

D. Ejemplo viga acero WF

Datos:

Nombre: Puente El Zarco
 Ubicación: Km 56+353.80, tramo Popoya-Coatepeque
 Año de construcción: Enero 1,953
 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
 Tipo de viga: 24 WF 100
 Acero: 1,266 kg/cm² (18,000 lb/in²)
 Ancho de rodadura: 7.82 metros (2 vías)
 No. de vigas: 5 espaciadas a cada 6.003 pies (2.44 m) a centros
 Largo de viga: 12.60 41.34 ft
 Diafragmas: L3 x 3 x 5/16" (peso: 6.1 lb/ft)

Se determinará el rango para una viga interior

Propiedades de la sección

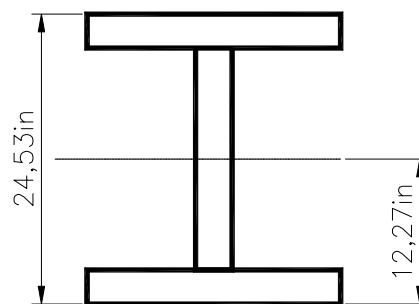
En la construcción sin soporte, las vigas de acero deben soportar su propio peso más el peso de la losa de concreto. Para las secciones compuestas, el concreto es transformado en un área equivalente de acero por la división de el área de la losa por un radio modular. Los esfuerzos de carga viva más el impacto son soportados por una sección compuesta usando un radio modular de "n". Para considerar el efecto del agrietamiento, esfuerzos de cargas muertas sobrepuestas, estas son soportadas por una sección compuesta usando un radio modular de "3n". (AASHTO 10.38.1). Las propiedades de la sección como fue construida se usaran en este analisis. Se aplicara las propiedades de una sección 24 WF 103 la cual se asemeja a la sección 24 WF 100.

No Compuesta:

24 WF 100

$t_f =$	0.98 in	$t_w =$	0.55 in
$b_f =$	9.00 in	$d =$	24.53 in
$A =$	30.30 in ²	$I_x =$	3,000.00 in ⁴

Figura 24: Sección típica viga interior puente El Zarco



$$\bar{y} = 12.265 \text{ in}$$

$$I_x = 3,000.00 \text{ in}^4$$

$$S_t = 3,000/12.265 = 244.60 \text{ in}^3 = S_t^{DL}$$

$$S_b = 3,000/12.265 = 244.60 \text{ in}^3 = S_b^{DL}$$

Compuesta:

Ancho efectivo del patín: (AASHTO 10.38.3.1)

$$1/4 * 41.34 * 12 = 124.02 \text{ in}$$

$$6.003 * 12 = 72.04 \text{ in} \leftarrow \text{Controla}$$

$$12 * 7.09 = 85.08 \text{ in}$$

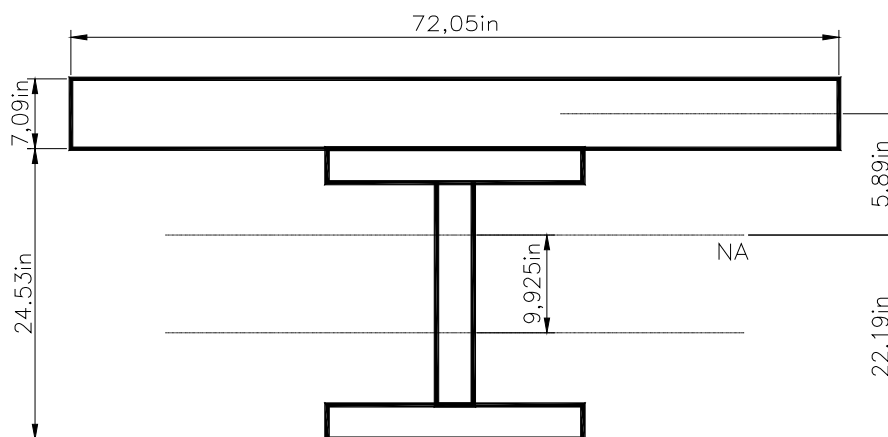
Radio modular (n): Ver capítulo III.F.2.d, de este trabajo.

Para $f'_c = 3,000 \text{ psi}$, $n = 10$

Viga interior:

Compuesta n = n, 24 WF 103 y concreto 7.09 in x 72.05 in

Figura 25: Sección compuesta viga interior puente El Zarco



$$\bar{y} = \frac{(12.265)(30.3) + (72.04 * 7.09 / 10)(28.075)}{30.3 + (72.04 * 7.09 / 10)} = 22.19 \text{ in}$$

$$I = 3,000 + (30.3)(9.925)^2 + \frac{(72.04/10)(7.09)^3}{12} + (72.04 * 7.09 / 10)(5.89)^2 =$$

$$I_x = 3,000 + (303)(9.925)^2 + \frac{(7204/10)(7.09)^3}{12} + (7204*7.09)/10(5.89)^2 = 7,970.63 \text{ in}^4$$

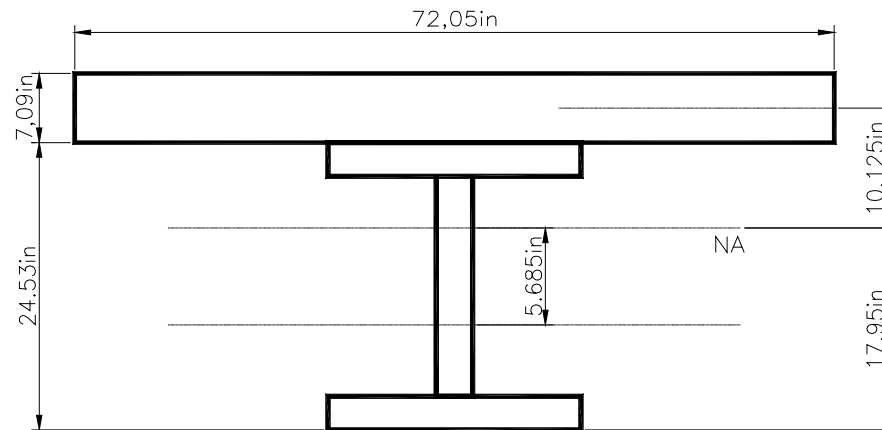
$$S_t = 7970.63/2.34 = 3,406.25 \text{ in}^3 \text{ Módulo de sección en la parte superior del acero}$$

$$S_b = 7970.63/22.19 = 359.20 \text{ in}^3 = S_b^L$$

Usar con carga viva

Compuesta n = 3n, 24 WF 103 y concreto 7.09 in x 72.05 in

Figura 26: Sección compuesta viga interior puente El Zarco



$$y = \frac{(12265)(303) + (7204*7.09/30)(28075)}{303 + (7204*7.09/30)} = 17.95 \text{ in}$$

$$I_x = 3,000 + (303)(5.685)^2 + \frac{(7204/30)(7.09)^3}{12} + (7204*7.09)/30(10.125)^2 = 5,795.97 \text{ in}^4$$

$$S_t = 7970.63/2.34 = 880.85 \text{ in}^3 \text{ Módulo de sección en la parte superior del acero}$$

$$S_b = 7970.63/22.19 = 322.90 \text{ in}^3 = S_b^{SDL} \text{ Usar con Carga Muerta Sobrepuesta (SDL)}$$

Cargas (viga interior):

Muertas: (incluyen un peso permitido del 6% del peso del acero por conexiones)

$$\text{Losa } (6.003)(7.09/12)(150 \text{ pcf}) = 532.02 \text{ lb/ft}$$

$$\text{Viga } (103)(1.06) = 109.18 \text{ lb/ft}$$

$$\text{Diafragma } (4)(6.1)(18.58)(1.06)/41.34 = \underline{11.62 \text{ lb/ft}}$$

Total por viga 652.82 lb/ft
Cargas muertas sobrepuestas (Ver AASHTO 3.23.2.3.1.1)

Bordillo+Parapeto $\left(\frac{1.41+8.66}{12}\right)\left(\frac{7.09}{12}\right)(150pcf) \div 2 = 74.11 \text{ lb/ft}$

$$\left(\frac{9.06 * 35.83}{144}\right)(150pcf) \div 2 = 169.07 \text{ lb/ft}$$

Figura 27: Sección transversal puente El Zarco

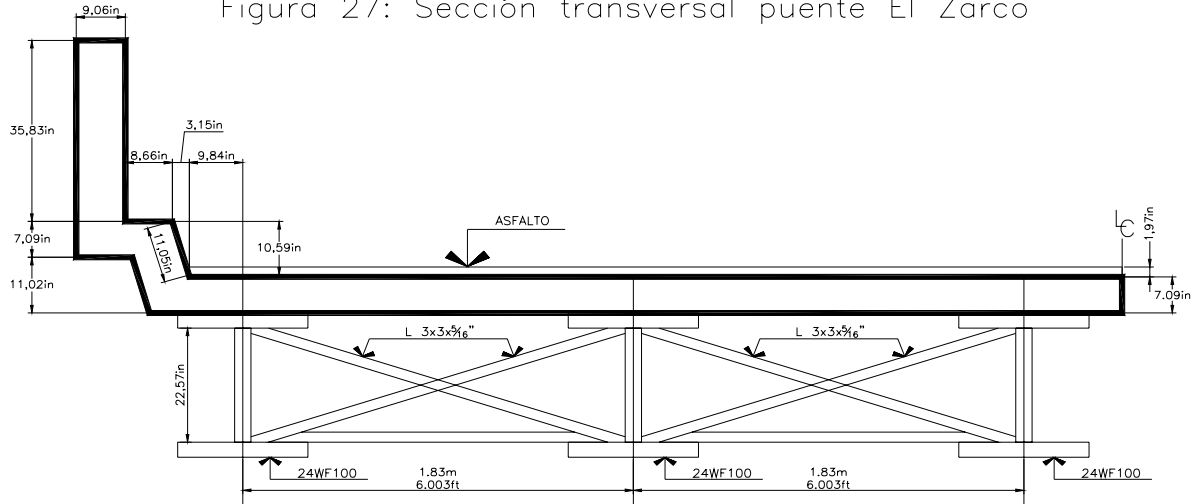
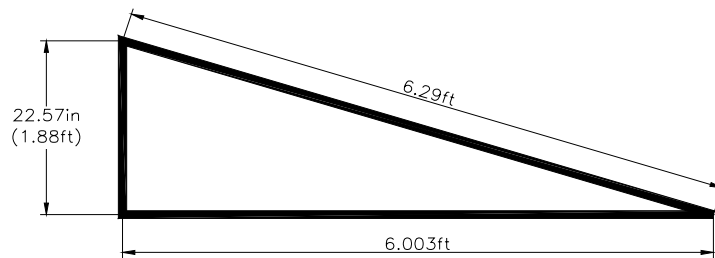


Figura 28: Longitudes de diafragmas puente El Zarco



Pasamanos (se asume 20 plf) $\div 2 = 10 \text{ lb/ft}$

Superficie protectora (asfalto)

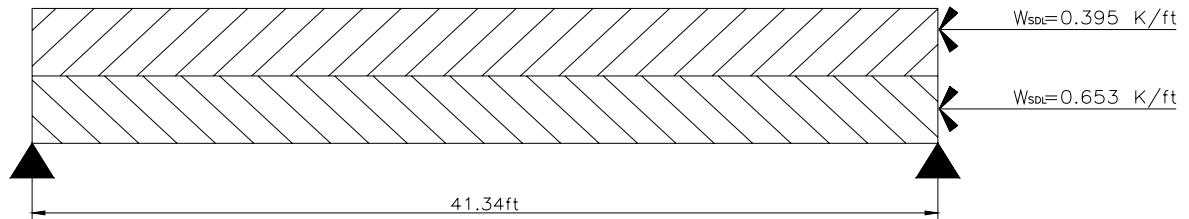
$$\left(0.144 \frac{k}{ft^3} * 1000\right) \left(\frac{1.97}{12} * 6.003\right) = 141.91 \text{ lb/ft}$$

Total por viga 151.91 lb/ft

Viva: Carga HS20

Momentos al centro de la viga:

Figura 29: Cargas distribuidas sobre viga puente El Zarco



$$M_{DL} = \frac{W_{dl} L^2}{8} = 139.46 \text{ ft-k}$$

$$M_{SDL} = \frac{W_{sdl} L^2}{8} = 32.45 \text{ ft-k}$$

Para la carga HS-20 en Apéndice A2,, usando la tabla con $L = 41.34 \text{ ft}$, e interpolando

Largo viga	M_L	$M_L =$	
40	224.9	236.83	ft-k
42	242.7		

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

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

$$I = \frac{50}{41.34+125} = 0.30, \text{ Usar } 0.30$$

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

AASHTO 3.23.2.2 y Tabla 3.23.1 $DF = \frac{S_G}{5.5}$

$$DF = \frac{6.003'}{\epsilon \epsilon} = 1.09$$

$$DF = \frac{\quad}{5.5} =$$

Entonces:

$$M_{L+I} = M_L(1+I)(DF) = 335.59 \text{ ft-k}$$

Nivel de inventario - Ver capítulo III.F.2.a.y Tabla 3(a), de este trabajo (la parte baja del acero en tensión controla)

Para acero con $F_y = 33 \text{ ksi} \rightarrow f_I = 0.55f_y$

Entonces:

$$f_I = 0.55f_y = 18.15 \text{ ksi}$$

$$M_{RI} = f_I S_x^L$$

La capacidad para resistir

$$M_{RI} = 6,519.48 \text{ in-k} \quad 543.29 \text{ ft-k}$$

Entonces:

$$RF_I = \frac{M_{RI} - M_{DL} \frac{S_b^L}{S_b^{DL}} - M_{SDL} \frac{S_b^L}{S_b^{SDL}}}{M_{L+I}}$$

$$RF_I = \frac{543.29 - 139.46 \frac{359.20}{244.60} - 84.40 \frac{359.20}{322.90}}{335.59} = 0.90$$

Nivel de operación: Ver capítulo III. F.2.a y Tabla 3(b), de este trabajo.

Para acero con $F_y = 33 \text{ ksi} \rightarrow f_O = 0.75f_y$

$$f_O = 0.75f_y = 24.75 \text{ ksi}$$

La capacidad para resistir $M_{RO} = f_O S_x^L$

$$M_{RI} = 8,890.20 \text{ in-k} \quad 740.85 \text{ ft-k}$$

$$RF_I = \frac{740.85 - 139.46 \frac{359.20}{244.60} - 84.40 \frac{359.20}{322.90}}{335.59} = 1.49$$

Capacidad basada sobre factor de carga HS-20

Inventario:	0.73×36^T	32.44^T HS
Operación:	1.32×36^T	53.63^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

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

$$I = \frac{50}{41.34+125} = 0.30, \text{ Usar } 0.30$$

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

AASHTO 3.23.2.2 y Tabla 3.23.1

$$DF = \frac{S_G}{5.5}$$

$$DF = \frac{6.003'}{5.5} = 1.09$$

Entonces:

$$M_{L+I} = M_L (1+I)(DF) = 335.59 \text{ ft-k} \quad (\text{Como en el método de esfuerzo permitido})$$

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

Para secciones arriostradas, compactas y compuestas

$$M_R = M_u \quad (\text{AASHTO 10.50.1.1})$$

Donde M_u es encontrado en concordancia con los factores aplicables de carga de las provisiones de la AASHTO.

Chequeo de asunciones:

- (1) La sección esta completamente arriostrada a través de la parte superior del patín por una losa compuesta (para carga viva y carga muerta sobrepuesta SDL)
- (2) Para chequear si la sección es compacta, se necesitan aplicar las provisiones de la AASHTO 10.50. Esto se chequea a continuación

Chequeo de sección compacta (AASHTO 10.50)

$$\text{Ecuación 10-93 AASHTO} \quad \frac{D}{t_w} \leq \frac{19230}{\sqrt{f_y}} \quad D = d - 2t_f = 24.53 - 2 \cdot 0.98 = 22.57 \text{ in}$$

$$\frac{22.57}{0.55} \leq \frac{19230}{\sqrt{33000}}$$

$$41.04 < 105.9 \rightarrow \text{OK}$$

$$\text{Ecuación 10-121 AASHTO} \quad \frac{b'}{t_f} \leq \frac{2200}{\sqrt{1.3f_{dl}}} \quad b' = \frac{b_f - t_w}{2} = \frac{9 - 0.55}{2} = 4.23 \text{ in}$$

Verificar f_{DL}

$$\frac{4.23}{0.98} \leq \frac{2200}{\sqrt{1.3 * 6840}} \quad f_{DL} = \frac{M_{DL}}{S_t^{DL}} = \frac{139,46 * 12 \text{ in} - \text{ft}}{244.6} = 6.84 \text{ ksi}$$

$$f_{DL} = 6,840.00 \text{ psi}$$

$$4.31 < 23.33 \rightarrow \text{OK}$$

Nota: Las provisiones de la AASHTO 10.50.1.1.2 se chequearán más tarde.
A este punto la sección es arriostrada y compacta. Encuentre la capacidad.

Ecuación 10-122 AASHTO $C_{CONC} = 0.85 f'_c b_{eff} t_s = 0.85 * 3 \text{ ksi} * 72.04 \text{ in} * 7.09 \text{ in} = 1,302.45 \text{ k}$

(se desprecia el refuerzo en la losa)

$$C_{STL} = A_s f_y = 30.3 \text{ in}^2 * 33 \text{ ksi} = 999.90 \text{ k}$$

$$C_{STL} < C_{CONC} \text{ entonces } C_{STL} = 999.90 \text{ k controla (10.50.1.11(a))}$$

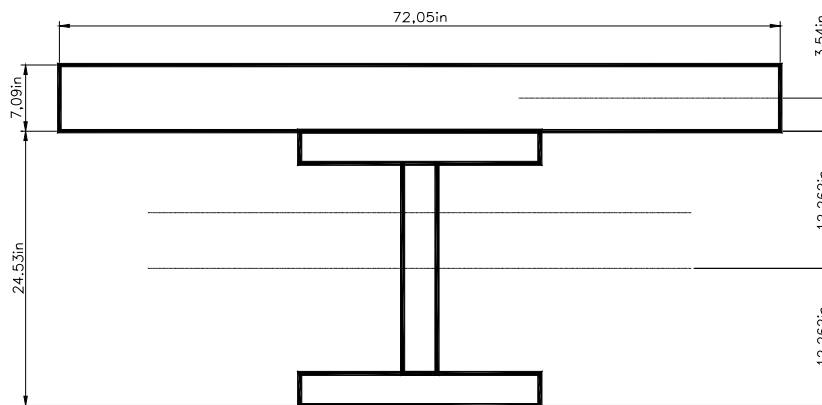
Capacidad - por AASHTO 10.50.1.1.1 (b)

$(Af_y)_c = 0$ (Se desprecia el refuerzo de la losa)

$$a = \frac{C - (Af_y)_c}{0.85 f'_c b_{eff}} = \frac{999.90 - 0}{0.85 * 3 * 72.04} = 5.4431 \text{ in}$$

$$C = 0.85 f'_c a b_{eff} = 0.85 * 3 * 5.4431 * 72.04 = 999.9 \text{ k}$$

Figura 30: Sección compuesta viga interior puente El Zarco



$$M_R = C * \text{brazo} = 999.9 \text{ k} * 15.81 \text{ in} = 15,808.42 \text{ in-k} = 1,317.37 \text{ ft-k}$$

Ahora chequeando provisiones 10.50.1.1.2 AASHTO

Ecuación 10-128a AASHTO $a' \leq \frac{d + t_s}{2} = \frac{24.53 + 7.09}{2} = 4.22 < 7.09$

$$a' \leq \frac{w_{fls}}{7.5} = \frac{27.09 + 7.09}{7.5} = 4.22 < 7.09$$

Entonces esta provisión gobierna la capacidad de la sección

Por lo tanto no compacta: $M_U = F_y * S$

$$a = a' = 4.22 \text{ in}$$

$$C_{rev} = 0.85 f'_c ab_{eff} = 0.85 * 3 * 4.22 * 72.04 = 775.22 \text{ k}$$

$$\text{brazo}_{rev} = 12.265 + (7.09 - 4.22/2) = 17.245 \text{ in}$$

$$M_R = C_{rev} * \text{brazo}_{rev} = 775.22 \text{ k} * 17.245 \text{ in} = 13,368.71 \text{ in-k} = 1,114.06 \text{ ft-k}$$

$$M_R = F_y S = 33 \text{ k} * 359.20 / 12 = 987.8 \text{ ft-k} \rightarrow \text{Controla}$$

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

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

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

$$A_1 = 1.3$$

$$A_2 = 2.17$$

$$R_I^{LF} = \frac{987.8 - 1.3 * (139.46 + 84.40)}{2.17 * 335.59} = 1.05$$

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

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

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

$$A_1 = 1.3$$

$$A_2 = 1.3$$

$$R_O^{LF} = \frac{987.8 - 1.3 * (139.46 + 84.40)}{1.3 * 335.59} = 1.75$$

Chequeando criterio de serviciabilidad (AASHTO 10.57.2)

Nivel de inventario (la parte baja del acero en tensión controla)

$$M_D + 1.67(RF_I^{FLF})(M_{L+I}) \leq \text{Resistencia} \text{ _ } \text{Servicialidad} = S_b^L (0.95 f_y)$$

Entonces:

$$0.05 * 33 * 359.20 + 1.67 * S_b^L * 359.20 \leq 0.95 * 33 * 359.20$$

$$RF_I^{LF} = \frac{0.95 f_y S_b^L - M_D \frac{S_b^{SD}}{S_b^{DL}} - M_{SDL} \frac{S_b^{SD}}{S_b^{SDL}}}{1.67(M_{L+I})} = \frac{0.95 * 33 * \frac{359.20}{12 \text{ in / ft}} - 139.50 * \frac{359.20}{244.60} - 84.4 * \frac{359.20}{322.90}}{1.67 * 335.59} =$$

$$RF_I^{LF} = 1.24$$

Nivel de operación

$$M_D + RF_O^{LF} (M_{L+I}) \leq \text{Re sistencia} _ \text{Serviciabilidad}$$

Entonces:

$$RF_O^{LF} = RF_I^{LF} * 1.67 = 2.07$$

Dados los resultados anteriores, se determina los valores menores para cada rango, entonces:

Capacidad basada sobre factor de carga HS-20

Inventario:	0.96 x 36 ^T	37.80 ^T HS
Operación:	1.60x 36 ^T	63.00 ^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

Para efectos de comparación se usara el mismo Impacto del método de Esfuerzo Permitido

$$I = 0.30$$

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

AASHTO 3.23.2.2 y Tabla 3.23.1

$$DF = \frac{S_G}{5.5}$$

$$DF = \frac{6.003'}{5.5} = 1.09$$

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:

$$ML = 236.83 \text{ ft-k}$$

$$I = 0.30$$

$$DF = 1.09$$

$$M_{L+1} = M_L(1+I)(DF) = 335.59 \text{ ft-k}$$

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:

$$M_R = 987.80 \text{ ft-k} \quad (\text{Basado en AASHTO 10.50 como para el método de Rango de Carga})$$

Nivel de rango

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

donde:

$$\begin{aligned} \phi &= 0.90 && \text{Ver capítulo III.E.4., Tabla 2(b), de este trabajo. Viga de acero, redundante, inspección estimada mantenimiento intermitente y condición aceptable.} \\ \gamma_D &= 1.2 && \text{Ver capítulo III.E.4.d, de este trabajo, se estima una cubierta de asfalto.} \\ \gamma_L &= 1.8 && \text{Ver capítulo, III.E.4.d, de este trabajo, ADDTT < 1000 y poco esfuerzo} \\ M_D &= 171.91 && \text{ft-k (139.46 ft-k + 84.4 ft-k)} \\ M_{L+1} &= 335.59 && \text{ft-k} \\ RF^{LRF} &= 1.13 \end{aligned}$$

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

$$1.03 \times 36^T \quad 40.69^T \text{ HS}$$

RESUMEN DE RESULTADOS

Método	RF	Máxima carga vehículo HS
Esfuerzo permitido		
Inventario	0.90	32.44
Operación	1.49	53.63
Factor de carga		
Inventario	1.05	37.80
Operación	1.75	63.00
Factor de carga y resistencia	1.13	40.69