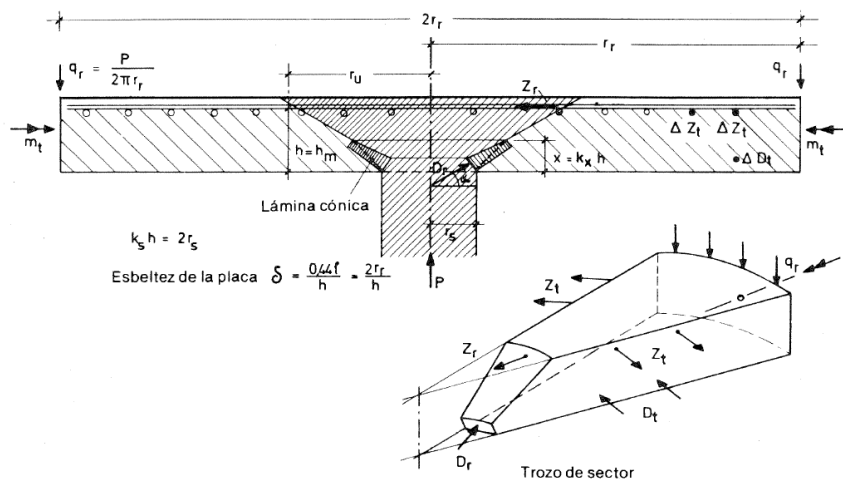
Tensores



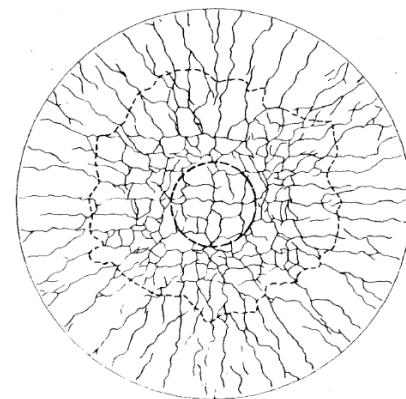
$$F_{ut} \leq \phi F_{nt}$$

$$F_{nt} = A_{ts} f_y$$

Verificación a punzonado



Para carga de servicio

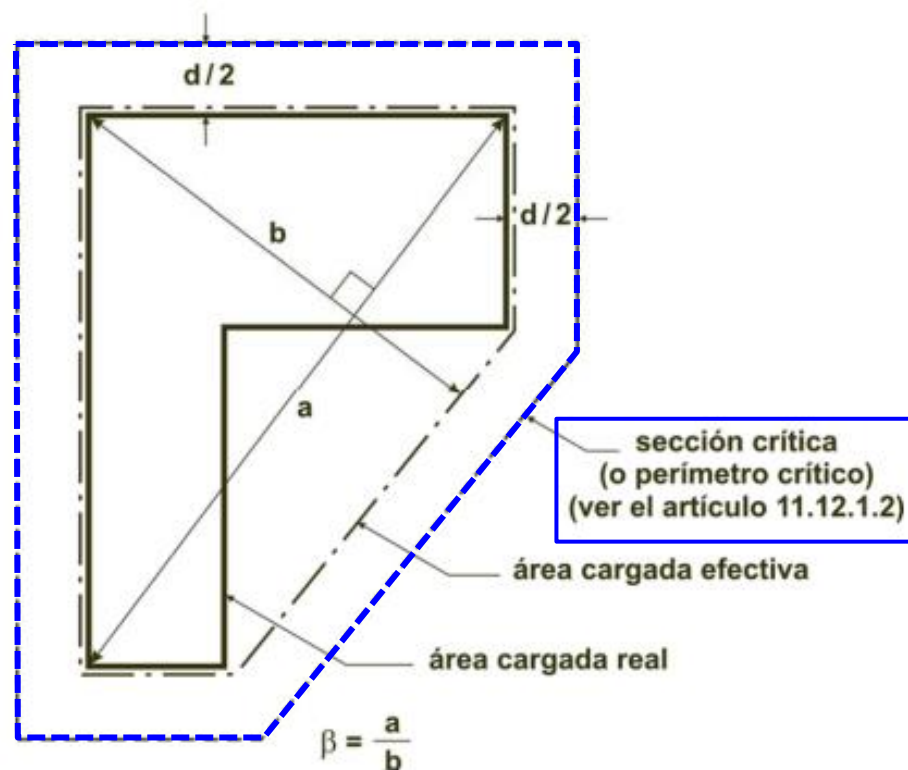


Poco antes de alcanzarse la carga de rotura

$$V_u \leq \phi V_c$$

para elementos sin armadura de corte

b_o = perímetro de sección crítica de corte, sin necesidad que supere la distancia $d/2$ respecto de bordes de su columnas, cargas concentradas, cambios de altura, etc.



sección crítica (o perímetro crítico) (ver el artículo 11.12.1.2)

área cargada efectiva

área cargada real

$$\beta = \frac{a}{b}$$

Verificación a punzonado

$$V_c = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{\sqrt{f'_c} b_o d}{3} \\ \left(\frac{\alpha_s d}{b_o} + 2 \right) \frac{\sqrt{f'_c} b_o d}{12} \\ \left(1 + \frac{2}{\beta} \right) \frac{\sqrt{f'_c} b_o d}{6} \end{array} \right.$$

β = relación de lados de columna o carga

$$\alpha_s = \begin{cases} 40 & \text{para columna interior} \\ 30 & \text{para columna de borde} \\ 20 & \text{para columnas de esquina} \end{cases}$$

Ménsulas cortas

Mecanismos de falla:

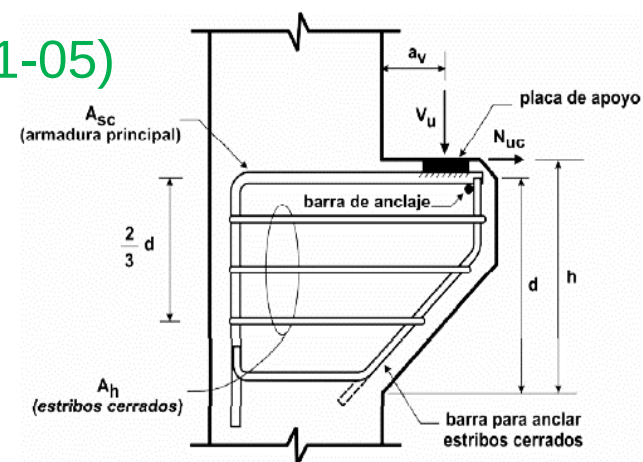
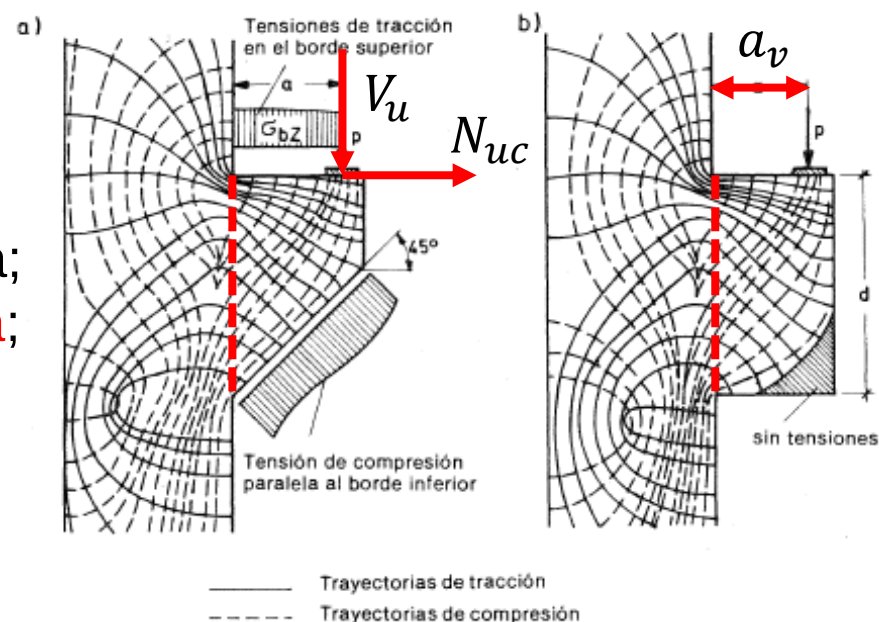
- Falla por **corte en superficie** de contacto entre columna y ménsula;
- Fluencia de **armadura traccionada**;
- Aplastamiento de la **biela de compresión**;
- Falla localizada de placa por **aplastamiento**.

Condiciones para aplicar **Art. 11.9 (CIRSOC 201-05)**

a. Relación $a_v/d \leq 1$

b. Fuerza de tracción horizontal $N_{uc} \leq V_u$

En otros casos, deberán diseñarse con las especificaciones del **apéndice A**.



Ménsulas cortas

Verificación de la biela de compresión:

$$V_n \leq \begin{cases} 0,2 f'_c b_w d \\ 5,5 b_w d \end{cases}$$

Armadura de corte por fricción:

$$A_{vf} = \frac{V_n}{f_y \cdot \mu}$$

Armadura de flexión:
(Se debe adoptar: $N_{uc} \geq 0,2 V_u$)

$$A_f = \frac{[V_u \cdot a_v + N_{uc} \cdot (h - d)]}{\phi \cdot j_{dc} \cdot f_y}$$

Armadura de tracción:

$$A_n \geq \frac{N_{uc}}{\phi \cdot f_y}$$

Armadura principal ménsula corta:

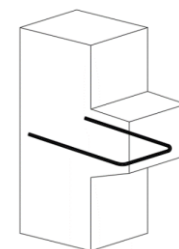
$$A_{sc} \geq \begin{cases} A_f + A_n \\ \frac{2}{3} A_{vf} + A_n \end{cases}$$

Armadura principal mínima:

$$A_{sc} \geq 0,04 \cdot \left(\frac{f'_c}{f_y} \right) \cdot b_w \cdot d$$

Armadura horizontal:

$$A_h \geq 0,5 \cdot (A_{sc} - A_n)$$



Pendientes a repasar

- Dimensionamiento a esfuerzo axial de pequeña excentricidad
- Detalles de armado
- Anclajes y empalmes
- Verificación de Estados Límites de Servicio (ELS)

Bibliografía

Repaso de Hormigón I:

- Reglamento CIRSOC 201-2005
- Presentaciones Hormigón I, FIUBA
- Reinforced Concrete Mechanics and Design, W. MacGregor
- Proyecto y Cálculo de Estructuras de Hormigón, J. Calavera
- Estructuras de Hormigón Armado, F. Leonhardt

Lectura complementaria:

- ACI 224R-01 Control de la Fisuración en Estructuras de Hormigón
- ACI 224.2R-92 Fisuración de Miembros de Hormigón en Tracción Directa



FIN

GRACIAS POR SU ATENCION !!!