

# Curso Diseño de Puentes - AASHTO

Prof. Dr. Matías A. Valenzuela

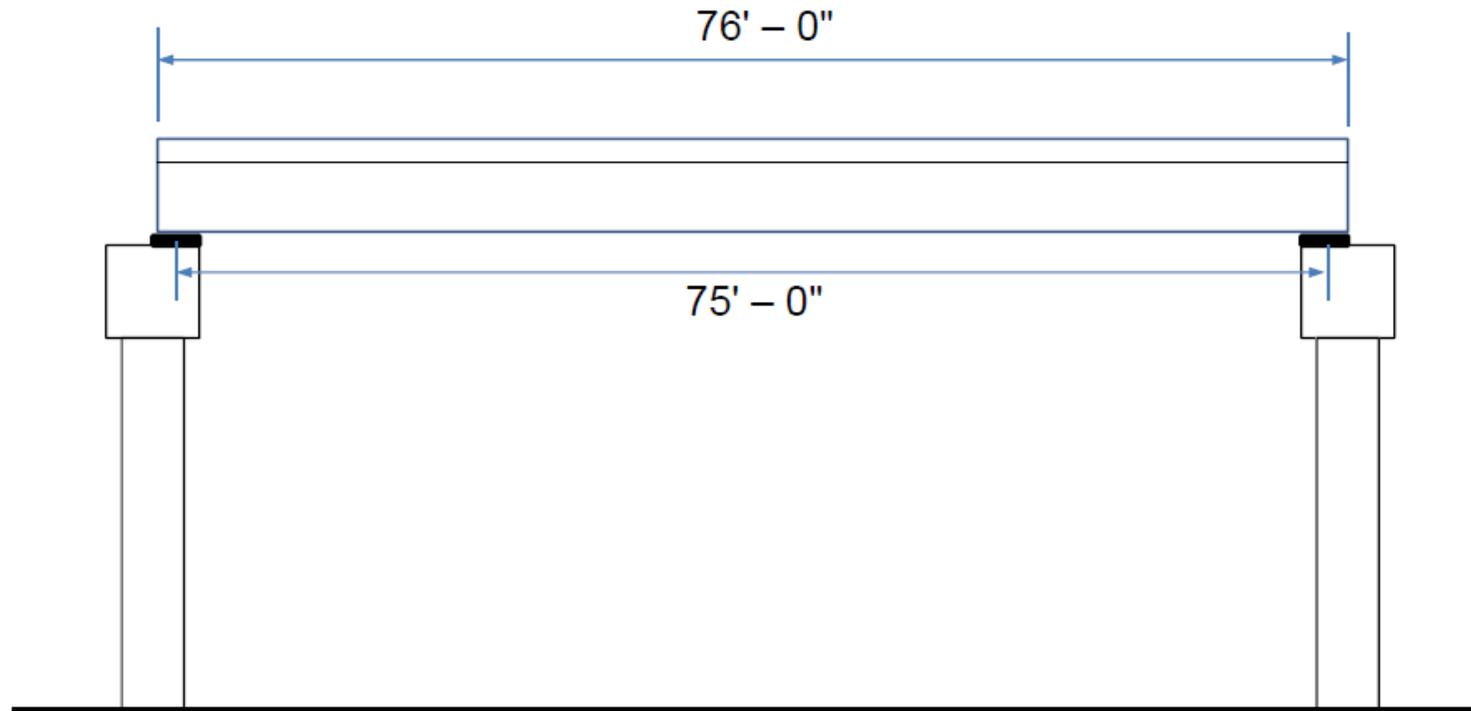
# Agradecimientos

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

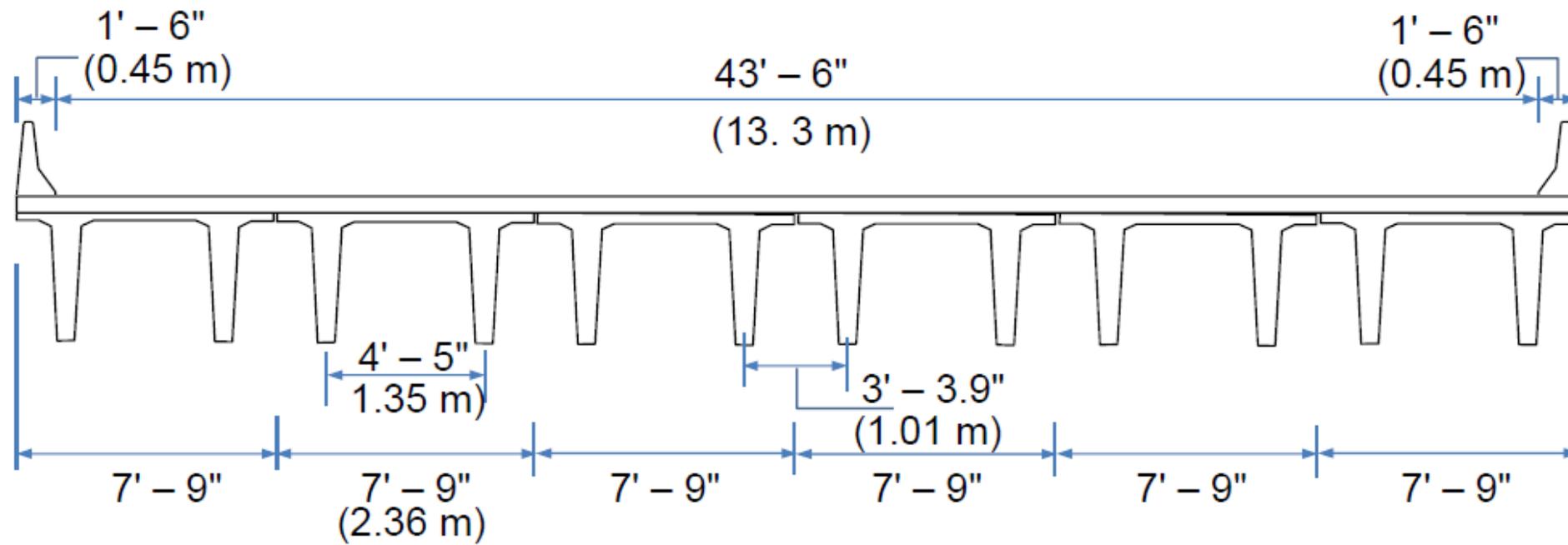
# Tópicos del Curso

- 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

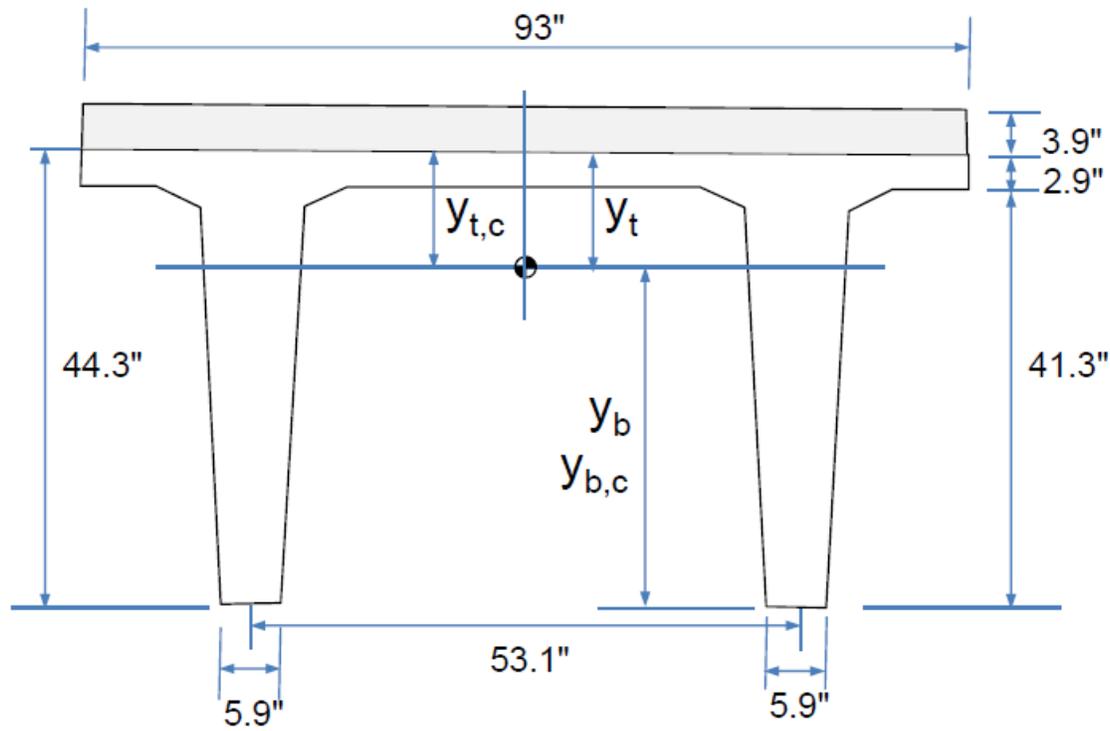
- Concreto:
  - $f'_c = 7.0$  ksi @ 28 días
  - $f'_{ci} = 5.0$  ksi @ transferencia de presfuerzo
  - $w_c = 150$  lb/ft<sup>3</sup>
- Acero de Presfuerzo:
  - GR 270 ( $f_{pu} = 270$  ksi;  $f_{py} = 243$  ksi)
  - 0.6" diámetro ( $A_p = 0.217$  in<sup>2</sup> / torón)
  - $E_p = 28,500$  ksi

# 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/ft<sup>3</sup>
- 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/ft<sup>3</sup>
  - $E_{cs} = 33000w^{1.5} (f'_c)^{0.5}$  (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 <sup>2</sup>	975.9	1,253.9
$I_z$	in <sup>4</sup>	176,900	245,043
$y_b$	in	28.60	32.5
$y_t$	in	15.7	11.8 (15.7)*
$S_b$	in <sup>3</sup>	6,184.8	7,539.8
$S_t$	in <sup>3</sup>	11,275.4	20,766.4 (15,607.8)*
w	lb/ft	1056.7	1,437.5

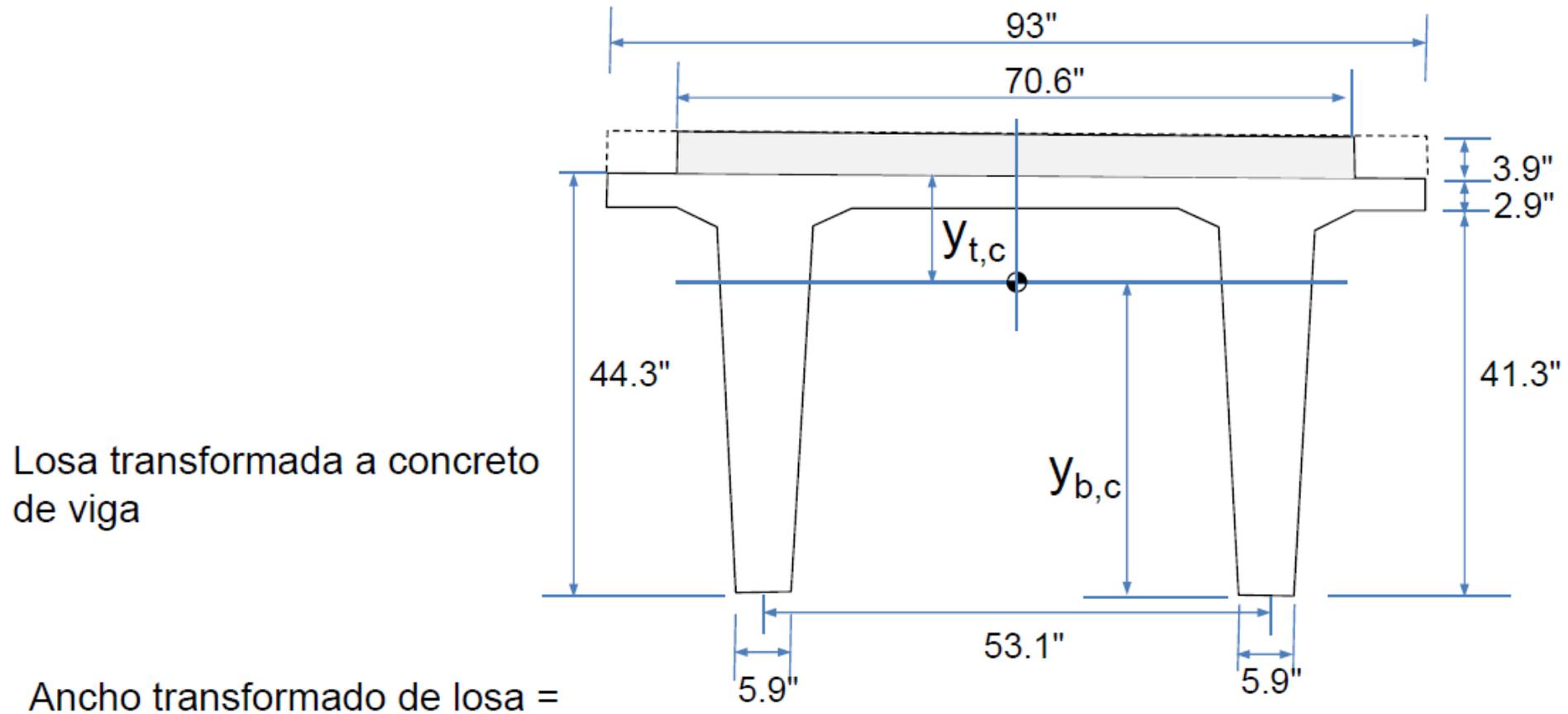
\*Cantidades en paréntesis representan valores en superficie de losa

## 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

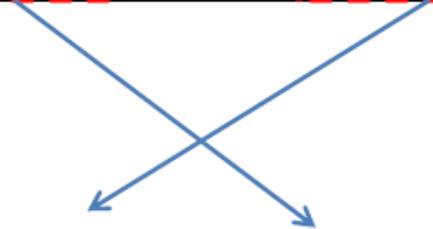


$$(\text{Ancho efectivo}) \cdot n = (93 \text{ in.})(0.756) = 70.6 \text{ in.}$$

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

## Cálculo de Propiedades de Sección Compuesta

	$A_{tr}$ in <sup>2</sup>	$y_b$ in.	$Ay_b$ in. <sup>3</sup>	$A(y_{bc}-y_b)^2$ in. <sup>4</sup>	$I_z$ in. <sup>4</sup>	$I+A(y_{bc}-y_b)^2$ in. <sup>4</sup>
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.

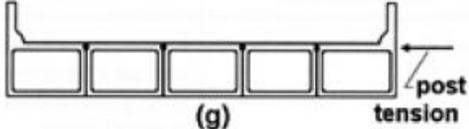
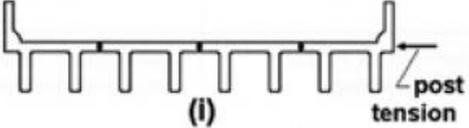
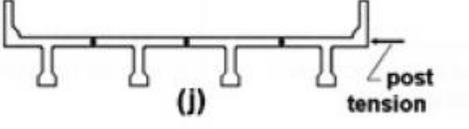
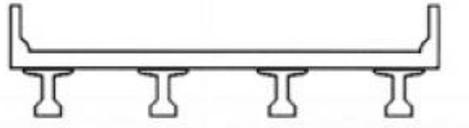
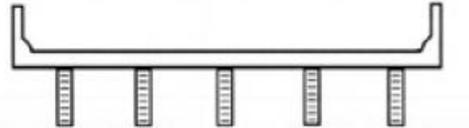
Peso de losa:

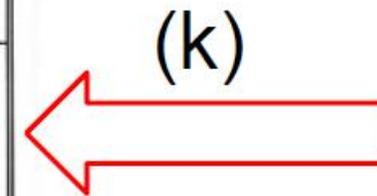
$$w_s = (3.94''/12''/ft)(7.75 \text{ ft.})(0.150 \text{ kip/ft}^3) = 0.381 \text{ kip/ft}$$

# 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  $\geq 4$  **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”

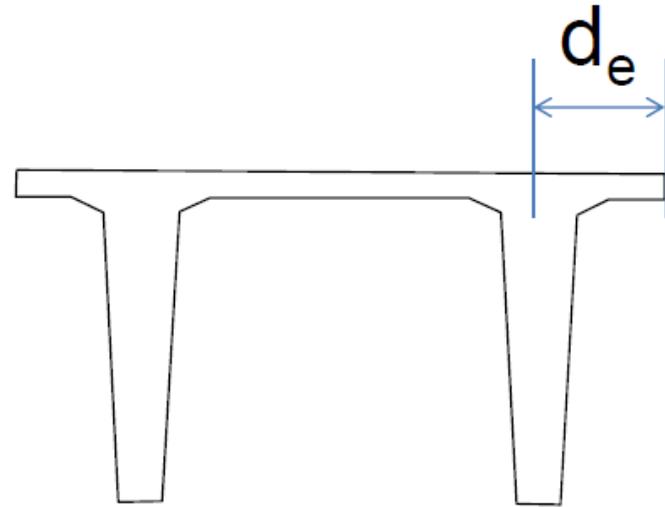
SUPPORTING COMPONENTS	TYPE OF DECK	TYPICAL CROSS-SECTION
Precast Solid, Voided or Cellular Concrete Box with Shear Keys and with or without Transverse Post-Tensioning	Integral concrete	 (g)
Precast Concrete Channel Sections with Shear Keys	Cast-in-place concrete overlay	 (h)
Precast Concrete Double Tee 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.

$d_e = 1.66$  ft **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/ft<sup>3</sup>

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

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

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