

B. Superestructura: losa y vigas de concreto reforzado

Datos:

Nombre: Puente El Obispo
 Ubicación: CA-2 Km 82+900
 Año de construcción: Abril 1,959
 Carga viva: H 15-S12-44 (denominada HS 15-44, AASHTO Artículo 3.7.3)
 Especificaciones de diseño: AASHTO 1,953
 Concreto clase A: 3,000 lb/in²
 Recubrimiento: losas 3 cm, vigas 5 cm
 Acero: 1,266 kg/cm² (18,000 lb/in²)
 Ancho de rodadura: 7.90 metros (2 vías)
 No. de vigas: 4 espaciadas a cada 8.00 pies (2.44 m) a centros
 Largo de viga: 12,86 r 42.19 ft

Cargas (viga interior):

Muertas:

Figura 13: Viga interior puente El Obispo

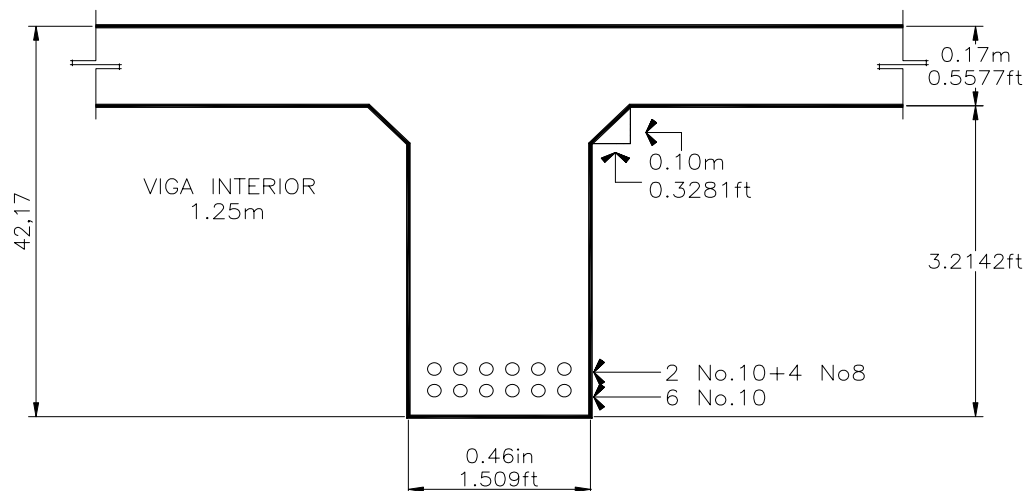


Figura 14: Elevación puente El Obispo



conversiones: 0.17 m = 6.69 in = 0.5777 ft, 1.25 m = 49.21 in = 4.10 ft, 0.46 m = 1.509 ft, 0.10 m = 0.3281 f

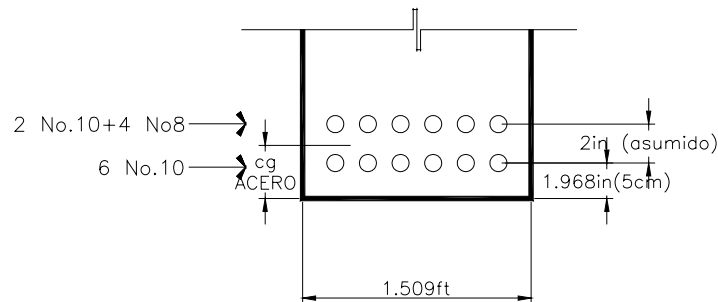
$$\text{Concreto estructural: } 0.15k / ft^3 * \left[\left(\frac{6.69in}{12 pu lg/ ft} \right) * 8ft + (1.509ft * 3.21ft) + 2 * (1/2 * 0.33ft * .33ft) \right]$$

Concreto estructural:	1.41 k/ft
Cubierta de asfalto:	se asume 5 in $0.144k / ft^3 * \left(\frac{5in}{12in / ft} * 8ft \right)$
Cubierta de asfalto:	0.48 k/ft
W_{dl} :	$1.41 + 0.48 = 1.89$ k/ft

Viva: Carga HS20

Propiedades de la sección:

Figura 15: Ubicación del acero en viga interior puente El Obispo



conversiones: 0.05 m = 1.969 in, 0.06691 m = 2.6345 in, radio varilla No. 10 = 0.625 in

Encontrado centro de gravedad del acero:

$$A_s = 8 * A_{No.10} + 4 * A_{No.8}$$

$$A_s = 8 * 1.27 + 4 * 0.79 = 13.32 \text{ in}^2$$

$$y = \frac{(2 * 1.27 + 4 * .79) * 4.60 + 6 * 1.27 * 2.59}{8 * 1.27 + 4 * 0.79}$$

$$y = 3.45 \text{ in}$$

$$d = 49.21 \text{ in} - 3.46 \text{ in} = 45.76 \text{ in}$$

Ancho efectivo de losa (Para viga T) AASHTO 8.10.1.1

$$1/4 * L = \frac{42.19 \text{ ft} * 12 \text{ in} - \text{ft}}{4} = 126.57 \text{ in}$$

CC SPCG = 8 ft = 96 in (Distancia centro a centro entre vigas)

$$12t_s = 12 * 6.69 \text{ in} = 80.28 \text{ in}$$

Controla 80.28 in

$$\rho_{act} = \frac{A_s}{b_{efec} * d} = 0.0036$$

(si la compresión entra dentro del patín)

Momentos al centro de la viga:

$$M_d = \frac{W_{dl} L^2}{8} = 420.95 \text{ k-ft}$$

Para la carga HS-20 en Apéndice A2 de este trabajo, usando la tabla con L = 42 ft ,

$$M_L = 242.70 \text{ ft-k}$$

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.

Rango de esfuerzo permitido (Ver capítulo III.D.1, III.E.2 y III.F.2, 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 especificaciones estándar de la AASHTO

AASHTO 3.8.2.1

$$I = \frac{50}{L+125} \leq 0.30$$

$$I = \frac{50}{42+125} = 0.299 \quad \text{Usar} \quad 0.30$$

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

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

$$DF = \frac{8'}{6.0} = 1.33$$

Entonces:

$$M_{L+I} = M_L (1 + I)(DF) = 419.63 \text{ ft-k}$$

Nivel de inventario - Ver capítulo III.E.2 y III.F.2.d, de este trabajo. El esfuerzo unitario de inventario es determinado en concordancia con el método de diseño de carga de servicio de la AASHTO, Artículo 8.15 o tomado del capítulo III. F.2.d, de este trabajo.

Entonces el esfuerzo permitido de inventario, AASHTO 8.15.2.1.1.

$$f_c' = 0.4f_c = 1,200 \text{ psi} = 1.2 \text{ ksi}$$

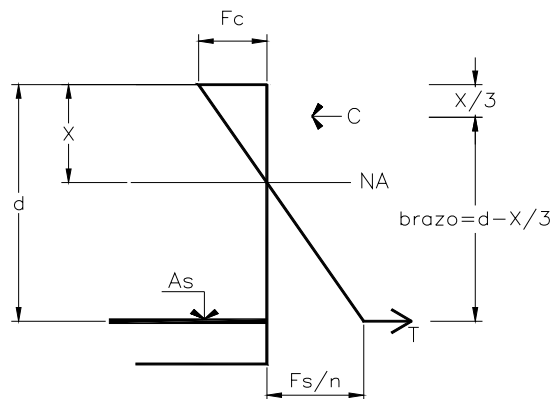
Para el acero de refuerzo, Ver capítulo III.F.2.c, de este trabajo, controla:

$$f_s' = 20,000 \text{ psi} = 20 \text{ ksi (Acero desconocido después de 1,954)}$$

En el plano se consigna f_s entonces $f_s' = 18,000 \text{ psi} = 18 \text{ ksi}$

Capacidad de la sección

Figura 16: Diagrama de fuerzas y esfuerzos puente río El Obispo



Desde que la localización de el eje neutro (NA) y el correspondiente esfuerzo en el acero y concreto no son conocidos se determinará con los principios de equilibrio de la sección transversal.

(1) De los esfuerzos de la sección transversal:

$$\frac{f_c}{x} = \frac{f_s/n}{d-x} \rightarrow f_c = \frac{f_s}{n} \left(\frac{x}{d-x} \right)$$

(2) Asumiendo que el esfuerzo permitido del acero controla la capacidad de la sección. Se chequeará más tarde, entonces:

$$T = A_s f_s = 239.76 \text{ k}$$

y

$$C = 1/2 f_c b x \text{ pero } C=T \text{ entonces } 1/2 f_c b x = A_s f_s \text{ entonces}$$

$$x = \frac{A_s f_s}{1/2 f_c b}$$

Resolviendo ecuación 1 y ecuación 2 para encontrar la localización del eje neutro. Con $f_s = 18 \text{ ksi}$, $n = 10$, $A_s = 13.32 \text{ in}^2$ y $b = 80.28 \text{ in}$, tenemos que $x = 10.78 \text{ in}$

(3) Encontrando la capacidad

Figura 17: Diagrama de fuerzas y esfuerzos puente río El Obispo

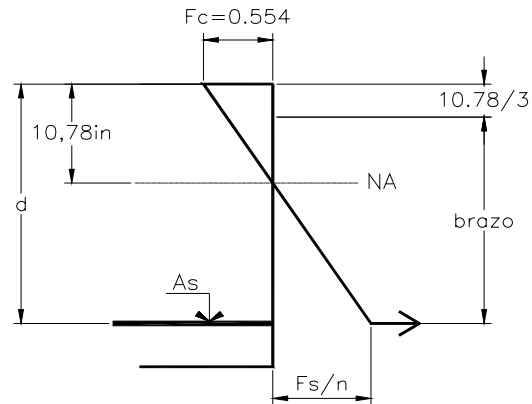
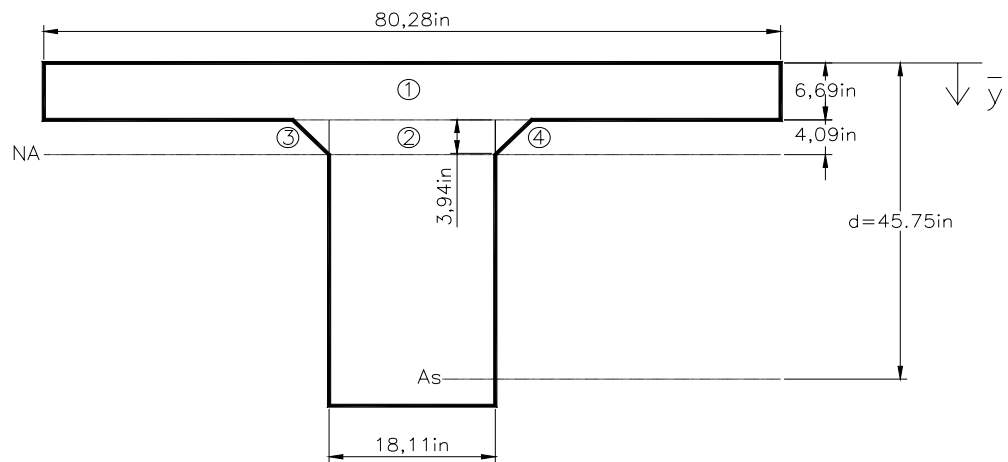


Figura 18: Centro de gravedad del concreto puente El Obispo



$$A1 = 537.07 \text{ in}^2 \qquad A3 = 7.76 \text{ in}^2$$

$$A2 = 74.07 \text{ in}^2 \qquad A3 = 7.76 \text{ in}^2$$

$$\bar{y} = \frac{53707 * 6.69 / 2 + 7407 * (6.69 + 4.09 / 2) + 7.76 * (6.69 + 1/3 * 3.94) + 7.76 * (6.69 + 1/3 * 3.94)}{53707 + 7407 + 7.76 * 2} =$$

$$\bar{y} = 4.10 \text{ in}$$

$$\text{brazo} = d - \bar{y} = 41.66 \text{ in}$$

$$M = A_s f_s (\text{brazo}) = 9,988.98 \text{ in-k} = 832.41 \text{ ft-k}$$

$$M_{RI} = 832.41 \text{ ft-k}$$

$$RF_I^A = \frac{M_{RI} - M_D}{M_{L+I}} = 0.98 \quad \text{Ecuación 1-E, ver capítulo III de este trabajo.}$$

Nivel de operación: Ver capítulo III. E.2 y III. F.2.d, de este trabajo.

Los esfuerzos de operación permitidos, según capítulo III.F.2.d, de este trabajo para $f_c = 3,000 \text{ psi}$:

$$f_c^o = 1,900 \text{ psi} = 1.9 \text{ ksi}$$

Para el acero de refuerzo, Ver capítulo III. F.2.c, de este trabajo, controla:

$$f_s^o = 25,000 \text{ psi} = 25 \text{ ksi}$$

Las relaciones básicas definidas previamente aplican:

Desde que "n" no cambia

Entonces:

$$M = A_s f_s (\text{brazo}) = 13,873.58 \text{ in-k} = 1,156.13 \text{ ft-k}$$

y chequeando el esfuerzo del concreto para asegurar que no controla:

$$f_c = \frac{f_s}{n} \left(\frac{x}{d - x} \right) = 0.77 \text{ psi} < 1.9 \text{ ksi permitido}$$

Entonces, la capacidad es controlada por el esfuerzo permitido del acero.

$$M_{RO} = 1,156.13 \text{ ft-k}$$

$$RF_O^A = \frac{M_{RO} - M_D}{M_{L+I}} = 1.75$$

Capacidad basada sobre esfuerzos permisibles, Carga HS-20

Inventario:	0.98×36^T	35.30^T HS
Operación:	1.75×36^T	63.00^T HS

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, de este trabajo, usar las especificaciones estándar de la AASHTO

AASHTO 3.8.2.1

$$I = \frac{50}{L + 125} \leq 0.30$$

$$I = \frac{50}{\dots} \leq 0.30$$

$$I = \frac{50}{42+125} = 0.299 \quad , \text{ Use } \quad 0.30$$

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

AASHTO 3.23.2.2 y Tabla 3.23.1

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

$$DF = \frac{8'}{6.0} = 1.33$$

Entonces:

$$M_{L+I} = M_L(1+I)(DF) = 419.63 \text{ ft-k}$$

Capacidad de la sección. Ver capítulo III. F.3.b, de este trabajo.

Para el acero después de 1,954 se consigna un f_y de 40,000 psi, pero como el acero de refuerzo se indica en los planos como f_y de 18,000 psi se concluye que f_y es de 33,000 psi = 33 ksi

Mu es encontrado en concordancia con los requerimientos aplicables de resistencia de la AASHTO, artículo 8.16.

Considerando una sección rectangular con la compresión limitada por la parte superior de la losa. Entonces chequee el capítulo III. F.3.b, de este trabajo. el requerimiento para el 75% de la condición balanceada.

$$\rho_{\max} = 0.75\rho_{bal} = 0.75 \frac{0.85\beta_1 f'_c}{f_y} \frac{87000}{87000 + f_y} =$$

$$\rho_{\max} = 0.75 \frac{0.85 * 0.85 * 3000}{33000} \frac{87000}{87000 + 33000} = 0.03571$$

$$\rho_{act} = 0.003627 < \rho_{\max} = 0.03571 \rightarrow OK$$

Entonces:

$$a = \frac{A_s f_y}{0.85 f'_c b_{efec}} \quad \text{Ecuación AASHTO 8-17}$$

con	$A_s =$	13.32 in ²
	$f_y =$	33 ksi
	$f'_c =$	3 ksi
	$b_{efec} =$	80.28 in

$$a = 2.15 \text{ in} < 6.69 \text{ in} \quad \text{OK dentro de la losa}$$

$$M_R = A_s f_y (d - a/2) \quad \text{Ecuación AASHTO 8-16}$$

$$M_R = 19,641.68 \text{ in-k} = 1,636.81 \text{ ft-k}$$

$$M_U = \phi M_R \quad \phi : \text{AASHTO 8.161.2.2 igual a 0.90}$$

$$M_U = 0.90 * 1,636.81 = 1,473.13 \text{ ft-k}$$

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

$$R_I^{LF} = \frac{M_U - A_1 M_D}{A_2 M_{L+I}} \quad \text{Ecuación Tesis 1-E}$$

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

$$\begin{aligned} A_1 &= 1.3 \\ A_2 &= 2.17 \end{aligned}$$

$$R_I^{LF} = \frac{1,473.13 - 1.3 * 420.95}{2.17 * 419.63} = 1.02$$

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.

$$\begin{aligned} Y_D &= 1.3 \\ Y_L &= 1.3 \end{aligned}$$

$$R_I^{LF} = \frac{1,473.13 - 1.3 * 420.95}{1.3 * 419.63} = 1.70$$

Capacidad basada sobre factor de carga HS-20

Inventario:	1.02×36^T	36.72^T HS
Operación:	1.70×36^T	61.20^T HS

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

$$I = 0.20 \quad (\text{superficie áspera y con abultamientos})$$

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

AASHTO 3.23.2.2 y Tabla 3.23.1

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

$$DF = \frac{8'}{6.0} = 1.33$$

Carga viva. Ver capítulo III.G.2, de este trabajo, usar 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:

$$ML = 242.7 \text{ ft-k}$$

$$I = 0.20$$

$$DF = 1.33$$

$$M_{L+I} = M_L(1 + I)(DF) = 387.35 \text{ ft-k}$$

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:

$$M_R = 1,636.81 \text{ ft-k} \quad (\text{Ver método de rango de carga})$$

Nivel de Rango

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

donde:

$$\phi = 0.85 \quad \text{Ver capítulo III.E.4., de este trabajo, Tabla 2(b). Viga de concreto, redundante, inspección estimada mantenimiento intermitente y condición aceptable.}$$

$$\gamma_D = 1.2 \quad \text{Ver capítulo III.E.4.d, de este trabajo, se estima una cubierta de asfalto.}$$

$$\gamma_L = 1.8 \quad \text{Ver capítulo III.E.4.d, de este trabajo, ADDTT < 1000 y poco esfuerzo}$$

$$M_D = 420.95 \text{ ft-k}$$

$$M_{L+I} = 387.35 \text{ ft-k}$$

$$RF^{LRF} = 1.27$$

Capacidad basada sobre factor de carga y resistencia, HS-20

$$1.27 \times 36^T \quad 45.75^T \text{ HS}$$

RESUMEN DE RESULTADOS

Método	RF	Máxima carga vehículo HS
Esfuerzo permitido		
Inventario	0.98	35.30
Operación	1.75	63.00

Factor de carga		
Inventario	1.02	36.72
Operación	1.7	61.20
Factor de carga y resistencia	1.27	45.75