

Curso Diseño de Puentes - AASHTO

Prof. Dr. Matías A. Valenzuela

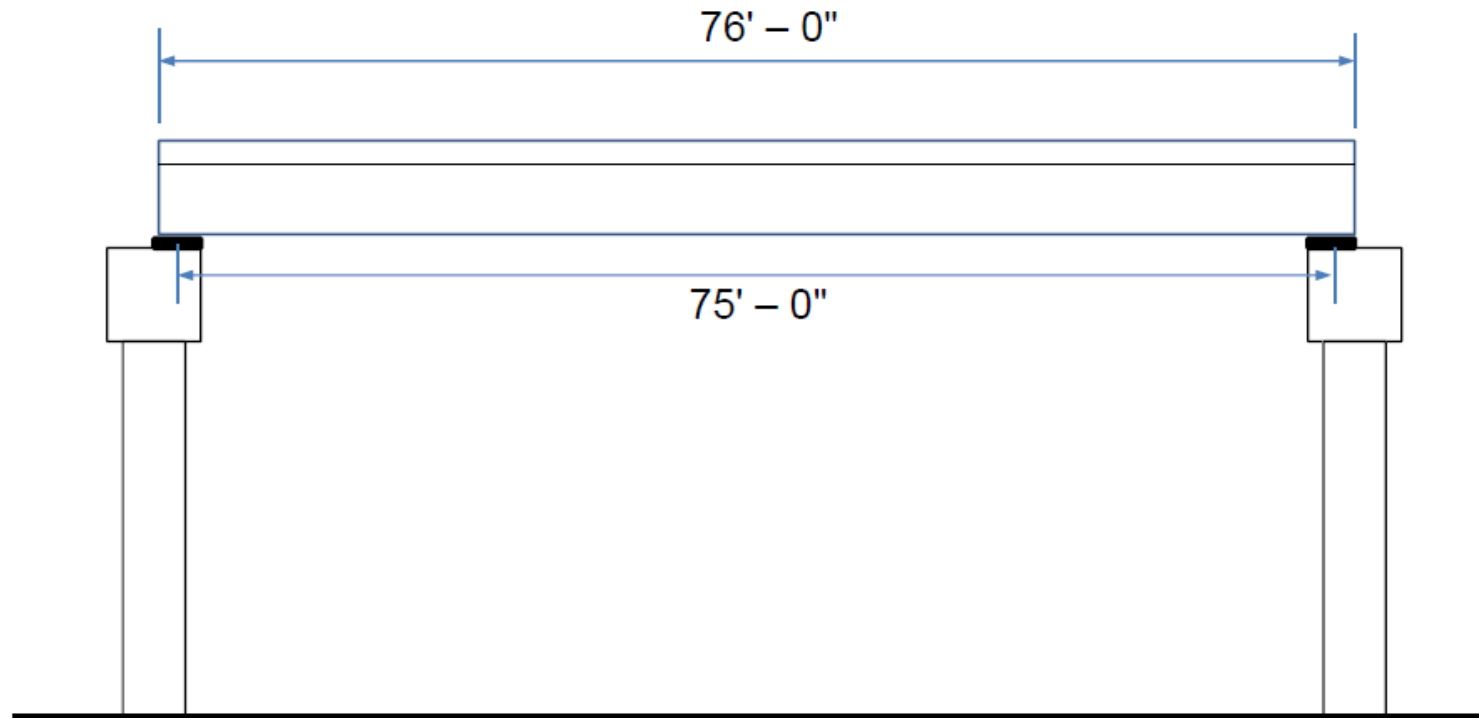
Agradecimientos

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

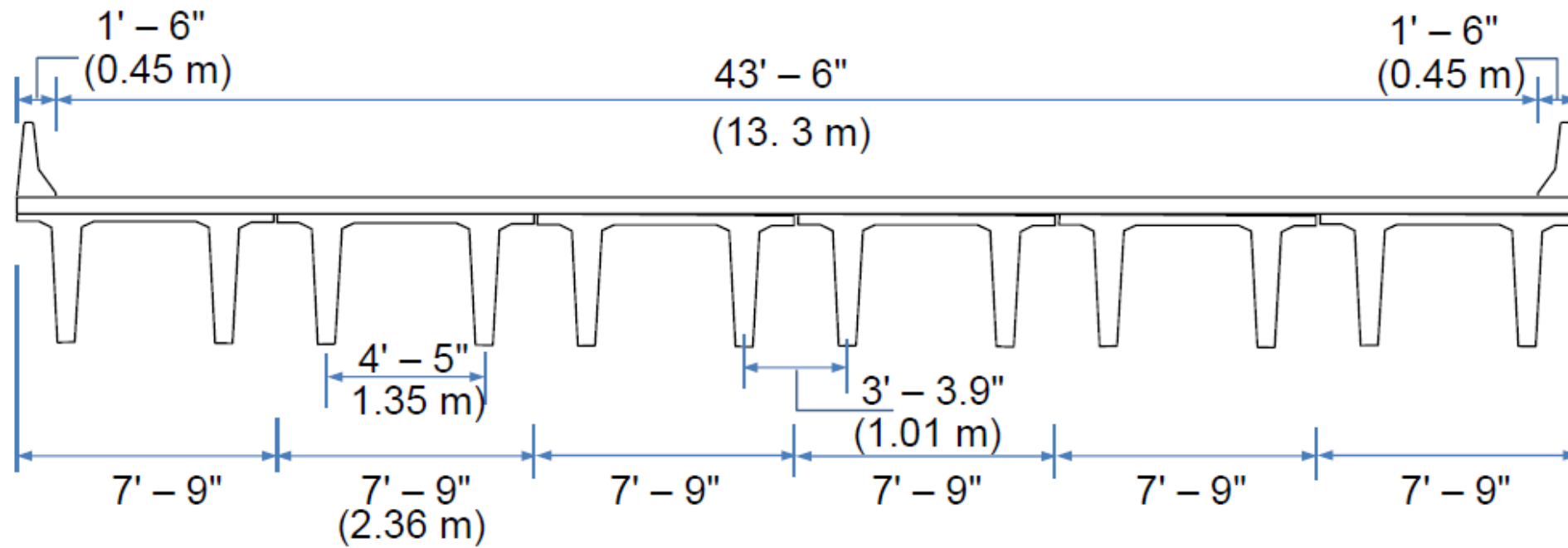
Tópicos del Curso

- 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**

Vista Longitudinal del Puente



Sección Transversal



Datos de Diseño

- LRFD – 6a Edición (2012)
- HL-93 Carga de diseño
- No esviajado
- Losa compuesta

Datos de Diseño

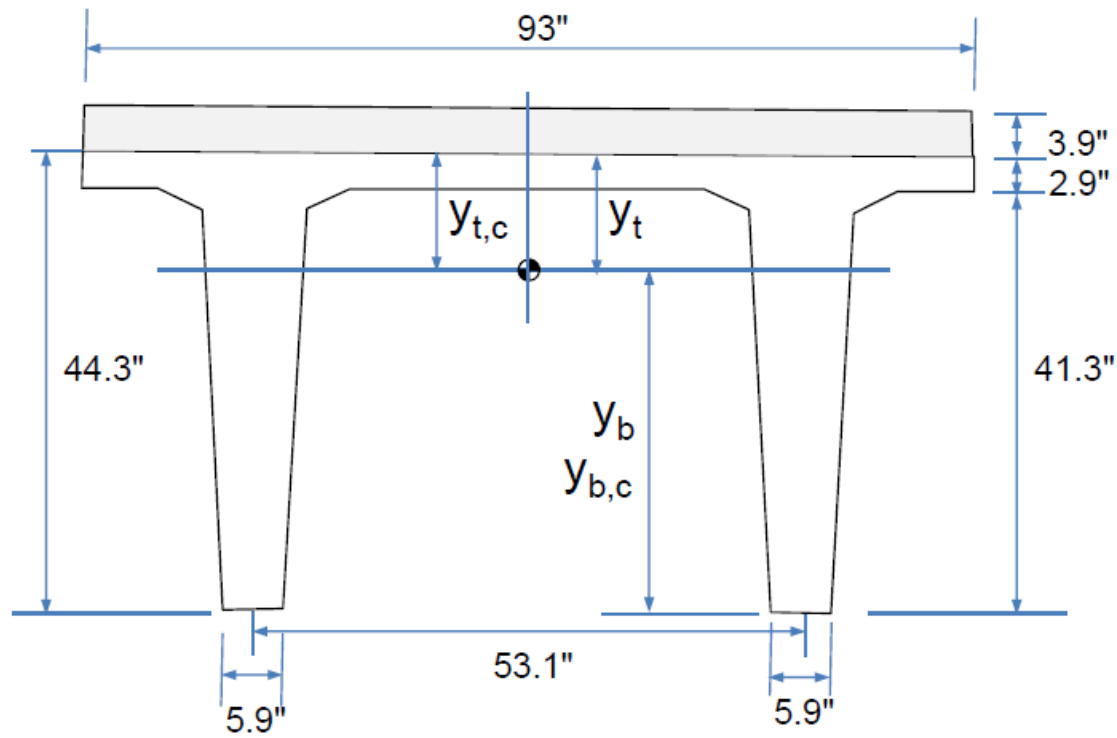
- Concreto:
 - $f'_c = 7.0$ ksi @ 28 días
 - $f'_{ci} = 5.0$ ksi @ transferencia de presfuerzo
 - $w_c = 150$ lb/ft³
- Acero de Presfuerzo:
 - GR 270 ($f_{pu} = 270$ ksi; $f_{py} = 243$ ksi)
 - 0.6" diámetro ($A_p = 0.217$ in² / torón)
 - $E_p = 28,500$ ksi

Datos de Diseño

- Acero de refuerzo
 - GR 60 ($f_y = 60$ ksi)
 - $E_s = 29,000$ ksi
- Superficie de rodamiento
 - 3" espesor
 - $w_{ws} = 130$ lb/ft³
- Barreras
 - Tipo New Jersey
 - 350 lb/ft

Datos de Diseño

- Losa
 - 3.92" (10 cm) espesor
 - $f'_c = 4.0$ ksi @ 28 días
 - $w_c = 150$ lb/ft³
 - $E_{cs} = 33000w^{1.5} (f'_c)^{0.5}$ (LRFD 5.4.2.4)
 $\approx 1800 (4)^{0.5} = 3600$ ksi
- Nota – LRFD usa las siguientes unidades en sus fórmulas: kip, in., ft



Propiedades de la Sección

| Propiedad | Unidad | Viga | Sección compuesta |
|----------------|-----------------|----------|----------------------|
| A | in ² | 975.9 | 1,253.9 |
| I _z | in ⁴ | 176,900 | 245,043 |
| y _b | in | 28.60 | 32.5 |
| y _t | in | 15.7 | 11.8 (15.7)* |
| S _b | in ³ | 6,184.8 | 7,539.8 |
| S _t | in ³ | 11,275.4 | 20,766.4 (15,607.8)* |
| w | lb/ft | 1056.7 | 1,437.5 |

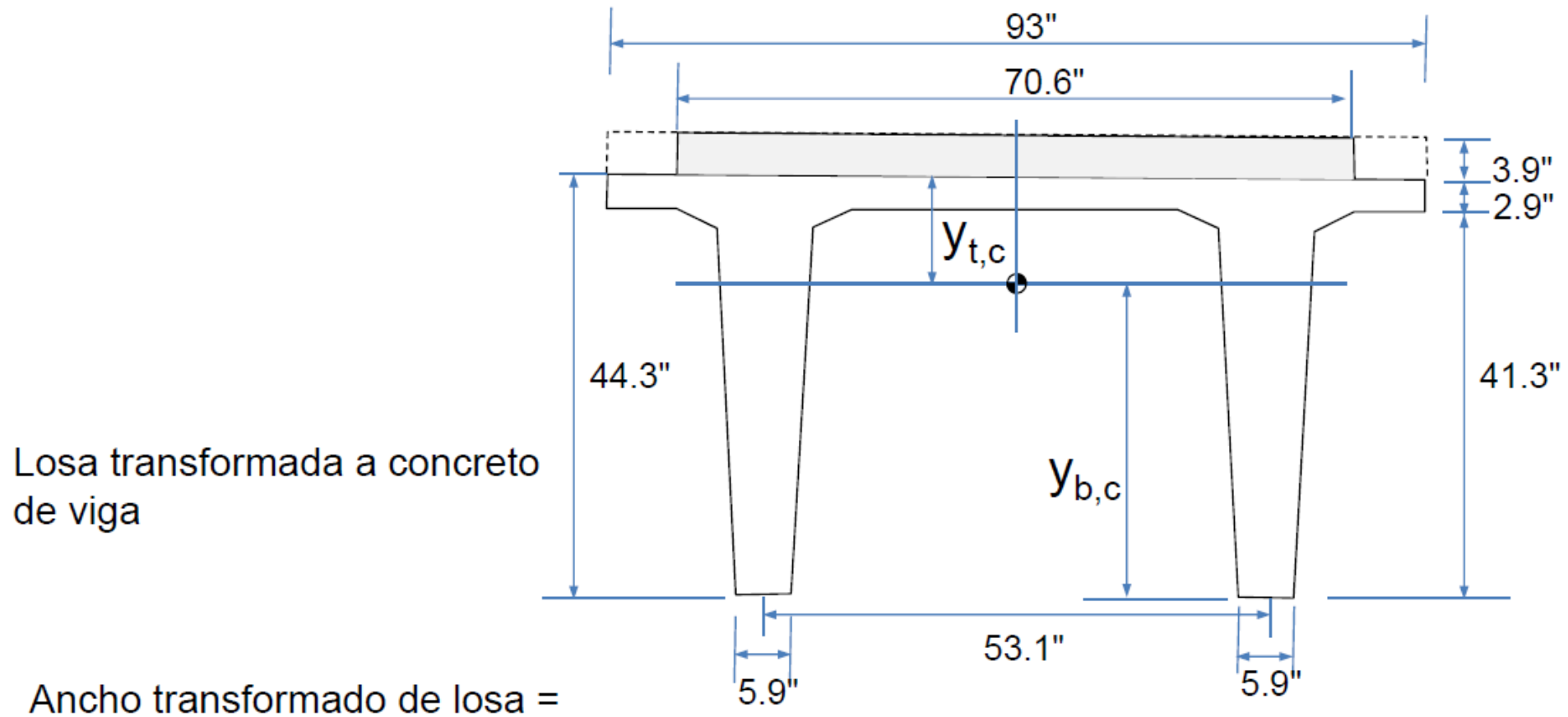
*Cantidades en paréntesis representan valores en superficie de losa

Propiedades de la Sección Compuesta

$$E_{cv} = 33000w^{1.5} (f_c')^{0.5} \quad (\text{LRFD 5.4.2.4})$$
$$\approx 1800 (7.0)^{0.5} = 4760 \text{ ksi}$$

Relación modular: $n = E_{cs} / E_{cv} = 3600 / 4760 = 0.756$

Propiedades de la Sección Compuesta

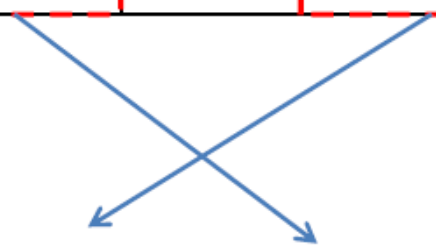


$$(\text{Ancho efectivo}) \cdot n = (93 \text{ in.})(0.756) = 70.6 \text{ in.}$$

$$\text{Area transformada de la losa} = (70.6 \text{ in.})(3.93 \text{ in.}) = 278 \text{ in}^2$$

Cálculo de Propiedades de Sección Compuesta

| | A_{tr} in ² | y_b in. | Ay_b in. ³ | $A(y_{bc}-y_b)^2$ in. ⁴ | I_z in. ⁴ | $I+A(y_{bc}-y_b)^2$ in. ⁴ |
|-------|-----------------------------|--------------|----------------------------|---------------------------------------|---------------------------|---|
| Viga | 975.9 | 28.6 | 27,900 | 14,843 | 176,900 | 191,744 |
| Losa | 278 | 46.3 | 12,863 | 52,942 | 357 | 53,299 |
| Total | 1,253.9 | | 40,763 | | | 245,043 |


$$y_{b,c} = 40,763 / 1,253.9 = 32.5 \text{ in.}$$

(distancia a parte inferior de viga compuesta)

Cálculo de Propiedades de Sección Compuesta

Módulo de sección a la fibra inferior:

$$S_{b,c} = I_c / y_{bc} = 245,043 / 32.50 = 7,540 \text{ in.}^3$$

Módulo de sección a la fibra superior:

$$S_{tL} = I_c / ny_{tc} = 245,043 / (0.756 * 15.7) = 20,645 \text{ in.}^3$$

Nota: $1/n$ convierte esfuerzos en concreto de la sección transformada a esfuerzos en concreto de la losa.

Módulo de sección a fibra superior de la viga:

$$S_{t,c} = I_c / y_{t,c} = 245,043 / 11.8 = 20,766 \text{ in.}^3$$

Cargas Permanentes - DC

DC – Aplican a la viga prefabricada.

Peso propio: $w_v = 1.057$ kip/ft.

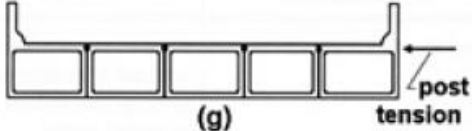

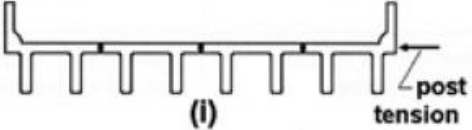
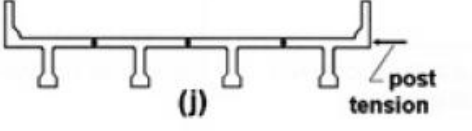
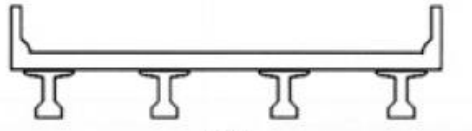
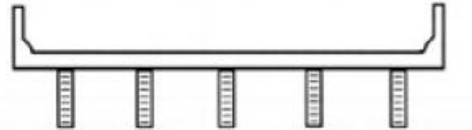
Peso de losa:

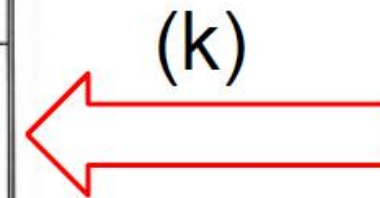
$$w_s = (3.94''/12''/\text{ft})(7.75 \text{ ft.})(0.150 \text{ kip}/\text{ft}^3) = 0.381 \text{ kip}/\text{ft}$$

Cargas Permanentes - DC

DC – Aplicadas a la sección compuesta. Para determinar si la superficie de rodamiento y el peso de barreras se puede aplicar equitativamente a todas las vigas, se debe satisfacer (LRFD 4.6.2.2.1):

- 1) Ancho de losa constante **OK**
- 2) Número de vigas ≥ 4 **OK**
- 3) Curvatura \leq especificada en 4.6.2.1.4 **OK**
- 4) Sección transversal clasifica como alguna en LRFD Spec. tabla 4.6.2.2.1-1 **OK** tipo “k”

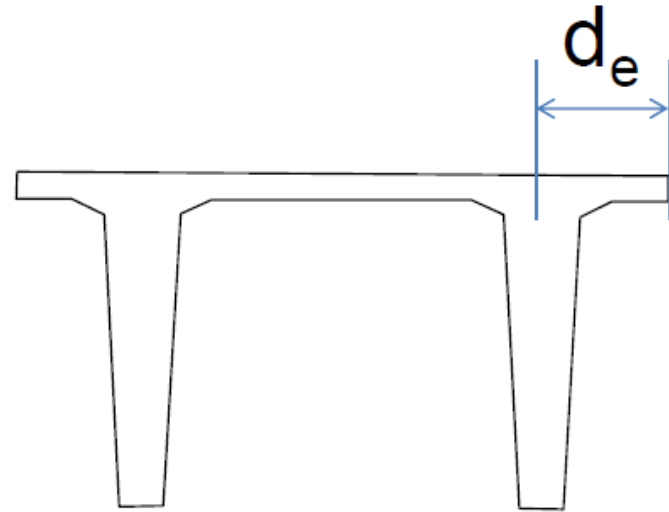
| SUPPORTING COMPONENTS | TYPE OF DECK | TYPICAL CROSS-SECTION |
|---|---|--|
| Precast Solid, Voided or Cellular Concrete Box with Shear Keys and with or without Transverse Post-Tensioning | Integral concrete |  (g) |
| Precast Concrete Channel Sections with Shear Keys | Cast-in-place concrete overlay |  (h) |
| Precast Concrete Double Tee Section with Shear Keys and with or without Transverse Post-Tensioning | Integral concrete |  (i) |
| Precast Concrete Tee Section with Shear Keys and with or without Transverse Post-Tensioning | Integral concrete |  (j) |
| Precast Concrete I or Bulb-Tee Sections | Cast-in-place concrete, precast concrete |  (k) |
| Wood Beams | Cast-in-place concrete or plank, glued/spiked panels or stressed wood |  (l) |



Cargas Permanentes - DC

- 5) El voladizo de la losa, tomado desde el centro del alma de la viga exterior, $d_e \leq 3.0$ ft.

$$d_e = 1.66 \text{ ft} \quad \mathbf{OK}$$



Cargas Permanentes - DC

DC – Aplicadas a la sección compuesta

Peso de barreras – 0.35 kip/ft

$$w_b = 2 \text{ barreras } (0.35 \text{ k/ft}) / (6 \text{ vigas}) = \\ 0.116 \text{ k/ft por viga}$$

Peso de diafragmas se ha despreciado en este ejemplo

Cargas Permanentes - DW

DW – Superficie de rodamiento.

Superficie de rodamiento 3" con peso de 0.130
kip/ft³

$$(3"/12)(0.130 \text{ kcf})(7.75 \text{ ft}) = 0.252 \text{ kip/ft}$$

Cargas Permanentes (sin factor de carga)

Todas las cargas permanentes son uniformemente distribuidas. Momentos y cortantes causados por DC y DW calcularse con (en una sección cualquiera x):

$$V_x = w(0.5L - x)$$

$$M_x = 0.5w \cdot x(L - x)$$

Usar claro total al transferir presfuerzo y claro centro-a-centro para cargas superpuestas (losa, etc.). La diferencia es mínima y puede despreciarse.

Momentos por Cargas DC y DW

| | | Seccion Viga* | | Seccion compuesta | | | |
|----------------------|----------------|-----------------|-------------------|-------------------|-------------------|-----------------|-------------------|
| Localizacion | | DC | | DC | | DW | |
| Distancia x ft | Seccion x/L | Cortante kip | Momento kip-ft | Cortante kip | Momento kip-ft | Cortante kip | Momento kip-ft |
| 0.0 | 0.0 | 54.0 | 0.0 | 4.5 | 0.0 | 9.4 | 0.0 |
| 3.8 | 0.1 | 48.6 | 192.4 | 4.1 | 16.0 | 8.4 | 33.4 |
| 7.5 | 0.1 | 43.2 | 364.5 | 3.6 | 30.4 | 7.5 | 63.3 |
| 11.3 | 0.2 | 37.8 | 516.4 | 3.2 | 43.0 | 6.6 | 89.6 |
| 15.0 | 0.2 | 32.4 | 648.0 | 2.7 | 54.0 | 5.6 | 112.5 |
| 18.8 | 0.3 | 27.0 | 759.4 | 2.3 | 63.3 | 4.7 | 131.8 |
| 22.5 | 0.3 | 21.6 | 850.5 | 1.8 | 70.9 | 3.8 | 147.7 |
| 26.3 | 0.4 | 16.2 | 921.4 | 1.4 | 76.8 | 2.8 | 160.0 |
| 30.0 | 0.4 | 10.8 | 972.0 | 0.9 | 81.0 | 1.9 | 168.8 |
| 33.8 | 0.5 | 5.4 | 1002.4 | 0.5 | 83.5 | 0.9 | 174.0 |
| 37.5 | 0.5 | 0.0 | 1012.5 | 0.0 | 84.4 | 0.0 | 175.8 |
| 41.3 | 0.6 | -5.4 | 1002.4 | -0.5 | 83.5 | -0.9 | 174.0 |
| 45.0 | 0.6 | -10.8 | 972.0 | -0.9 | 81.0 | -1.9 | 168.8 |
| 48.8 | 0.7 | -16.2 | 921.4 | -1.4 | 76.8 | -2.8 | 160.0 |
| 52.5 | 0.7 | -21.6 | 850.5 | -1.8 | 70.9 | -3.8 | 147.7 |
| 56.3 | 0.8 | -27.0 | 759.4 | -2.3 | 63.3 | -4.7 | 131.8 |
| 60.0 | 0.8 | -32.4 | 648.0 | -2.7 | 54.0 | -5.6 | 112.5 |
| 63.8 | 0.9 | -37.8 | 516.4 | -3.2 | 43.0 | -6.6 | 89.6 |
| 67.5 | 0.9 | -43.2 | 364.5 | -3.6 | 30.4 | -7.5 | 63.3 |
| 71.3 | 1.0 | -48.6 | 192.4 | -4.1 | 16.0 | -8.4 | 33.4 |
| 75.0 | 1.0 | -54.0 | 0.0 | -4.5 | 0.0 | -9.4 | 0.0 |

*Incluye peso propio + peso losa

Factores de Distribución de Carga Viva

Se permite el uso de factores de distribución de carga viva si:

- 1) Ancho de losa es constante **OK**
- 2) Número de vigas ≥ 4 **OK**
- 3) Curvatura \leq especificada en 4.6.2.1.4 **OK**
- 4) Sección clasifica como alguna incluida en LRFD Spec. tabla 4.6.2.2.1-1 (tipo k) **OK**
- 5) $d_e \leq 3$ ft. (1.66 ft) **OK**
- 6) Vigas paralelas y con rigidez similar **OK**

Factores de Distribución de Carga Viva-Momento

Número de vías de diseño = parte entera del ancho libre dividido entre 12 ft. (ancho de vía)

$$43.5 \text{ ft.} / (12 \text{ ft./vía}) = 3 \text{ vías (carriles)}$$

43.5 ft. es el ancho libre del puente.

Para vigas interiores (Tabla 4.6.2.2.2b-1):

Dos carriles ó más :

$$DF_{M(\text{int})} = 0.075 + \left(\frac{S}{9.5}\right)^{0.6} \left(\frac{S}{L}\right)^{0.2} \left(\frac{K_g}{12Lt_s^3}\right)^{0.1}$$

Un carril :

$$DF_{M(\text{int})} = 0.06 + \left(\frac{S}{14}\right)^{0.4} \left(\frac{S}{L}\right)^{0.3} \left(\frac{K_g}{12Lt_s^3}\right)^{0.1}$$

Factores de Distribución de Carga Viva-Momento

Para usar estos factores:

- | | | |
|-------------------------------|-------------------------|-----------|
| 1) $3.5' \leq S \leq 16'$ | $S = 12 \text{ ft.}$ | OK |
| 2) $4.5'' \leq t_s \leq 12''$ | $t_s = 7.5 \text{ in.}$ | OK |
| 3) $20' \leq L \leq 240'$ | $L = 120 \text{ ft.}$ | OK |
| 4) $N_b \geq 4 \text{ vigas}$ | $N_b = 6 \text{ vigas}$ | OK |

Note: Los factores de distribución ya incluyen el factor de presencia múltiple o sea que no debe aplicarse si se utilizan éstas ecuaciones.

Factores de Distribución de Carga Viva- Momento

$$K_g = n \left(I + A e_g^2 \right)$$

$$n = \frac{E_c}{E_{cL}}$$

$$n = 4760/3600 = 1.32$$

$$e_g = 15.7 + 3.93/2 = 17.67 \text{ in.}$$

= distancia entre centroides de viga y losa

A = área de viga no compuesta

I = momento de inercia de viga no compuesta

Factores de Distribución de Carga Viva-Momento

$$K_g = n(I + Ae_g^2)$$

$$\begin{aligned} K_g &= (1.32)[176,900 + 975.9(17.67)^2] \\ &= 635,718 \text{ in}^4 \end{aligned}$$

Factores de Distribución de Carga Viva-Momento

Dos carriles

$$DF_{M(int)} = 0.075 + \left(\frac{S}{9.5}\right)^{0.6} \left(\frac{S}{L}\right)^{0.2} \left(\frac{K_g}{12Lt_s^3}\right)^{0.1}$$

$$S = 7.75 \text{ ft. (93 in.)}$$

$$L = 75 \text{ ft.}$$

$$K_g = 635,718 \text{ in}^4$$

$$t_s = 3.94 \text{ in.}$$

$$DF_{M(int)} = 0.79 \text{ carriles/viga}$$

Factores de Distribución de Carga Viva-Momento

Un carril

$$DF_{M(int)} = 0.06 + \left(\frac{S}{14}\right)^{0.4} \left(\frac{S}{L}\right)^{0.3} \left(\frac{K_g}{12Lt_s^3}\right)^{0.1}$$

$$S = 7.75 \text{ ft. (93 in.)}$$

$$L = 75 \text{ ft.}$$

$$K_g = 635,718 \text{ in}^4$$

$$t_s = 3.94 \text{ in.}$$

$$DF_{M(int)} = 0.57 \text{ carriles/viga}$$

$$DFM = 0.79 \text{ carriles/viga} - \mathbf{2 \text{ carriles controla}}$$

Factores de Distribución de Carga Viva-Cortante

Vigas interiores:

Dos carriles

$$DF_{V(\text{int})} = 0.2 + \left(\frac{S}{12}\right) - \left(\frac{S}{35}\right)^2$$

Un carril

$$DF_{V(\text{int})} = 0.36 + \left(\frac{S}{25}\right)$$

Factores de Distribución de Carga Viva-Cortante

Se permite el uso de factores aproximados si:

- 1) $3.5 \text{ ft} \leq S \leq 16 \text{ ft}$ $S = 7.75 \text{ ft.}$ **OK**
- 2) $4.5 \text{ in.} \leq t_s \leq 12 \text{ in.}$ $t_s = 3.93 \text{ in.}$ **OK**
- 3) $20 \text{ ft} \leq L \leq 240 \text{ ft}$ $L = 75 \text{ ft.}$ **OK**
- 4) $N_b \geq 4 \text{ vigas}$ $N_b = 6 \text{ vigas}$ **OK**
- 5) $10\,000 \leq K_g \leq 7\,000\,000$
 $K_g = 635,718$ **OK**

Factores de Distribución de Carga Viva-Cortante

Dos carriles

$$DFV = 0.2 + \left(\frac{S}{12}\right) - \left(\frac{S}{35}\right)^2$$

Un carril

$$DFV = 0.36 + \left(\frac{S}{25}\right)$$

$S = 7.75$ ft.

$DF_{V(int)} = 0.80$ carriles/viga 2 carriles **Controla**

$DF_{V(int)} = 0.67$ carriles/viga 1 carril