

### C. Superestructura: vigas preesforzadas.

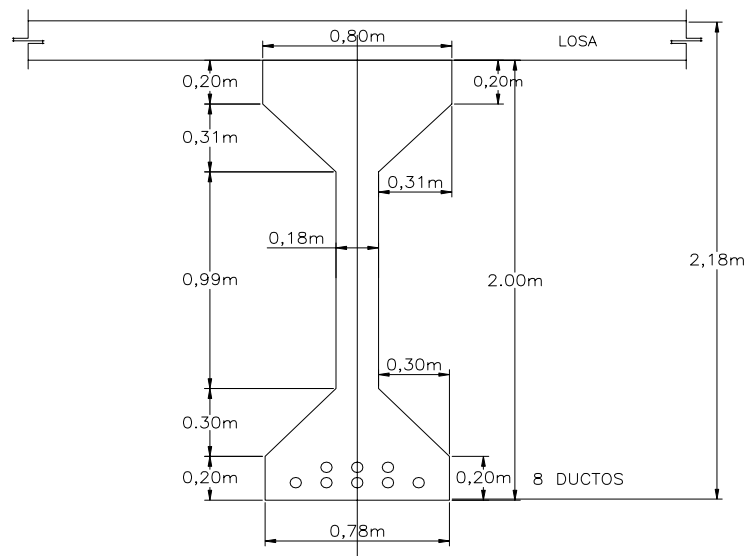
#### Datos:

Nombre: Puente Mixco II  
 Ubicación: CA-1 Occidente Estación 17+017  
 Año de construcción: julio 1,981  
 Carga viva: HS 20  
 Especificaciones de diseño: AASHTO 12a edición 1,977  
 Concreto clase A: 5,000 lb/in<sup>2</sup>  
 Acero de preesfuerzo: 270 ksi, cables de 12 torones de 1/2" de diámetro  
 Ancho de rodadura: 8.00 metros (2 vías)  
 No. de vigas: 3 espaciadas a cada 10.66 pies (3.25 m) a centros  
 Largo de viga: 40.00 m = 131.23 ft

#### Cargas (viga interior):

#### Muertas:

Figura 19: Sección típica viga interior puente Mixco II



Concreto estructural:

$$2,400 \text{ kg} / \text{m}^3 * [0,18 * 3,25 + 0,78 * 0,20 + 2 * 1/2 * 0,30 * 0,30 + 0,18 * 0,99 + 2 * 1/2 * 0,31 * 0,31 + 0,20 * 0,80] =$$

$$3,036.72 \text{ kg/m} = 2.04 \text{ k/ft}$$

Concreto estructural: 2.04 k/ft

Cubierta de asfalto: se asume 5 in  $0.144 \text{ k} / \text{ft}^3 * (0.16 \text{ ft} * 10.66 \text{ ft})$

Cubierta de asfalto: 0.24 k/ft

Figura 20: Sección típica viga interior puente Mixco II

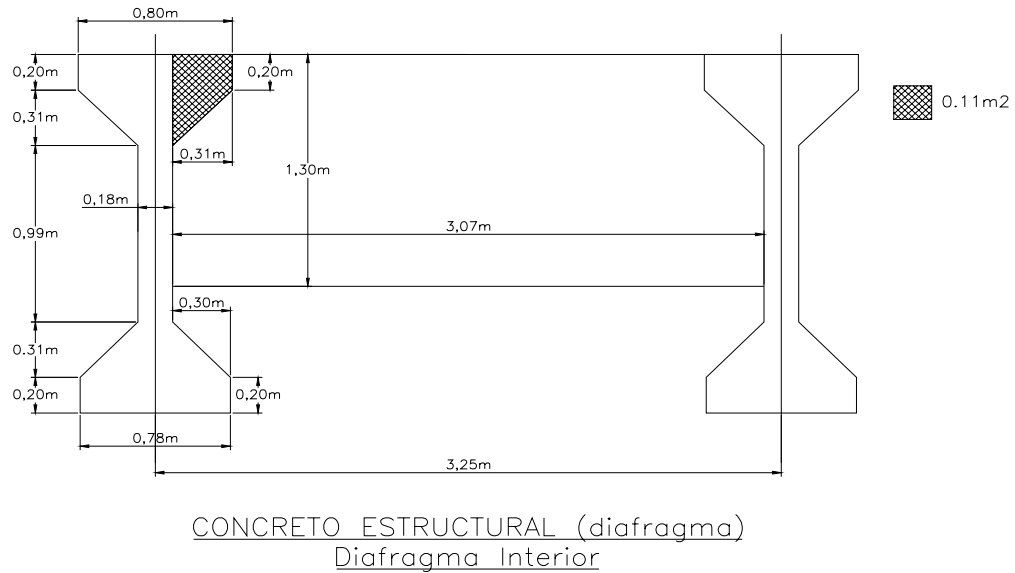
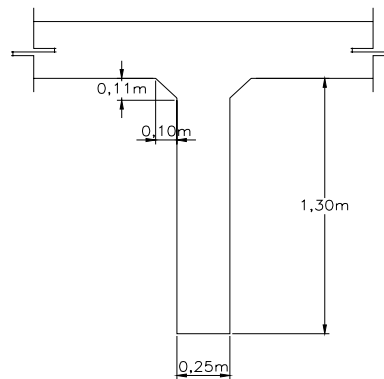


Figura 21 : Sección diafragma interior puente Mixco II



Diafragmas:

Interior:

$$\text{Área de diafragmas} = (3.07 \times 1.3 - 0.11 \times 2) = 7.54 \text{ m}^2$$

$$\text{Volumen de concreto} = 7.54 \times 0.25 = 1.885 \text{ m}^3$$

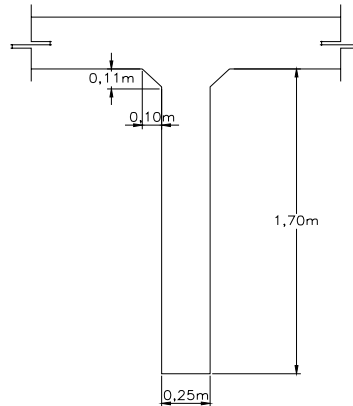
No. De diafragmas = 3

$$\text{Peso x m lineal} = 2,400 \times 1.885 = 4524 \text{ kg} = 9.97 \text{ k}$$

$$0.97/131.23 = 0.07 \text{ k/ft}$$

$$0.07 * 3 = 0.21 \text{ k/ft}$$

Figura 22 : Sección diafragma exterior puente Mixco II



Exterior:

$$\text{Área de diafragmas} = (3.07 * 1.7 - 0.11 * 2) = 10.00 \text{ m}^2$$

$$\text{Volumen de concreto} = 10.002 * 0.25 = 2.5 \text{ m}^3$$

No. De diafragmas = 2

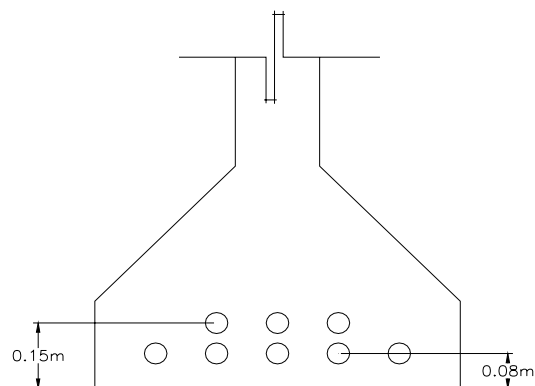
$$\begin{aligned} \text{Peso x m lineal} &= 2,400 * 2.5 = 6000 \text{ kg} = 13.2 \text{ k} \\ &= 13.2 / 131.23 = 0.10 \text{ k/ft} \\ &= 0.10 * 2 = 0.2 \text{ k/ft} \end{aligned}$$

$$W_{dl} = 2.69 \text{ k/ft}$$

**Viva:** Carga HS20 y T3S2R4

**Propiedades de la sección:**

Figura 23: Ubicación del acero en viga interior puente Mixco II



**Encontrado centro de gravedad del acero:**

$$\text{Área torón de } 1/2" = 0.99 \text{ cm}^2$$

12 torones por ducto

$$3 \text{ ductos: Area} = 35.64 \text{ cm}^2$$

$$5 \text{ ductos: Area} = 59.40 \text{ cm}^2$$

$$\bar{y} = \frac{35.64 * 0.15 + 59.4 * 0.08}{35.64 + 59.40} = 0.106 \text{ cm}$$

$$\bar{y} = 0.106 \text{ cm}$$

$$d = 2.18 - 0.106 = 2.074 \text{ m} = 81.65 \text{ in}$$

**Ancho efectivo de losa (Para viga T)** AASHTO 8.10.1.1

$$1/4 * L = \frac{131.23 \text{ ft} * 12 \text{ in} - \text{ft}}{4} = 393.69 \text{ in}$$

$$\text{CC SPCG} = 10.66 \text{ ft} = 127.92 \text{ in} \quad (\text{Espaciamiento entre vigas})$$

$$12t_s = 12 * 0.18 \text{ m} = 2.16 \text{ m} = 85.08 \text{ in}$$

Controla 85.08 in

**Momentos al centro de la viga:**

$$M_d = \frac{W_{dl} L^2}{8} = 5,790.67 \text{ k-ft}$$

Para la carga HS-20 en Apendice A2, usando la tabla con L = 131.23 ft , e interpolando  
 $M_L = 1,042.56 \text{ k-ft}$

Note que los momentos dados son para una línea de ruedas. Los valores dados en la AASHTO son para el eje entero y son dos veces el valor dado.

Para la carga T3S2R4 se utiliza el momento encontrado para el ejemplo resuelto del puente Villalobos, debido a que las longitudes son similares entre este puente y el Villalobos, siendo

$$M_L = 16,291.66 \text{ k-ft}$$

**Rango de esfuerzo permitido ( Ver capítulo III.D.1, III.E.2 y III.F.2, de este trabajo )**

Según el capítulo III.F.2.e, de este trabajo indica que para el método de rango de esfuerzo permitido de elementos de concreto preesforzado se utilizan los mismos criterios del método de rango de factor de carga.

**Rango de factor de carga . (Ver capítulo III. D.2, III.E.3 y III. F.3, de este trabajo)**

(Para este ejemplo se considera solamente la sección con el máximo momento)  
**Impacto - Ver capítulo III.G.4, use las especificaciones estándar de la AASHTO**

AASHTO 3.8.2.1

$$I = \frac{50}{L + 125}$$

$$I = \frac{50}{13123+125} = 0.20, \text{ Use } 0.20$$

**Distribución - Ver capítulo III.G.3, de este trabajo, indica que las provisiones estándar de la AASHTO pueden ser usadas.**

AASHTO 3.23.2.2 y Tabla 3.23.1

$$DF = \frac{S_G}{6.0} \quad (S_G \text{ espaciamento a centro entre vigas principales})$$

$$DF = \frac{10.66}{6.0} = 1.78$$

Entonces:

Para carga HS20:

$$M_{L+I} = M_L (1 + I)(DF) = 2,226.91 \text{ ft-k}$$

Para carga T3S2R4:

$$M_{L+I} = M_L (1 + I)(DF) = 34,798.99 \text{ ft-k}$$

### Capacidad de la sección.

Mu es encontrado en concordancia con los requerimientos aplicables de resistencia de la AASHTO, artículo 9.17.3, el cual indica que para secciones que poseen solamente acero de preesfuerzo, en donde la profundidad del bloque de esfuerzos equivalentes, definido como  $(A_{sr} f_{su}) / (0.85 f'_c b')$  es más grande que el espesor "t" del patín en compresión, y que satisfaga la ecuación 9-21 de la AASHTO, la resistencia a la flexión puede ser asumida como:

$$\phi M_N = \phi \left\{ A_{sr} f_{su}^* d \left[ 1 - 0.6 \left( \frac{A_{sr} f_{su}^*}{b' d f'_c} \right) \right] \right\} + 0.85 f'_c (b - b') t (d - 0.5t)$$

donde:

$$A_{sr} = A_s^* - A_{sf}$$

$$A_s^* = \text{área del acero de preesfuerzo}$$

$$A_{sf} = 0.85 f'_c (b - b') t / f_{su}^*$$

donde:

b= ancho del patín

b'= ancho del alma

t = ancho promedio del patín

$$f_{su}^* = f'_s \left[ 1 - \left( \gamma^* / \beta_1 \right) \left( \rho^* f'_s / f'_c \right) \right]$$

donde:

$$\begin{aligned} \gamma^* &= \text{factor de tipo de acero de preesfuerzo, 0.28 para acero de relajamiento} \\ \beta_1 &= \text{factor para resistencia de concreto, definido en Artículo 8.16.2.7 de la AASHTO, el cual indica que para resistencias arriba de 4,000 psi, } \beta \text{ puede reducirse continuamente en una razón de 0.05 para cada 1,000 psi de exceso arriba de los 4,000 psi, pero no puede ser menor que 0.65. El factor } \beta \text{ puede ser tomado como 0.85 para resistencias de concreto, } f'_c, \text{ hasta e incluyendo 4,000 psi.} \\ f'_s &= \text{último esfuerzo del acero de preesfuerzo} \\ \rho^* &= \frac{A_s^*}{bd}, \text{ razón del acero de preesfuerzo, en este caso: } 14.73 / (31.50 * 81.65) = 0.00572 \end{aligned}$$

Además se chequea la ecuación 9-21 de la AASHTO, la cual indica:

$$A_{sr} f_{su}^* (b' d f'_c) \text{ no debe exceder } 0.36 \beta_1 \quad (\text{para secciones con patín})$$

Entonces:

$$\frac{A_{sr} f_{su}^*}{0.85 f'_c b'} > t$$

$$A_s^* = 95.04 \text{ cm}^2 = 14.73 \text{ in}^2$$

$$b = 2.16 \text{ m} = 85.08 \text{ in}$$

$$b' = 0.18 \text{ m} = 7.09 \text{ in}$$

$$t = 0.18 \text{ m} = 7.09 \text{ in}$$

$$f'_c = 5,000 \text{ psi}$$

$$f'_s = 270,000 \text{ psi}$$

$$\gamma^* = 0.28$$

$$\beta_1 = 0.8$$

$$\rho^* = 0.00572$$

$$A_{sr} = 4.97$$

$$\frac{A_{sr} f_{su}^*}{0.85 f'_c b'} > t \quad 39.72 > 7.09 \quad \Rightarrow \text{O.K.}$$

$$A_{sr} f_{su}^* (b' d f'_c) \text{ no debe exceder } 0.36 \beta_1$$

$$0.41 \leq 0.29 \quad \Rightarrow \text{NO O.K.}$$

Debido a que no se cumplió la condición anterior el Artículo 9.18.1 de la AASHTO indica que para miembros con secciones con patín con índices mayores que 0.36  $\beta_1$  la resistencia a flexión puede ser asumida como un valor no más grande que:

$$\phi : \text{AASHTO 8.161.2.2 igual a 0.90}$$

$\psi$

$$\phi M_n = \phi \left[ (0.36 \beta_1 - 0.08 \beta_1^2) f'_c b' d^2 + 0.85 f'_c (b - b') t (d - 0.5t) \right]$$

$$\phi M_n = M_u = 2.1556 \text{E}+08 \text{ lb-in} = 17,963.52 \text{ k-ft}$$

$$M_u = 17,963.52 \text{ ft-k}$$

**Nivel de inventario: Ver capítulo III. E.1 y III. F.3, de este trabajo.**

$$R_I^{LF} = \frac{M_U - A_1 M_D}{A_2 M_{L+I}} \quad \text{Ecuación 1-E, ver capítulo III, de este trabajo.}$$

en concordancia con el capítulo III. E.3, de este trabajo.

$$A_1 = 1.3$$

$$A_2 = 2.17$$

Para carga HS20:

$$R_I^{LF} = \frac{17,963.52 - 1.3 * 5,790.67}{2.17 * 2,226.91} = 2.16$$

Para carga T3S2R4:

$$R_I^{LF} = \frac{17,963.52 - 1.3 * 5,790.67}{2.17 * 34,798.99} = 0.14$$

**Nivel de operación: Ver capítulo III. E.1 y III. F.3, de este trabajo.**

$$R_O^{LF} = \frac{M_U - A_1 M_D}{A_2 M_{L+I}} \quad \text{Ecuación 1-E, ver capítulo III, de este trabajo.}$$

en concordancia con el capítulo III. E.3, de este trabajo.

$$V_D = 1.3$$

$$V_L = 1.3$$

Para carga HS20:

$$R_I^{LF} = \frac{17,963.52 - 1.3 * 5,790.67}{1.3 * 2,226.91} = 3.60$$

Para carga T3S2R4:

$$R_I^{LF} = \frac{17,963.52 - 1.3 * 5,790.67}{1.3 * 34,798.99} = 0.23$$

**Capacidad basada sobre factor de carga**

Para carga HS20

Inventario:  $2.16 \times 36^T$       77.76  $^T$  HS  
 Operación:  $3.60 \times 36^T$       129.60  $^T$  HS  
 Para carga T3-S2-R4:

Inventario:  $0.14 \times 66.5^T$       9.31  $^T$  T3-S2-R4  
 Operación:  $0.23 \times 66.5^T$       15.30  $^T$  T3-S2-R4

**Rango de Factor de carga y resistencia. (Ver capítulo III. D.3, III.E.4 y III. F.4 de este trabajo)**

(Para este ejemplo se considera solamente la sección con el máximo momento)

**Impacto - Ver capítulo III.G.4, de este trabajo, usar las condiciones de la superficie de rodadura.**

$I =$                               0.20                              (superficie áspera y con abultamientos)

**Distribución- Ver capítulo III.G.3, de este trabajo, indica que las provisiones estándar de la AASHTO pueden ser usadas, con una corrección de 1.0 ( Ver Tabla 12 de este trabajo)**

AASHTO 3.23.2.2 y Tabla 3.23.1

$$DF = \frac{S_G}{6.0} \quad \text{Para viga T de concreto}$$

$$DF = \frac{10.66}{6.0} = 1.78$$

**Carga viva. Ver capítulo III.G.2, de este trabajo, se usara la carga HS20 por ser consistente con los otros métodos de rango. Normalmente se usarían los vehículos de rango (Ver Figura 6 de este trabajo) o las cargas de carril (Ver Figura 7 de este trabajo).**

Entonces:

Para carga HS20:

$M_L =$                               1,042.56 ft-k  
 $I =$                                       0.20  
 $DF =$                                     1.78

$$M_{L+I} = M_L(1+I)(DF) = 2,226.91 \text{ ft-k}$$

Para carga T3S2R4:

$M_L =$                               16,291.66 ft-k  
 $I =$                                       0.20  
 $DF =$                                     1.78

$$M_{L+I} = M_L(1+I)(DF) = 34,798.99 \text{ ft-k}$$

**Capacidad de la sección. Ver capítulo III. F.4.a, de este trabajo.**

$$M_R = M_N = \frac{M_U}{\phi} \quad \text{Encontrado en concordancia con AASHTO Artículo 8.16}$$

donde:

$$M_R = 19,959.47 \text{ ft-k} \quad (\text{Ver método de Rango de Carga})$$

### Nivel de rango

$$RF^{LRF} = \frac{\phi M_R - \gamma_D M_D}{\gamma_L M_{L+1}} \quad \text{Ecuación 2-E, ver capítulo III, de este trabajo.}$$

donde:

$\phi =$	0.85	Ver capítulo III.E.4., Tabla 2(b), de este trabajo. Viga de concreto, redundante, inspección estimada, mantenimiento intermitente y condición aceptable.
$\gamma_D =$	1.2	Ver capítulo III.E.4.d, de este trabajo, se estima una cubierta de asfalto.
$\gamma_L =$	1.8	Ver capítulo III.E.4.d, de este trabajo, ADDTT<1000 y poco esfuerzo
$M_D =$	5,790.67	ft-k
$M_{L+1} =$	2,226.91	ft-k para carga HS20
$M_{L+1} =$	34,798.99	ft-k para carga T3-S2-R4

Para carga HS20:

$$RF^{LRF} = 2.50$$

Para carga T3-S2-R4:

$$RF^{LRF} = 0.16$$

### Capacidad basada sobre factor de carga y resistencia

Para carga HS20:

$$2.50 \times 36^T \quad 89.96^T \text{ HS}$$

Para carga T3-S2-R4:

$$0.16 \times 66.5^T \quad 10.63^T \text{ T3-S2-R4}$$

### RESUMEN DE RESULTADOS

Método	RF para carga HS20	Máxima carga vehículo HS20	RF para carga T3-S2-R4	Máxima carga vehículo T3-S2-R4
Factor de carga				
Inventario	2.16	77.76	0.14	9.31
Operación	3.60	129.60	0.23	15.30

Factor de carga y resistencia	2.50	89.96	0.16	10.63
-------------------------------	------	-------	------	-------