

Curso Diseño de Puentes - AASHTO

Prof. Dr. Matías A. Valenzuela

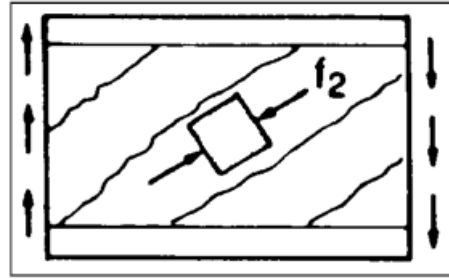
Agradecimientos

- Dr. Rafael Foinquinos Mera
- Dr. Carlos G. Matos Flores-Guerra
- Dr. Sergio F. Breña
- Dr. Hernán Pinto Arancet

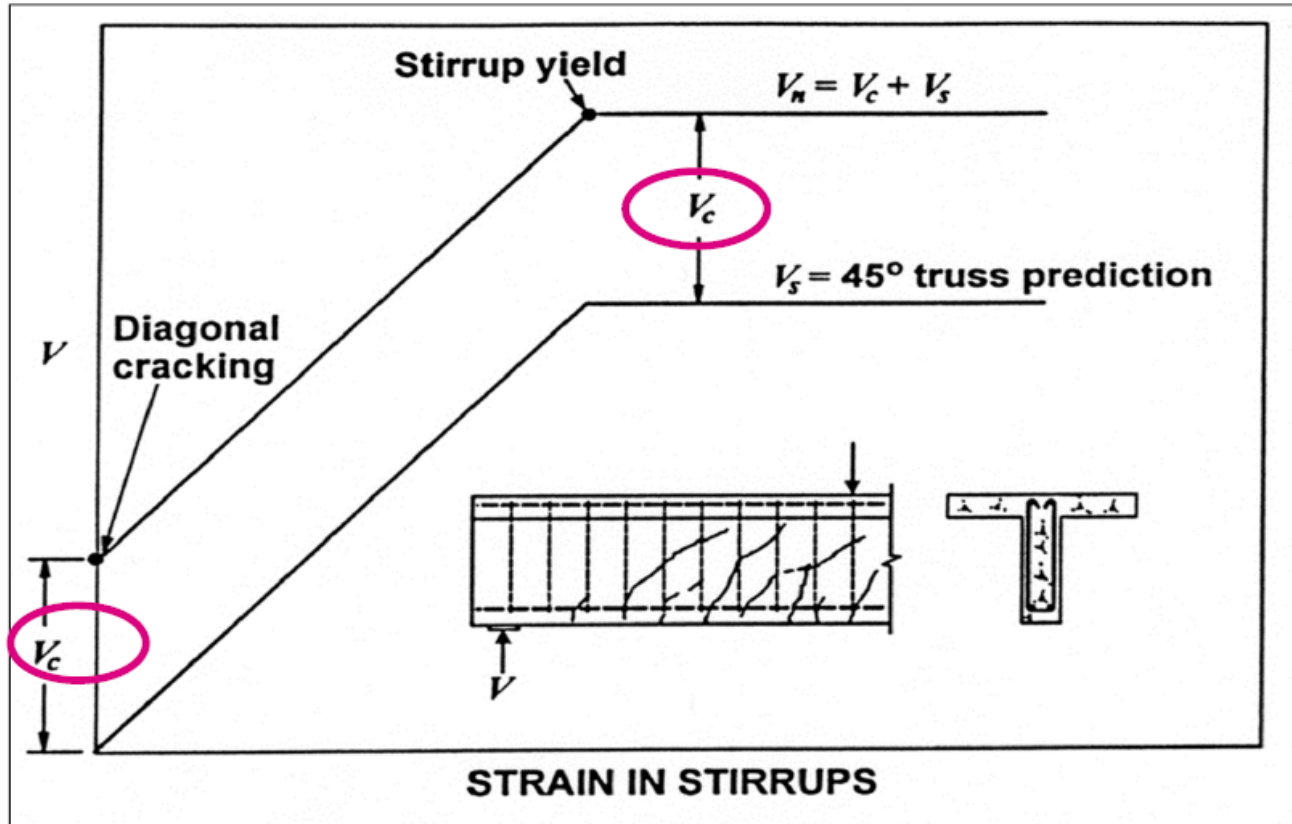
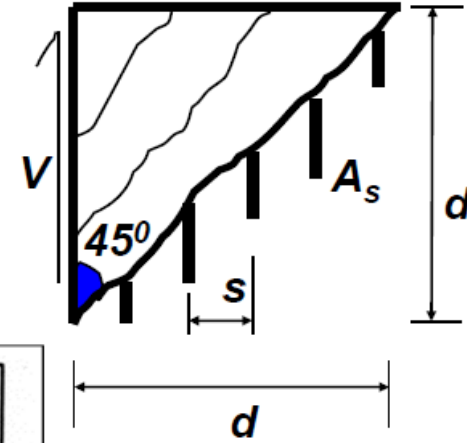
Tópicos del Curso

- 1. Filosofía del Código LRFD
- 2. Cargas de Servicio en Subestructuras
- 3. Cargas Extremas en Puentes
- 4. Análisis Estructural Caso 1
- 5. Introducción al Concreto Estructural
- 6. Propiedades materiales Concreto Estructural
- **7. Diseño Flexión**
- **8. Diseño Corte**

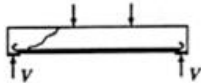
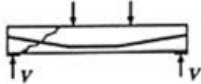
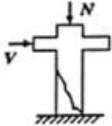
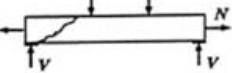
Método Tradicional para el Diseño por Cortante



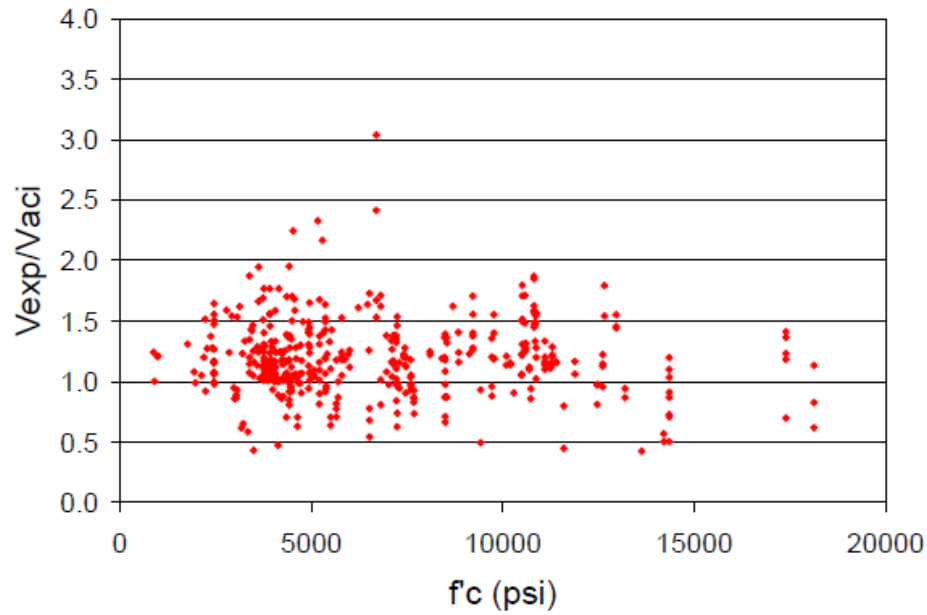
$$V_s = \frac{A_s f_y}{s} d$$



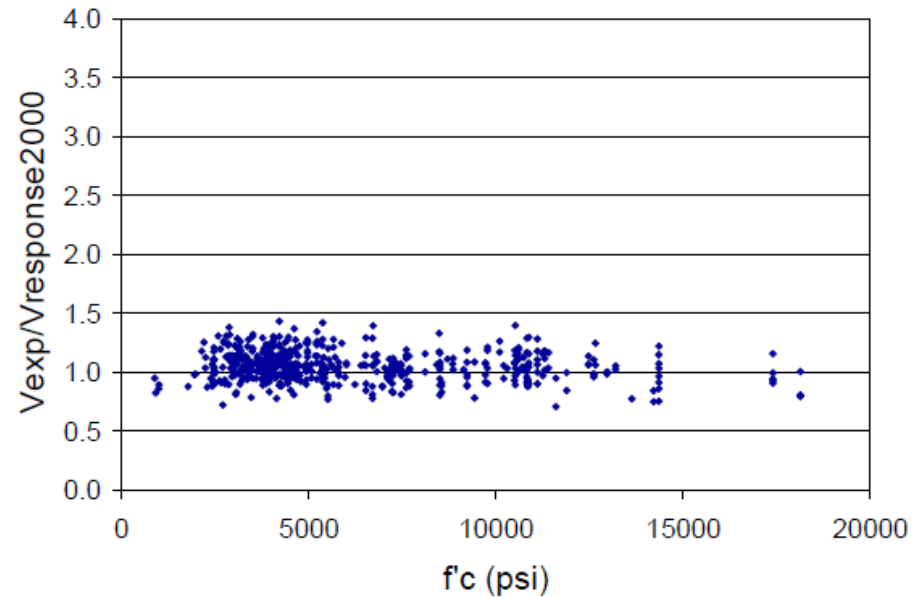
Procedimiento Tradicional ACI/AASHTO

$V_n = V_c + V_s$	
<p>Non-Prestressed Beams</p> 	$V_c = \left(1.9 \sqrt{f'_c} + 2500 \rho_w \frac{V_u d}{M_u} \right) b_w d \text{ but } \frac{V_u d}{M_u} \leq 1.0$ $V_c \leq 3.5 \sqrt{f'_c} b_w d \text{ or } V_c = 2 \sqrt{f'_c} b_w d$ $V_s = \frac{A_v f_y d}{s} \quad V_s \leq 8 \sqrt{f'_c} b_w d$
<p>Prestressed Beams</p> 	$V_c = \left(0.6 \sqrt{f'_c} + 700 \frac{V_u d}{M_u} \right) b_w d \text{ but } 2 \sqrt{f'_c} b_w d \leq V_c \leq 5 \sqrt{f'_c} b_w d$ <p>or $V_c = V_{ci} = 0.6 \sqrt{f'_c} b_w d + V_d + \frac{V_i M_{cr}}{M_{max}}$ but $V_{ci} \geq 1.7 \sqrt{f'_c} b_w d$</p> <p>and $V_c \leq V_{cw} = \left(3.5 \sqrt{f'_c} + 0.3 f_{pc} \right) b_w d + V_p$</p> $V_s = \frac{A_v f_y d}{s} \leq 8 \sqrt{f'_c} b_w d$
<p>Axial Compression and Shear</p> 	$V_c = \left(1.9 \sqrt{f'_c} + 2500 \rho_w \frac{V_u d}{M_u - N_u \frac{(4h - d)}{8}} \right) b_w d$ $V_c \leq 3.5 \sqrt{f'_c} b_w d \sqrt{1 + \frac{N_u}{500 A_g}}$ $V_s = \frac{A_v f_y d}{s} \leq 8 \sqrt{f'_c} b_w d$
<p>Axial Tension and Shear</p> 	$V_c = 2 \left(1 + \frac{N_u}{500 A_g} \right) \sqrt{f'_c} b_w d$ $V_s = \frac{A_v f_y d}{s} \leq 8 \sqrt{f'_c} b_w d$
<p>Detailing Rules</p> <ul style="list-style-type: none"> ● Reinforcement shall extend beyond the point at which it is no longer required to resist flexure for a distance equal to the effective depth of the member or $12d_s$, which is greater,... ● Flexural reinforcement shall not be terminated in a tension zone unless <ul style="list-style-type: none"> ● shear at cutoff $\leq 2/3$ shear permitted, or ● stirrup area, A_s, in excess of that required for shear and torsion, is provided $A_s \geq 60 b_w s f_y$... $s \leq d/8\beta_1$, or ● for #11 bars or smaller: shear at the cutoff $\leq 3/4$ shear permitted and continuing reinforcement provides double the area required for flexure at the cutoff. ● At simple supports and points of inflection, the diameter of the positive moment tension reinforcement shall be limited so that $l_d \leq \frac{M_u}{V_u} + l_a$ 	

Validación de la TMCC (MCFT)



*TMCC = Teoría
modificada del campo
de compresión*



Diseño por Cortante del AASHTO LRFD

LRFD 5.8.3.3

$$V_n = V_c + V_s + V_p$$

$$V_n = 0.25f'_c b_v d_v + V_p$$

donde:

V_c = contribución del concreto

$$= 0.0316\beta\sqrt{f'_c} b_v d_v \quad (f'_c \text{ in ksi})$$

$$\beta\sqrt{f'_c} b_v d_v \quad (f'_c \text{ in psi})$$

V_s = contribución de estribos (acero transversal)

$$= \frac{A_v f_y}{s} d_v \cot\theta$$


V_p = componente vertical de la fuerza de presfuerzo

Determinación de β and θ

LRFD Apéndice B5

$$v = \frac{V_u - \phi V_p}{\phi b_v d_v}$$
$$\varepsilon_x = \frac{(M_u / d_v) + 0.5 N_u + 0.5 (V_u - V_p) \cot \theta - A_{ps} f_{po}}{2^* (E_s A_s + E_p A_{ps})}$$

$0.5 \cot \theta = 1.0$


$$\leq 0.001 \text{ ó } 0.002$$

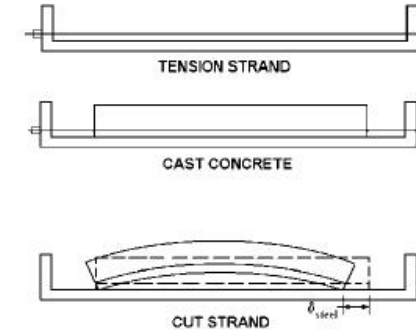
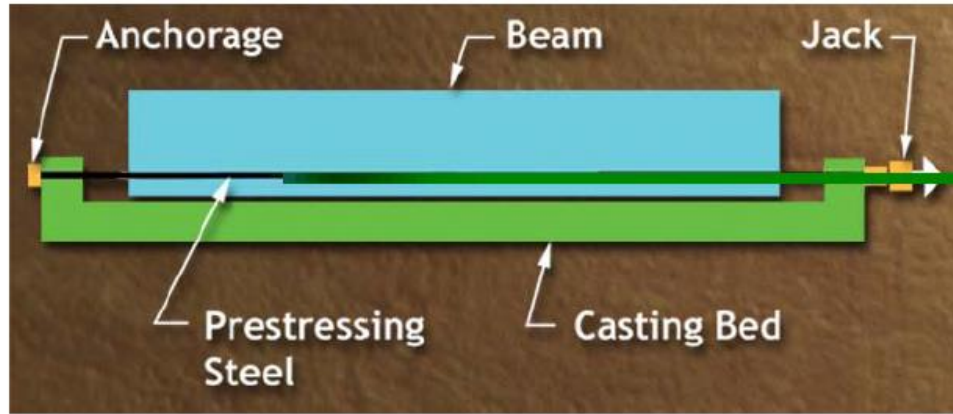
ϕ = factor de reducción de resistencia para cortante

A_{ps} = área de acero de presfuerzo en el lado de tensión

$f_{po} = E_p$ multiplicado por la diferencia en deformación entre torones presforzados y el concreto que los rodea $\approx 0.7 f_{pu}$

* = 2; 1 si la viga contiene menos que el acero transversal mínimo

Compatibilidad de Deformaciones



$$\rightarrow \Delta \varepsilon_p = \frac{f_{po}}{E_p}, \text{ previo a liberación}$$

$$\varepsilon_{total} = \varepsilon_c + \Delta \varepsilon_p, \text{ después de liberación (torones)}$$



$$\varepsilon_c = \varepsilon_{total} - \Delta \varepsilon_p$$

$$\rightarrow = \varepsilon_{total} - \frac{f_{po}}{E_p}$$

$$\varepsilon_x = \frac{(M_u/d_v) + 0.5N_u + 0.5(V_u - V_p) \cot \theta - A_{ps} f_{po}}{(E_s A_s + E_p A_{ps})}$$

Cálculo de ϵ_x en Secciones con Acero Transversal Mínimo

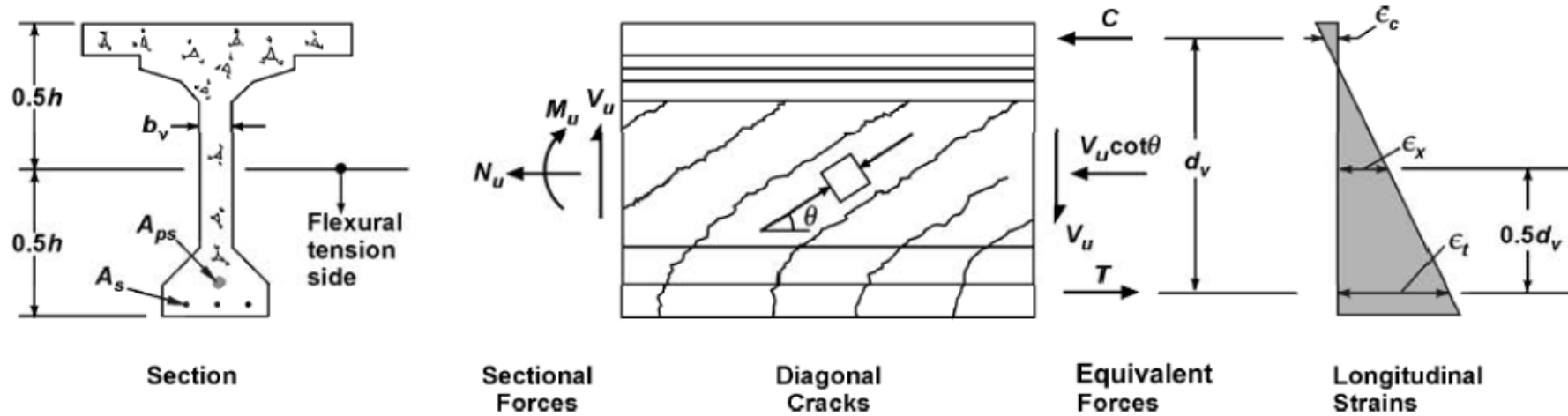


Diagrama para viga con torones rectos ($V_p = 0$)

Factor de Reducción cuando ε_x es Negativo

LRFD 5.8.3.4.2

$$F_e = \frac{E_s A_s + E_p A_{ps}}{E_c A_{ct} + E_s A_s + E_p A_{ps}}$$

donde:

A_{ct} = área de concreto en el lado de tensión de la viga

A_s = área del acero de refuerzo (no presforzado) en el lado de tensión de la viga

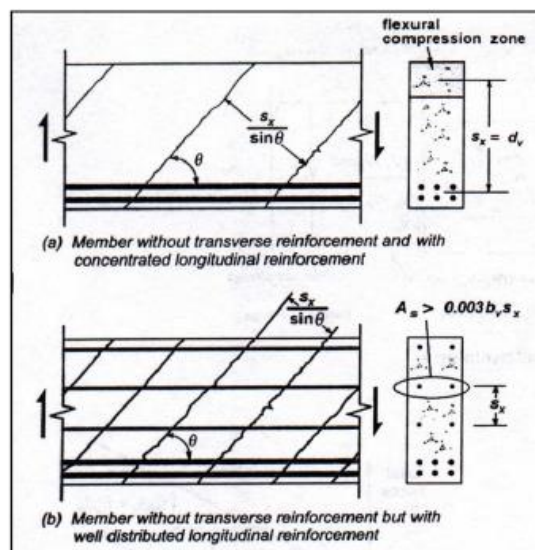
Cuando ε_x es negativo, se debe usar este factor y retener el signo negativo de ε_x , no su valor absoluto.

LRFD Tabla 5.8.3.4.2-1
Valores de θ and β
para secciones con refuerzo transversal

$\frac{v_u}{f'_c}$	$\epsilon_x \times 1,000$								
	≤ -0.20	≤ -0.10	≤ -0.05	≤ 0	≤ 0.125	≤ 0.25	≤ 0.50	≤ 0.75	≤ 1.00
≤ 0.075	22.3 6.32	20.4 4.75	21.0 4.10	21.8 3.75	24.3 3.24	26.6 2.94	30.5 2.59	33.7 2.38	36.4 2.23
≤ 0.100	18.1 3.79	20.4 3.38	21.4 3.24	22.5 3.14	24.9 2.91	27.1 2.75	30.8 2.50	34.0 2.32	36.7 2.18
≤ 0.125	19.9 3.18	21.9 2.99	22.8 2.94	23.7 2.87	25.9 2.74	27.9 2.62	31.4 2.42	34.4 2.26	37.0 2.13
≤ 0.150	21.6 2.88	23.3 2.79	24.2 2.78	25.0 2.72	26.9 2.60	28.8 2.52	32.1 2.36	34.9 2.21	37.3 2.08
≤ 0.175	23.2 2.73	24.7 2.66	25.5 2.65	26.2 2.60	28.0 2.52	29.7 2.44	32.7 2.28	35.2 2.14	36.8 1.96
≤ 0.200	24.7 2.63	26.1 2.59	26.7 2.52	27.4 2.51	29.0 2.43	30.6 2.37	32.8 2.14	34.5 1.94	36.1 1.79
≤ 0.225	26.1 2.53	27.3 2.45	27.9 2.42	28.5 2.40	30.0 2.34	30.8 2.14	32.3 1.86	34.0 1.73	35.7 1.64
≤ 0.250	27.5 2.39	28.6 2.39	29.1 2.33	29.7 2.33	30.6 2.12	31.3 1.93	32.8 1.70	34.3 1.58	35.8 1.50

AASHTO LRFD Tabla 5.8.3.4.2-2

$s_{x,c}$ (IN)	$\epsilon_x \times 1000$										
	≤ -0.20	≤ -0.10	≤ -0.05	≤ 0	≤ 0.125	≤ 0.25	≤ 0.50	≤ 0.75	≤ 1.00	≤ 1.50	≤ 2.00
≤ 5	25.4 6.36	25.5 6.06	25.9 5.56	26.4 5.15	27.7 4.41	28.9 3.91	30.9 3.26	32.4 2.86	33.7 2.58	35.6 2.21	37.2 1.96
≤ 10	27.6 5.78	27.6 5.78	28.3 5.38	29.3 4.89	31.6 4.05	33.5 3.52	36.3 2.88	38.4 2.50	40.1 2.23	42.7 1.88	44.7 1.65
≤ 15	29.5 5.34	29.5 5.34	29.7 5.27	31.1 4.73	34.1 3.82	36.5 3.28	39.9 2.64	42.4 2.26	44.4 2.01	47.4 1.68	49.7 1.46
≤ 20	31.2 4.99	31.2 4.99	31.2 4.99	32.3 4.61	36.0 3.65	38.8 3.09	42.7 2.46	45.5 2.09	47.6 1.85	50.9 1.52	53.4 1.31
≤ 30	34.1 4.46	34.1 4.46	34.1 4.46	34.2 4.43	38.9 3.39	42.3 2.82	46.9 2.19	50.1 1.84	52.6 1.60	56.3 1.30	59.0 1.10
≤ 40	36.6 4.06	36.6 4.06	36.6 4.06	36.6 4.06	41.2 3.20	45.0 2.62	50.2 2.00	53.7 1.66	56.3 1.43	60.2 1.14	63.0 0.95
≤ 60	40.8 3.50	40.8 3.50	40.8 3.50	40.8 3.50	44.5 2.92	49.2 2.32	55.1 1.72	58.9 1.40	61.8 1.18	65.8 0.92	68.6 0.75
≤ 80	44.3 3.10	44.3 3.10	44.3 3.10	44.3 3.10	47.1 2.71	52.3 2.11	58.7 1.52	62.8 1.21	65.7 1.01	69.7 0.76	72.4 0.62



Valores de β & θ para secciones sin acero transversal

Requerimiento de Acero Longitudinal Incluyendo Efecto de Cortante

LRFD 5.8.3.5

$$A_s f_y + A_{ps} f_{ps} \geq \left[\frac{M_u}{d_v \phi} + 0.5 \frac{N_u}{\phi} + \left(\frac{V_u}{\phi} - 0.5 V_s - V_p \right) \cot \theta \right]$$

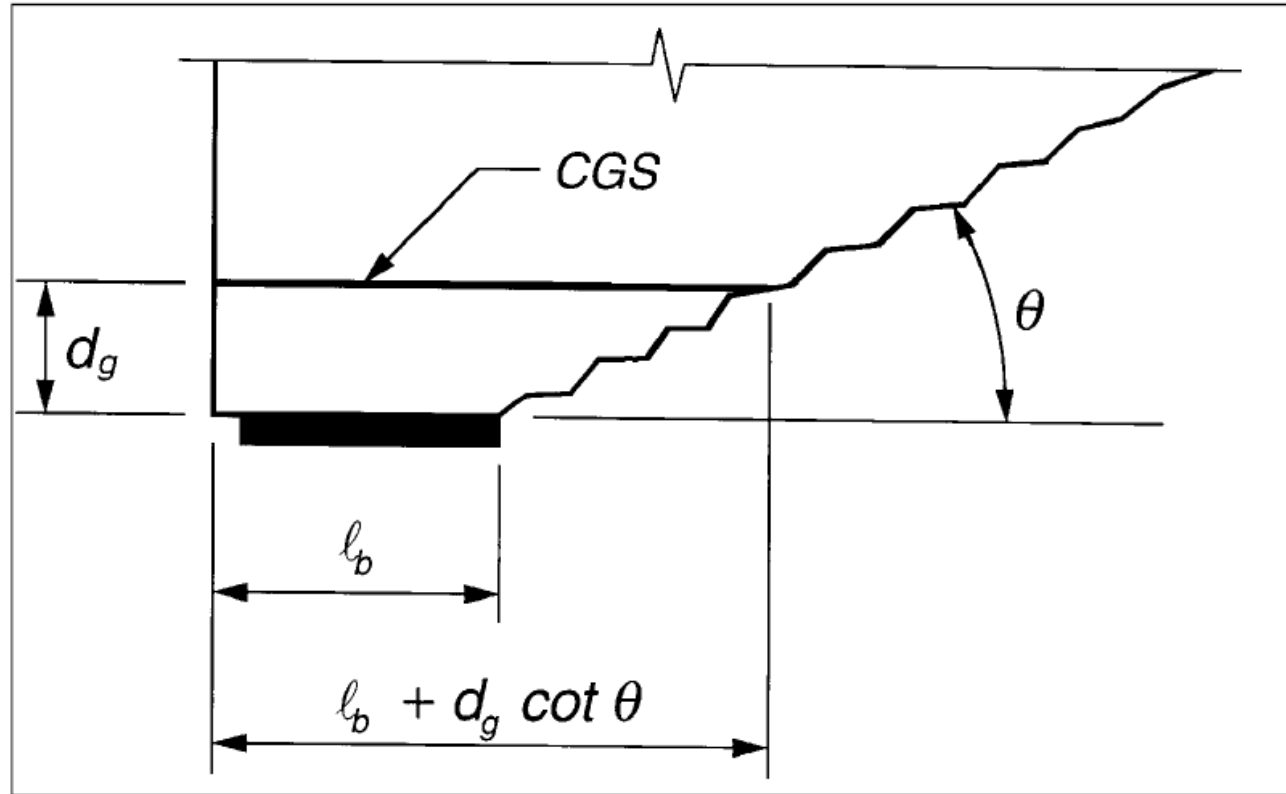
donde:

f_y, f_{ps} = esfuerzos en el acero de refuerzo y presfuerzo,
tomando en cuenta reducción por longitud de
desarrollo

V_s = Contribución del acero transversal al cortante

$$V_s \leq V_u / \phi$$

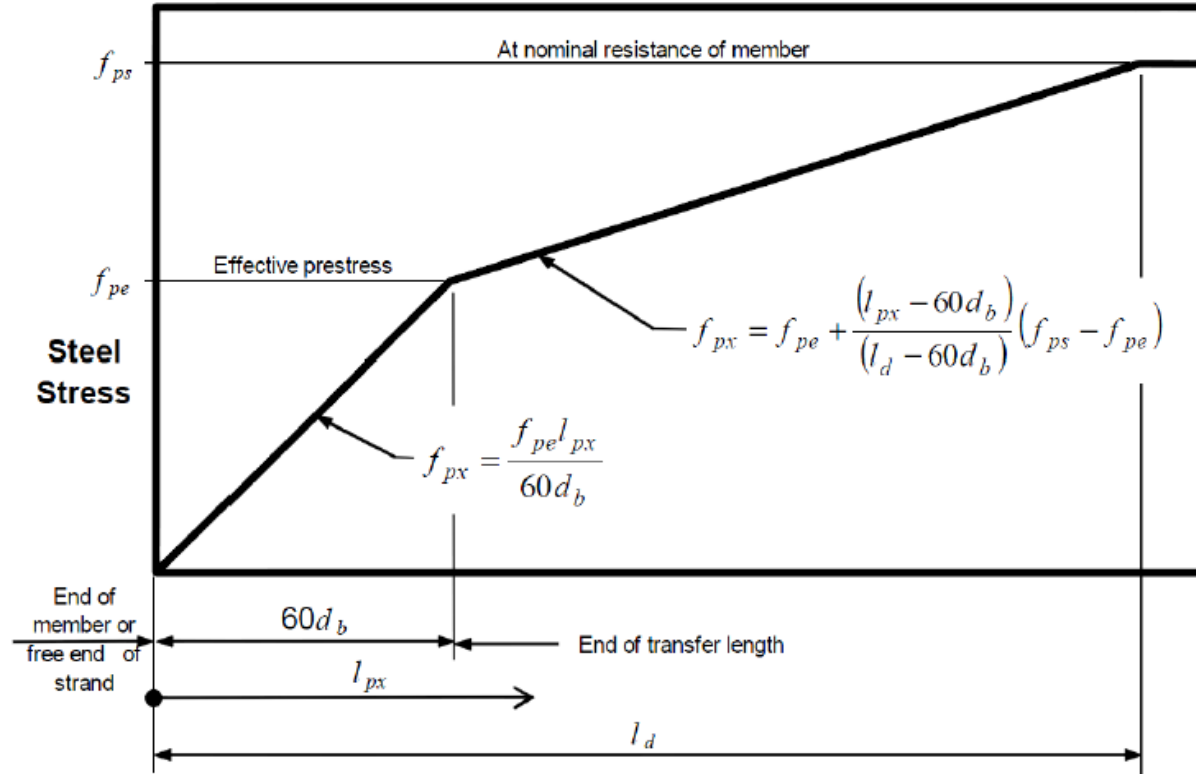
Sección Crítica para Acero Longitudinal (Presfuerzo)



where:

θ = ángulo de inclinación de grietas por cortante
Comparar distancia $(l_b + d_g \cot \theta)$ a l_t y l_d .

Variación de Esfuerzos en Torones a lo Largo de la Longitud de Desarrollo (Extremos de Vigas Pretensadas)



f_{pe} = esfuerzo efectivo en torones (después de pérdidas)

f_{ps} = esfuerzo en torones al alcanzar la resistencia por flexión

l_t = longitud de transferencia de presfuerzo

l_d = longitud de desarrollo

Método General para Determinar β y θ

LRFD 5.8.3.4.2

- **Para secciones con al menos la cantidad mínima de acero transversal**
 - » **Tablas para determinar β and θ son reemplazadas por ecuaciones**
 - » **Equación para ϵ_x se simplifica ($0.5\cot\theta = 1.0$)**
 - » **Límite de $\epsilon_x \geq -0.2 \times 10^{-3}$**
 - » **La revisión de la cantidad de acero longitudinal total debe efectuarse**

$$\beta = \frac{4.8}{(1 + 750\epsilon_x)}$$

Secciones con al menos
cantidad mínima de acero
transversal

$$\beta = \frac{4.8}{(1 + 750\epsilon_x)} \frac{51}{(39 + s_{xe})}$$

$$\theta = 29 + 3500\epsilon_x$$

en donde,

Secciones sin cantidad
mínima de acero transversal

$$s_{xe} = \frac{1.38s_x}{0.63 + a_g}, \text{ si } A_v < A_{v\min}$$

$$12 \text{ in} \leq s_{xe} \leq 80 \text{ in}$$

a_g = tamaño máximo del
agregado