

Curso Diseño de Puentes - AASHTO

Prof. Dr. Matías A. Valenzuela

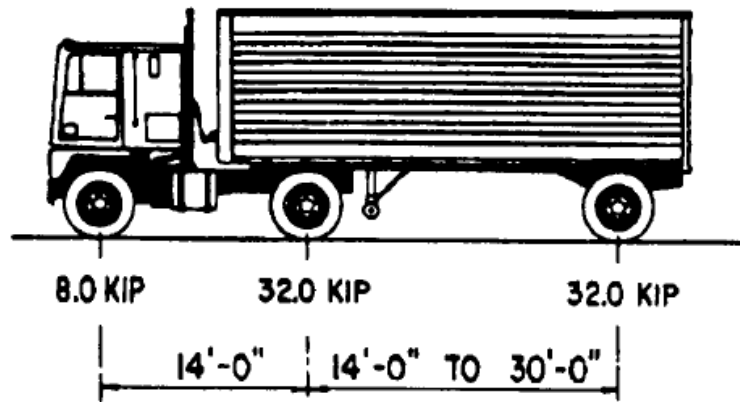
Agradecimientos

- 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
- **9. Diseño de Puente 1 Vano**

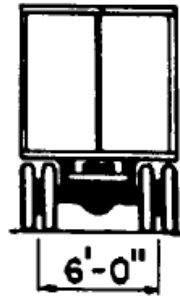
Carga Viva Vehicular – HL93



1. Camión de Diseño (HS-20)

2. Tandem de Diseño

Dos ejes de 25 kip espaciados 4 ft



3. Carga de Carril de Diseño

Carga uniformemente distribuida = 0.64 kip/ft

Fatiga

En vigas presforzadas diseñadas usando la condición de Servicio III, fatiga del acero no necesita considerarse.

Fatiga no necesita considerarse en la losa de concreto en puentes con varias vigas.

(LRFD 5.5.3.1)

Fatiga

En vigas totalmente presforzadas (no segmentales), los esfuerzos de compresión inducidos por cargas de fatiga + $\frac{1}{2}$ de la suma del presfuerzo efectivo (después de perdidas) mas esfuerzos por cargas permanentes $\leq 0.4f_c'$.

(LRFD 5.5.3.1 2009)

Factor de Amplificación Dinámica

LRFD 3.6.2:

| <u>Condición</u> | <u>IM</u> |
|-----------------------------|-----------|
| Juntas expansión – | 75% |
| E. Límite Fatiga y Fractura | 15% |
| Otros Estados Límite | 33% |

Multiplicar el efecto estático del camión de diseño (ó tandem) por el factor:

$$(1 + IM/100)$$

La carga de carril NO se multiplica por $(1 + IM/100)$.

Cortantes y Momentos por Carga Viva – Camión de Diseño (HS20)

$$\begin{aligned}V_{HS20} &= (\text{cortante/carril})(DF_V)(1+IM/100) \\ &= (\text{cortante/carril})(0.80)(1 + 33/100) \\ &= 1.064 \text{ cortante/carril}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_{HS20} &= (\text{momento/carril})(DF_M)(1+IM/100) \\ &= (\text{momento/carril})(0.79)(1 + 33/100) \\ &= 1.051 \text{ momento/carril}\end{aligned}$$

Cortantes y Momentos por Carga Viva Vehicular – Carga de Carril

$$\begin{aligned}V_{\text{carril}} &= (\text{cortante/carril})(DF_V) \\ &= (\text{cortante/carril})(0.80) \\ &= 0.80 \text{ cortante/carril}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}M_{\text{carril}} &= (\text{momento/carril})(DF_M) \\ &= (\text{momento/carril})(0.79) \\ &= 0.79 \text{ momento/carril}\end{aligned}$$

Envolventes de Cortante y Momento – HL-93 Incluye IM=1.33

| Distancia x ft | Seccion compuesta | | | | | |
|----------------------|-------------------|-------------------|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|
| | LL carril | | LL HS20 | | HL - 93 (LL+IM) | |
| | Cortante kip | Momento kip-ft | Cortante kip | Momento kip-ft | Cortante kip | Momento kip-ft |
| 0.0 | 24.0 | 0.0 | 61.1 | 0.0 | 84.2 | 0.0 |
| 3.8 | 21.6 | 85.5 | 57.5 | 216.1 | 78.5 | 294.6 |
| 7.5 | 19.2 | 162.0 | 53.9 | 404.7 | 72.7 | 553.2 |
| 11.3 | 16.8 | 229.5 | 50.3 | 566.3 | 67.0 | 776.3 |
| 15.0 | 14.4 | 288.0 | 46.7 | 700.9 | 61.2 | 964.0 |
| 18.8 | 12.0 | 337.5 | 43.1 | 820.2 | 55.5 | 1128.4 |
| 22.5 | 9.6 | 378.0 | 39.5 | 914.3 | 49.7 | 1259.3 |
| 26.3 | 7.2 | 409.5 | 35.9 | 981.5 | 44.0 | 1354.7 |
| 30.0 | 4.8 | 432.0 | 32.3 | 1021.6 | 38.2 | 1414.7 |
| 33.8 | 2.4 | 445.5 | 28.7 | 1039.3 | 32.5 | 1443.9 |
| 37.5 | 0.0 | 450.0 | -25.1 | 1066.0 | -26.7 | 1475.5 |
| 41.3 | -2.4 | 445.5 | -28.7 | 1065.6 | -32.5 | 1471.6 |
| 45.0 | -4.8 | 432.0 | -32.3 | 1038.3 | -38.2 | 1432.2 |
| 48.8 | -7.2 | 409.5 | -35.9 | 984.0 | -44.0 | 1357.4 |
| 52.5 | -9.6 | 378.0 | -39.5 | 902.7 | -49.7 | 1247.1 |
| 56.3 | -12.0 | 337.5 | -43.1 | 794.4 | -55.5 | 1101.3 |
| 60.0 | -14.4 | 288.0 | -46.7 | 667.5 | -61.2 | 928.8 |
| 63.8 | -16.8 | 229.5 | -50.3 | 518.7 | -67.0 | 726.4 |
| 67.5 | -19.2 | 162.0 | -53.9 | 351.9 | -72.7 | 497.7 |
| 71.3 | -21.6 | 85.5 | -57.5 | 189.6 | -78.5 | 266.7 |
| 75.0 | -24.0 | 0.0 | -61.1 | 0.0 | -84.2 | 0.0 |

Combinaciones de Carga (LRFD 3.4)

Servicio I – compresión en concreto presforzado (ej. zonas de momento positivo); compresión y tensión en concreto reforzado (ej. zonas de momento negativo y losa en zonas de momento positivo).

$$Q = 1.0(DC+DW) + 1.0 (LL+IM)$$

Servicio III – tensión en concreto presforzado.

$$Q = 1.0(DC+DW) + 0.8 (LL+IM)$$

Combinaciones de Carga

Resistencia I – resistencia de componentes de concreto reforzado y presforzado.

Cálculo de Efectos Mínimos:

$$Q = 0.9DC + 0.65 DW + 1.75 (LL+IM)$$

Cálculo de Efectos Máximos:

$$Q = 1.25DC + 1.50 DW + 1.75 (LL+IM)$$

La combinación mínima se usa cuando DL y LL generan esfuerzos con signos opuestos.

Servicio III - Factor de 0.8 Aplicable a LL

- Servicio III es para determinar esfuerzos de tensión en concreto presforzado. Se usa para prevenir agrietamiento en elementos presforzados.
- La resistencia del concreto presforzado a tensión es altamente variable y frecuentemente es más alta que lo que las formulas empíricas estiman.

Porqué se usa un factor de 0.8 en LL para Servicio III?

- Resistencia a la tensión por flexión se basa en :
 - Módulo de ruptura
 - Se toma como $7.5(f_c')^{0.5}$, pero éste estimado es conservador.
 - El límite superior puede llegar a $12(f_c')^{0.5}$.
 - Se basa en la resistencia a la compresión nominal, no la resistencia actual.
 - Pérdidas de presfuerzo deben incluirse
 - No se pueden determinar exactamente.
 - LRFD sobre-estima pérdidas.
- Resistencia al agrietamiento usualmente se subestima (en realidad es mas alta).

Estimar Fuerza de Presfuerzo Requerida

- La fuerza de presfuerzo requerida se estimará en dos partes: pretensado y postensado
 - Pretensado: diseñar para sólo el peso propio, peso de losa vaciada en sitio y cargas vivas de construcción (sección no compuesta).
 - Postensado: diseñar para las cargas actuando en la sección compuesta (superficie de rodamiento, barreras, carga viva vehicular).

Estimar Fuerza de Presfuerzo Requerida (Pretensado)

Suponer Servicio III controla

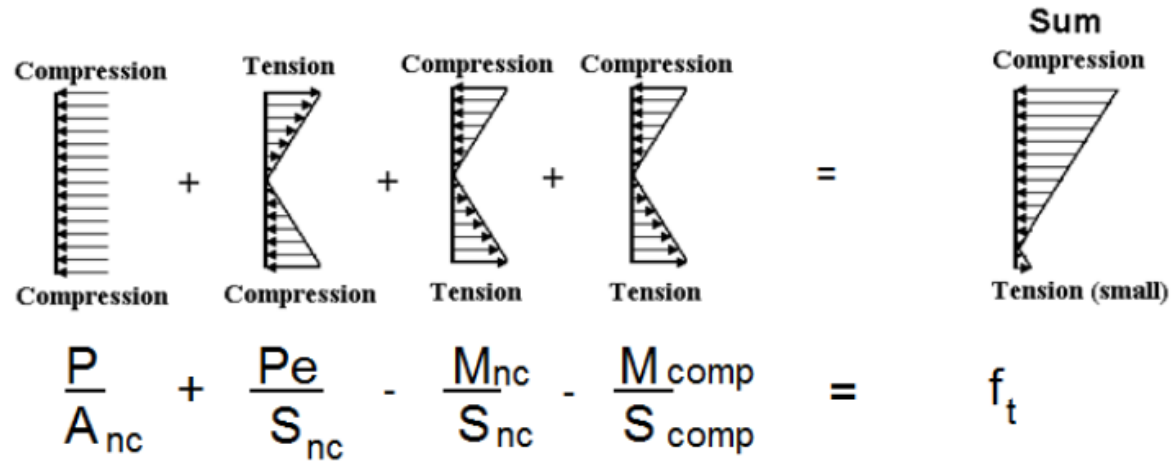
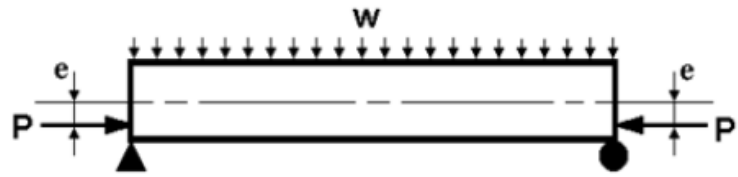
Calcular el esfuerzo de flexión bajo cargas de servicio.
Incluir carga de construcción para el diseño de pretensado
(CLL = 0.010 kip/ft² ; $w_{CLL} = 0.08$ kip/ft; Sección 5.14.2.3.2)

Los momentos M_v (viga) y M_L (losa) se aplican a la viga no-compuesta simplemente apoyada. Los demás momentos actúan en la sección compuesta.

$$f_b = \frac{M_{Viga} + M_{Losa} + M_{CLL}}{S_b}$$

Estimar Fuerza de Presfuerzo Requerida (Pretensado)

| | M (k-ft) | M (k-in) | S (in ³) | $f_b = M/S_b$ (ksi) |
|-------------------|----------|----------|----------------------|---------------------|
| M_{viga} | 743.2 | 8918 | 6185 | 1.44 |
| M_{losa} | 267.9 | 3215 | 6185 | 0.52 |
| M_{CLL} | 56.3 | 676 | 6185 | 0.11 |
| Total | | | | 2.07 (Tensión) |



(+) = comp
 (-) = tens

Los momentos actuando en la sección no compuesta y compuesta causan tensión en la fibra inferior de la viga. La fuerza de compresión proveniente del presfuerzo debe diseñarse para reducir o eliminar éstos esfuerzos de tensión.

Estimar Fuerza de Presfuerzo Requerida (Pretensado)

Esfuerzo de tensión permisible en Servicio III
(LRFD Tabla 5.9.4.2.2-1)

$$f_t = 0.19(f_c')^{0.5} = 0.19(7.0 \text{ ksi})^{0.5} = 0.503 \text{ ksi}$$

$$0.19(f_c')^{0.5} \text{ ksi} = 6(f_c')^{0.5} \text{ psi}$$

Estimar Fuerza de Presfuerzo Requerida (Pretensado)

Las cargas aplicadas causan esfuerzos de tensión de 2.07 ksi.

El esfuerzo permisible de tensión es 0.50 ksi.

El esfuerzo MINIMO de compresión en la fibra inferior extrema, después de pérdidas, que debe generar el presfuerzo es:

$$2.07 \text{ ksi} - 0.50 \text{ ksi} = 1.57 \text{ ksi compresión} = f_{pb}$$

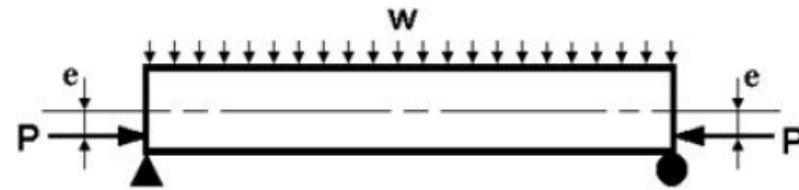
Estimar Fuerza de Presfuerzo Requerida (Pretensado)

$$f_{pb} \leq \frac{P_{eff1}}{A} + \frac{P_{eff1} e_{pre}}{S_b} = 1.57 \text{ ksi}$$

P_{eff1} = fuerza efectiva del pretensado

e_{pre} = excentricidad torones pretensados (24.6 in.)

La excentricidad, e_{pre} , se estima. (sección no compuesta)



Nota: las pérdidas no se conocen con precisión.

Estimar Fuerza de Presfuerzo Requerida (Pretensado)

Suponer que el centroide de los torones de presfuerzo están a 4" de la fibra inferior. La excentricidad calculada con propiedades no compuestas es:

$$e_{\text{pre}} = y_b - 5'' = 28.6'' - 4'' = 24.6''$$

$$A_c = 975.9 \text{ in}^2 \quad S_b = 6185 \text{ in}^3$$

$$f_{\text{pb}} = +1.57 \text{ ksi (compresión)}$$

Estimar Fuerza de Presfuerzo Requerida (Pretensado)

$$f_{pb} \leq \frac{P_{eff1}}{A} + \frac{P_{eff1} e_{pre}}{S_b} = 1.57 \text{ ksi}$$

$$\frac{P_{eff1}}{A} + \frac{P_{eff1} e_{pos}}{S_b} = 1.57 \text{ ksi}$$

$$P_{eff1} \left(\frac{1}{975.9} + \frac{(24.6)}{6185} \right) = 1.57$$

$$P_{eff1} = 314.0 \text{ kip}$$

Pretensado MINIMO después de pérdidas.

Estimar Fuerza de Presfuerzo Requerida (Pretensado)

$$P_{\text{eff1}} = 314 \text{ kips mínimo}$$

Usando torones de baja relajación:

$$\text{Esfuerzo inicial} = 0.70 f_{\text{pu}} = 0.70 (270 \text{ ksi}) = 189 \text{ ksi}$$

Revisar este valor inicial con el fabricante de la sección prefabricada!

Estimar Fuerza de Presfuerzo Requerida (Pretensado)

Pérdidas usualmente son entre 15-30%. Suponer 22% de pérdida de presfuerzo (inicialmente).

Esfuerzo inicial en torones = 189 ksi

Esfuerzo efectivo despues de pérdida de 22%

$$f_{p \text{ eff}} = 0.78(202.5) = 147.4 \text{ ksi}$$

$$A_p \geq P_{\text{eff1}} / f_{p \text{ eff}} = 314 \text{ kip} / 147.4 \text{ ksi} = 2.13 \text{ in}^2$$

Torón de 0.6" de diámetro = 0.217 in²

No. torones $\geq 2.13/0.217 = 9.8$ torones – Usar 12 (simetría)

Estimar Fuerza de Presfuerzo Requerida (Postensado)

Usar la condición de Servicio III, incluyendo cargas vivas

$$f_b = \frac{M_{\text{viga}} + M_{\text{losa}}}{S_b} + \frac{M_{\text{barr}} + M_{\text{DW}} + 0.8M_{\text{LL+I}}}{S_{b,c}}$$

| | M (k-ft) | M (k-in) | S_b (in ³) | $f_b = M/S_b$ (ksi) |
|-----------------------|-------------|------------|-----------------------------|------------------------|
| M_{viga} | 743.2 | 8918 | 6185 | 1.44 |
| M_{losa} | 267.9 | 3215 | 6185 | 0.52 |
| M_{barr} | 84.4 | 1013 | 7540 | 0.12 |
| M_{DW} | 175.8 | 2110 | 7540 | 0.30 |
| $0.8M_{\text{LL+IM}}$ | 0.8(1475.5) | 0.8(17706) | 7540 | 1.87 |
| Total | | | | 4.25 (T) |

Estimar Fuerza de Presfuerzo Requerida (Postensado)

Esfuerzo de tensión permisible en Servicio III
(LRFD Tabla 5.9.4.2.2-1)

$$f_t = 0.19(f_c')^{0.5} = 0.19(7.0 \text{ ksi})^{0.5} = 0.503 \text{ ksi}$$

$$0.19(f_c')^{0.5} \text{ ksi} = 6(f_c')^{0.5} \text{ psi}$$

Estimar Fuerza de Presfuerzo Requerida (Postensado)

Las cargas aplicadas causan esfuerzos de tensión de 4.25 ksi.

El esfuerzo permisible de tensión es 0.50 ksi.

El esfuerzo MINIMO de compression en la fibra inferior extrema, después de pérdidas, que debe generar el presfuerzo es:

$$4.25 \text{ ksi} - 0.50 \text{ ksi} = 3.75 \text{ ksi compresión} = f_{pb}$$

Estimar Fuerza de Presfuerzo Requerida (Postensado)

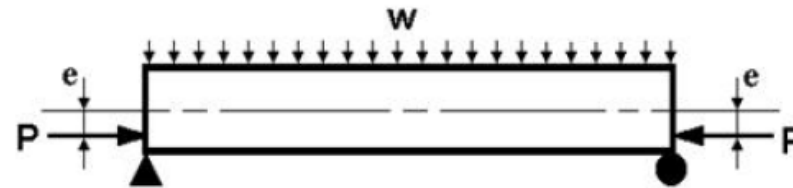
$$f_{pb} \leq \frac{P_{\text{eff1}}}{A} + \frac{P_{\text{eff1}} e_{\text{pre}}}{S_b} + \frac{P_{\text{eff2}}}{A_c} + \frac{P_{\text{eff2}} e_{\text{pos}}}{S_{b,c}} = 3.75 \text{ ksi}$$

P_{eff1} = fuerza efectiva del pretensado = 383.8 kip

P_{eff2} = fuerza efectiva del postensado

e_{pre} = excentricidad torones pretensados (24.6 in.)

La excentricidad, e_{pos} , se estima. (sección compuesta)



Nota: las pérdidas no se conocen.

Estimar Fuerza de Presfuerzo Requerida (Postensado)

Suponer que el centroide del acero de presfuerzo (postensado) estará 5" de la fibra inferior. La excentricidad calculada usando propiedades de la sección compuesta es:

$$e_{\text{pos}} = y_{b,c} - 5" = 32.50" - 5" = 27.5"$$

$$A_c = 1254 \text{ in}^2 \quad S_{b,c} = 7540 \text{ in}^3$$

$$f_{pb} = +3.75 \text{ ksi (compresión)}$$

Estimar Fuerza de Presfuerzo Requerida (Postensado)

$$f_{pb} \leq \frac{P_{\text{eff } 1}}{A} + \frac{P_{\text{eff } 1} e_{\text{pre}}}{S_b} + \frac{P_{\text{eff } 2}}{A_c} + \frac{P_{\text{eff } 2} e_{\text{pos}}}{S_{b,c}} = 3.75 \text{ ksi}$$

$$\frac{P_{\text{eff } 2}}{A_c} + \frac{P_{\text{eff } 2} e_{\text{pos}}}{S_{b,c}} = 3.75 \text{ ksi} - \frac{P_{\text{eff } 1}}{A} + \frac{P_{\text{eff } 1} e_{\text{pre}}}{S_b}$$

$$P_{\text{eff } 2} \left(\frac{1}{1254} + \frac{(27.5)}{7540} \right) = 3.75 - \frac{383.8}{975.9} - \frac{(383.8)(24.6)}{6185}$$

$$P_{\text{eff } 2} = 411.0 \text{ kip}$$

Postensado MINIMO después de pérdidas.

Estimar Fuerza de Presfuerzo Requerida (Postensado)

$$P_{\text{eff2}} = 411 \text{ kips mínimo}$$

Usando torones de baja relajación:

$$\text{Esfuerzo inicial} = 0.70 f_{\text{pu}} = 0.70 (270 \text{ ksi}) = 189 \text{ ksi}$$

Revisar este valor inicial con el fabricante!

Estimar Fuerza de Presfuerzo Requerida (Postensado)

Pérdidas usualmente son entre 15-30%. Suponer 22% de pérdida de presfuerzo (inicialmente).

Esfuerzo inicial en torones = 189 ksi

Esfuerzo efectivo despues de pérdida de 22%

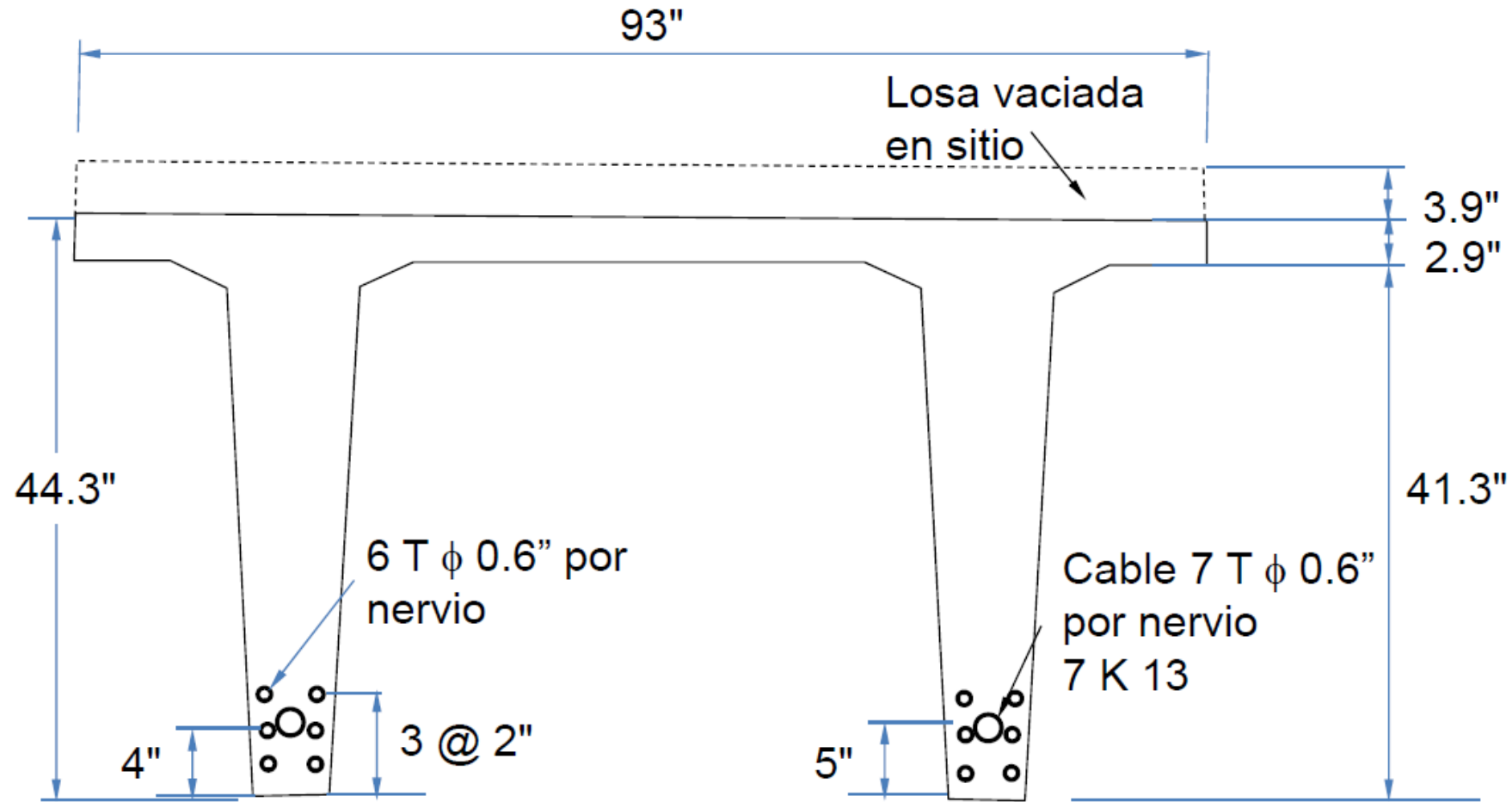
$$f_{p \text{ eff}} = 0.78(202.5) = 147.4 \text{ ksi}$$

$$A_p \geq P_{\text{eff}2} / f_{p \text{ eff}} = 411 \text{ kip} / 147.4 \text{ ksi} = 2.79 \text{ in}^2$$

Torón de 0.6" de diámetro = 0.217 in²

No. torones $\geq 2.79/0.217 = 12.8$ torones – Usar 14 (simetría)

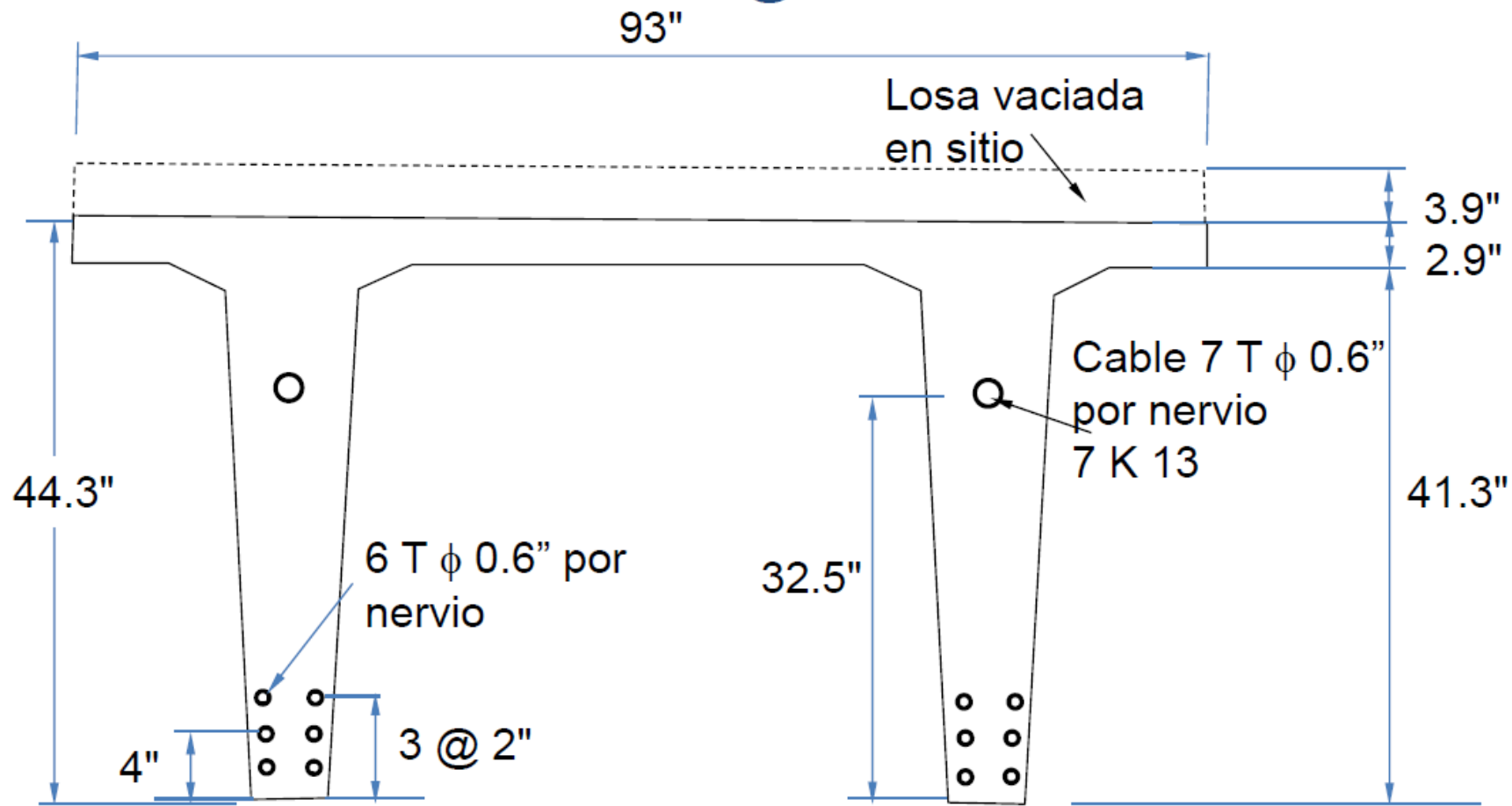
Patrón de Torones-Centro del Claro



$$e_{pre} = 28.6'' - 4'' = 24.6''$$

$$e_{post} = 32.5'' - 5'' = 27.5''$$

Patrón de Torones-Extremos de Viga



$$e_{pre} = 28.6" - 4" = 24.6"$$

$$e_{post} = 32.5" - 32.5" = 0"$$

Pérdida de Presfuerzo

El presfuerzo comienza a sufrir pérdidas en cuanto la fuerza se aplica a la viga!

Pérdida de Presfuerzo

- En vigas pretensadas existen 4 fuentes de pérdida:
 - Pérdida por Acortamiento Elástico
 - Flujo plástico
 - Contracción
 - Relajación
- AASHTO LRFD contiene un método simplificado y un método más preciso.

Precisión del Cálculo de Pérdidas

- Las pérdidas sólo pueden calcularse aproximadamente
- Una fuente de pérdidas es acortamiento elástico de la viga
 - Depende de E_{ci} , el modulo de elasticidad del concreto al transferir la fuerza de presfuerzo.
 - Puede variar por:
 - Resistencia del concreto
 - Propiedades de materiales (agregados)

Precisión del Cálculo de Pérdidas

- Flujo plástico y contracción
 - Difíciles de predecir
 - C5.4.2.3.1 indica que la precisión de las ecuaciones para flujo plástico y contracción es menor que $\pm 50\%$
 - Flujo plástico depende del tiempo de aplicación de cargas.
- Las pérdidas también son afectadas por la temperatura ambiente (variable).

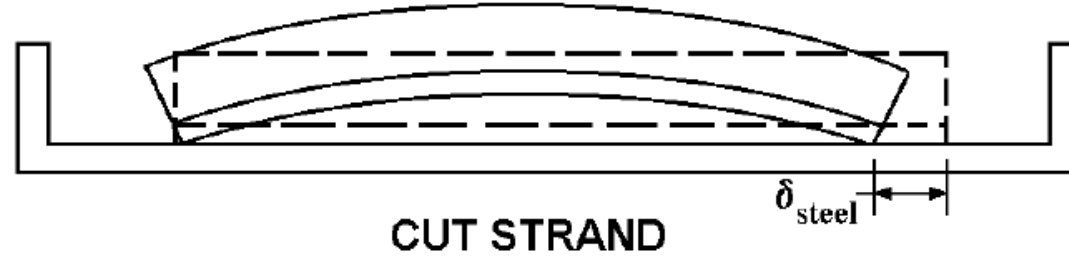
Pérdida de Presfuerzo

Acortamiento elástico:

$$\Delta_{pES} = \frac{E_p}{E_{ci}} f_{cgp}$$

$$f_{cgp} = \frac{P_i}{A} + \frac{(P_i e_{pre}) e_{pre}}{I} - \frac{M_{viga} e_{pre}}{I}$$

$$f_{cgp} = \frac{P_i}{A} + \frac{P_i e_{pre}^2}{I} - \frac{M_{viga} e_{pre}}{I}$$



Al cortar los torones la fuerza de presfuerzo causa acortamiento en la viga de concreto. El cambio en deformación unitaria del acero de presfuerzo debe ser igual que la deformación unitaria del concreto que lo rodea (por compatibilidad suponiendo adherencia perfecta).

$$\Delta f_{pES} = \frac{E_p}{E_{ci}} f_{cgp}$$

$$f_{cgp} = \frac{P_i}{A} + \frac{P_i e_{pre}^2}{I} - \frac{M_{viga} e_{pre}}{I}$$

El esfuerzo, f_{cgp} es el esfuerzo en el concreto en el **centroide** del acero de presfuerzo.

Al dividir f_{cgp} por E_{ci} se obtiene la deformación unitaria del concreto (compresión). Esta deformación unitaria debe ser igual en el acero de presfuerzo.

Al multiplicar por E_p se obtiene esfuerzo en el acero de presfuerzo.

P_i

- Los torones se tensionan inicialmente en la planta del fabricante.
 - En torones de baja relajación, el esfuerzo inicial es alrededor de 0.70 a $0.75f_{pu}$.
- P_i es la fuerza en el acero al transferir al concreto, pero ésta NO es la tensión inicial.
 - Pérdida por acortamiento
 - Pérdida por falta de adherencia con el concreto
 - Pérdida por relajación

P_i

- LRFD C5.9.5.2.3a permite:
 - Suponer que el esfuerzo en el acero es un porcentaje de la tensión inicial y permite iterar hasta obtener la precisión deseada. Usualmente se usa un 10% de pérdida inicial.
 - Con tantas incógnitas, la pérdida del 10% simplemente se usa.
 - Usar Ecuación C5.9.5.2.3a -1.

$$\Delta f_{pES} = \frac{A_{ps} f_{pi} (I + e_{pre}^2 A) - e_{pre} M_{viga} A}{A_{ps} (I + e_{pre}^2 A) + \frac{A I E_{ci}}{E_p}}$$

Pérdida de Presfuerzo (Pretensado)

Acortamiento elástico:

La pérdida elástica se supondrá como del 9%.

La tensión inicial en el acero de presfuerzo es:

$$0.70f_{pu} = 0.70(270\text{ksi}) = 189 \text{ ksi.}$$

$$P_i = 12 \text{ torones } (0.217 \text{ in.}^2/\text{torón})(0.91)(189 \text{ ksi}) \\ = 448 \text{ kip}$$

Pérdida de Presfuerzo (Pretensado)

Acortamiento elástico:

$$P_i = 0.7f_{pu} * 12 * 0.217 \text{ in}^2$$

$$f_{cgp} = \frac{P_i}{A} + \frac{P_i e_{pre}^2}{I} - \frac{M_{viga} e_{pre}}{I}$$

$$f_{cgp} = \frac{492.2}{975.9} + \frac{492.2(24.6)^2}{176,900} - \frac{(743.2 \text{ kip} - \text{ft})(12 \text{ in} / \text{ft})(24.6)}{176,900}$$

$$f_{cgp} = 0.948 \text{ ksi}$$

M_{viga} al centro del claro, basado en $L=75$ ft. Puede usarse el claro total de la viga (76 ft.) ya que la viga rota respecto a los extremos en la fábrica, aunque la diferencia es mínima si se usa el claro a apoyos.

Pérdida de Presfuerzo (Pretensado)

Acortamiento elástico:

$$\Delta_{pES} = \frac{E_p}{E_{ci}} f_{cgp}$$

$$\Delta_{pES} = \frac{28500 \text{ ksi}}{4030 \text{ ksi}} 0.948 \text{ ksi} = 6.70 \text{ ksi}$$

$$\% = \frac{6.70}{189} (100) = 3.5\%$$

Más bajo que la pérdida supuesta del 9%, pero no considera la pérdida adicional al instante de aplicar postensado.

ES Utilizando Ecuación C5.9.5.2.3a -1

$$\Delta f_{pES} = \frac{A_{ps} f_{pi} (I + e_{pre}^2 A) - e_{pre} M_{viga} A}{A_{ps} (I + e_{pre}^2 A) + \frac{A I E_{ci}}{E_p}}$$

$$\Delta f_{pES} = \frac{(2.604)(189)(176,900 + (24.6)^2(975.9)) - (24.6)(743.2 \times 12)(975.9)}{(2.604)(176,900 + (24.6)^2(975.9)) + \frac{(975.9)(176,900)(4030)}{(28,500)}}$$

$$\Delta f_{pES} = 6.2 \text{ ksi}$$

La ecuación resulta en 6.2 ksi sin necesidad de iterar.

Pérdida de Presfuerzo

Flujo plástico y contracción del concreto, relajación del acero de presfuerzo:

Hay dos métodos, un método aproximado y uno más preciso. El método aproximado se usa en este ejemplo.

$$\Delta f_{pTot} = \Delta f_{pES} + \Delta f_{pLT}$$

$$\Delta f_{pLT} = 10 \frac{f_{pi} A_{ps}}{A} \gamma_h \gamma_{st} + 12 \gamma_h \gamma_{st} + \Delta f_{pR}$$

Pérdida de Presfuerzo

$$\Delta f_{pLT} = 10 \frac{f_{pi} A_{ps}}{A} \gamma_h \gamma_{st} + 12 \gamma_h \gamma_{st} + \Delta f_{pR} \quad (5.9.5.3-1)$$

$$\gamma_h = 1.7 - 0.01 H \quad (5.9.5.3-2)$$

$$\gamma_{st} = \frac{5}{1 + f'_{ci}} \quad (5.9.5.3-3)$$

H = Humedad relativa promedio en porcentaje

f'_{ci} = Resistencia del concreto al transferir el presfuerzo, ksi.

Δf_{pR} = 2.5 ksi para torones de baja relajación.

Pérdida de Presfuerzo (Pretensado)

Si $H = 70\%$

$$\gamma_h = 1.7 - 0.01H = 1.7 - 0.01(70) = 1$$

Recordar que $f_{ci}' = 5.0$ ksi

$$\gamma_{st} = \frac{5}{1 + f_{ci}'} = \frac{5}{1 + 5.0} = 0.83$$

$$\Delta f_{pLT} = 10 \frac{f_{pi} A_{ps}}{A} \gamma_h \gamma_{st} + 12 \gamma_h \gamma_{st} + \Delta f_{pR}$$

$$\Delta f_{pLT} = 10 \frac{189(2.604)}{975.9} (1)(0.833) + 12(1)(0.833) + 2.5 \text{ ksi}$$

$$\Delta f_{pLT} = 16.7 \text{ ksi}$$

Pérdida de Presfuerzo (Pretensado)

Pérdida total:

$$\Delta f_{pTot} = \Delta f_{pES} + \Delta f_{pLT}$$

$$\Delta f_{pTot} = 6.7 + 16.7 = 23.4 \text{ ksi}$$

$$\% \text{Pérdida} = \frac{23.4}{189} (100) = 12.4\%$$

$$f_{pe} = 189 - 23.4 = 165.6 \text{ ksi}$$

$$P_{eff} = 12 \text{ torones} (0.217 \text{ in}^2) 165.6 \text{ ksi} = 431.2 \text{ kip}$$

Se supuso una pérdida del 22%. Como la pérdida actual es menor, el diseño es probablemente adecuado. Esto se verificará al revisar esfuerzos permisibles. Es crítico revisar la situación de transferencia de presfuerzo.

Pérdida de Presfuerzo (Postensado)

Acortamiento elástico:

$$P_i = 0.7f_{pu} * 14 * 0.217 \text{ in}^2$$

$$f_{cgp} = \frac{P_i}{A_c} + \frac{P_i e_{post}^2}{I_c} - \frac{M_{viga+losa} e_{post}}{I_c}$$

$$f_{cgp} = \frac{574.2}{1,254} + \frac{574.2(27.5)^2}{245,043} - \frac{(1,012.5 \text{ kip} - \text{ft})(12 \text{ in} / \text{ft})(27.5)}{245,043}$$

$$f_{cgp} = 0.866 \text{ ksi}$$

M_{viga} al centro del claro, basado en $L=75 \text{ ft}$.

Pérdida de Presfuerzo (Postensado)

Acortamiento elástico:

$$\Delta_{pES} = \frac{E_p}{E_{ci}} f_{cgp}$$

$$\Delta_{pES} = \frac{28500 \text{ ksi}}{4760 \text{ ksi}} 0.866 \text{ ksi} = 5.18 \text{ ksi}$$

$$\% = \frac{5.18}{189} (100) = 2.8\%$$

Más bajo que la pérdida supuesta del 9%.

Pérdida de Presfuerzo (Postensado)

Si $H = 70\%$

$$\gamma_h = 1.7 - 0.01H = 1.7 - 0.01(70) = 1$$

Recordar que $f_{ci}' = 5.0$ ksi

$$\gamma_{st} = \frac{5}{1 + f_{ci}'} = \frac{5}{1 + 7.0} = 0.625$$

$$\Delta f_{pLT} = 10 \frac{f_{pi} A_{ps}}{A} \gamma_h \gamma_{st} + 12 \gamma_h \gamma_{st} + \Delta f_{pR}$$

$$\Delta f_{pLT} = 10 \frac{189(5.64)}{1254} (1)(0.625) + 12(1)(0.625) + 2.5 \text{ ksi}$$

$$\Delta f_{pLT} = 15.3 \text{ ksi}$$

Pérdida de Presfuerzo (Postensado)

Pérdida total:

$$\Delta f_{pTot} = \Delta f_{pES} + \Delta f_{pLT}$$

$$\Delta f_{pTot} = 5.2 + 15.3 = 20.5 \text{ ksi}$$

$$\% \text{Pérdida} = \frac{20.5}{189} (100) = 10.8\%$$

$$f_{pe} = 189 - 20.5 = 168.5 \text{ ksi}$$

$$P_{eff} = 14 \text{ torones} (0.217 \text{ in}^2) 168.5 \text{ ksi} = 511.9 \text{ kip}$$

Se supuso una pérdida del 22%. Como la pérdida actual es menor, el diseño es probablemente adecuado. Esto se verificará al revisar esfuerzos permisibles.