CAPITULO IV

4. METODOLOGÍA

4.1. EJEMPLOS RESUELTOS NUMÉRICAMENTE

Las trabes armadas diseñadas para estos ejercicios no son necesariamente las más económicas. Otras posibilidades incluyen una trabe con un alma más delgada y con más atiesadores intermedios, o bien, una trabe con un alma más gruesa y sin atiesadores intermedios. Dos variables que afectan el costo son el peso (volumen requerido) y los costos de fabricación.

Aunque las trabes con los atiesadores intermedios requerirán usualmente menos acero, los ahorros pueden ser cancelados por el costo adicional de fabricación. También pueden considerarse los espesores variables para los patines. Esta alternativa ahorrará peso, pero aquí también deben considerarse los costos adicionales de la fabricación. Un enfoque práctico para lograr un diseño económico consiste en preparar varias alternativas y comparar sus costos al usar las estimaciones del material y los costos de fabricación.

Los ejercicios 4.1.1 y 4.2.2 fueron tomados del libro: Diseño de estructuras de acero con LRFD del autor William T. Segui.

4.1.1. EJEMPLO 1

La trabe que se muestra en la Figura 4.1 debe ser revisada para ver si cumple con las Especificaciones AISC. Las cargas son de servicio con una razón de carga viva a carga muerta de 3.0 y el acero es A36. La carga uniforme de

$4\ {}^{kips}/_{ft}$ incluye el peso de la trabe. El patín de compresión tiene un soporte lateral en los apoyos y en los puntos de aplicación de las cargas concentradas.

El patín de compresión está restringido contra la rotación en esos mismos puntos. Se tienen atiesadores de apoyo, como se muestra, en los extremos y bajo las cargas concentradas. Los atiesadores están recortados una pulgada en el borde interior, arriba y abajo, para librar las soldaduras entre los patines y el alma. No se tienen atiesadores intermedios. Suponga que todas las soldaduras son adecuadas y revise lo siguiente:

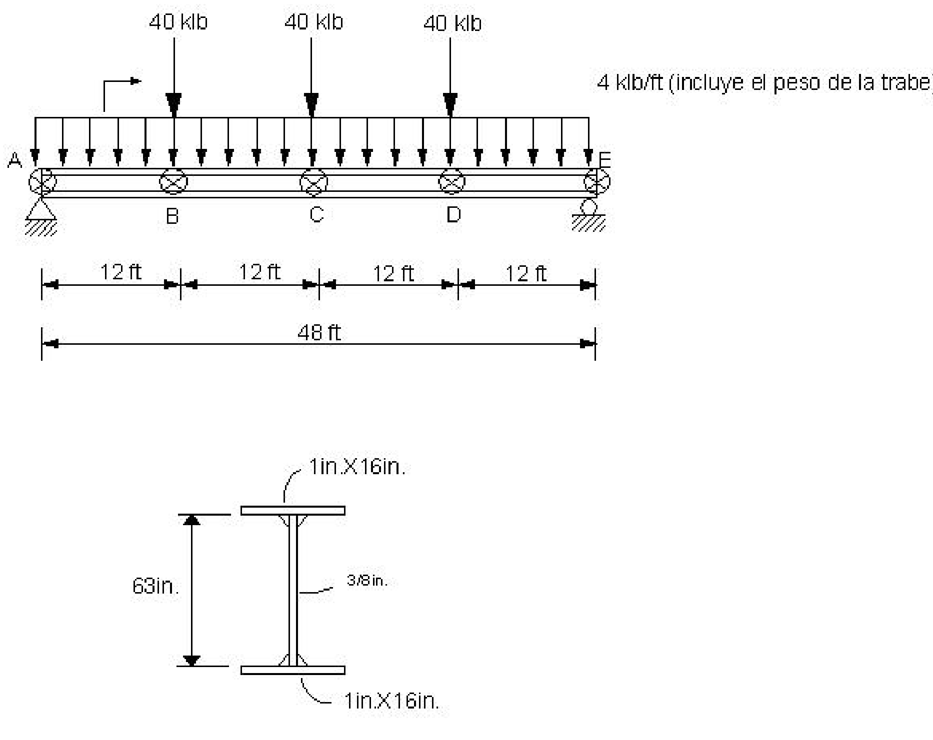

Figura 4.1 Trabe I sometida a peso propio y cargas puntuales.

a. Resistencia por flexión
b. Resistencia por cortante
c. Interacción flexión-cortante

d. Atiesadores de apoyo

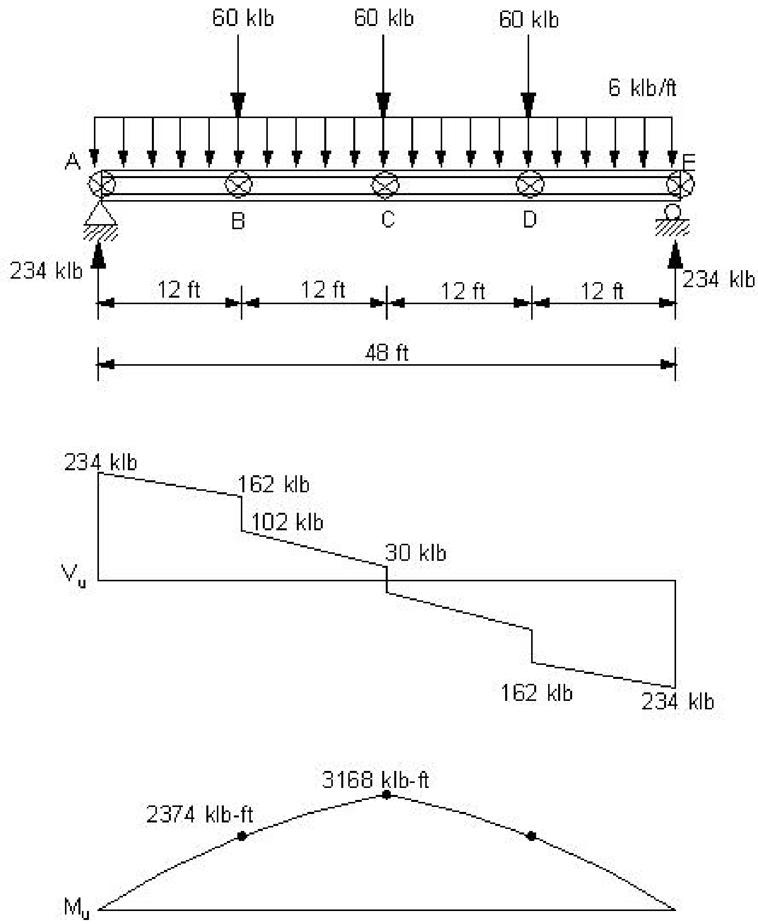

Figura 4.2 Diagrama de Fuerzas Cortantes y Momentos Flectores.

- **Solución**

El primer paso en el análisis consiste en determinar si este miembro satisface la definición del AISC de trabe armada (ecuación 4.1 y 4.2):

$$\frac{h}{t_w} = \frac{63}{\left(\frac{3}{8}\right)} = 168 \qquad 4.1$$

$$\frac{970}{\sqrt{F_y}} = \frac{970}{\sqrt{36}} = 161.7 \qquad 4.2$$

Como $\frac{h}{t_w} > \frac{970}{\sqrt{F_{yf}}}$, este miembro en flexión es una trabe armada, por lo tanto, se sigue con el análisis.

El alma debe satisfacer la limitación de la esbeltez del AISC. El valor limite de $\frac{h}{t_w}$ dependerá de la razón del aspecto $\frac{a}{h}$. Para esta trabe armada, los atiesadores de apoyo servirán como atiesadotes intermedios.

$$\frac{a}{h} \approx \frac{12(12)}{63} = 2.286 \qquad 4.3$$

Esta razón es aproximada, porque $a \approx 12\,\text{ft}$. En los tableros interiores, 12 pies es la separación centro a centro entre los atiesadores y no la separación libre. En los tableros extremos, $a < 12\,\text{ft}$ debido a los atiesadores dobles en los soportes.

Como $\frac{a}{h} > 1.5$, se utiliza la ecuación 2.21:

$$\frac{14{,}000}{\sqrt{F_{yf}(F_{yf} + 16.5)}} = 322 > \frac{h}{t_w} = 168 \qquad 2.21$$

El alma cumple satisfactoriamente la limitación de esbeltez.

a. **Resistencia por flexión**.

La resistencia por flexión estará limitada por la resistencia del patín en tensión o del patín en compresión. En cualquier caso, será necesario el modulo de sección elástico de la sección, el cual por simetría; se calcula con la ecuación.4.4.

$$S_{xt} = S_{xc} = S_x \qquad 4.4$$

En la Tabla 4.1 se muestra el cálculo del momento de inercia I_x con respecto al eje fuerte.

COMPONENTE	A	I	D	$I+Ad^2$
Alma	-	7814	-	7814
Patín	16	-	32	16380
Patín	16	-	32	16380
				40574 in^4

Tabla 4.1 Momento de Inercia, I_x.

El modulo de sección elástico se calcula con la ecuación 4.5:

$$S_x = \frac{I_x}{c} = \frac{40{,}570}{32.5} = 1248\ \text{in}^3 \qquad 4.5$$

El factor de trabe híbrida R_e será necesario para la resistencia del patín en tensión y para la resistencia del patín en compresión. Esta trabe es no híbrida, por lo que: $R_e = 1$

La resistencia del patín en tensión, con base en la fluencia, está dada por la ecuación 2.5.

$$M_n = S_{xt} \mathrm{R_e} F_y = 1248(1.0)(36) = 44{,}930\ \text{kips - in} \qquad 2.5$$
$$= 3744\ \text{kips - ft}$$

La resistencia por pandeo del patín de compresión está dada por la ecuación 2.6.

$$M_n = S_{xc} R_{pg} \mathrm{R_e} F_{cr} \qquad 2.6$$

donde el esfuerzo critico, F_{cr} , esta basado en el pandeo lateral torsional o en el pandeo local del patín. Para revisar el pandeo lateral torsional, se necesita el radio de giro r_T . De la Figura 4.3.

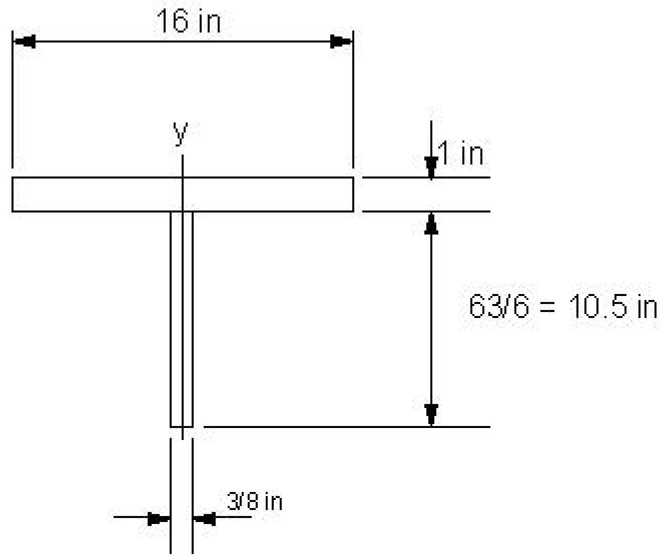

Figura 4.3 Patín.

$$I_y = \frac{t_f b_f^3}{12} + \frac{\left(h/6\right) t_w^3}{12} \tag{4.6}$$

$$I_y = \frac{1}{12}(1)(16)^3 + \frac{1}{12}(10.5)\left(3/8\right)^3 = 341.4 \text{ in}^4$$

$$A = 16(1.0) + 10.5(3/8) = 19.94 \text{ in}^2 \tag{4.7}$$

$$r_T = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{341.4}{19.94}} = 4.138 \text{ in} \tag{4.8}$$

Para hallar el valor de F_{cr} basado en el pandeo lateral torsional, se tiene que:

Si $\lambda \leq \lambda_p$, la falla será por fluencia. $F_{cr} = F_y$ 2.10

Si $\lambda_p \leq \lambda < \lambda_r$, la falla será por PLT inelástico. $F_{cr}=C_b F_y\left[1-\frac{1}{2}\left(\frac{\lambda-\lambda_p}{\lambda_r-\lambda_p}\right)\right]$ 2.11

Si $\lambda > \lambda_r$, la falla será por PLT elástico. $F_{cr}=\frac{286{,}000C_b}{\lambda^2}$ 2.12

La longitud no arriostrada del patín es de 12 ft y los parámetros de esbeltez para el pandeo lateral torsional están dados por las ecuaciones 2.7 y 2.8.

$$\lambda=\frac{L_b}{r_T}=\frac{12(12)}{4.138}=34.80 \qquad 2.7$$

$$\lambda_p=\frac{300}{\sqrt{F_{yf}}}=\frac{300}{\sqrt{36}}=50 \qquad 2.8$$

Como $\lambda < \lambda_p$ $\quad F_{cr}=F_y=36\ ksi$ 2.10

Para hallar el valor de F_{cr} basado en el pandeo local del patín, se tiene que:

Si $\lambda \leq \lambda_p$, la falla será por fluencia. $F_{cr}=F_y$ 2.17

Si $\lambda_p \leq \lambda < \lambda_r$, la falla será por PLP elástico. $F_{cr}=C_b F_y\left[1-\frac{1}{2}\left(\frac{\lambda-\lambda_p}{\lambda_r-\lambda_p}\right)\right]$ 2.18

Si $\lambda > \lambda_r$, la falla será por PLP elástico. $F_{cr}=\frac{26{,}200k_c}{\lambda^2}$ 2.19

El esfuerzo critico, F_{cr}, será ahora calculado para el pandeo local del patín, donde los parámetros de esbeltez necesarios se muestran en las ecuaciones 2.13 y 2.14.

$$\lambda=\frac{b_f}{2t_f}=\frac{16}{2(1.0)}=8 \qquad 2.13$$

$$\lambda_p=\frac{65}{\sqrt{F_{yf}}}=\frac{65}{\sqrt{36}}=10.83 \qquad 2.14$$

Como $\lambda < \lambda_p$ $\qquad F_{cr} = F_y = 36\ ksi$ 2.17

Para calcular el factor de reducción de resistencia, R_{PG} , de la trabe armada, será necesario el valor de a_r que se obtiene con la ecuación 4.9:

$$a_r = \frac{A_w}{A_f} = \frac{63\left\lfloor \frac{1}{8} \right\rfloor}{16(1.0)} = \frac{23.62}{16} = 1.477 < 10 \qquad 4.9$$

$$R_{PG} = 1 - \frac{a_r}{1200 + 300 a_r}\left(\frac{h}{t_w} - \frac{970}{\sqrt{F_{cr}}}\right) \leqslant 1.0 \qquad 4.10$$

$$= 1 - \frac{1.477}{1200 + 300(1.477)}\left[168 - \frac{970}{\sqrt{36}}\right] = 0.9943$$

El valor de R_{PG} es casi 1.0, debido a que este miembro en flexión escasamente califica como trabe armada y esta muy cerca de ser clasificado como una viga.

De la ecuación 2.6, la resistencia nominal por flexión del patín de compresión es.

$$M_n = S_{xc} R_{PG} \mathrm{R_e} F_{cr} = 1248(0.9943)(1.0)(36) \qquad 2.6$$

$$= 44{,}670\ kips\text{ - }in = 3723\ kips\text{ - }ft$$

El resultado es ligeramente menor que la resistencia nominal correspondiente al patín en tensión y, por lo tanto, gobierna. La resistencia de diseño se calcula como se muestra en la siguiente ecuación 2.2:

$$\phi_b M_n = 0.9(\ 3723\ ) = 3350\ \text{kips - ft} \qquad 2.2$$

De la Figura 4.2 se obtiene que el momento máximo por carga factorizada.

$$\boxed{M_u = 3168\ \text{kips - ft} < 3350\ \text{kips - ft}\ \ \text{(satisfactorio)}}$$

b. **Resistencia por cortante.**

La resistencia por cortante es una función de la razón de esbeltez del alma $\frac{h}{t_w}$ y de la relación de aspecto $\frac{a}{h}$. Primero, se determina si se puede usar la acción de campo de tensión en regiones que no sean las de los tableros extremos. Ella se utiliza cuando $\frac{a}{h}$ es menor que 3.0 y menor que $\left[\frac{260}{h/t_w}\right]^2$ (ecuación 4.11).

$$\left[\frac{260}{h/t_w}\right]^2 = \left[\frac{260}{168}\right]^2 = 2.395 \qquad 4.11$$

El valor aproximado de $\frac{a}{h}$ es de 2.286, por lo tanto, se emplea la acción de campo de tensión. Determinemos K_v de la ecuación 4.12.

$$K_v = 5 + \frac{5}{\left(a/h\right)^2} = 5 + \frac{5}{(2.286)^2} = 5.957 \qquad 4.12$$

Se halla ahora el valor de C_v con la ecuación 3.4 o 3.5.

Para $187\sqrt{\frac{k_v}{F_{yw}}} \le \frac{h}{t_w} \le 234\sqrt{\frac{k_v}{F_{yw}}}$ $\qquad C_v = \frac{187\sqrt{k_v/F_{yw}}}{h/t_w}$ $\qquad$ 3.4

Para $\frac{h}{t_w} > 234\sqrt{\frac{k_v}{F_{yw}}}$ $\qquad C_v = \frac{44{,}000 k_v}{\left(h/t_w\right)^2 F_{yw}}$ $\qquad$ 3.5

En la ecuación 4.1 se calculó $\frac{h}{t_w}$, con las ecuaciones 4.13 y 4.14 se establecen los límites.

$$187\sqrt{\frac{k_v}{F_{yw}}} = 187\sqrt{\frac{5.957}{36}} = 76.07 \tag{4.13}$$

$$234\sqrt{\frac{k_v}{F_{yw}}} = 234\sqrt{\frac{5.957}{36}} = 95.19 \tag{4.14}$$

Como $\frac{h}{t_w} = 168 > 234\sqrt{\frac{K_v}{F_{yw}}}$ $\qquad C_v = \frac{44{,}000k_v}{\left(h/t_w\right)^2 F_{yw}} = \frac{44{,}000(5.957)}{(168)^2(36)} = 0.2580$ 3.5

$$V_n = 0.6A_wF_{yw}\left[C_v + \frac{1-C_v}{1.15\sqrt{1+\left(a/h\right)^2}}\right] \tag{3.3}$$

$$= 0.6(23.62)(36)\left[0.2580 + \frac{1-0.2580}{1.15\sqrt{1+(2.286)^2}}\right] = 263.6\ \text{kips}$$

$$\phi_v V_n = 0.90(263.6) = 237\ \text{kips} \tag{3.1}$$

Del diagrama de cortante de la Figura 4.2, la fuerza cortante máxima factorizada en la mitad de la trabe es $V_u = 102\ \text{kips}$. Por lo que la resistencia por cortante es adecuada donde se permite la acción de campo de tensión.

En los tableros extremos no se permite la acción de campo de tensión y la resistencia por cortante se calcula con la ecuación 4.15.

$$V_n = 0.6A_wF_{yw}C_v = 0.6(23.62)(36)(0.2580) = 131.6\ \text{kips} \tag{4.15}$$

$$\phi_v V_n = 0.90(131.6) = 118\ \text{kips} \tag{3.1}$$

De la Figura 4.2 obtenemos que la carga máxima factorizada en el tablero extremo es:

$$\boxed{V_u = 234\ kips > 118\ kips \quad \text{(no satisfactorio)}}$$

Se tienen dos opciones para incrementar la resistencia por cortante: Incrementar el espesor del alma o disminuir la razón de aspecto de cada tablero extremo al agregar un atiesador intermedio. En este caso, se opta por agregar atiesadores.

Para la posición de los atiesadores intermedios tiene que calcularse "a" usando el siguiente procedimiento:

Despejando el valor de C_v de la ecuación 4.15 y obtenemos la ecuación 4.16.

$$\phi_v V_n = \phi_v (0.6 A_w F_{yw} C_v) \quad 4.15$$

$$C_v = \frac{\phi_v V_n}{\phi_v (0.6 A_w F_{yw})} = \frac{234}{0.90(0.6)(23.62)(36)} = 0.5096 \quad 4.16$$

Después, se despeja k_v de la ecuación 3.5.

$$C_v = \frac{44{,}000 k_v}{\left(\frac{h}{t_w}\right)^2 F_{yw}} \quad 3.5$$

$$k_v = \frac{C_v \left(\frac{h}{t_w}\right)^2 F_{yw}}{44{,}000} = \frac{0.5096(168)^2(36)}{44{,}000} = 11.77 \quad 4.17$$

Finalmente, se despeja "a" de la ecuación 4.12.

$$k_v = 5 + \frac{5}{\left(\frac{a}{h}\right)^2} \quad 4.12$$

$$\frac{a}{h} = \sqrt{\frac{5}{k_v - 5}} = \sqrt{\frac{5}{11.77 - 5}} = 0.8594 \quad 4.18$$

La separación requerida entre los atiesadores (ecuación 4.19) es de:

$$a = 0.8594h = 0.8594(63) = 54.1 \text{ in} \quad 4.19$$

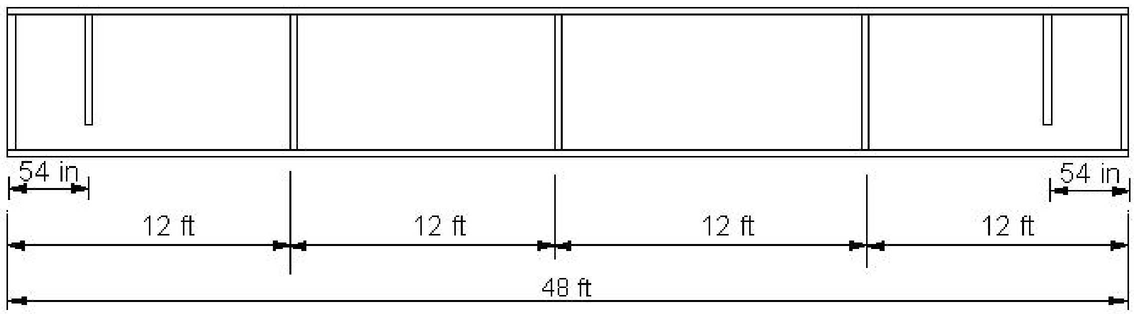

Figura 4.4 Separación de atiesadores.

Aunque "*a*" se define como separación libre, se tratará aquí, de manera conservadora, como una separación centro a centro y se colocará el primer atiesador intermedio a 54 in, desde el extremo de la trabe. Esta posición dará una resistencia de diseño aproximadamente igual a la fuerza cortante máxima factorizada de 234 kips. Ningún atiesador adicional será necesario ya que la carga cortante factorizada fuera de los tableros extremos es menor que la resistencia de diseño de 237 kips, (ver Figura 4.4).

La resistencia por cortante no es adecuada. Agregar un atiesador intermedio a 54 pulgadas desde cada extremo de la trabe, ver Figura 4.2 (cargas factorizadas).

c. **Interacción por flexión-cortante.**

La interacción flexión-cortante debe ser revisada cuando se tiene un campo de tensión (fuera de los tableros extremos) y cuando se cumplen las siguientes condiciones:

1.- La carga cortante factorizada esta en el siguiente rango:

$0.6\phi V_n \leq V_u \leq \phi V_n$

Para esta trabe, este rango de cortante fuera de los tableros extremos seria:

$0.6(237) \leq V_u = 234 \leq 237$
$142 \text{ klb} \leq V_u = 234 \leq 237 \text{ klb}$

2.- El momento por carga factorizada esta en el siguiente rango:

$0.75\phi M_n \leq M_u \leq \phi M_n$

Para esta trabe, el rango seria:

$0.75(3350) \leq M_u = 3168 \leq 3350$
$2510 \text{ klb - ft} \leq M_u = 3168 \leq 3350 \text{ klb - ft}$

La interacción de la flexión y cortante no tiene que ser revisada.

d. **Atiesadores de apoyo.**

Los atiesadores de apoyo se proporcionan en cada carga concentrada. Para los atiesadores de apoyo interiores y en los soportes se tiene la ecuación 3.16.

$$\frac{95}{\sqrt{F_y}} = \frac{95}{6} = 15.8 > \frac{b}{t} = \frac{7.5}{0.75} = 10 \text{ (satisfactorio)} \qquad 3.16$$

Para los atiesadores de apoyo interiores, se calcula primero la resistencia por aplastamiento. De la ecuación 4.22:

$$A_{pb} = 2at = 2(7.5 - 1)(0.75) = 9.750 \text{ in}^2 \qquad 4.20$$

$$R_n = 1.8 F_y A_{pb} = 1.8(36)(9.750) = 631.8 \text{ kips} \qquad 4.21$$

$$\phi R_n = 0.75(631.8) = 474 \ kips > 60 \text{ kips (satisfactorio)} \qquad 4.22$$

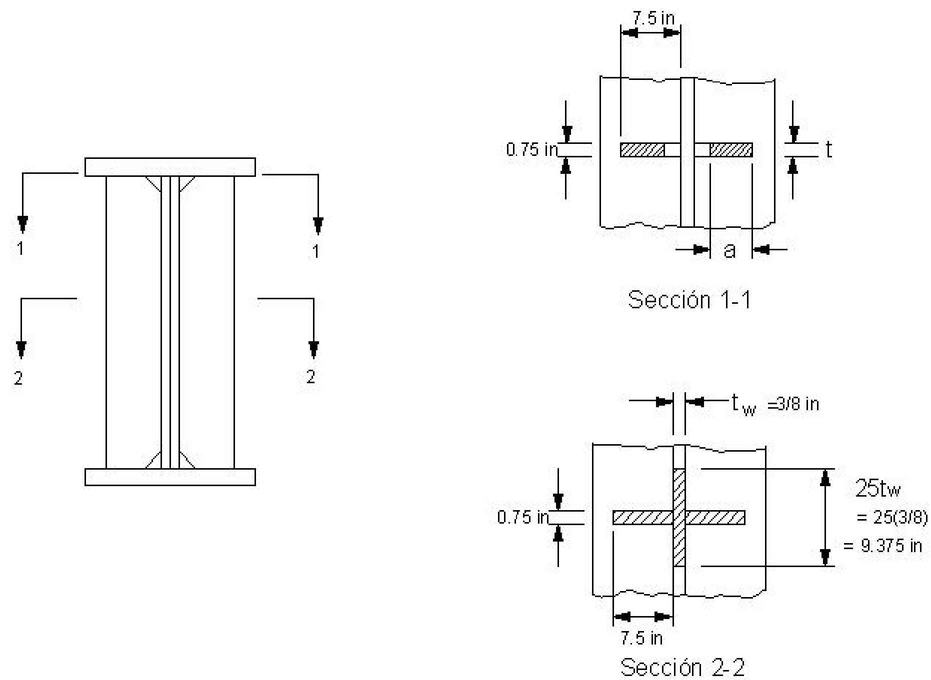

Figura 4.5 Atiesadores de apoyo.

Se revisa la resistencia del atiesador como miembro en compresión (ecuación 4.29) (ver Figura 4.5.).

$$A = 2(0.75)(7.5) + (3/8)(9.375) = 14.77\ \text{in}^2 \qquad 4.23$$

$$I = \sum\left(I + Ad^2\right) = \frac{9.375(3/8)^3}{12} + 2\left[\frac{0.75(7.5)^3}{12} + 7.5(0.75)\left(\frac{7.5}{2} + \frac{3/8}{2}\right)^2\right] = 227.2\ \text{in}^4 \qquad 4.24$$

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{227.2}{14.77}} = 3.922\ \text{in} \qquad 4.25$$

$$\frac{KL}{r} = \frac{Kh}{r} = \frac{0.75(63)}{3.922} = 12.05 \qquad 4.26$$

$$\lambda_c = \frac{0.75h}{\pi r\sqrt{F_y/29000}} > 1.5 \text{ entonces,} \qquad 4.27$$

$$F_{cr} = \frac{0.877}{\lambda_c^2} F_y = 35.72\ \text{ksi} \qquad 4.28$$

$$\phi_c P_n = \phi_c F_{cr} A = 0.85(35.72)(14.77) = 449\ kips > 60\ \text{kips} \quad \text{(satisfactorio)} \qquad 4.29$$

Para los atiesadores de apoyo en los soportes, de la Figura 4.5 la resistencia de diseño por aplastamiento se calcula con la ecuación 4.22:

$$\phi R_n = \phi(1.8 F_y A_{pb}) \qquad 4.22$$
$$= 0.75(1.8)(36)[4(6.5)(0.75)] = 948\ kips > 234\ \text{kips} \quad \text{(satisfactoria)}$$

Revisamos el conjunto atiesador-alma como un miembro en compresión, con referencia a la Figura 4.6.

$$I = \sum\left(I + Ad^2\right) = \frac{4.5\left(3/8\right)^3}{12} + 2\left[\frac{0.75(7.5)^3}{12} + 7.5(0.75)\left(\frac{7.5}{2} + \frac{3/8}{2}\right)^2\right] = 454.3\ \text{in}^4 \qquad 4.24$$

$$A = 4.5\left(\frac{3}{8}\right) + 4(0.75)(7.5) = 24.19\ \text{in}^2 \qquad 4.23$$

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{454.3}{24.19}} = 4.334\ \text{ in} \qquad 4.25$$

La relación de esbeltez se calcula con la ecuación 4.26.

$$\frac{Kh}{r} = \frac{0.75(63)}{4.334} = 10.90 \qquad 4.26$$

$$\lambda_c = \frac{0.75h}{\pi r\sqrt{F_y / 29000}} > 1.5\ \text{ entonces,} \qquad 4.27$$

$$F_{cr} = \frac{0.877}{\lambda_c^2} F_y = 35.77\ \text{ksi} \qquad 4.28$$

$$\phi_c P_n = \phi_c F_{cr} A = 0.85(35.77)(24.19) = 736\ kips > 234\ \text{kips} \quad \text{(satisfactorio)} \qquad 4.29$$

Por lo tanto, los atiesadores de apoyo son adecuados.

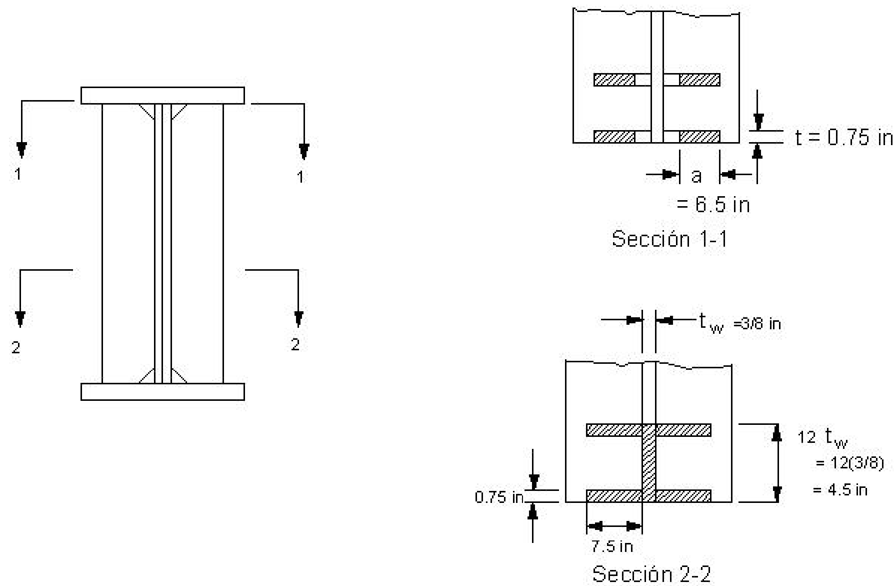

Figura 4.6 Conjunto atiesador-alma.

4.1.2. EJEMPLO 2

Diseñe una trabe armada simplemente apoyada con un claro de 60 pies que debe soportar las cargas de servicio que se muestran en la Figura 4.7. Considere acero A36 y electrodos E60xx. Suponga que la trabe tiene un soporte lateral continuo.

- **Solución**

Las cargas factorizadas, excluido el peso de la trabe, se muestran en la Figura 4.8

$$W = 1.2(W_D) + 1.6(W_L) \tag{4.30}$$

$$W = 1.2\,(1.7) + 1.6\,(1.25) = 4.04 \text{ klb/ft}$$

$$P_1 = 1.2(P_{D1}) + 1.6(P_{L1}) \tag{4.31}$$

$$P_1 = 1.2\,(78) + 1.6\,(58) = 186.4 \text{ klb}$$

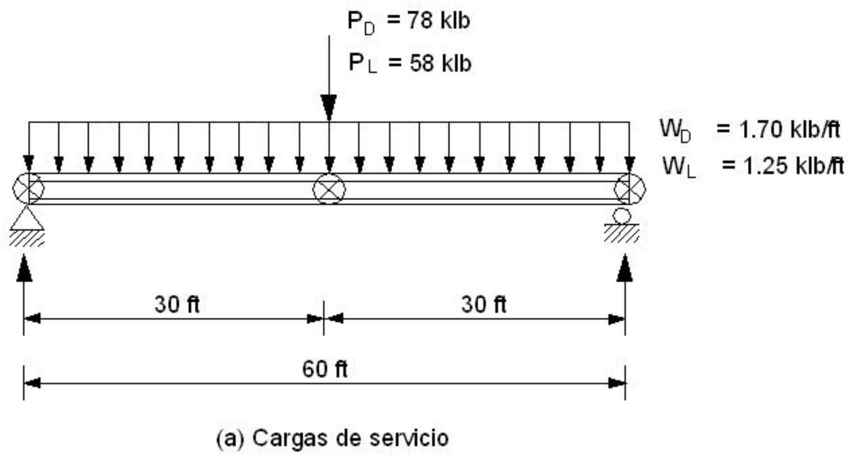

Figura 4.7 Cargas de servicio.

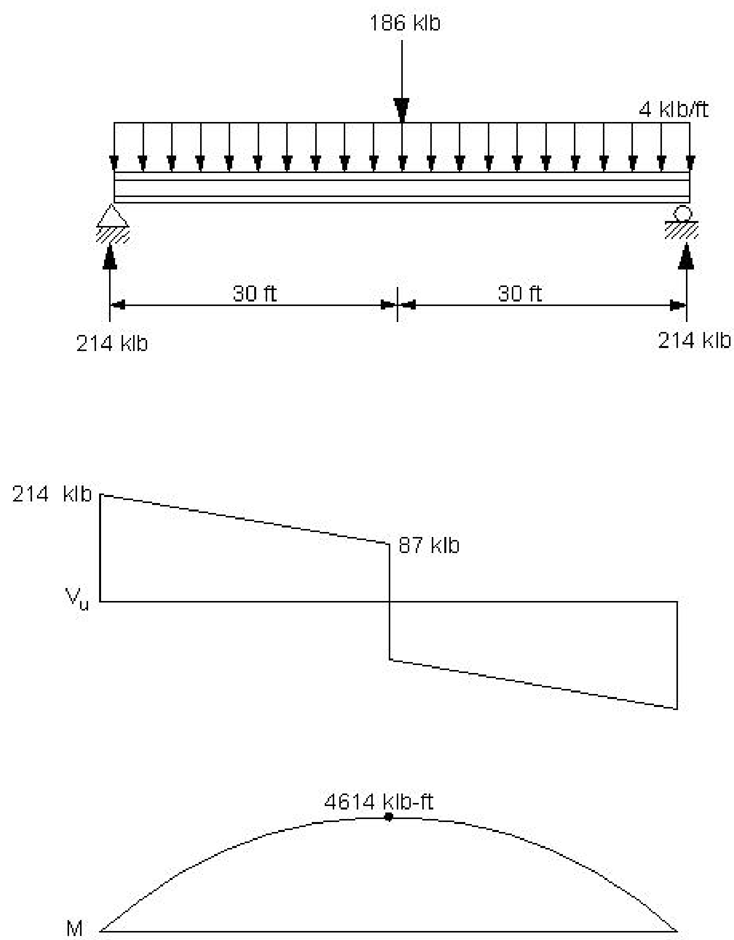

Figura 4.8 Cargas factorizadas y diagramas de momento y cortante.

El peralte general se determina con la ecuación 4.32.

$$\frac{\textit{Longuitud}\ \text{del claro}}{11} = \frac{60(12)}{11} = 65.45\ \text{in} \qquad 4.32$$

El espesor del patín debe ser estimado, las consecuencias de una estimación pobre son menores, por lo tanto se usará un peralte de 65 in y un espesor t_f de patín de 1.5 in y una altura de alma dada por la ecuación 4.33.

$$h = 65 - 2(1.5) = 62\ \text{in} \qquad 4.33$$

Para determinar el espesor del alma, se examinan primero los valores límite de $\frac{h}{t_w}$. Para que este miembro a flexión califique como trabe armada debe cumplir con la ecuación 2.1.

$$\frac{h}{t_w} \geq \frac{970}{\sqrt{F_{yf}}} = \frac{970}{\sqrt{36}} = 161.7 \qquad 2.1$$

$$t_w \leq \frac{h}{161.7} = \frac{62}{161.7} = 0.383\ \text{in} \qquad 4.34$$

Para $\frac{a}{h} \leq 1.5$

$$\frac{h}{t_w} \leq \frac{2000}{\sqrt{F_{yf}}} = \frac{2000}{\sqrt{36}} = 333.3 \qquad 2.20$$

$$t_w \geq \frac{62}{333.3} = 0.186\ \text{in} \qquad 4.35$$

Para $\frac{a}{h} > 1.5$

$$\frac{h}{t_w} \leq \frac{14{,}000}{\sqrt{F_{yf}(F_{yf} + 16.5)}} = \frac{14{,}000}{\sqrt{36(36 + 16.5)}} = 322.0 \qquad 2.21$$

$$t_w \geq \frac{62}{322.0} = 0.192\ \text{in.} \qquad 4.36$$

Ensáyese una placa de alma de $\frac{1}{4}$ in X 62 in .

Determínese el tamaño requerido de patín, ecuación 4.38.

$$A_w = h(t_w) \qquad 4.37$$

$$A_w = 62\,(1/4) = 15.5\ \text{in}^2$$

$$A_f = \frac{M_u}{0.90hF_y} - \frac{A_w}{6} = \frac{4614(12)}{0.90(62)(36)} - \frac{62(1/4)}{6} = 24.97\ \text{in}^2. \qquad 4.38$$

Con la ecuación 4.40 puede estimarse el peso de la trabe.

$$\text{Total} = A_w + 2(A_f) \qquad 4.39$$

$$\text{Total} = 62\,(1/4) + 2\,(24.97) = 65.45\ \text{in}^2$$

$$\text{Peso} = \frac{3.4(Total)}{1000} \qquad 4.40$$

$$\text{Peso} = \frac{3.4\,(65.45)}{1000} = 0.22$$

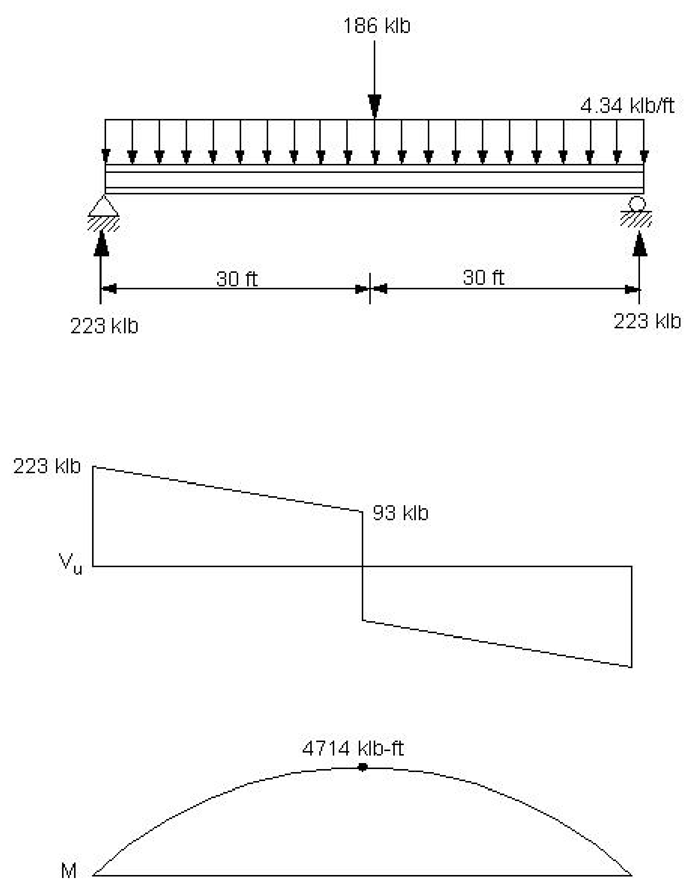

Figura 4.9 Cargas y diagramas incluido el peso propio.

El momento flexionante ajustado se muestra en la Figura 4.9:

$M_u = 4714 \text{ kips - ft}$

El área requerida para un patín se muestra en la ecuación 4.38:

$$A_f = \frac{M_u}{0.90hF_y} - \frac{A_w}{6} = \frac{4714(12)}{0.90(62)(36)} - \frac{62(1/4)}{6} = 25.57 \text{ in}^2 \qquad 4.38$$

$$b_f = \frac{A_f}{t_f} = \frac{25.57}{1.5} = 17.1 \text{ in} \qquad 4.41$$

Ensáyese dos placas de patín de $1\frac{1}{2}$ in X 17 in

Ensáyese con una placa de patín de $1\frac{1}{2}$ in x 17 in y con una placa de alma de $\frac{1}{4}$ in x 62 in, como se muestra en la Figura 4.10.

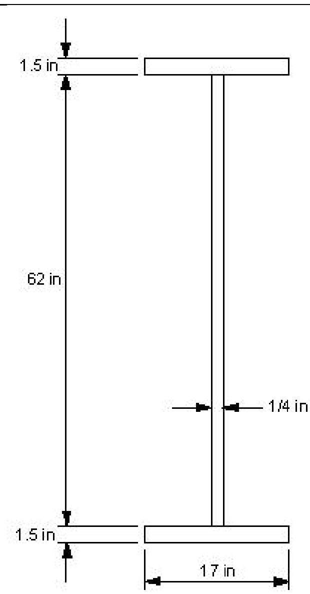

Figura 4.10 Seccion transversal propuesta.

Se revisa la resistencia a la flexión de la trabe armada:

a) Fluencia del patín en tensión.

$$I_x = \frac{t_w h^3}{12} + 2t_f b_f \left(C_{gf}\right)^2 \qquad 4.42$$

$$I_x = \frac{(1/4)(62)^3}{12} + 2(1.5)(17)(31.75)^2 = 56376.35 \text{ in}^4$$

$$c = \frac{Peralte}{2} = \frac{65}{2} = 32.5 \text{ in} \qquad 4.43$$

$$S_x = \frac{I_x}{c} = \frac{56376.1}{32.5} = 1734.65 \text{ in}^3 \qquad 4.5$$

$$M_n = S_x F_y = (1734.65)(36) = 62447.65i \text{ kips - in} \qquad 2.5$$

$$M_n = 5203 \text{ kips - ft}$$

$$\phi_b M_n = 0.90\,(5203) = 4682 \text{ kips - ft} < 4714 \text{ kips - ft} \text{ (no satisfactoria)} \qquad 2.2$$

Ensáyese una placa de patín de $1\frac{1}{2}$ in x 18 in (ver Figura 4.11).

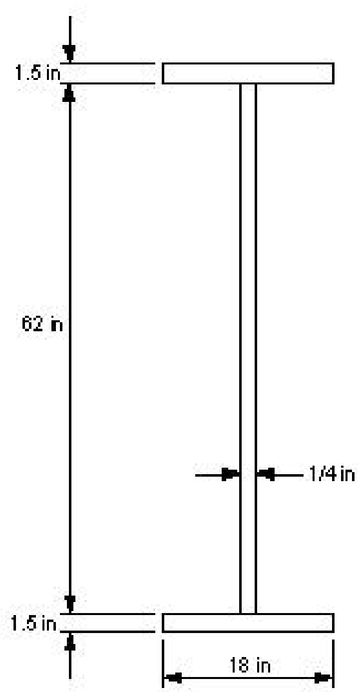

Figura 4.11 Sección propuesta.

a) Fluencia al patín en tensión.

$$I_x = \frac{(1/4)(62)^3}{12} + 2(1.5)(18)(31.75)^2 = 59400.5\ \text{in}^4 \qquad 4.42$$

$$c = \frac{Peralte}{2} = \frac{65}{2} = 32.5\ \text{in} \qquad 4.43$$

$$S_x = \frac{I_x}{c} = \frac{59400.5}{32.5} = 1827.7\ \text{in}^3 \qquad 4.5$$

$$M_n = S_x F_y = (1827.7)(36) = 65797\ \text{kips - in} \qquad 2.5$$

$$M_n = 5483\ \text{kips - ft}$$

$$\boxed{\varphi_b M_n = 0.90\,(5483) = 4934.77\ \text{kips - ft} > 4714\ \text{kips - ft}\ \ \text{(satisfactorio)}} \qquad 2.2$$

b) Resistencia al pandeo lateral torsional PLT.

$$I_y = \frac{1}{12}\ \frac{(0.25^3)(62)}{6} + 1.5(18^3)\ = 729\ \text{in}^4 \qquad 4.6$$

$$A = (1.5)(18) + \frac{(62)(0.25)}{6} = 29.58\ \text{in}^2 \qquad 4.7$$

$$r_T = \sqrt{\frac{729}{29.58}} = 4.96\ \text{in}^2 \qquad 4.8$$

$$\lambda = \frac{12(a_1)}{r_T} = \frac{12(30)}{4.96} = 72.52 \qquad 2.7$$

$$\lambda_p = \frac{300}{\sqrt{F_y}} = \frac{300}{\sqrt{36}} = 50 \qquad 2.8$$

$$\lambda_r = \frac{756}{\sqrt{F_y}} = \frac{756}{\sqrt{36}} = 126 \qquad 2.9$$

Como $\lambda > \lambda_p$ $$C_b = \frac{12.5(M_u)}{2.5(M_u)+3(M_a)+4(M_b)+3(M_c)} \quad 4.44$$

$$C_b = \frac{12.5(4714)}{2.5(4714)+3(1538)+4(2837)+3(3896)} = 1.49$$

$$F_{cr} = C_b F_y \left[1 - \frac{1}{2}\left(\frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p}\right)\right] \quad 2.11$$

$$F_{cr} = (1.49)(36)\left[1 - 0.5\left(\frac{72.52-50}{126-50}\right)\right] = 45.82\ \text{ksi}$$

$$a_r = \frac{A_w}{A_f} = \frac{15.5}{25.58} = 0.6 \quad 4.9$$

$$R_{PG} = 1 - \frac{a_r}{1200+300a_r}\left(\frac{h}{t_w} - \frac{970}{\sqrt{F_{cr}}}\right) \quad 4.10$$

$$= 1 - \frac{0.6}{1200+300(0.6)}\left(248 - \frac{970}{\sqrt{36}}\right) = 0.954$$

$$M_n = F_{cr} R_{PG} S_x = (45.82)(0.954)(1827.7) = 79909.4\ \text{kips-in} = 6659\ \text{kips-ft} \quad 2.6$$

$$\boxed{\phi_b M_n = 0.90\,(6659) = 5993.1\ \text{kips-ft} > 4715.9\ \text{kips-ft}\ \text{(satisfactorio)}} \quad 2.2$$

c) Resistencia al pandeo local PLP.

$$K_c = \frac{4}{\sqrt{h/t_w}} = \frac{4}{\sqrt{62/0.25}} == 0.254 \quad 2.16$$

$0.35 \le K_c < 0.763$, entonces $K_c = 0.35$

$$\lambda = \frac{b_f}{2t_f} = \frac{18}{2(1.5)} = 6 \quad 2.13$$

$$\lambda_p = \frac{65}{\sqrt{F_y}} = \frac{65}{\sqrt{36}} = 10.83 \quad 2.14$$

Como $\lambda < \lambda_p$ $\qquad F_{cr} = F_y = 36 \text{ ksi}$ 2.17

$A_f = b_f t_f$ 4.45

$A_f = 18(1.5) = 27 \text{ in}^2$

$$a_r = \frac{A_w}{A_f} = \frac{15.5}{27} = 0.574$$ 4.9

$$R_{PG} = 1 - \frac{a_r}{1200 + 300a_r}\left(\frac{h}{t_w} - \frac{970}{\sqrt{F_{cr}}}\right)$$ 4.10

$$= 1 - \frac{0.6}{1200 + 300(0.57)}\left(248 - \frac{970}{\sqrt{36}}\right) = 0.9639$$

$M_n = F_{cr} R_{PG} S_x = (36)(0.963)(1827.7) = 63430 \text{ kips - in} = 5286 \text{ kips - ft}$ 2.6

$\phi_b M_n = 0.90\,(5286) = 4757 \text{ kips - ft} > 4749 \text{ kips - ft}$ (satisfactorio)	2.2

Revísese la resistencia por cortante. La fuerza cortante es máxima en los apoyos, pero la acción del campo de tensión no puede usarse en un tablero de extremo. La separación de los atiesadores se determinan como sigue:

- Primera sección y segunda sección:

a) Se iguala la resistencia requerida por cortante a la resistencia por cortante dada por la ecuación 3.1 ó 3.6, y se despeja el valor de C_v .

$$C_v = \frac{V_n}{0.9\left(0.6\, A_w\, F_y\right)} = \frac{223}{(0.9)(0.6)(15.5)(36)} = 0.734$$ 3.6

b) Se despeja K_v de la ecuación 3.4 o 3.5, se obtiene la ecuación 4.46.

$$K_v = \frac{C_v\left(h/t_w\right)^2 F_Y}{44000} = \frac{(0.734)(248)^2(36)}{44000} = 36.94$$ 4.46

c) Despeje el valor requerido de $\frac{a}{h}$ de la ecuación 4.12.

$$a = h\sqrt{\frac{5}{K_v \quad 5}} = 24.53\,\text{in} \qquad 4.47$$

Se usará una separación del primer atiesador a = 20 in

Se obtendrá la separación de los atiesadores intermedios con la resistencia requerida por cortante fuera de los tableros extremos.

Se introduce el factor de reducción:

$$V_n = \frac{221 - w\left(\frac{a}{12}\right)}{0.9} = \frac{221 - 4.26\left(\frac{25}{12}\right)}{0.9} = 235.9\,\text{kips} \qquad 4.48$$

Para los tableros extremos de trabes armadas no híbridas con acción de campo de tensión se tiene que: $a = 56\,\text{in}$

$$K_v = 5 + \left(\frac{5}{\left(a/h\right)^2}\right) = 11.12 \qquad 4.12$$

$$C_v = \frac{44000K_v}{\left(h/t_w\right)^2 F_y} = \frac{44000 \cdot 11.12}{\left(62/0.25\right)^2 36} = 0.22 \qquad 3.5$$

Como $\frac{h}{t_w} > 187\sqrt{K_v/F_y}$ $\quad V_n = (0.6)(15.5)(36)\left[0.22 + \left(\frac{1 \quad 0.22}{1.15\sqrt{1+.9^2}}\right)\right]$ 3.3

$$= 242.31\,\text{kips} > 235.9\,\text{kips}$$

(satisfactorio)

Se usará una separación de atiesadores intermedios $a = 56\,\text{in}$ (Figura 4.12)

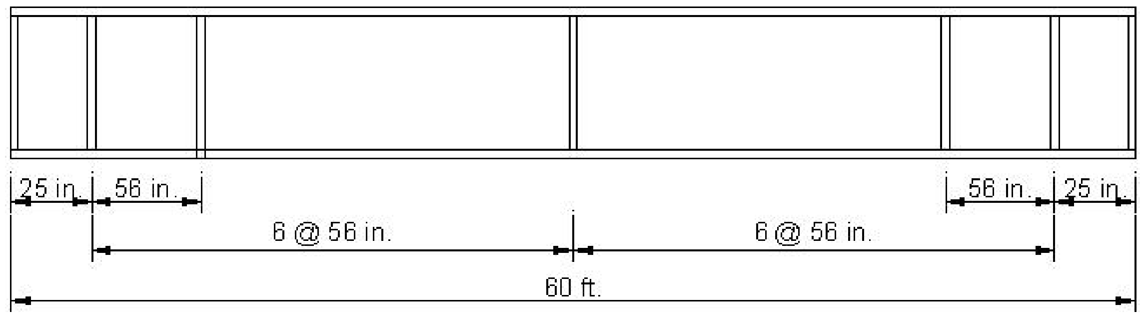

Figura 4.12 Separación de atiesadores.

Se diseñará las dimensiones de los atiesadores intermedios

$$J = \frac{2.5}{\left(a/h\right)^2} = \frac{2.5}{\left(a/h\right)^2} = 13.37 \qquad 3.20$$

El momento de inercia requerido esta dado por la ecuación 3.19:

$$I_{st} = at_w^3 j = 56(0.25)^3(13.37) = 11.7\ \text{in}^4 \qquad 3.19$$

Usando un valor máximo de $\frac{b}{t}$, se calcula "b" con la ecuación 4.49. Después se despeja "t" de la ecuación 3.16.

$$b = \frac{b_f - t_w}{2} = \frac{18 - 0.25}{2} = 8.87\ \text{in} \qquad 4.49$$

$$t = \frac{b}{\frac{95}{\sqrt{F_y}}} = 0.56\ \text{in} \qquad 4.50$$

$$A_{st} = 2bt = 2(8.87)(0.56) = 9.95\ \text{in}^2 \qquad 4.51$$

Para 2 atiesadores:

$$I_{st2} = \left[\frac{tb^2}{12} + tb\left(A_{st} + \frac{t_w}{2}\right)^2\right]2 \qquad 4.52$$

$$I_{st2} = \left[\frac{0.56(8.87)^2}{12} + (0.56)(8.87)\left(9.95 + \frac{t_w}{2}\right)^2\right]2 = 1075\ \text{in}^4$$

$I_{st2} > I_{st}$ (satisfactorio)

Para determinar la longitud de los atiesadores, se calcula primero la distancia entre la soldadura del atiesador y la soldadura del alma al patín. Las Especificaciones del AISC indican una distancia mínima de $4t_w$ y máxima de $6t_w$, por lo cual se utilizará una distancia de $5t_w$.

$$La = h - (5t_w - t_w) = 60.5\,\text{in} \tag{4.53}$$

Se usaran dos placas de $\frac{9}{16}\,\text{in} \times 9\,\text{in} \times 60.5\,\text{in}$ para los atiesadores intermedios (ver Figura 4.13.).

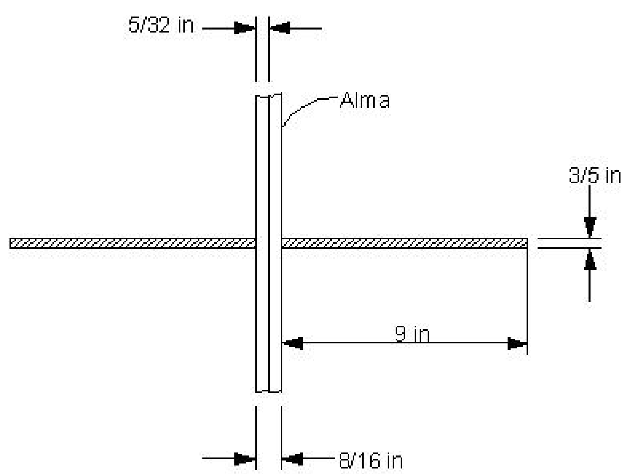

Figura 4.13 Atiesadores intermedios.

Los atiesadores de apoyo serán instalados en los soportes y debajo de cada carga concentrada, su diseño se realizará siguiendo las ecuaciones 4.54 y 4.55.

$$b = \frac{b_f}{2} - 2 = \frac{18}{2} - 2 = 7\,\text{in} \tag{4.54}$$

$$t \geq \frac{b\sqrt{F_y}}{95} = \frac{7\sqrt{36}}{95} = 0.44 \text{ in}$$ 4.55

Ensáyese un atiesador con $b = 7$ in y $t = \frac{7}{16}$ in

Se tienen las dimensiones del atiesador, se revisará su resistencia por aplastamiento.

$$\phi R_n = 0.75(1.8F_y A_{pb}) = 0.75(1.8)(36)(0.44)(7-0.5)\times 2$$ 4.22
$$= 279.3 \text{ kips} > 223 \text{ kips}$$ (satisfactorio)

Revísese el atiesador como una columna.

$$A = 2bt + 12t_w = 6.9 \text{ in}^2$$ 4.23

$$I_x = 188 \text{ in}^4$$

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{188}{6.9}} = 5.2 \text{ in}$$ 4.25

$$\lambda_c = \frac{0.75h}{\pi r\sqrt{F_y/29000}} = 0.1$$ 4.27

Como $\lambda_c < 1.5$ $\quad F_{cr} = 0.658^{\lambda_c^2} F_y = 35.84 \text{ ksi}$ 4.56

$$\phi_c P_n = \phi_c F_{cr} A = 0.85(35.84)(6.93) = 211 \text{kips} < 223 \text{ kips}$$ (no satisfactorio) 4.29

Deben aumentarse las dimensiones del atiesador. $b = 7$ in y $t = \frac{9}{16}$ in

$$A = 2bt + 12t_w = 2(7)(0.56) + 12(0.25) = 8.68 \text{ in}^2$$ 4.23

$I_x = 241.2\,\text{in}^4$

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{241.2}{8.68}} = 5.26\,\text{in} \qquad 4.25$$

$$\lambda_c = \frac{0.75h}{\pi r\sqrt{F_y/29000}} = 0.0989 \qquad 4.27$$

Como $\lambda_c < 1.5$ $\quad F_{cr} = 0.658^{\lambda_c^2} F_y = 35.85\,\text{ksi}$ 4.56

$\varphi_c P_n = \varphi_c F_{cr} A = 0.85(35.8)(8.68) = 264.8\,\text{kips} > 223\,\text{kips}$ (satisfactorio) 4.29

Se usarán placas de $\frac{9}{16}\,\text{in} \times 7\text{in}$ para los atiesadores de apoyo (ver Figura 4.14).

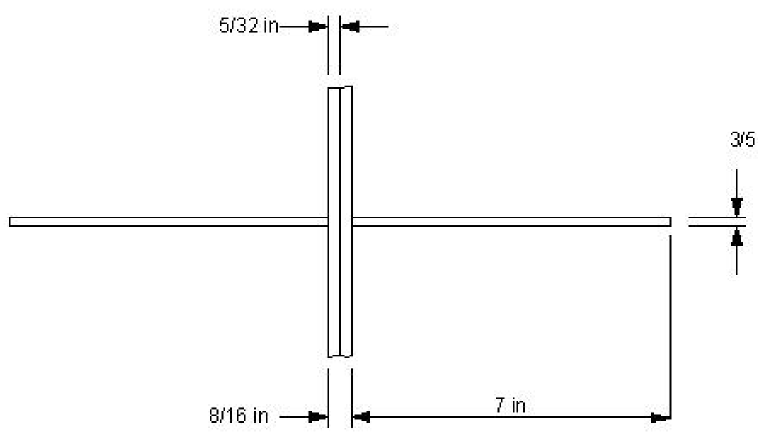

Figura 4.14 Atiesadores de apoyo.

Se han dimensionado todas las componentes de la trabe armada. Las conexiones de esos elementos serán diseñadas, se utilizarán para todas las soldaduras electrodos E60 con una resistencia de diseño de $\phi F_w = 27\,\text{ksi}$.

a) Calcúlese la separación de la soldadura entre el alma y el patín.

$$G = \frac{peralte}{2} - \frac{t_f}{2} = 31.75\,\text{in} \qquad 4.57$$

$$Q = A_f \ G = (18)(1.5)(27) = 729 \qquad 4.58$$

$$I_{xx} = \frac{t_w h^3}{12} + 2(b_f t_f G^2) = 59400.5 \, \text{in}^4 \qquad 4.59$$

$$Máximo = \frac{223(729)}{59400} = 2.73 \, \frac{\text{kips}}{\text{in}} \qquad 4.60$$

Para los espesores de placa por soldar se usará un tamaño de soldadura de $w = t_w$. La longitud mínima de soldadura se calcula con la ecuación 4.61.

$$L_{\min} = 4(w) \geq 1.5 \, \text{in} \qquad 4.61$$

$L_{\min} = 4(0.25) = 1 \text{in}$ Usaremos 1.5 in

Ensáyese con dos soldaduras de filete de $0.25 \, \text{in} \times 1.5 \, \text{in}$.

La capacidad por pulgada para 2 soldaduras se muestra en la ecuación 4.62.

$$Capacidad = 2(0.707 \text{w} \phi \text{F}_\text{w}) \qquad 4.62$$

$$= 2(0.707)(0.25)(27) = 9.5 \, \frac{\text{kips}}{\text{in}}$$

La capacidad por cortante del metal base se obtiene con la ecuación 4.63.

$$t(\phi F_{BM}) = t_w \left[(0.9(0.60 F_y)) \right] = 0.25(0.54)(36) = 4.86 \, \frac{\text{kips}}{\text{in}} \qquad 4.63$$

Empléese una capacidad total de soldadura de 4.86 kips/in. La capacidad de un par de soldaduras de 1.5 in se calcula con la ecuación 4.64.

$$L_{soldadura} t_w \left[(0.9(0.60 F_y)) \right] = 4.86(1.5) = 7.29 \, \text{kips} \qquad 4.64$$

Para determinar la separación de las soldaduras en pulgadas se resuelve la ecuación 4.65.

$$s = \frac{7.29}{\frac{V_u Q}{I_x}} = \frac{7.29}{2.73} = 2.67\,\text{in} < 12\,\text{in} \ \ \text{(satisfactorio)} \qquad 4.65$$

Aunque la separación de $s = 2.67\,\text{in}$ centro a centro se utiliza para toda la longitud de la trabe, una mayor separación puede usarse donde la fuerza cortante es menor que la máxima. Se determinará una separación de 5 pulgadas (ver ecuación 4.66).

$$V_{u2} = \frac{7.29 I_{xx}}{Q(s)} = \frac{7.29(59400)}{729(5\,\text{in})} = 118\,\text{kips} \qquad 4.66$$

Refiérase a la Figura 4.9 y sea "x" la distancia desde el soporte izquierdo (ver ecuación 4.67.).

$$x = \frac{223 - 118}{4.34} = 24.19\,\text{ft} \qquad 4.67$$

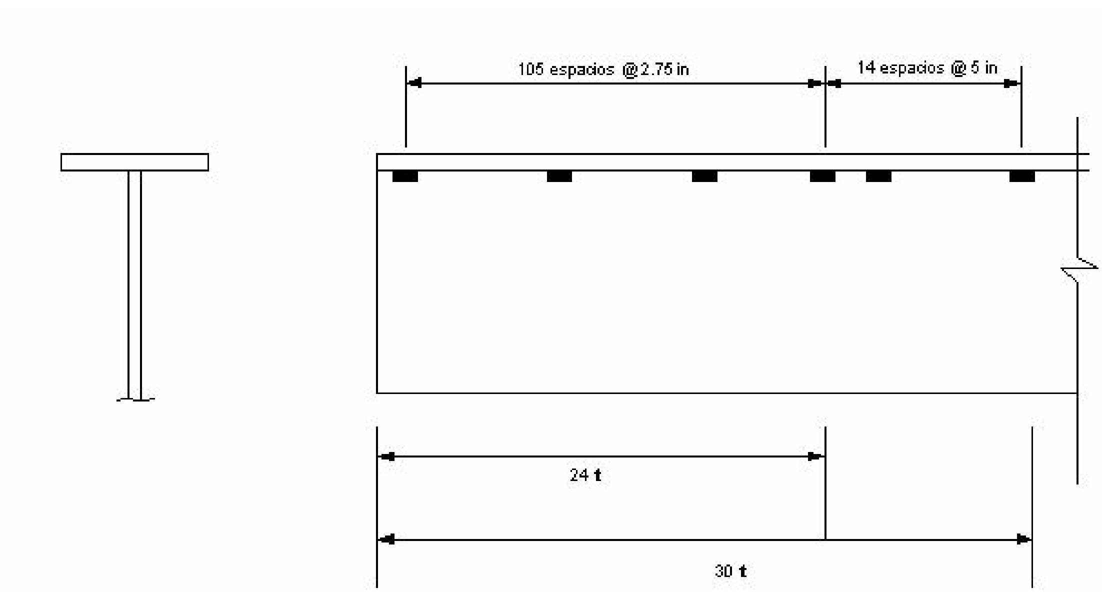

Figura 4.15 Separación de soldadura Alma-Patín.

b) Calcúlese la soldadura de los atiesadores intermedios.

$$\textit{Tamaño}\ \text{mínimo de soldadura} = t_w = \frac{1}{4}\,\text{in} \qquad 4.68$$

$$Longitud \text{ mínima} = 4t_w = 1\,\text{in} < 1.5\,\text{in} \;\; \text{Usaremos } 1.5 \text{ in} \tag{4.69}$$

$$f = 0.045h\sqrt{\frac{F_y^3}{E}} = 0.045(62)\sqrt{\frac{(36)^3}{29000}} = 3.53\,\frac{\text{kips}}{in} \tag{3.21}$$

La separación máxima permisible de la soldadura se calcula con la ecuación 4.70.

$$16t_w = 16(0.25) = 4in \tag{4.70}$$

$$s = \frac{7.29}{3.53} = 2.06\,\text{in} < 5\,\text{in} \;\; \text{(satisfactorio)} \tag{4.71}$$

Se usará soldadura de filete de $\frac{1}{4}\,\text{in} \times 1.5\,\text{in}$ para los atiesadores intermedios.

c) Calcúlese la soldadura de los atiesadores de apoyo:

$$Longitud \text{ mínima} = 4t_w = 4(0.25) = 1\,\text{in} < 1.5\,\text{in} \;\; \text{Usaremos 1.5in.} \tag{4.69}$$

$$Tamaño \text{ mínimo} = t_w = 0.25\,\text{in} \tag{4.68}$$

$$\frac{\text{Re}\,acción}{Longitud\ disponible\ para\ soldadura} = \frac{223}{62 - 1.5} = 3.65\,\frac{\text{kips}}{\text{in}} \tag{4.72}$$

$$s = \frac{7.29}{3.65} = 1.99\,\text{in} \tag{4.73}$$

Se usará soldadura de filete de $0.25\,\text{in} \times 1.5\,\text{in}$ para los atiesadores de apoyo.

4.1.3. EJEMPLO 3

Diseñe una trabe armada simplemente apoyada con un claro de 60 pies que debe soportar las cargas de servicio que se muestran en la Figura 4.16. Considere acero A36 y electrodos E60xx. Suponga que la trabe tiene un soporte lateral continuo.

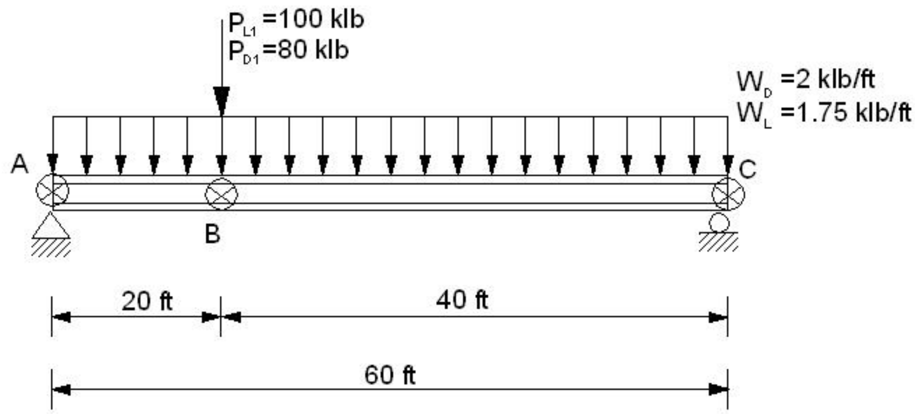

Figura 4.16 Cargas de servicio.

- **<u>Solución</u>**

Las cargas factorizadas, excluido el peso de la trabe, se muestran en la Figura 4.17.

$$W = 1.2(2) + 1.6(1.75) = 5.2 \text{ klb/ft} \qquad 4.30$$

$$P_1 = 1.2(100) + 1.6(80) = 248 \text{ klb} \qquad 4.31$$

Determínese el peralte general:

$$\frac{\textit{Longuitud} \text{ del claro}}{11} = \frac{60(12)}{11} = 65.45 \text{ in} \qquad 4.32$$

Se usará un peralte de 65in, un espesor t_f de 1.5 in. y una altura de alma dada por la ecuación 4.33.

$$h = 65 - 2(1.5) = 62\ \text{in} \qquad 4.33$$

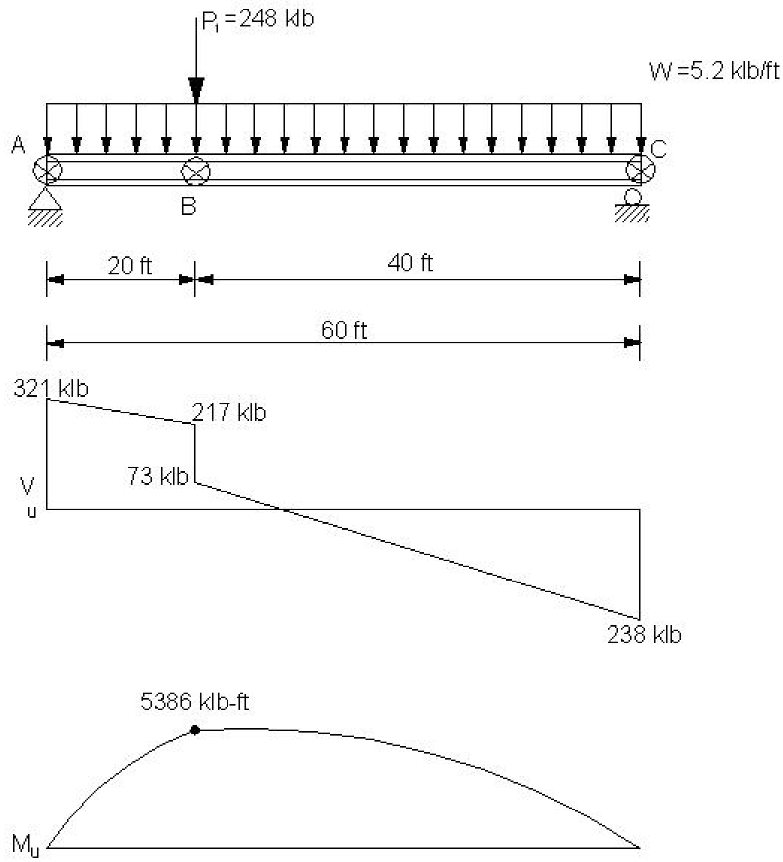

Figura 4.17 Cargas factorizadas y diagramas Cortante-Momento.

Para determinar el espesor del alma, examine primero los valores límite de $\frac{h}{t_w}$. Para que este miembro a flexión califique como trabe armada, debe satisfacerse la ecuación 2.1.

$$\frac{h}{t_w} \geq \frac{970}{\sqrt{F_{yf}}} = \frac{970}{\sqrt{36}} = 161.7 \qquad 2.1$$

$$t_w \leq \frac{h}{161.7} = \frac{62}{161.7} = 0.383\ \text{in} \qquad 4.34$$

Para $\frac{a}{h} \leq 1.5$ $\qquad \frac{h}{t_w} \leq \frac{2000}{\sqrt{F_{yf}}} = \frac{2000}{\sqrt{36}} = 333.3$ 2.20

$$t_w \geq \frac{62}{333.3} = 0.186 \text{ in}$$ 4.35

Para $\frac{a}{h} > 1.5$ $\qquad \frac{h}{t_w} \leq \frac{14{,}000}{\sqrt{F_{yf}(F_{yf}+16.5)}} = \frac{14{,}000}{\sqrt{36(36+16.5)}} = 322.0$ 2.21

$$t_w \geq \frac{62}{322.0} = 0.192 \text{ in}$$ 4.36

Ensáyese una placa de alma de $\frac{1}{4}$ in *x* 62 in.

Determínese el tamaño requerido de patín.

$$A_w = 62\,(1/4) = 15.5 \text{ in}^2$$ 4.37

$$A_f = \frac{M_u}{0.90hF_y} - \frac{A_w}{6} = \frac{5389(12)}{0.90(62)(36)} - \frac{62(1/4)}{6} = 29.6 \text{ in}^2$$ 4.38

Con la ecuación 4.40 se puede estimar el peso de la trabe.

$$\text{Total} = 62\,(1/4) + 2\,(29.6) = 74.7 \text{ in}^2$$ 4.39

$$Peso = \frac{3.2(74.7)}{1000} = 0.254 \ \frac{\text{klb}}{\text{ft}}$$ 4.40

El momento flexionante ajustado se muestra en la Figura 4.18: $Mu = 5488.25$ ft - kips

El área requerida para un patín es

$$A_f = \frac{M_u}{0.90hF_y} - \frac{A_w}{6} = \frac{5488(12)}{0.90(62)(36)} - \frac{62(1/4)}{6} = 30.2 \text{ in}^2$$ 4.38

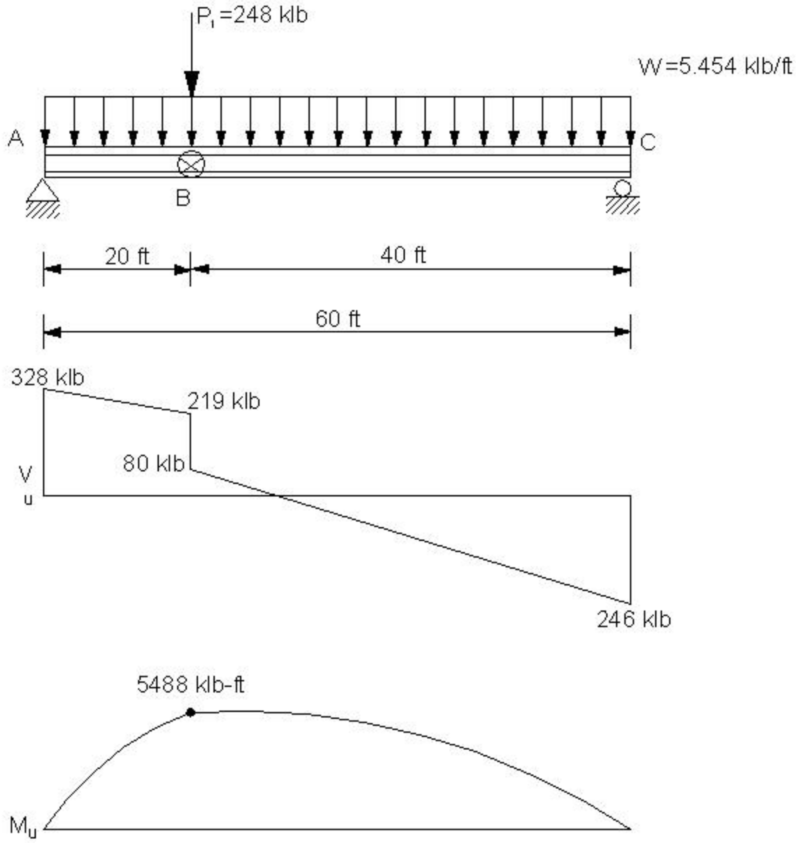

Figura 4.18 Cargas factorizadas con peso propio.

$$b_f = \frac{A_f}{t_f} = \frac{30.2}{1.5} = 20.13\,\text{in} \ \text{Redondeamos a 21 in} \tag{4.41}$$

Ensáyese dos placas de patín de $1\frac{1}{2}$ in x 21in

Supóngase con dos placa de patín de $1\frac{1}{2}$ in x 21in y con una placa de alma de $\frac{1}{4}$ in x 62 in.

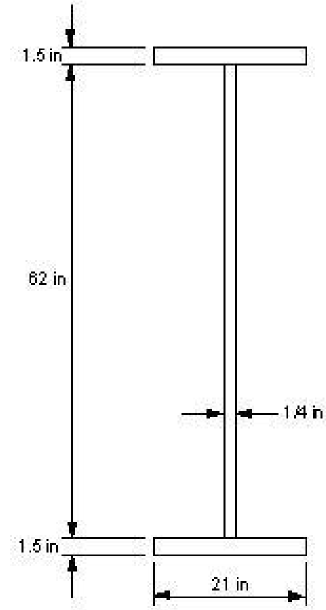

Figura 4.19 Sección propuesta.

Revísese la resistencia a la flexión de la trabe armada:

a) Fluencia del patín en tensión.

$$I_x = \frac{(1/4)(62)^3}{12} + 2(1.5)(21)(31.75)^2 = 68473.1\,\text{in}^4 \qquad 4.42$$

$$c = \frac{Peralte}{2} = \frac{65}{2} = 32.5\,\text{in} \qquad 4.43$$

$$S_x = \frac{I_x}{c} = \frac{68473.1}{32.5} = 2106\,\text{in}^3 \qquad 4.5$$

$$M_n = S_x F_y = (2106)(36) = 75847i\ \text{kips - in} \qquad 2.5$$

$$M_n = 6320\ \text{kips - ft}$$

$$\varphi_b M_n = 0.90\,(6320) = 5688\ \text{kips - ft} > 5488\ \text{kips - ft}\ \ \text{(satisfactorio)} \qquad 2.2$$

b) Resistencia al pandeo lateral torsional PLT.

$$I_y = \frac{1}{12}\left[\frac{(0.25^3)(62)}{6} + 1.5(21^3)\right] = 1157.6\ \text{in}^4 \qquad 4.6$$

$$a = (1.5)(21) + \frac{(62)(0.25)}{6} = 34\ \text{in}^2 \qquad 4.7$$

$$r_T = \sqrt{\frac{1157.6}{34}} = 5.82\ \text{in} \qquad 4.8$$

$$\lambda = \frac{12(a_1)}{r_T} = \frac{12(20)}{5.82} = 41.2 \qquad 2.7$$

$$\lambda_p = \frac{300}{\sqrt{F_y}} = \frac{300}{\sqrt{36}} = 50 \qquad 2.8$$

$$\lambda_r = \frac{756}{\sqrt{F_y}} = \frac{756}{\sqrt{36}} = 126 \qquad 2.9$$

Como $\lambda < \lambda_p$ $\qquad F_{cr} = F_y = 36\ \text{ksi}$ 2.10

$$a_r = \frac{A_w}{A_f} = \frac{15.5}{30.2} = 0.51 \qquad 4.9$$

$$R_{PG} = 1 - \frac{a_r}{1200 + 300a_r}\left(\frac{h}{t_w} - \frac{970}{\sqrt{F_{cr}}}\right) \qquad 4.10$$

$$= 1 - \frac{0.51}{1200 + 300(0.51)}\left(248 - \frac{970}{\sqrt{36}}\right) = 0.967$$

$$M_n = F_{cr} R_{PG} S_x = (36)(0.967)(2106) = 73365\ \text{kips - in} = 6113.7\ \text{kips - ft} \qquad 2.6$$

$$\phi_b M_n = 0.90\,(6113.7) = 5500\ \text{kips - ft} > 5488\ \text{kips - ft}\quad \text{(satisfactorio)} \qquad 2.2$$

c) Resistencia al pandeo local PLP.

$$K_c = \frac{4}{\sqrt{h/t_w}} = \frac{4}{\sqrt{62/0.25}} = 0.254 \qquad 2.16$$

$0.35 \le K_c < 0.763$, entonces $K_c = 0.35$

$$\lambda = \frac{b_f}{2t_f} = \frac{21}{2(1.5)} = 7 \qquad 2.13$$

$$\lambda_p = \frac{65}{\sqrt{F_{yf}}} = \frac{65}{\sqrt{36}} = 10.83 \qquad 2.14$$

Como $\lambda < \lambda_p$ $\qquad F_{cr} = F_y = 36\,\text{ksi}$ 2.17

$$a_r = \frac{A_w}{A_f} = \frac{15.5}{30.2} = 0.51 \qquad 4.9$$

$$R_{PG} = 1 - \frac{a_r}{1200 + 300a_r}\left(\frac{h}{t_w} - \frac{970}{\sqrt{F_{cr}}}\right) \qquad 4.10$$

$$= 1 - \frac{0.51}{1200 + 300(0.51)}\left(248 - \frac{970}{\sqrt{36}}\right) = 0.967$$

$$M_n = F_{cr} R_{PG} S_x = (36)(0.967)(2106) = 73365 \text{ kips - in} = 6113.7 \text{ kips - ft} \qquad 2.6$$

$$\phi_b M_n = 0.90\,(6113.7) = 5500 \text{ kips - ft} > 5488 \text{ kips - ft (satisfactorio)} \qquad 2.2$$

Se usará dos placas de patín de $1\frac{1}{2}$ in x 21in

Revisamos ahora la resistencia por cortante. La fuerza cortante es máxima en los apoyos, pero la acción del campo de tensión no puede usarse en un tablero de extremo. La separación de los atiesadores se determina como sigue:

- Primera sección

a) Se iguala la resistencia requerida por cortante a la resistencia por cortante dada por la ecuación 3.1 ó 3.6, se despeja el valor de C_v .

$$C_v = \frac{V_n}{0.9\,(0.6\,A_w\,F)_y} = \frac{328}{(0.9)(0.6)(15.5)(36)} = 1.09 \qquad 3.6$$

b) Se obtiene K_v de la ecuación 4.46.

$$K_v = \frac{C_v\left(\frac{h}{t_w}\right)^2 F_Y}{44000} = \frac{1.09\cdot(248)^2\cdot 36}{44000} = 54.93 \qquad 4.46$$

c) SeObtiene “a” de la ecuación 4.47.

$$a = h\sqrt{\frac{5}{K_v \quad 5}} = 19.62\,\text{in} \text{ Redondeamos a = 20 in} \qquad 4.47$$

Se obtendrá la separación de los atiesadores intermedios con la resistencia requerida por cortante de $Vn = 319\,\text{kips}$ fuera de los tableros extremos.

$$Vn = \frac{319 - w\left(\frac{a}{12}\right)}{0.9} = \frac{319 - 5.45\left(\frac{20}{12}\right)}{0.9} = 355\,\text{kips} \qquad 4.48$$

Para los tableros extremos de trabes armadas no híbridas con acción de campo de tensión se tiene que: $a = 17\,\text{in}$

$$K_v = 5 + \frac{5}{\left(\frac{a}{h}\right)^2} = 71.5 \qquad 4.12$$

$$C_v = \frac{44000K_v}{\left(\frac{h}{t_w}\right)^2 F_y} = \frac{44000(71.5)}{\left(\frac{62}{.25}\right)^2 36} = 1.42 \qquad 3.5$$

Como $\frac{h}{t_w} \le 187\sqrt{\frac{K_v}{F_y}}$ $\quad V_n = 0.6A_wF_y = 0.6(15.5)(36) = 334.8\,\text{kips} < 355\,\text{kips}$ (no satisfactorio) $\qquad$ 3.2

Es la máxima capacidad que puede resistir esta trabe al cortante, incluso aunque se disminuyera el valor de “a”, la resistencia V_n no cambia. Lo único que queda por hacer es aumentar la dimensión de t_w para que resista el cortante.

Se intentará con un valor de $t_w = 0.3125\,\text{in}$ (ver Figura 4.20).

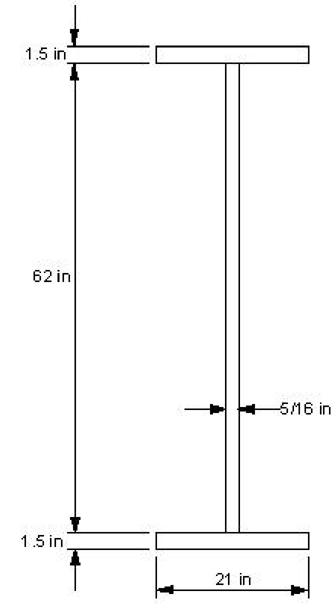

Figura 4.20 Sección propuesta.

$$A_w = ht_w = 62(0.3125) = 19.3\,\text{in} \qquad 4.37$$

$$\text{a) } C_v = \frac{V_n}{0.9\left(0.6\,A_w\,F_y\right)} = \frac{328}{(0.9\ )(0.6)(19.3)(36)} = 0.873 \qquad 3.6$$

$$\text{b) } K_v = \frac{C_v\left(h/t_w\right)^2 F_Y}{44000} = \frac{.873\cdot(198.4)^2\cdot 36}{44000} = 28.12 \qquad 4.46$$

$$\text{c) } a = h\sqrt{\frac{5}{K_v \quad 5}} = 29\,\text{in} \qquad 4.47$$

Se usará una separación centro a centro del primer atiesador a = 35 in

Para los tableros extremos de trabes armadas no híbridas con acción de campo de tensión se tiene que: $a = 42\,\text{in}$

$$K_v = 5 + \frac{5}{\left(a/h\right)^2} = 15.89 \qquad 4.12$$

$$C_v = \frac{44000 K_v}{\left(h/t_w\right)^2 F_y} = \frac{44000 \quad 15.89}{\left(62/0.312\right)^2 36} = 0.49 \qquad 3.5$$

Como $\frac{h}{t_w} > 187\sqrt{\frac{K_v}{F_y}}$ $\qquad V_n = 0.6 A_w F_y \left[C_v + \frac{1 \quad C_v}{1.15\sqrt{1+\left(a/h\right)^2}} \right]$ (satisfactorio) 3.3

$$= 359 \text{ kips} > 355 \text{ kips}$$

Se usará una separación centro a centro de atiesadores intermedios $a = 42$ in

- Segunda sección

Análisis de la resistencia al cortante de la otra sección de la trabe:

a) $C_v = \frac{V_n}{0.9\left(0.6\ A_w\ F_y\right)} = \frac{246.2}{(0.9)(0.6)(19.3)(36)} = 0.65$ 3.6

b) $K_v = \frac{C_v\left(h/t_w\right)^2 F_Y}{44000} = \frac{(0.65)(198.4)^2(36)}{44000} = 21.05$ 4.46

c) $a = h\sqrt{\frac{5}{K_v \quad 5}} = 35$ in 4.47

Se usará una separación centro a centro del primer atiesador a = 35 in

Para los tableros extremos de trabes armadas no híbridas con acción de campo de tensión tenemos que: $a = 89$ in

$$K_v = 5 + \frac{5}{\left(a/h\right)^2} = 7.42 \qquad 4.12$$

$$C_v = \frac{44000K_v}{\left(h/t_w\right)^2 F_y} = \frac{44000(7.42)}{\left(62/0.312\right)^2 36} = 0.23 \qquad 3.5$$

Como $\frac{h}{t_w} > 187\sqrt{\frac{K_v}{F_y}}$

$$V_n = 0.6A_w F_y \left[C_v + \frac{1-C_v}{1.15\sqrt{1+\left(a/h\right)^2}} \right] \quad \text{(satisfactorio)} \qquad 3.3$$

$$= 256\,\text{kips} > 255\,\text{kips}$$

Se usará una separación centro a centro de atiesadores intermedios $a = 89\,\text{in}$

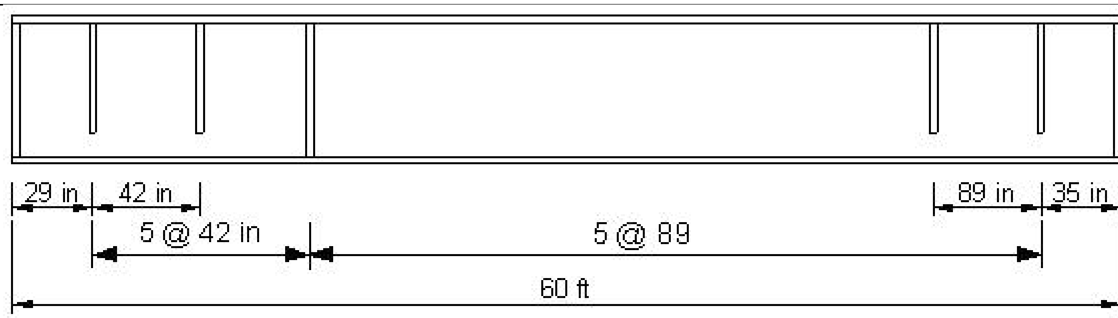

Figura 4.21 Atiesadores.

Diseño de las dimensiones de los atiesadores intermedios

$$J = \frac{2.5}{\left(a/h\right)^2} = \frac{2.5}{\left(a/h\right)^2} = 9.42 \qquad 3.20$$

$$I_{st} = at_w^3 j = 42(.312)^3(9.42) = 12\,\text{in}^4 \qquad 3.19$$

Usando un valor máximo de $\frac{b}{t}$, se calcula “b” con la ecuación 4.49. Después se despeja “t” de la ecuación 3.16.

$$b = \frac{b_f - t_w}{2} = \frac{21-0.312}{2} = 10.34\,\text{in} \qquad 4.49$$

$$t = \frac{b}{\frac{95}{\sqrt{F_y}}} = 0.65\,\text{in} \qquad 4.50$$

$A_{st} = 2bt = (2)(10.34)(0.65) = 13.51\,\text{in}^2$ 4.51

Para 2 atiesadores:

$$I_{st2} = \frac{0.65(10.34)^2}{12} + (0.65)(10.34)(13.51 + t_w/2)^2 \;\; x2 = 2646\,\text{in}^4 \quad 4.52$$

$I_{st2} > I_{st}$ (satisfactorio)

Para determinar la longitud de los atiesadores, se calcula primero la distancia entre la soldadura del atiesador y la soldadura del alma al patín. Las especificaciones del AISC indican una distancia mínima de $4t_w$ y máxima de $6t_w$, por lo cual se usará una distancia de $5t_w$.

$La = h - (5t_w - t_w) = 60\,\text{in}$ 4.53

Empléese dos placas de $\frac{3}{4}\,\text{in} \times 10\,\text{in} \times 60\,\text{in}$ para los atiesadores intermedios (ver Figura 4.22.).

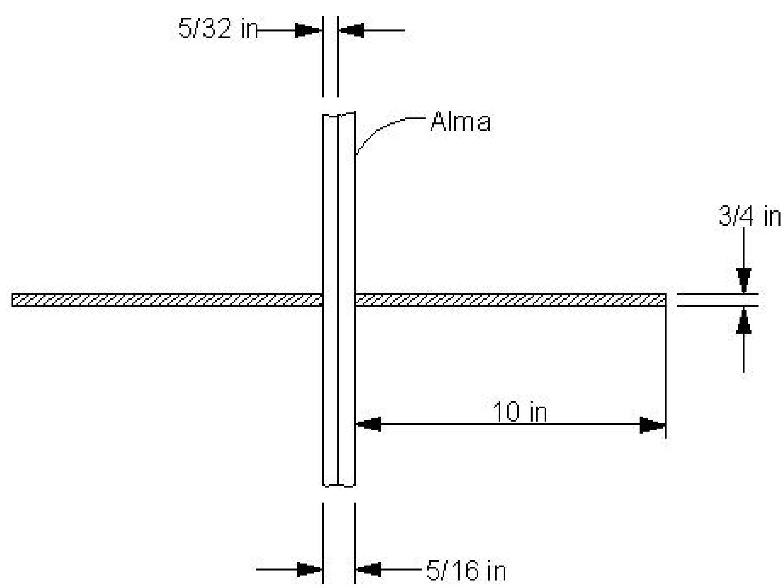

Figura 4.22 Atiesadores intermedios.

Los atiesadores de apoyo serán instalados en los soportes y debajo de cada carga concentrada. Su diseño se realizará siguiendo las ecuaciones 4.54 y 4.55.

$$b = \frac{b_f}{2} - 2 = \frac{21}{2} - 2 = 8.39 \text{ in} \tag{4.54}$$

$$t \geq \frac{b\sqrt{F_y}}{95} = \frac{8.5\sqrt{36}}{95} = 0.53 \text{ in} \tag{4.55}$$

Revísese la resistencia por aplastamiento.

$$\begin{aligned} \phi R_n &= 0.75(1.8 F_y A_{pb}) = 0.75(1.8)(36)(0.53)(8.5\text{-}0.5) \times 2 \\ &= 417.3 \text{ kips} > 328.9 \text{ kips} \end{aligned} \quad \text{(satisfactorio)} \tag{4.22}$$

Revísese el atiesador como una columna.

$$A = 2bt + 12t_w = 10.34 \text{ in}^2 \tag{4.23}$$

$$I_x = 409.5 \text{ in}^4$$

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{409.5}{10.34}} = 6.3 \text{ in} \tag{4.25}$$

$$\lambda_c = \frac{0.75h}{\pi r \sqrt{\frac{F_y}{29000}}} = 0.082 \tag{4.27}$$

Como $\lambda_c < 1.5$ $\qquad$ $F_{cr} = 0.658^{\lambda_c^2} F_y = 35.8 \text{ ksi}$ $\qquad$ 4.56

$$\begin{aligned} \phi_c P_n &= \phi_c F_{cr} A = 0.85(35.8)(10.34) \\ &= 314.2 \text{ kips} < 328.9 \text{ kips} \end{aligned} \quad \text{(no satisfactorio)} \tag{4.29}$$

Debe aumentarse las dimensiones del atiesador. $b = 8.5$ in y $t = 1$ in

$$A = 2bt + 12t_w = 2(1)(8.5) + 12(.312) = 18.8 \text{ in}^2 \tag{4.23}$$

$I_x = 790.75 \text{ in}^4$

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{790.75}{18.8}} = 6.48 \text{ in} \qquad 4.25$$

$$\lambda_c = \frac{0.75h}{\pi r \sqrt{F_y / 29000}} = 0.080 \qquad 4.27$$

Como $\lambda_c < 1.5$ $\qquad F_{cr} = 0.658^{\lambda_c^2} F_y = 35.8 \text{ ksi}$ $\qquad$ 4.56

$$\phi_c P_n = \phi_c F_{cr} A = 0.85(35.8)(18.8) = 573.6 \text{ kips} > 328.9 \text{ kips (satisfactorio)} \qquad 4.29$$

Empléese dos placas de $1 \text{in} \times 8.5 \text{ in}$ para los atiesadores de apoyo (Figura 4.23.)

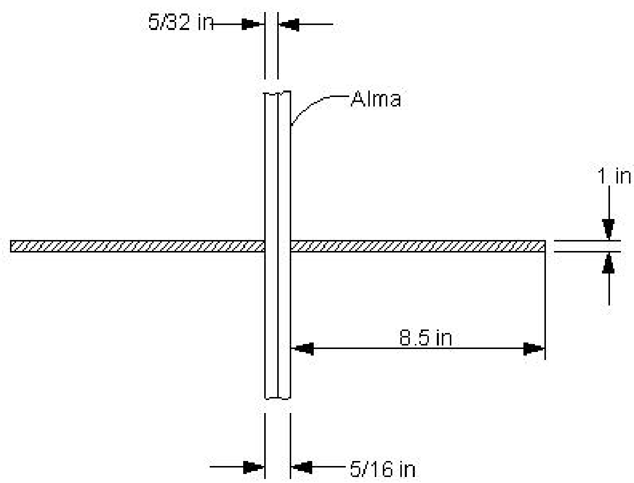

Figura 4.23 Atiesadores de apoyo.

Se han dimensionado todas las componentes de la trabe armada. Las conexiones de esos elementos serán ahora diseñadas. Se utilizarán para todas las soldaduras electrodos E60 con una resistencia de diseño de $\phi F_w = 27 \text{ ksi}$.

a) Calcúlese la separación de la soldadura entre el alma y el patín.

$$G = \frac{peralte}{2} - \frac{t_f}{2} = 31.75 \text{ in} \qquad 4.57$$

$$Q = \textit{área} \text{ del patín} \times \mathrm{G} = 21(1.5) \times 31.75 = 1000 \text{ in}^4 \quad 4.58$$

$$I_{xx} = \frac{t_w h^3}{12} + 2(b_f t_f G^2) = 69714.4 \text{ in}^4 \quad 4.59$$

$$\textit{Máximo} = \frac{328.9(1000)}{69714.4} = 4.71 \frac{\text{kips}}{\text{in}} \quad 4.60$$

Para los espesores de placa por soldar se usará un tamaño de soldadura de $w = t_w$. La longitud mínima de soldadura se muestra en la ecuación 4.61.

$$L_{\min} = 4(w) \geq 1.5 \text{ in} \quad 4.61$$

$L_{\min} = 4(0.312) = 1.25 \text{ in}^2$ Usaremos 1.5 in

Inténtese con soldaduras de filete de $\frac{5}{16}$ in $\times 1\frac{1}{2}$ in

La ecuación 4.62 muestra la capacidad por pulgada para 2 soldaduras

$$\textit{Capacidad} = 2(0.707\mathrm{W}\,\phi\mathrm{F_w}) \quad 4.62$$

$$= 2(0.707)(0.312)(27) = 11.91 \frac{\text{kips}}{\text{in}}$$

La capacidad por cortante del metal base se muestra en la ecuación 4.63.

$$t(\varphi F_{BM}) = t_w\left[\left(0.9(0.60F_y)\right)\right] = 0.312(0.54)(36) = 6.07 \frac{\text{kips}}{\text{in}} \quad 4.63$$

La capacidad de un par de soldaduras de 1.5 in se calcula con la ecuación 4.64.

$$L_{soldadura} t_w \left[\left(0.9(0.60F_y)\right)\right] = 6.075(1.5) = 9.12 \text{ kips} \quad 4.64$$

Para determinar la separación de las soldaduras en pulgadas se resuelve la ecuación 4.65.

$$s = \frac{9.12}{\frac{V_u Q}{I_x}} = \frac{9.12}{4.72} = 1.93\,\text{in} < 12\,\text{in}\ \ \text{(satisfactorio)} \qquad 4.65$$

Aunque la separación de 1.93 pulgadas centro a centro se utiliza para toda la longitud de la trabe, una mayor separación puede usarse donde la fuerza cortante es menor que la máxima. Se determinará una separación de 5 pulgadas (ver ecuación 4.66).

$$V_{u2} = \frac{9.12(69714)}{1000(5\,\text{in})} = 127\,\text{kips} \qquad 4.66$$

Refiérase a la Figura 4.18 y sea “x” la distancia desde el soporte derecho, ver ecuación 4.67.

$$x = \frac{246 - 118}{5.4} = 23.7\,\text{ft} \qquad 4.67$$

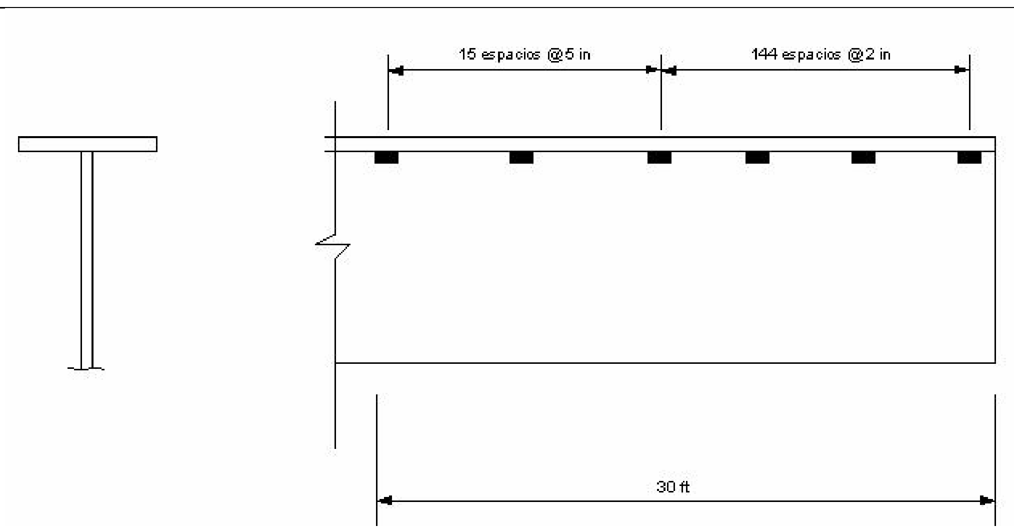

Figura 4.24 Separación de soldadura Alma-Patín.

b) Calcúlese la soldadura en atiesadores intermedios.

$$\textit{Tamaño}\ \text{mínimo de soldadura} = \frac{3}{16}\,\text{in} \qquad 4.68$$

$$\text{Longuitud mínima} = 4\left(\frac{3}{16}\right) = 0.75\ \text{in} < 1.5\ \text{in}\ \ \text{Usaremos 1.5 in} \qquad 4.69$$

$$f = 0.045h\sqrt{\frac{F_y^3}{E}} = 0.045(62)\sqrt{\frac{(36)^3}{29000}} = 3.53\ \frac{\text{kips}}{\text{in}} \qquad 3.21$$

La separación máxima permisible de la soldadura es:

$$16t_w = 16(0.312) = 5\ \text{in} \qquad 4.70$$

$$s = \frac{9.11}{3.53} = 2.57\ \text{in} < 5\ \text{in}\ \ \text{(satisfactorio)} \qquad 4.71$$

Se usará soldadura de filete de $\frac{5}{16}$ in $\times 1\frac{1}{2}$ in para los atiesadores intermedios.

c) Calcúlese la soldadura de los atiesadores de apoyo:

$$\textit{Longuitud}\ \text{mínima} = 4t_w = 4(0.312) = 1.25\ \text{in} < 1.5\ \text{in} \qquad 4.69$$

Usaremos 1.5 in

$$\textit{Tamaño}\ \text{mínimo} = t_w = 0.312\ \text{in} \qquad 4.68$$

$$\frac{\text{Re}\,\textit{acción}}{\textit{Longuitud disponible para soldadura}} = \frac{328.9}{62 - 1.5} = 5.43\ \frac{\text{kips}}{\text{in}} \qquad 4.72$$

$$s = \frac{9.11}{5.43} = 1.67\ \text{in} \qquad 4.73$$

Se usará soldadura de filete de $\frac{5}{16}$ in $\times 1\frac{1}{2}$ in para los atiesadores de apoyo.

4.1.4. EJEMPLO 4

Diseñe una trabe armada simplemente apoyada con un claro de 50 pies que debe soportar las cargas de servicio que se muestran en la Figura 4.25. Considere acero A36 y electrodos E60xx. Suponga que la trabe tiene un soporte lateral continuo.

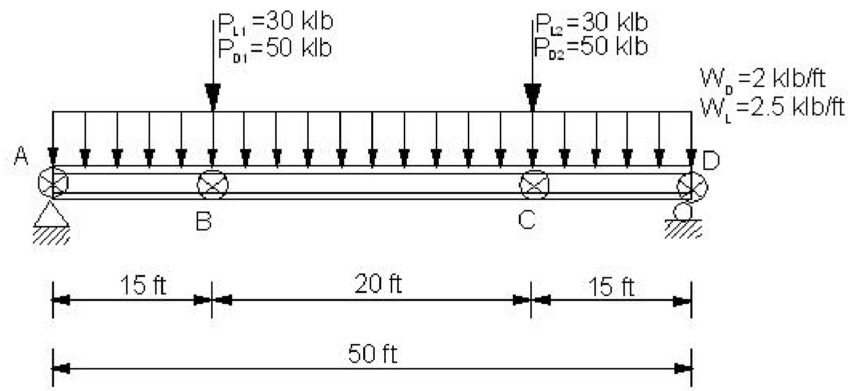

Figura 4.25 Cargas de servicio.

- **Solución**

Las cargas factorizadas, excluido el peso de la trabe, se muestran en la Figura 4.26.

$$W = 1.2\,(2) + 1.6\,(2.5) = 6.4\ \frac{\text{klb}}{\text{ft}} \tag{4.30}$$

$$P_1 = 1.2\,(30) + 1.6\,(50) = 116\ \text{kips} \tag{4.31}$$

$$P_2 = 1.2\,(30) + 1.6\,(50) = 116\ \text{kips} \tag{4.31}$$

Determínese el peralte general.

$$\frac{\textit{Longuitud}\ \text{del claro}}{11} = \frac{(12)50}{11} = 55\ \text{in} \tag{4.32}$$

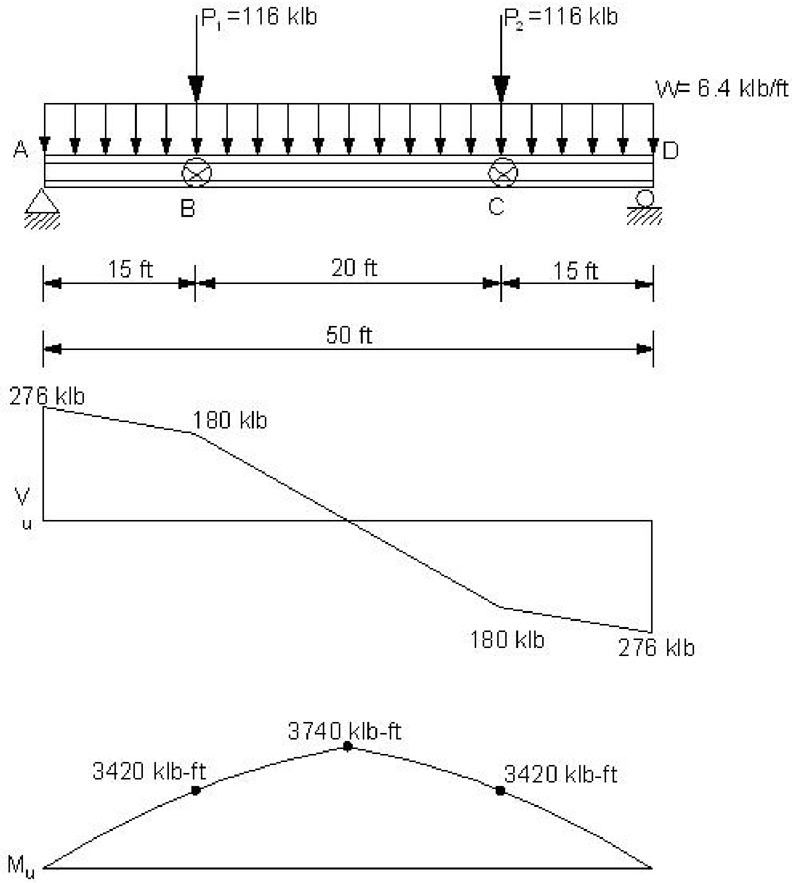

Figura 4.26 Cargas factorizadas.

Considérese un peralte de 55 in y un espesor t_f de patín de 1.5 in y una altura de alma dada por la:

$$h = 55 - 2(1.5) = 52 \text{ in} \tag{4.33}$$

Para determinar el espesor del alma, examine primero los valores límite de $\frac{h}{t_w}$. Para que este miembro a flexión califique como trabe armada debe satisfacerse la ecuación 2.1.

$$\frac{h}{t_w} \geq \frac{970}{\sqrt{F_{yf}}} = \frac{970}{\sqrt{36}} = 161.7 \tag{2.1}$$

Despejando t_w de la ecuación 2.1, se obtiene la ecuación 4.34.

$$t_w \le \frac{h}{161.7} = \frac{52}{161.7} = 0.322\,\text{in} \tag{4.34}$$

Para $\frac{a}{h} \le 1.5$ $$\frac{h}{t_w} \le \frac{2000}{\sqrt{F_{yf}}} = \frac{2000}{\sqrt{36}} = 333.3 \tag{2.20}$$

$$.\ t_w \ge \frac{52}{333.3} = 0.156\,\text{in} \tag{4.35}$$

Para $a/h > 1.5,$ tenemos las ecuaciones 2.21 y 4.36.

Para $\frac{a}{h} > 1.5$ $$\frac{h}{t_w} \le \frac{14{,}000}{\sqrt{F_{yf}(F_{yf}+16.5)}} = \frac{14{,}000}{\sqrt{36(36+16.5)}} = 322.0 \tag{2.21}$$

$$t_w \ge \frac{52}{322.0} = 0.161\ \text{in} \tag{4.36}$$

Ensáyese una placa de alma de $\frac{1}{4}$ in x 52 in .

Determinación del tamaño requerido de patín.

$$\text{A}_\text{w} = 52\,(1/4) = 13\,\text{in}^2 \tag{4.37}$$

$$A_f = \frac{M_u}{0.90hF_y} - \frac{A_w}{6} = \frac{3740(12)}{0.90(52)(36)} - \frac{13}{6} = 24.47\ \text{in}^2 \tag{4.38}$$

Con la ecuación 4.40 se puede estimar el peso de la trabe.

$$\text{Total} = 52\,(1/4) + 2\,(24.47) = 61.94\ \text{in}^2 \tag{4.39}$$

$$\text{Peso} = \frac{3.4\,(61.94)}{1000} = 0.211\,\frac{\text{klb}}{\text{ft}} \tag{4.40}$$

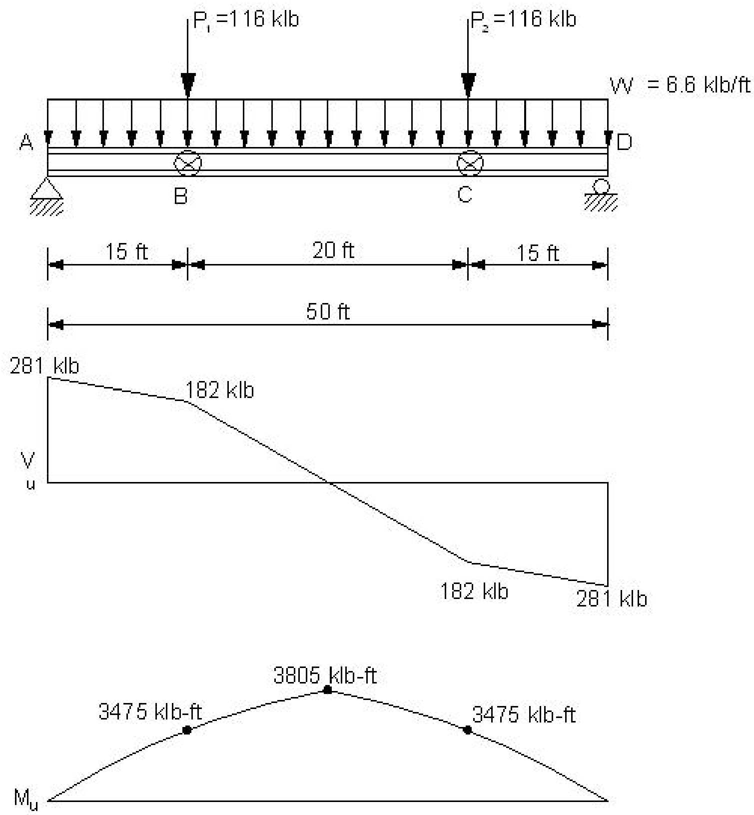

Figura 4.27 Cargas factorizadas con peso propio.

El momento flexionante ajustado se muestra en la Figura 4.27:

$Mu = 3805.814 \text{ kips - ft}$

El área requerida para un patín se muestra en la ecuación 4.38.

$$A_f = \frac{M_u}{0.90hF_y} - \frac{A_w}{6} = \frac{3805.814(12)}{0.90(52)(36)} - \frac{52(1/4)}{6} = 24.94 \text{ in}^2 \qquad 4.38$$

$$b_f = \frac{A_f}{t_f} = \frac{24.94}{1.5} = 16.63 \text{ in}^2 \qquad 4.41$$

Redondeamos a 17 in

Inténtese dos placas de patín de $1\frac{1}{2} \text{ in x } 17 \text{ in}$

Ensáyese con una placa de patín de $1\frac{1}{2}$ in x 17 in y con una placa de alma de

$\frac{1}{4}$ in x 52 in.

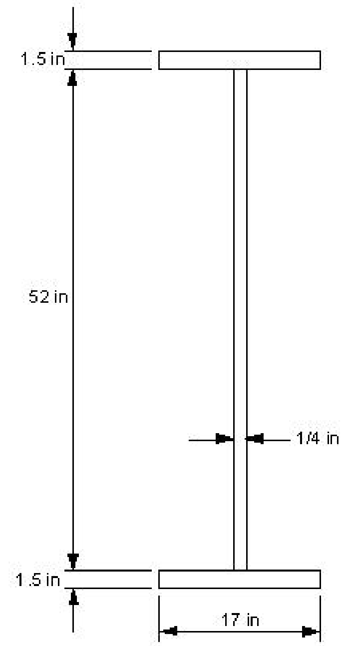

Figura 4.28 Sección propuesta.

Revisión de la resistencia a la flexión de la trabe armada:

a) Fluencia del patín en tensión.

$$I_x = \frac{(1/4)(52)^3}{12} + 2(1.5)(17)(715.56) = 39423 \text{ in}^4 \qquad 4.42$$

$$c = \frac{Peralte}{2} = \frac{55}{2} = 27.5 \text{ in} \qquad 4.43$$

$$S_x = \frac{I_x}{c} = \frac{39423}{27.5} = 1433.56 \text{ in}^3 \qquad 4.5$$

$$Mn = S_x F_y = (1433.56)(36) = 51608.32 \text{ kips - in} \qquad 2.5$$

$$Mn = 4300.69 \text{ kips - ft}$$

$$\phi_b M_n = 0.90\,(4300.69) = 3870.62\ \text{kips - ft} > 3805.814\ \text{kips - ft}\ \ (\text{satisfactorio}) \qquad 2.2$$

b) Resistencia al pandeo lateral torsional PLT.

$$I_y = \frac{1}{12}\left[\frac{(0.25^3)(52)}{6} + 1.5(17^3)\right] = 614.14\ \text{in}^4 \qquad 4.6$$

$$A = (1.5)(17) + \frac{(52)(0.25)}{6} = 27.667\ \text{in}^2 \qquad 4.7$$

$$r_T = \sqrt{\frac{614.14}{27.667}} = 4.71\,\text{in} \qquad 4.8$$

- Primera y tercera sección

$$\lambda = \frac{12(a_1)}{r_T} = \frac{12(15)}{4.71} = 38.2 \qquad 2.7$$

$$\lambda_p = \frac{300}{\sqrt{F_y}} = \frac{300}{\sqrt{36}} = 50 \qquad 2.8$$

$$\lambda_r = \frac{756}{\sqrt{F_y}} = \frac{756}{\sqrt{36}} = 126 \qquad 2.9$$

Como $\lambda < \lambda_p$ $\qquad F_{cr} = F_y = 36\,\text{ksi}$ 2.10

$$a_r = \frac{A_w}{A_f} = \frac{13}{24.94} = 0.52 \qquad 4.9$$

$$R_{PG} = 1 - \frac{a_r}{1200 + 300a_r}\left(\frac{h}{t_w} - \frac{970}{\sqrt{F_{cr}}}\right) \qquad 4.10$$

$$= 1 - \frac{0.52}{1200 + 300(0.52)}\left(208 - \frac{970}{\sqrt{36}}\right) = 0.982$$

$$M_n = F_{cr} R_{PG} S_x = (36)(0.982)(1433.56) = 50689.4\ \text{kips - in} = 4224.1\,\text{kips - ft} \qquad 2.6$$

$$\phi_b M_n = 0.90\,(4224.1) = 3801.71\ \text{f kips - ft} > 3475.28\ \text{kips - ft}\ \ \ (\text{satisfactorio}) \qquad 2.2$$

- Segunda sección

$$\lambda = \frac{12(a_2)}{r_T} = \frac{12(20)}{4.71} = 50.94$$ 2.7

$$\lambda_p = \frac{300}{\sqrt{F_y}} = \frac{300}{\sqrt{36}} = 50$$ 2.8

$$\lambda_r = \frac{756}{\sqrt{F_y}} = \frac{756}{\sqrt{36}} = 126$$ 2.9

Como $\lambda > \lambda_p$

$$C_b = \frac{12.5(M_u)}{2.5(M_u) + 3(M_a) + 4(M_b) + 3(M_c)}$$ 4.44

$$\frac{12.5(3805.81)}{2.5(3805.81) + 3(3723.18) + 4(\ 3805.81) + 3(3723.18)}$$

$$= 1.01$$

$$\mathrm{F_{cr}} = \mathrm{C_b}\ \mathrm{F_y}\left[1 - 0.5\frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p}\right] = 36.15\ \mathrm{ksi}$$ 2.11

$$a_r = \frac{A_w}{A_f} = \frac{13}{24.94} = 0.52$$ 4.9

$$M_n = F_{cr} R_{PG} S_x = (36.15)(0.982)(1433.56)$$ 2.6

$$= 50899.66\ \text{kips - in} = 4241.63\ \text{kips - ft}$$

$$\phi_b M_n = 0.90\ (4241.63) = 3817.48\ \text{kips - ft} > 3805.814\ \text{kips - ft}\ \ \text{(satisfactorio)}$$ 2.2

c) Resistencia al pandeo local PLP.

$$K_c = \frac{4}{\sqrt{h/t_w}} = \frac{4}{\sqrt{52/0.25}} = 0.277$$ 2.16

$0.35 \leq K_c < 0.763$, entonces $K_c = 0.35$

$$\lambda = \frac{b_f}{2t_f} = \frac{17}{2(1.5)} = 5.667$$ 2.13

$$\lambda_p = \frac{65}{\sqrt{F_y}} = \frac{65}{\sqrt{36}} = 10.83$$ 2.14

Como $\lambda < \lambda_p$ $\qquad F_{cr} = F_y = 36$ ksi 2.17

$$a_r = \frac{A_w}{A_f} = \frac{13}{24.94} = 0.52$$ 4.9

$$R_{PG} = 1 - \frac{a_r}{1200 + 300a_r}\left(\frac{h}{t_w} - \frac{970}{\sqrt{F_{cr}}}\right)$$ 4.10

$$= 1 - \frac{0.52}{1200 + 300(0.52)}\left(208 - \frac{970}{\sqrt{36}}\right) = 0.982$$

$M_n = F_{cr} R_{PG} S_x = (36)(0.982)(1433.56) = 50689.4$ kips - in = 4224.12 kips - ft 2.6

$\varphi_b M_n = 0.90\,(4224.12) = 3801.71$ kips - ft < 3805.814 kips - ft (no satisfactorio) 2.2

Ensáyese una placa de patín de $1\frac{1}{2}$ in x 18 in y con una placa de alma de $\frac{1}{4}$ in x 52 in, ver Figura 4.29.

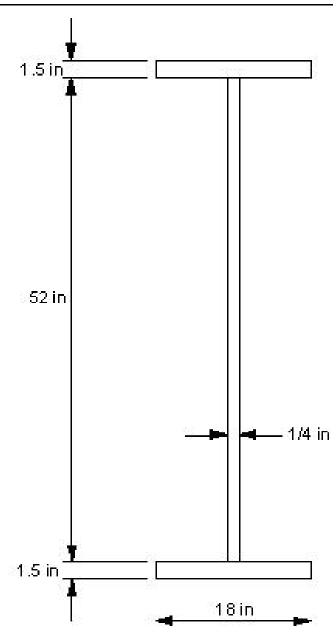

Figura 4.29 Sección propuesta.

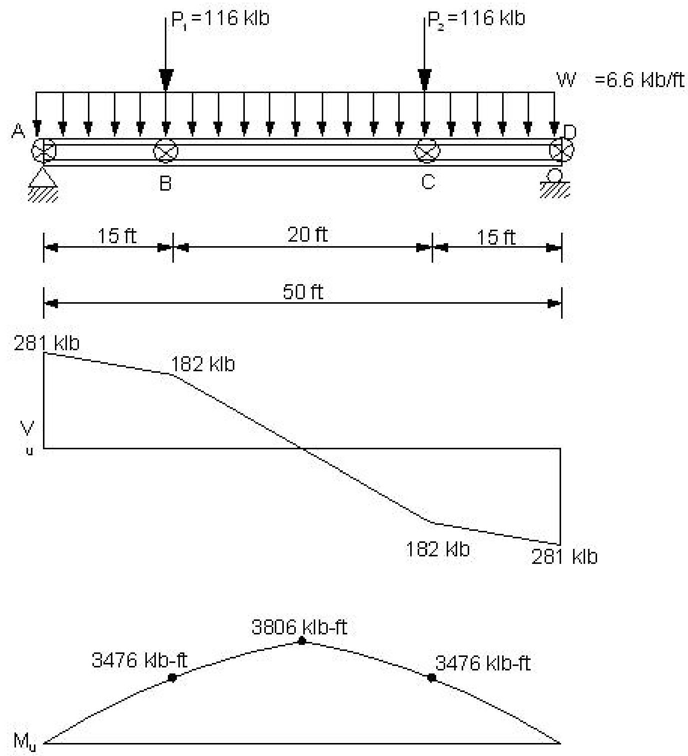

Figura 4.30 Cargas (peso propio incluido), diagrama Cortante-Momento.

$M_u = 3806.811 \text{ kips - ft}$

$A_f = 24.95 \text{ in}^2$

Revisión de la resistencia a la flexión de la traba armada.

a) Fluencia de patín en tensión.

$$I_x = \frac{(1/4)(52)^3}{12} + 2(1.5)(18)(715.56) = 41569.71 \text{ in}^4 \quad 4.42$$

$$c = \frac{Peralte}{2} = \frac{55}{2} = 27.5 \text{ in} \quad 4.43$$

$$S_x = \frac{I_x}{c} = \frac{41569.71}{27.5} = 1511.63 \text{ in}^3 \quad 4.5$$

$$M_n = S_x F_y = (1511.63)(36) = 54418.53 \text{ kips - in} \quad 2.5$$

$M_n = 54414.53 \text{ kips - in} = 4534.88 \text{ kips - ft}$

$\varphi_b M_n = 0.90\,(4534.88) = 4081.39 \text{ kips - ft} > 3806.811 \text{ kips - ft}$ (satisfactorio) 2.2

b) Resistencia al pandeo lateral torsional PLT.

$$I_y = \frac{1}{12}\left[\frac{\left(0.25^3\right)(52)}{6} + 1.5\left(18^3\right)\right] = 729.01\,\text{in}^4 \qquad 4.6$$

$$A = (1.5)(18) + \frac{(52)(0.25)}{6} = 29.1667\ \text{in}^2 \qquad 4.7$$

$$r_T = \sqrt{\frac{729.01}{29.1667}} = 5\ \text{in} \qquad 4.8$$

- Primera y tercera sección

$$\lambda = \frac{12(a_1)}{r_T} = \frac{12(15)}{5} = 36 \qquad 2.7$$

$$\lambda_p = \frac{300}{\sqrt{F_y}} = \frac{300}{\sqrt{36}} = 50 \qquad 2.8$$

$$\lambda_r = \frac{756}{\sqrt{F_y}} = \frac{756}{\sqrt{36}} = 126 \qquad 2.9$$

Como $\lambda < \lambda_p$ $\qquad F_{cr} = F_y = 36\ \text{ksi}$ 2.10

$$a_r = \frac{A_w}{A_f} = \frac{13}{24.95} = 0.52 \qquad 4.9$$

$$R_{PG} = 1 - \frac{a_r}{1200 + 300a_r}\left(\frac{h}{t_w} - \frac{970}{\sqrt{F_{cr}}}\right) \qquad 4.10$$

$$= 1 - \frac{0.52}{1200 + 300(0.52)}\left(208 - \frac{970}{\sqrt{36}}\right) = 0.982$$

$$M_n = F_{cr} R_{PG} S_x = (36)(0.982)(1511.63) = 53449.82\ \text{kips - in} = 4454.15\ \text{kips - ft} \qquad 2.6$$

$$\varphi_b M_n = 0.90\,(4454.15) = 4008.74\text{ kips - ft} > 3476.12\text{ kips - ft (satisfactorio)} \quad 2.2$$

- Segunda sección

$$\lambda = \frac{12(a_2)}{r_T} = \frac{12(20)}{5} = 48 \quad 2.7$$

$$\lambda_p = \frac{300}{\sqrt{F_y}} = \frac{300}{\sqrt{36}} = 50 \quad 2.8$$

$$\lambda_r = \frac{756}{\sqrt{F_y}} = \frac{756}{\sqrt{36}} = 126 \quad 2.9$$

Como $\lambda < \lambda_p$ $\qquad F_{cr} = F_y = 36\text{ ksi}$ 2.10

$$a_r = \frac{A_w}{A_f} = \frac{13}{24.95} = 0.52 \quad 4.9$$

$$R_{PG} = 1 - \frac{a_r}{1200 + 300a_r}\left(\frac{h}{t_w} - \frac{970}{\sqrt{F_{cr}}}\right) \quad 4.10$$

$$= 1 - \frac{0.52}{1200 + 300(0.52)}\left(208 - \frac{970}{\sqrt{36}}\right) = 0.982$$

$$M_n = F_{cr} R_{PG} S_x = (36)(0.982)(1511.63) = 53449.82\text{ kips - in} = 4454.15\text{ kips - ft} \quad 2.6$$

$$\varphi_b M_n = 0.90\,(4454.15) = 4008.74\text{ kips - ft} > 3806.811\text{ kips - ft (satisfactorio)} \quad 2.2$$

c) Resistencia al pandeo local PLP.

$$K_c = \frac{4}{\sqrt{h/t_w}} = \frac{4}{\sqrt{52/0.25}} = 0.277 \quad 2.16$$

$0.35 \le K_c < 0.763$, entonces $K_c = 0.35$

$$\lambda = \frac{b_f}{2t_f} = \frac{18}{2(1.5)} = 6 \quad 2.13$$

$$\lambda_p = \frac{65}{\sqrt{F_{yf}}} = \frac{65}{\sqrt{36}} = 10.83 \qquad 2.14$$

Como $\lambda < \lambda_p$ $\qquad F_{cr} = F_y = 36\,\text{ksi}$ $\qquad$ 2.17

$$a_r = \frac{A_w}{A_f} = \frac{13}{24.95} = 0.52 \qquad 4.9$$

$$R_{PG} = 1 - \frac{a_r}{1200 + 300a_r}\left(\frac{h}{t_w} - \frac{970}{\sqrt{F_{cr}}}\right) \qquad 4.10$$

$$= 1 - \frac{0.52}{1200 + 300(0.52)}\left(208 - \frac{970}{\sqrt{36}}\right) = 0.982$$

$$M_n = F_{cr} R_{PG} S_x = (36)(0.982)(1511.63) = 53449.82\,\text{kips - in} = 4454.15\,\text{kips - ft} \qquad 2.6$$

$$\phi_b M_n = 0.90\,(4454.15) = 4008.74\,\text{kips - ft} > 3806.811\,\text{kips - ft}\ \ \text{(satisfactorio)} \qquad 2.2$$

Revísese ahora la resistencia por cortante. La fuerza cortante es máxima en los apoyos, pero la acción del campo de tensión no puede usarse en un tablero de extremo. La separación de los atiesadores se determinan como sigue:

- Primera y tercera sección

a) Se Iguala la resistencia requerida por cortante a la resistencia por cortante dada por la ecuación 3.1 ó 3.6 y se despeja el valor de C_v .

$$C_v = \frac{V_n}{0.9\left(0.6\,\text{A}_\text{w}\text{F}_\text{y}\right)} = \frac{281.34}{(0.9)(0.6)(13)(36)} = 1.11 \qquad 3.6$$

b) Se despeja K_v de la ecuación 3.5.

$$K_v = \frac{C_v\left(h/t_w\right)^2 F_Y}{44000} = \frac{1.11\cdot(208)^2\cdot 36}{44000} = 39.41 \qquad 4.46$$

c) Se calcula “a” de la ecuación 4.47.

$$a = h\sqrt{\frac{5}{K_v \quad 5}} = 19.82\,\text{in} \qquad 4.47$$

Se usará una separación centro a centro de primer atiesador a = 20 in.

Se Obtendrá la separación de los atiesadores intermedios ahora con la resistencia requerida por cortante de $V_n = 281.34\,\text{kips}$ fuera de los tableros extremos.

$$V_n = \frac{281.34 - w\left(\frac{a}{12}\right)}{0.9} = \frac{281.34 - 6.61\left(\frac{20}{12}\right)}{0.9} = 300.36\,\text{kips} \qquad 4.48$$

Para los tableros extremos de trabes armadas no híbridas con acción de campo de tensión se tiene que: $a = 160\,\text{in}$

$$K_v = 5 + \left(\frac{5}{\left(a/h\right)^2}\right) = 5.52 \qquad 4.12$$

$$C_v = \frac{44000K_v}{\left(\frac{h}{t_w}\right)^2 F_y} = \frac{44000(5.52)}{\left(\frac{52}{0.25}\right)^2 36} = 0.156 \qquad 3.5$$

Como $\frac{h}{t_w} > 234\sqrt{\frac{K_v}{F_y}}$ $\quad V_n = A_w \frac{26400k_v}{\left(\frac{h}{t_w}\right)^2}$ (no satisfactorio) 4.74

$$= 43.85\,\text{kips} < 300\,\text{kips}$$

Se intenta con $a = 16\,\text{in}$

$$K_v = 5 + \left(\frac{5}{\left(a/h\right)^2}\right) = 57.81 \qquad 4.12$$

Como $\frac{h}{t_w} < 187\sqrt{\frac{K_v}{F_y}}$ entonces,

$V_n = 0.6 A_w F_y = 280.8\,\text{kips} < 300\,\text{kips}$ (no satisfactorio) 3.2

La máxima capacidad que puede resistir esta trabe al cortante es $V_n = 280.8\,\text{kips}$, incluso aunque se disminuyera el valor de "a", la resistencia "V_n" no cambia. Lo único que queda por hacer es aumentar la dimensión de t_w para que resista el cortante.

Inténtese con una placa de patín de $1\frac{1}{2}\,\text{in}\ x\ 18\,\text{in}$ y con una placa de alma de $\frac{5}{16}\,\text{in}\ x\ 52\,\text{in}$, ver Figura 4.31.

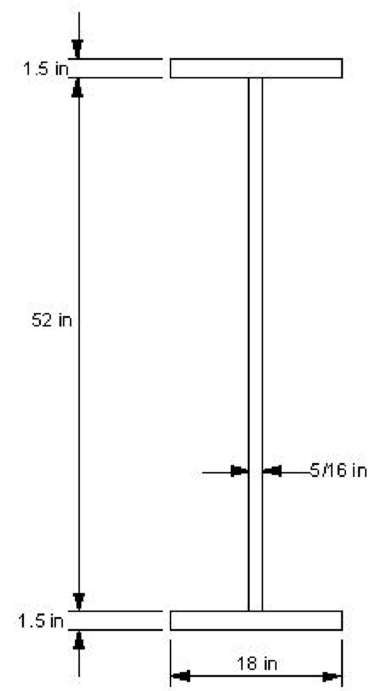

Figura 4.31 Sección propuesta.

a) $C_v = \dfrac{V_n}{0.9\left(0.6\,A_w F_y\right)} = \dfrac{281.34}{(0.9\ )(0.6)(16)(0.25)} = 0.89$ 3.6

b) $K_v = \dfrac{C_v\left(\dfrac{h}{t_w}\right)^2 F_y}{44000} = \dfrac{(0.89)(166.4)^2(36)}{44000} = 20.17$ 4.46

c) $a = h\sqrt{\dfrac{5}{K_v - 5}} = 30\text{ in}$ 4.47

Para los tableros extremos de trabes armadas no híbridas con acción de campo de tensión se tiene que: $a = 38\text{ in}$

$K_v = 5 + \left(\dfrac{5}{\left(a/h\right)^2}\right) = 14.36$ 4.12

$C_v = \dfrac{44000K_v}{\left(\dfrac{h}{t_w}\right)^2 F_y} = \dfrac{44000(14.36)}{\left(\dfrac{52}{0.312}\right)^2 36} = 0.63$ 3.5

Como $\dfrac{h}{t_w} > 187\sqrt{\dfrac{K_v}{F_y}}$ $\quad V_n = 0.6A_w F_y\left[C_v + \dfrac{1\ \ C_v}{1.15\sqrt{1+\left(a/h\right)^2}}\right]$ (satisfactorio) 3.3

$= 312.73\text{ kips} > 294.23\text{ kips}$

Usaremos una separación centro a centro de atiesadores intermedios $a = 38\text{ in}$

- Segunda sección

$a = 240\text{ in}$

$K_v = 5 + \left(\dfrac{5}{\left(a/h\right)^2}\right) = 5.23$ 4.12

$$C_v = \frac{44000K_v}{\left(\frac{h}{t_w}\right)^2 F_y} = \frac{44000 \cdot 5.23}{\left(\frac{52}{0.3125}\right)^2 36} = 0.23 \qquad 3.5$$

Como $\frac{h}{t_w} > 234\sqrt{\frac{K_v}{F_y}}$ $\quad V_n = A_w \frac{26400K_v}{\left(\frac{h}{t_w}\right)^2}$ (satisfactorio) 4.74

$= 81.10 \text{ kips} > 66.13 \text{ kips}$

No se necesitan atiesadores intermedios en la segunda sección

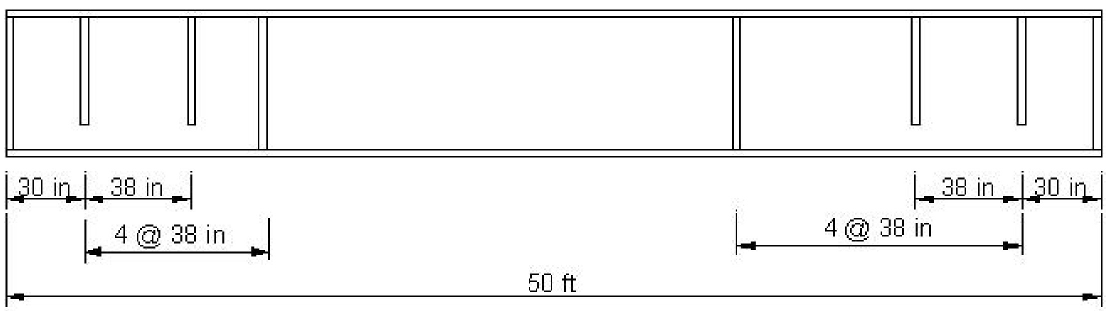

Figura 4.32 Atiesadores.

Diseño de las dimensiones de los atiesadores intermedios

$$J = \frac{2.5}{\left(\frac{a}{h}\right)^2} - 2 = \frac{2.5}{\left(\frac{a}{h}\right)^2} - 2 = 5.51 \qquad 3.20$$

$$I_{st} = at_w^3 j = 42(.312)^3(5.51) = 6.39 \text{ in}^4 \qquad 3.19$$

Usando un valor máximo de $\frac{b}{t}$, se calcula “b” con la ecuación 4.49. Después se despeja “t” de la ecuación 3.16.

$$b = \frac{b_f - t_w}{2} = \frac{18 - 0.312}{2} = 8.84 \ in \qquad 4.49$$

$$t = \frac{b}{95/\sqrt{F_y}} = 0.559 \text{ in} \qquad 4.50$$

$A_{st} = 2bt = (2)(8.84)(0.559) = 9.88\ \text{in}^2$ 4.51

Para 2 atiesadores:

$$I_{st2} = \left[\frac{0.56(8.84)^2}{12} + (0.56)(8.84)\left(9.88 + \frac{t_w}{2}\right)^2\right] \times 2 = 1059.39\ \text{in}^4 \quad 4.52$$

$I_{st2} > I_{st}$ (satisfactorio)

Para determinar la longitud de los atiesadores, se calcula primero la distancia entre la soldadura del atiesador y la soldadura del alma al patín. Las Especificaciones del AISC indican una distancia mínima de $4t_w$ y máxima de $6t_w$, por lo cual se utiliza una distancia de $5t_w$.

$L_a = h - (5t_w - t_w) = 50.125\ \text{in}$ 4.53

Se usaran dos placas de $\frac{5}{8}\ \text{in} \times 9\ \text{in} \times 50.5\ \text{in}$ para los atiesadores intermedios.

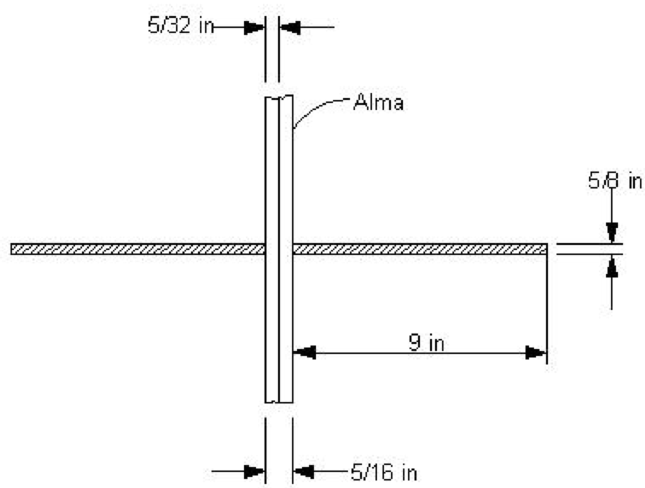

Figura 4.33 Atiesadores intermedios.

Los atiesadores de apoyo serán instalados en los soportes y debajo de cada carga concentrada, su diseño se realizará de la siguiente manera:

$$b = \frac{b_f}{2} - 2 = \frac{18}{2} - 2 = 7\ in \quad 4.54$$

$$t \geq \frac{b\sqrt{F_y}}{95} = \frac{7\sqrt{36}}{95} = 0.44 \text{ in} \quad 4.55$$

Ensáyese una placa de atiesador. $b = 7$ in y $t = \frac{7}{16}$ in

Se tienen las dimensiones del atiesador, se revisara la resistencia por aplastamiento.

$$\phi R_n = 0.75(1.8F_y A_{pb}) = 0.75(1.8)(36)(0.44)(7-0.5)\times 2$$
$$= 279.32 \text{ kips} < 281.34 \text{ kips} \quad \text{(no satisfactorio)} \quad 4.22$$

Debe aumentarse las dimensiones del atiesador. $b = 7$ in y $t = \frac{9}{16}$ in

$$\phi R_n = 0.75(1.8F_y A_{pb}) = 0.75(1.8)(36)(0.57)(7\text{-}0.5)\times 2$$
$$= 358.28 \text{ kips} > 281.34 \text{ kips} \quad \text{(satisfactorio)} \quad 4.22$$

Revísese el atiesador como una columna.

$$A = 2bt + 12t_w = 9.11 \text{in}^2 \quad 4.23$$

$$I_x = 244.89 \text{ in}^4$$

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{244.89}{9.11}} = 5.18 \text{ in} \quad 4.25$$

$$\lambda_c = \frac{0.75h}{\pi r\sqrt{\frac{F_y}{29000}}} = 0.0844 \quad 4.27$$

Como $\lambda_c < 1.5$ $\qquad F_{cr} = 0.658^{\lambda_c^2} F_y = 35.89$ ksi 4.56

$$\phi_c P_n = \phi_c F_{cr} A = 0.85(35.89)(9.11) = 277.98 < 281.34 \text{ (No satisfactorio)} \qquad 4.29$$

Debe aumentarse las dimensiones del atiesador. $b = 7$ in y $t = \frac{11}{16}$ in

$$A = 2bt + 12t_w = 2(0.69)(7) + 12(.312) = 10.86\ \text{in}^2 \qquad 4.23$$

$$I_x = 298.82\ \text{in}^4$$

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{298.82}{10.86}} = 5.25\ \text{in} \qquad 4.25$$

$$\lambda_c = \frac{0.75h}{\pi r\sqrt{F_y/29000}} = 0.083 \qquad 4.27$$

Como $\lambda_c < 1.5$ $\quad F_{cr} = 0.658^{\lambda_c^2} F_y = 35.9\ \text{ksi}$ 4.56

$$\varphi_c P_n = \varphi_c F_{cr} A = 0.85(35.9)(10.86) = 331.39\ \text{kips} > 281.34\ \text{kips (satisfactorio)} \qquad 4.29$$

Empléense dos placas de $\frac{11}{16}$ in $\times$ 7 in en los atiesadores de apoyo (Figura 4.34).

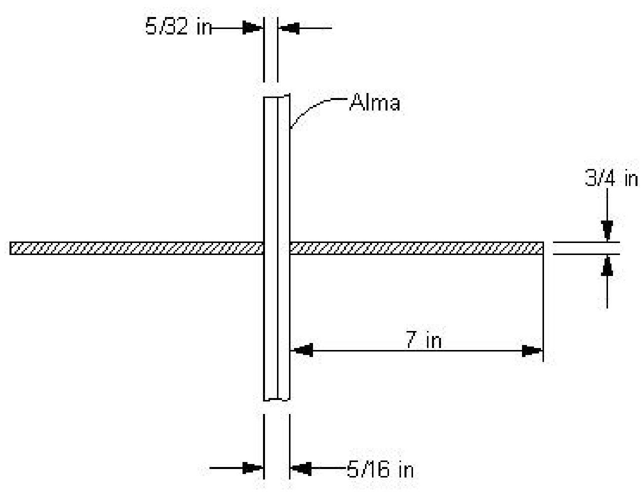

Figura 4.34 Atiesadores de apoyo.

Se han dimensionado todas las componentes de la trabe armada. Las conexiones de esos elementos serán diseñadas. Se utilizarán electrodos E60 con una resistencia de diseño de $\phi F_w = 27\,\text{ksi}$.

a) Calcúlese la separación de la soldadura entre el alma y el patín.

$$G = \frac{peralte}{2} - \frac{t_f}{2} = 26.75\ in \tag{4.57}$$

$$Q = \acute{a}rea\ \text{del patín} \times \text{G} = 18(1.5)\times 26.75 = 722.25\,\text{in}^3 \tag{4.58}$$

$$I_{xx} = \frac{t_w h^3}{12} + 2(b_f t_f G^2) = 42302.04\,\text{in}^4 \tag{4.59}$$

$$Maximo = \frac{281.34(722.25)}{42302.04} = 4.8\,\frac{\text{kips}}{\text{in}} \tag{4.60}$$

Para los espesores de placa por soldar usaremos un tamaño de soldadura de $w = t_w$. La longitud mínima de soldadura es:

$$L_{\min} = 4(w) \geqslant 1.5\,\text{in} \tag{4.61}$$

$L_{\min} = 4(.312) = 1.25\,\text{in}$ Usaremos 1.5 in.

Ensayaremos con soldaduras de filete de $0.312\,\text{in} \times 1.5\,\text{in}$.

La capacidad por pulgada para 2 soldaduras se muestra en la ecuación 4.62.

$$Capacidad = 2\left(0.707\text{w}\phi\text{F}_\text{w}\right) \tag{4.62}$$

$$= 2(0.707)(0.312)(27) = 11.91\,\frac{\text{kips}}{\text{in}}$$

La capacidad por cortante del metal base es:

$$t(\phi F_{BM}) = t_w\left[\left(0.9(0.60F_y)\right)\right] = 0.312(0.54)(36) = 6.07\,\frac{\text{kips}}{\text{in}} \quad 4.63$$

La capacidad de un par de soldaduras de 1.5 in se calcula con la ecuación 4.64.

$$L_{soldadura}t_w\left[\left(0.9(0.60F_y)\right)\right] = 6.075(1.5) = 9.12\,\text{kips} \quad 4.64$$

Para determinar la separación de las soldaduras en pulgadas se resuelve la ecuación 4.65.

$$\boxed{s = \frac{9.12}{V_u Q I_x} = \frac{9.12}{4.80} = 1.89\,\text{in} < 12\,\text{in} \quad \text{(satisfactorio)}} \quad 4.65$$

Aunque la separación $s = 1.89\,\text{in}\,1.89$ centro a centro se utiliza en toda la longitud de la trabe, una mayor separación puede usarse donde la fuerza cortante es menor que la máxima de 281 kips.

$$V_{u2} = \frac{9.12(42302)}{722(3\,\text{in})} = 178\,\text{kips} \quad 4.66$$

Refiérase a la Figura 4.27 y sea x la distancia desde el soporte izquierdo, ver ecuación 4.67.

$$\boxed{x = \frac{281-178}{6.6} = 15.6\,\text{ft}} \quad 4.67$$

b) Ahora calcularemos la separación de los atiesadores intermedios.

$$\textit{Tamaño}\text{ mínimo de soldadura} = \frac{3}{16}\,\text{in} \quad 4.68$$

$$\textit{Longuitud}\text{ mínima} = 4\ \frac{3}{16} = 0.75\,\text{in} < 1.5\,\text{in}\ \ \text{Usaremos 1.5 in} \quad 4.69$$

$$f = 0.045h\sqrt{\frac{F_y^3}{E}} = 0.045(52)\sqrt{\frac{(36)^3}{29000}} = 2.97\ \frac{\text{kips}}{\text{in}} \quad 3.21$$

La separación máxima permisible de la soldadura es:

$$16t_w = 16(0.312) = 5\ \text{in} \quad 4.70$$

$$s = \frac{9.11}{2.97} = 3.07\ \text{in} < 5\ \text{in}\ \ \text{(satisfactorio)} \quad 4.71$$

Usaremos soldadura de filete de $0.312in. \times 1.5in.$ para los atiesadores intermedios.

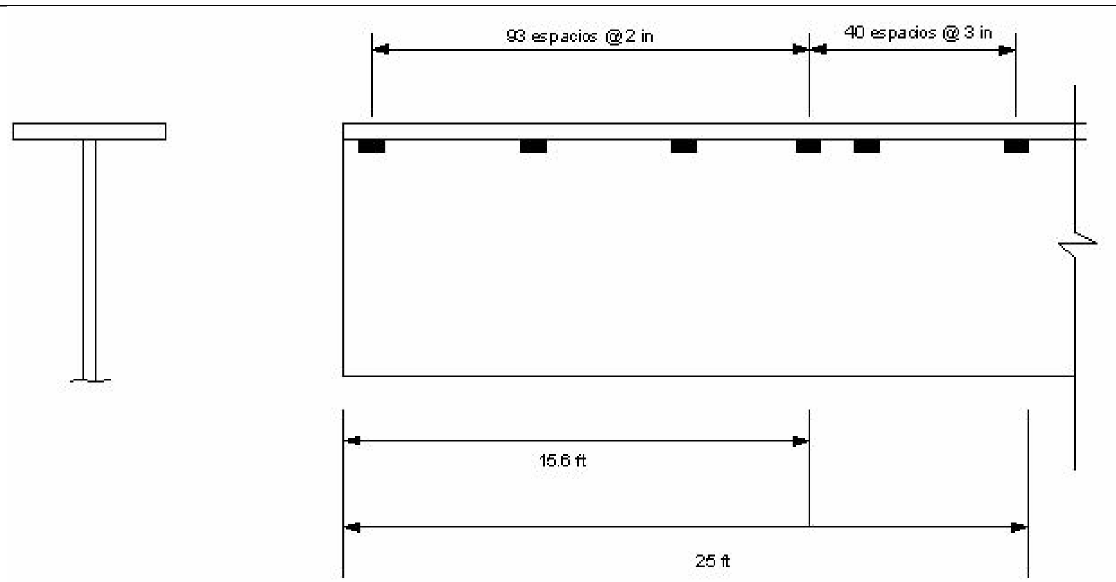

Figura 4.35 Soldadura Alma-Patín.

c) Ahora calcularemos la soldadura de los atiesadores de apoyo:

Longuitud mínima $= 4t_w = 4(0.312) = 1.25\ \text{in} < 1.5\ \text{in}$ Usaremos 1.5 in 4.69

Tamaño mínimo $= t_w = 0.312in.$ 4.68

$$\frac{\text{Reacción}}{\text{Longuitud disponible para soldadura}} = \frac{281.34}{52 - 1.5} = 5.57\ \frac{\text{kips}}{\text{in}} \quad 4.72$$

$$s=\frac{9.11}{5.57}=1.64\text{ in} \qquad 4.73$$

Usaremos soldadura de filete de $\frac{5}{16}\text{in}\times 1.5\text{ in}$ para los atiesadores de apoyo.

4.1.5. EJEMPLO 5

Diseñe una trabe armada simplemente apoyada con un claro de 50 pies que debe soportar las cargas de servicio que se muestran en la Figura 4.36. Considere acero A36 y electrodos E60xx. Suponga que la trabe tiene un soporte lateral continuo.

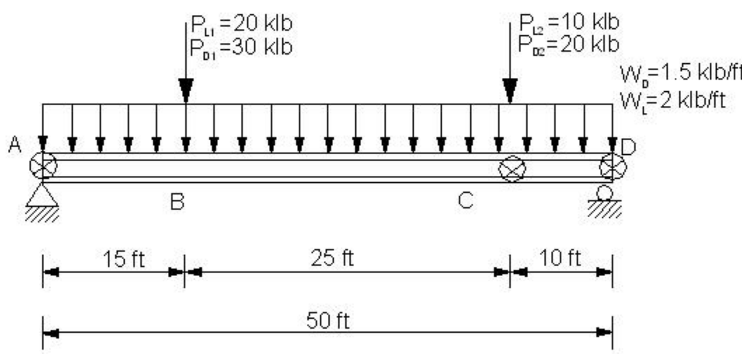

Figura 4.36 Cargas de servicio.

- **Solución**

Las cargas factorizadas, excluido el peso de la trabe, se muestran en la Figura 4.37.

$$W=1.2(1.5)+1.6(2)=5\frac{\text{klb}}{\text{ft}} \qquad 4.30$$

$$P1=1.2(20)+1.6(30)=72\text{ klb} \qquad 4.31$$

$$P2=1.2(10)+1.6(20)=44\text{ klb} \qquad 4.31$$

Determinese el peralte general:

$$\frac{\textit{Longuitud}\ \text{del claro}}{11}=\frac{(12)50}{11}=55\ \text{in} \qquad 4.32$$

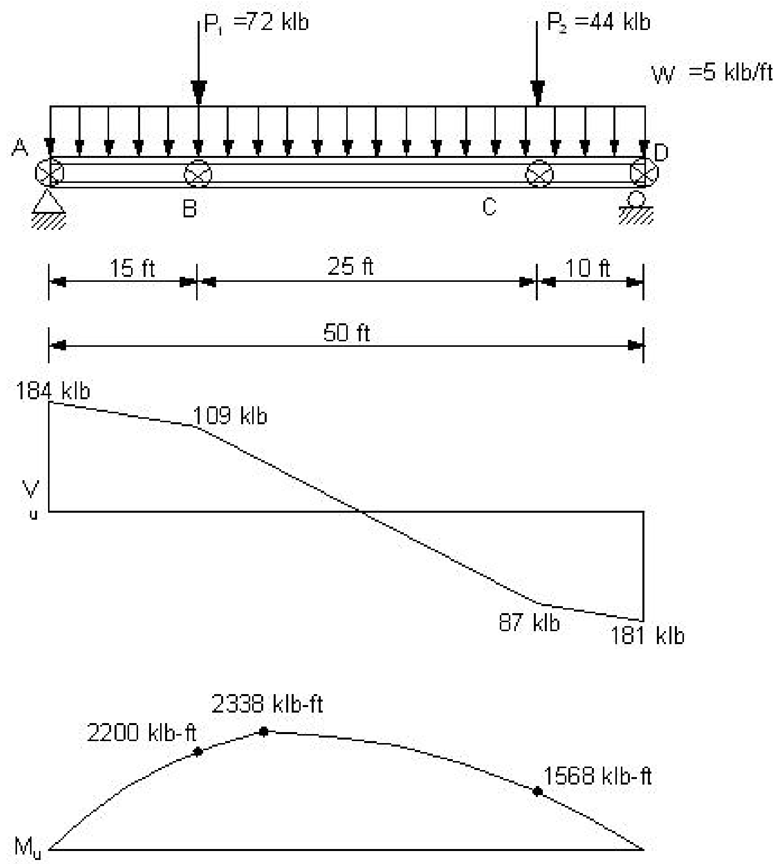

Figura 4.37 Cargas factorizadas.

Se usará un peralte de 55in y un espesor t_f de patín de 1.5 in y una altura de alma dada por la ecuación 4.33.

$$h = 55 - 2(1.5) = 52\ \text{in} \qquad 4.33$$

Para determinar el espesor del alma, examine primero los valores límite de $\frac{h}{t_w}$. Para que este miembro a flexión califique como trabe armada, debe cumplir con la ecuación 2.1.

$$\frac{h}{t_w} \geq \frac{970}{\sqrt{F_{yf}}} = \frac{970}{\sqrt{36}} = 161.7 \qquad 2.1$$

$$t_w \leqslant \frac{h}{161.7} = \frac{52}{161.7} = 0.322\,\text{in} \qquad 4.34$$

Para $\frac{a}{h} \leq 1.5$ $\qquad \frac{h}{t_w} \leq \frac{2000}{\sqrt{F_{yf}}} = \frac{2000}{\sqrt{36}} = 333.3$ $\qquad$ 2.20

$$t_w \geq \frac{52}{333.3} = 0.156\,\text{in} \qquad 4.35$$

Para $\frac{a}{h} > 1.5$ $\qquad \frac{h}{t_w} \leq \frac{14{,}000}{\sqrt{F_y(F_y + 16.5)}} = \frac{14{,}000}{\sqrt{36(36+16.5)}} = 322.0$ $\qquad$ 2.21

$$t_w \geqslant \frac{52}{322.0} = 0.161\,\text{in} \qquad 4.36$$

Ensáyese una placa de alma de $\frac{1}{4}\,\text{in} \times 52\,\text{in}$.

Se calcula el tamaño requerido de patín.

$$A_w = 52\,(1/4) = 13\,\text{in}^2 \qquad 4.37$$

$$A_f = \frac{M_u}{0.90hF_y} - \frac{A_w}{6} = \frac{2338.875(12)}{0.90(52)(36)} - \frac{13}{6} = 14.49\,\text{in}^2 \qquad 4.38$$

$$\text{Total} = 52\,(1/4) + 2\,(14.49) = 41.98\,\text{in}^2 \qquad 4.39$$

$$\text{Peso} = \frac{3.4\,(41.98)}{1000} = 0.143\,\frac{\text{klb}}{\text{ft}} \qquad 4.40$$

El momento flexionante ajustado se muestra en la Figura 4.38:

$\text{Mu} = 2383.04\,\text{kips - ft}$

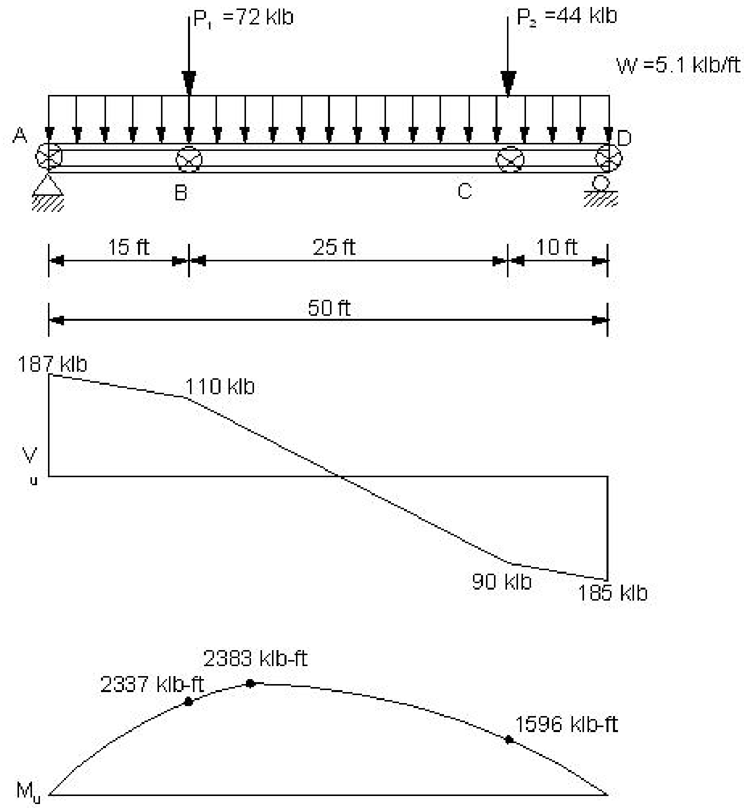

Figura 4.38 Cargas factorizadas con peso propio.

El área requerida para un patín es:

$$A_f = \frac{M_u}{0.90hF_y} - \frac{A_w}{6} = \frac{2383.07(12)}{0.90(52)(36)} - \frac{52(1/4)}{6} = 14.81\,\text{in}^2 \qquad 4.38$$

$$b_f = \frac{A_f}{t_f} = \frac{14.81}{1.5} = 9.87\text{ in} \qquad 4.41$$

$$b_f = 9.87 < \frac{peralte}{4} = 13.75\text{ in} \quad \text{Redondeamos a 14 in.} \qquad 4.75$$

Inténtese una placa de patín de $1\frac{1}{2}\text{ in x } 14\text{ in}$ y con una placa de alma de

$\frac{1}{4}\text{ in } x\ 52\text{ in}$.

Revisión de la resistencia a la flexión de la traba armada:

a) Fluencia al patín a tensión.

$$I_x = \frac{(1/4)(52)^3}{12} + 2(1.5)(14)(715.56) = 32982.96 \text{ in}^4 \tag{4.42}$$

$$c = \frac{Peralte}{2} = \frac{55}{2} = 27.5 \text{ in} \tag{4.43}$$

$$S_x = \frac{I_x}{c} = \frac{32982.96}{27.5} = 1199.38 \text{ in}^3 \tag{4.5}$$

$$M_n = S_x F_y = (1199.38)(36) = 43177.69 \text{ kips-in} \tag{2.5}$$

$$M_n = 3598.14 \text{ kips-ft}$$

$$\phi_b M_n = 0.90\,(3598.14) = 3238.33 \text{ kips-ft} > 2383.07 \text{ kips-ft (satisfactorio)} \tag{2.2}$$

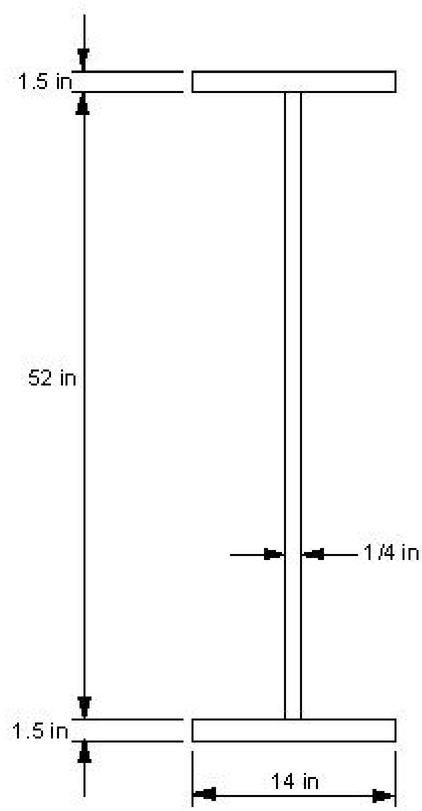

Figura 4.39 Sección propuesta.

b) Resistencia al pandeo lateral torsional PLT.

$$I_y = \frac{1}{12}\left[\frac{(0.25^3)(52)}{6} + 1.5(14^3)\right] = 343.01\,\text{in}^4 \qquad 4.6$$

$$a = (1.5)(14) + \frac{(52)(0.25)}{6} = 23.1667\ \text{in}^2 \qquad 4.7$$

$$r_T = \sqrt{\frac{343.01}{23.1667}} = 3.85\,\text{in} \qquad 4.8$$

- Primera sección

$$\lambda = \frac{12(a_1)}{r_T} = \frac{12(15)}{3.85} = 46.78 \qquad 2.7$$

$$\lambda_p = \frac{300}{\sqrt{F_y}} = \frac{300}{\sqrt{36}} = 50 \qquad 2.8$$

$$\lambda_r = \frac{756}{\sqrt{F_y}} = \frac{756}{\sqrt{36}} = 126 \qquad 2.9$$

Como $\lambda < \lambda_p$ $\qquad F_{cr} = F_y = 36\,\text{ksi}$ 2.10

$$a_r = \frac{A_w}{A_f} = \frac{13}{14.81} = 0.878 \qquad 4.9$$

$$R_{PG} = 1 - \frac{a_r}{1200 + 300a_r}\left(\frac{h}{t_w} - \frac{970}{\sqrt{F_{cr}}}\right) \qquad 4.10$$

$$= 1 - \frac{0.878}{1200 + 300(0.878)}\left(208 - \frac{970}{\sqrt{36}}\right) = 0.972$$

$$M_n = F_{cr}R_{PG}S_x = (36)(0.972)(1199.38) = 41977.42\ \text{kips - in} = 3498.12\,\text{kips - ft} \qquad 2.6$$

$$\varphi_b M_n = 0.90\,(3498.12) = 3148.31\,\text{kips - ft} > 2237.97\ \text{kips - ft}\ \ \text{(satisfactorio)} \qquad 2.2$$

- Segunda sección

$$\lambda = \frac{12(a_2)}{r_T} = \frac{12(25)}{3.85} = 77.96 \qquad 2.7$$

$$\lambda_p = \frac{300}{\sqrt{F_y}} = \frac{300}{\sqrt{36}} = 50 \qquad 2.8$$

$$\lambda_r = \frac{756}{\sqrt{F_y}} = \frac{756}{\sqrt{36}} = 126 \qquad 2.9$$

Como $\lambda > \lambda_p$

$$C_b = \frac{12.5(M_u)}{2.5(M_u)+3(M_a)+4(M_b)+3(M_c)} \qquad 4.44$$

$$C_b = \frac{12.5(2383.04)}{2.5(2383.04)+3(2378.95)+4(\ 2319.04)+3(2058.24)}$$

$$= 1.04$$

$$F_{cr} = C_b\ F_y\left[1 - 0.5\ \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p}\right] = 30.66\ \text{ksi} \qquad 2.11$$

$$R_{PG} = 1 - \frac{a_r}{1200 + 300a_r}\left(\frac{h}{t_w} - \frac{970}{\sqrt{F_{cr}}}\right) \qquad 4.10$$

$$= 1 - \frac{0.878}{1200 + 300(0.878)}\left(208 - \frac{970}{\sqrt{30.66}}\right) = 0.98$$

$$M_n = F_{cr} R_{PG} S_x = (30.96)(0.98)(1199.38) = 36044.03\ \text{kips - in} \qquad 2.6$$

$$M_n = 3003.67\ \text{kips - ft}$$

$$\phi_b M_n = 0.90\ (3003.67) = 2703.30\ \text{kips - ft} > 2383.04\ \text{kips - ft}\ \ \text{(satisfactorio)} \qquad 2.2$$

- Tercera sección

$$\lambda = \frac{12(a_1)}{r_T} = \frac{12(10)}{3.85} = 31.19 \qquad 2.7$$

$$\lambda_p = \frac{300}{\sqrt{F_y}} = \frac{300}{\sqrt{36}} = 50 \qquad 2.8$$

$$\lambda_r = \frac{756}{\sqrt{F_y}} = \frac{756}{\sqrt{36}} = 126 \qquad 2.9$$

Como $\lambda < \lambda_p$ $\qquad F_{cr} = F_y = 36 \text{ ksi}$ 2.10

$$R_{PG} = 1 - \frac{a_r}{1200 + 300a_r}\left(\frac{h}{t_w} - \frac{970}{\sqrt{F_{cr}}}\right) \qquad 4.10$$

$$= 1 - \frac{0.878}{1200 + 300(0.878)}\left(208 - \frac{970}{\sqrt{36}}\right) = 0.972$$

$M_n = F_{cr} R_{PG} S_x = (36)(0.972)(1199.38) = 41977.42 \text{ kips - in}$ 2.6
$M_n = 3498.12 \text{ kips - ft}$

$\phi_b M_n = 0.90\,(3498.12) = 3148.31 \text{kips - ft} > 1596.55 \text{ kips - ft}$ (satisfactorio) 2.2

c) Resistencia al pandeo local PLP.

$$K_c = \frac{4}{\sqrt{h/t_w}} = \frac{4}{\sqrt{52/0.25}} = 0.277 \qquad 2.16$$

$0.35 \leq K_c < 0.763$, entonces $K_c = 0.35$

$$\lambda = \frac{b_f}{2t_f} = \frac{12}{2(1.5)} = 4.667 \qquad 2.13$$

$$\lambda_p = \frac{65}{\sqrt{F_{yf}}} = \frac{65}{\sqrt{36}} = 10.83 \qquad 2.14$$

Como $\lambda < \lambda_p$ $\qquad F_{cr} = F_y = 36 \text{ ksi}$ 2.17

$$R_{PG} = 1 - \frac{a_r}{1200 + 300a_r}\left(\frac{h}{t_w} - \frac{970}{\sqrt{F_{cr}}}\right) \qquad 4.10$$

$$= 1 - \frac{0.878}{1200 + 300(0.878)}\left(208 - \frac{970}{\sqrt{36}}\right) = 0.972$$

$$M_n = F_{cr} R_{PG} S_x = (36)(0.972)(1199.38) = 41977.42 \text{ kips - in} \qquad 2.6$$
$$M_n = 3498.12 \text{ kips - ft}$$

$$\phi_b M_n = 0.90\,(3498.12) = 3148.31 \text{ kips - ft} > 2383.04 \text{ kips - ft (satisfactorio)} \qquad 2.2$$

Se usarán dos placa de patín de $1\frac{1}{2}$ in x 14 in y una placa de alma de $\frac{1}{4}$ in *x* 52 in.

Revísese la resistencia por cortante. La fuerza cortante es máxima en los apoyos, pero la acción del campo de tensión no puede usarse en un tablero de extremo. La separación de los atiesadores se determina como sigue:

- Primera sección

a) Se iguala la resistencia requerida por cortante a la resistencia por cortante dada por la ecuación 3.6.

$$C_v = \frac{V_n}{0.9\left(0.6 A_w F_y\right)} = \frac{187.77}{(0.9)(0.6)(13)(36)} = 0.74 \qquad 3.6$$

b) Se despeje K_v de la ecuación 4.46.

$$K_v = \frac{C_v \left(h/t_w \right)^2 F_Y}{44000} = \frac{(0.74)(208)^2(36)}{44000} = 26.30 \qquad 4.46$$

c) Se calcula "a" de la ecuación 4.47.

$$a = h\sqrt{\frac{5}{K_v \quad 5}} = 25.19 \text{ in} \qquad 4.47$$

Se usará una separación centro a centro del primer atiesador a = 25 in

Se Obtendrá la separación de los atiesadores intermedios ahora con la resistencia requerida por cortante de $Vn = 187.77\ \text{kips}$ fuera de los tableros extremos.

$$V_n = \frac{187.77 - w\left(\frac{a}{12}\right)}{0.9} = \frac{187.77 - 5\left(\frac{25}{12}\right)}{0.9} = 196.73\ \text{kips} \tag{4.48}$$

Para los tableros extremos de trabes armadas no híbridas con acción de campo de tensión tenemos que: $a = 78\ \text{in}^2$

$$K_v = 5 + \left(\frac{5}{\left(a/h\right)^2}\right) = 7.22 \tag{4.12}$$

$$C_v = \frac{44000K_v}{\left(h/t_w\right)^2 F_y} = \frac{44000 \cdot 7.22}{\left(52/0.25\right)^2 36} = 0.20 \tag{3.5}$$

Como $\frac{a}{h} < 3$ y $\frac{a}{h} < \left(\frac{260}{h/t_w}\right)^2$ entonces hay campo de tensión.

Como $\frac{h}{t_w} > 187\sqrt{\frac{K_v}{F_y}}$ $\quad V_n = 0.6A_wF_y\left[C_v + \frac{1\text{-}C_v}{1.15\sqrt{1+\left(a/h\right)^2}}\right]$ (no satisfactorio) 3.3

$$= 165.10\ \text{kips} < 196.73\ \text{kips}$$

Se intentará con $a = 52\ \text{in}$

$$K_v = 5 + \frac{5}{\left(a/h\right)^2} = 10 \tag{4.12}$$

$$C_v = \frac{44000K_v}{\left(h/t_w\right)^2 F_y} = \frac{44000(10)}{\left(52/0.25\right)^2 36} = 0.283 \tag{3.5}$$

Como $\frac{a}{h} < 3$ y $\frac{a}{h} < \left(\frac{260}{h/t_w}\right)^2$ entonces hay campo de tensión.

Como $\frac{h}{t_w} > 187\sqrt{\frac{K_v}{F_y}}$ $\quad V_n = 0.6A_wF_y\left[C_v + \frac{1 - C_v}{1.15\sqrt{1+\left(a/h\right)^2}}\right]$ (satisfactorio) 3.3

$$= 203.21\,\text{kips} > 196.73\,\text{kips}$$

Se usará una separación centro a centro de atiesadores intermedios $a = 52\,\text{in}$

- Segunda sección

$a = 300\,\text{in}$

$$K_v = 5 + \left(\frac{5}{\left(a/h\right)^2}\right) = 5.15$$ 4.12

$$C_v = \frac{44000K_v}{\left(h/t_w\right)^2 F_y} = \frac{(44000)(5.15)}{\left(52/0.3125\right)^2 36} = 0.146$$ 3.5

Como $\frac{h}{t_w} > 234\sqrt{K_v/F_y}$ $\quad V_n = A_w \frac{26400k_v}{\left(h/t_w\right)^2}$ (no satisfactorio) 4.75

$$= 40.85\,\text{kips} < 89.94\,\text{kips}$$

Se intentará con $a = 75\,\text{in}$

$$K_v = 5 + \left(\frac{5}{\left(a/h\right)^2}\right) = 7.40$$ 4.12

$$C_v = \frac{44000K_v}{\left(h/t_w\right)^2 F_y} = \frac{44000 \cdot 7.40}{\left(52/0.3125\right)^2 36} = 0.21$$ 3.5

Como $\dfrac{a}{h} < 3$ y $\dfrac{a}{h} < \left(\dfrac{260}{h/t_w}\right)^2$ entonces hay campo de tensión.

Como $\dfrac{h}{t_w} > 187\sqrt{\dfrac{K_v}{F_y}}$ $\quad V_n = 0.6 A_w F_y \left[C_v + \dfrac{1 - C_v}{1.15\sqrt{1 + \left(a/h\right)^2}} \right]$ (satisfactorio) 3.3

$$= 168.75\,\text{kips} > 89.94\,\text{kips}$$

Se usará una separación centro a centro de atiesadores intermedios $a = 75\,\text{in}$

- Tercera sección

a) $\quad C_v = \dfrac{V_n}{0.9\left(0.6\, A_w F_y\right)} = \dfrac{185.37}{(0.9)(0.6)(13)(36)} = 0.73$ 3.6

b) $\quad K_v = \dfrac{C_v \left(h/t_w\right)^2 F_Y}{44000} = \dfrac{(0.73)(208)^2(36)}{44000} = 25.96$ 4.46

c) $\quad a = h\sqrt{\dfrac{5}{K_v \quad 5}} = 25.39\,\text{in}$ 4.47

Se usará una separación centro a centro del primer atiesador a = 25 in

Se obtiene la separación de los atiesadores intermedios con la resistencia requerida por cortante de $Vn = 185.37\,\text{kips}$ fuera de los tableros extremos.

Se introducimos el factor de reducción:

$$V_n = \frac{185.37 - w\left(\dfrac{a}{12}\right)}{0.9} = \frac{187.77 - 5\left(\dfrac{25}{12}\right)}{0.9} = 194.06\,\text{kips}$$ 4.48

Para los tableros extremos de trabes armadas no híbridas con acción de campo de tensión se tiene que: $a = 95$ in

$$K_v = 5 + \frac{5}{\left(\frac{a}{h}\right)^2} = 6.50 \qquad 4.12$$

$$C_v = \frac{44000 K_v}{\left(\frac{h}{t_w}\right)^2 F_y} = \frac{(44000)(7.22)}{\left(\frac{52}{0.25}\right)^2 36} = 0.184 \qquad 3.5$$

Como $\frac{h}{t_w} > 234\sqrt{\frac{K_v}{F_y}}$ $\quad V_n = A_w\left[\frac{26400 k_v}{\left(\frac{h}{t_w}\right)^2}\right]$ (no satisfactorio) 4.74

$$= 51.54 \text{ kips} < 194.06 \text{ kips}$$

Se intentará con $a = 48$ in

$$K_v = 5 + \frac{5}{\left(\frac{a}{h}\right)^2} = 10.87 \qquad 4.12$$

$$C_v = \frac{44000 K_v}{\left(\frac{h}{t_w}\right)^2 F_y} = \frac{44000 \cdot 10.87}{\left(\frac{52}{0.25}\right)^2 36} = 0.307 \qquad 3.5$$

Como $\frac{a}{h} < 3$ y $\frac{a}{h} < \left(\frac{260}{\frac{h}{t_w}}\right)^2$ entonces hay campo de tensión.

Como $\frac{h}{t_w} > 187\sqrt{\frac{K_v}{F_y}}$ $\quad V_n = 0.6 A_w F_y\left[C_v + \frac{1 \quad C_v}{1.15\sqrt{1 + \left(\frac{a}{h}\right)^2}}\right]$ (satisfactorio) 3.3

$$= 210.55 \text{ kips} > 194.06 \text{ kips}$$

Se usará una separación centro a centro de atiesadores intermedios $a = 48$ in

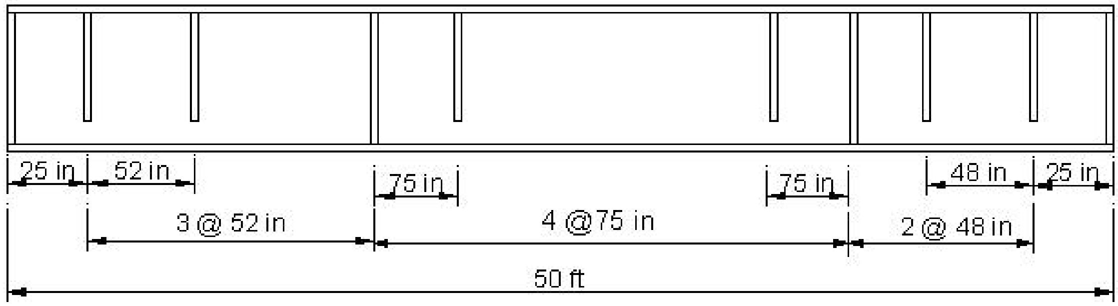

Figura 4.40 Atiesadores.

Diseño de las dimensiones de los atiesadores intermedios

$$J = \frac{2.5}{\left(a/h\right)^2} - 2 = \frac{2.5}{\left(a/h\right)^2} - 2 = 8.82 \qquad 3.20$$

$$I_{st} = a t_w^3 j = 52(0.25)^3 (8.82) = 7.16 \text{ in}^4 \qquad 3.19$$

Usando un valor máximo de $\frac{b}{t}$, se calcula “b” con la ecuación 4.49. Después se despeja “t” de la ecuación 3.16.

$$b = \frac{b_f - t_w}{2} = \frac{14 - 0.35}{2} = 6.88 \text{ in} \qquad 4.49$$

$$t = \frac{b}{95/\sqrt{F_y}} = 0.43 \text{ in} \qquad 4.50$$

$$A_{st} = 2b \quad t = 2 \quad 6.88 \quad 0.43 = 5.97 \text{ in}^2 \qquad 4.51$$

Para 2 atiesadores:

$$I_{st2} = \left[\frac{0.43(6.88)^2}{12} + (0.43)(6.88)\left(6.88 + t_w/2\right)^2\right] \times 2 = 245.34 \text{ in}^4 \qquad 4.52$$

$I_{st2} > I_{st}$ (satisfactorio)

Para determinar la longitud de los atiesadores, se calcula primero la distancia entre la soldadura del atiesador y la soldadura del alma al patín. Las Especificaciones del AISC indican una distancia mínima de $4t_w$ y máxima de $6t_w$, por lo cual se utilizará una distancia de $5t_w$.

$$La = h - (5\ \ t_w - t_w) = 50.5\,\text{in} \tag{4.53}$$

Se Usarán dos placas de $\frac{1}{2}\,\text{in} \times 6\,\text{in} \times 50.5\,\text{in}$ para los atiesadores intermedios (ver Figura 4.41.).

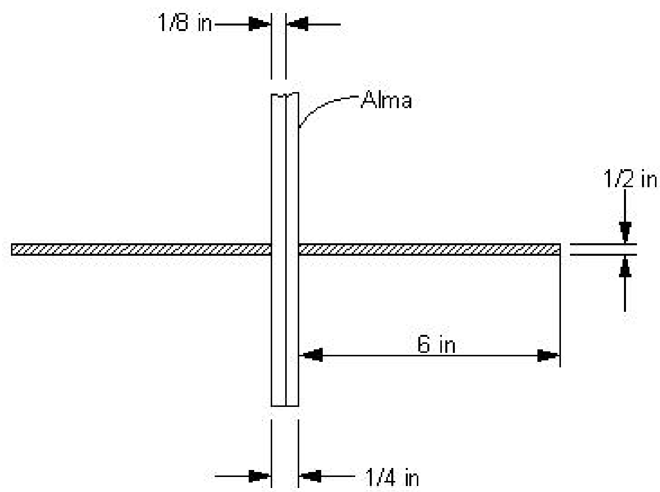

Figura 4.41 Atiesadores intermedios.

Los atiesadores de apoyo serán instalados en los soportes y debajo de cada carga concentrada. Su diseño se realizará de la siguiente forma:

$$b = \frac{b_f}{2} - 2 = \frac{14}{2} - 2 = 5\,\text{in} \tag{4.54}$$

$$t \geqslant \frac{b\sqrt{F_y}}{95} = \frac{5\sqrt{36}}{95} = 0.316\,\text{in} \tag{4.55}$$

Ensáyese una placa de atiesador de apoyo de $b = 5\text{ in}$, $t = \dfrac{5}{16}\text{ in}$

Revísese la resistencia por aplastamiento.

$$\varphi R_n = 0.75(1.8F_yA_{pb}) = 0.75(1.8)(36)(0.316)(5-0.5)\times 2 = 138.13\text{ kips} < 187.77\text{ kips} \quad \text{(no satisfactorio)} \qquad 4.22$$

Debe aumentarse las dimensiones del atiesador. $b = 5\text{ in}$, $t = \dfrac{7}{16}\text{ in}$

$$\phi R_n = 0.75(1.8F_yA_{pb}) = 0.75(1.8)(36)(0.44)(5-0.5)\times 2 = 192.8\text{ kips} > 187.77\text{ kips} \quad \text{(satisfactorio)} \qquad 4.22$$

Revísese el atiesador como una columna.

$$A = 2bt + 12t_w^{\ 2} = 5.16\text{ in}^2 \qquad 4.23$$

$$I_x = 70.05\text{ in}^4$$

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{70.05}{5.16}} = 3.69\text{ in} \qquad 4.25$$

$$\lambda_c = \frac{0.75h}{\pi r\sqrt{F_y/29000}} = 0.12 \qquad 4.27$$

Como $\lambda_c < 1.5$ $\qquad F_{cr} = 0.658^{\lambda_c^2}F_y = 35.79\text{ ksi}$ $\qquad$ 4.56

$$\phi_c P_n = \phi_c F_{cr} A = 0.85(35.79)(5.16) = 186.77\text{ kips} < 187.77\text{ kips} \quad \text{(no satisfactorio)} \qquad 4.29$$

Debe aumentarse las dimensiones del atiesador. $b = 7\text{ in}$ y $t = \dfrac{9}{16}\text{ in}$

$A = 2bt + 12t_w^{\ 2} = 2(0.57)(5) + 12(0.25) = 6.41\,\text{in}^2$ 4.23

$I_x = 89.89\,\text{in}^4$

$r = \sqrt{\dfrac{I}{A}} = \sqrt{\dfrac{89.89}{6.41}} = 3.75\,\text{in}$ 4.25

$\lambda_c = \dfrac{0.75h}{\pi r\sqrt{F_y/29000}} = 0.12$ 4.27

Como $\lambda_c < 1.5$ $F_{cr} = 0.658^{\lambda_c^2} F_y = 35.8\,\text{ksi}$ 4.56

$\varphi_c P_n = \varphi_c F_{cr} A = 0.85(35.8)(6.41) = 194.97\,\text{kips} > 187.77\,\text{kips}$ (satisfactorio) 4.29

Empléense dos placas de $5\,\text{in} \times \dfrac{9}{16}\,\text{in}$ en los atiesadores de apoyo (Figura 4.42.).

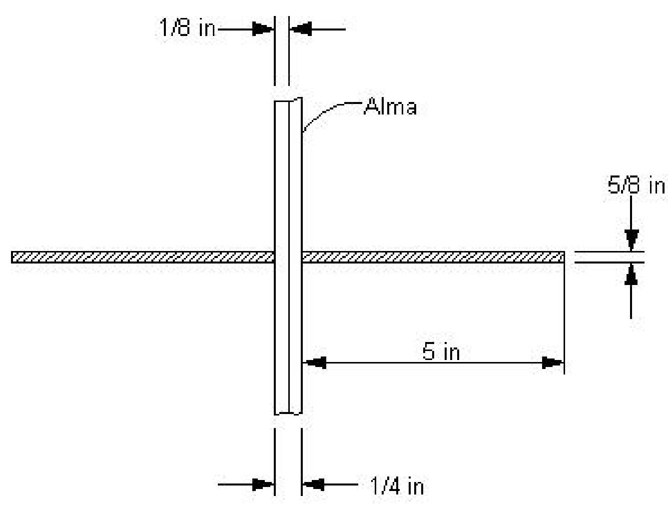

Figura 4.42 Atiesador de apoyo.

Se han dimensionado todas las componentes de la trabe armada. Las conexiones de esos elementos serán diseñadas. Se utilizarán electrodos E60 con una resistencia de diseño de $\phi F_w = 27\,\text{ksi}$.

a) Calcúlese la separación de la soldadura entre el alma y el patín.

$$G = \frac{peralte}{2} - \frac{t_f}{2} = 26.75\,\text{in} \qquad 4.57$$

$$Q = \textit{área}\ \text{del patín} \times G = 14(1.5) \times 26.75 = 561.75\,\text{in}^3 \qquad 4.58$$

$$I_{xx} = \frac{t_w h^3}{12} + 2(b_f t_f G^2) = 32982.96\,\text{in}^4 \qquad 4.59$$

$$Maximo = \frac{187.77(561.75)}{32982{,}96} = 3.2\ \frac{\text{kips}}{\text{in}} \qquad 4.60$$

Para los espesores de placa por soldar se usará un tamaño de soldadura de $w = t_w$. La longitud mínima de soldadura se calcula con la ecuación 4.61.

$$L_{\min} = 4(w) \geq 1.5\,\text{in} \qquad 4.61$$

$L_{\min} = 4(0.25) = 1\,\text{in}$ Usaremos 1.5 in.

Ensáyese soldaduras de filete de $\frac{1}{4}\,\text{in} \times 1.5\,\text{in}$,

La capacidad por pulgada de 2 soldaduras se muestra en la ecuación 4.62.

$$Capacidad\ \text{por pulgada} = 2\left(0.707 \text{w} \phi \text{F}_\text{w}\right) \qquad 4.62$$

$$= 2\left(0.707\right)\left(0.25\right)\left(27\right) = 9.54\ \frac{\text{kips}}{\text{in}}$$

La capacidad por cortante del metal base se calcula con la ecuación 4.63.

$$t\left(\phi F_{BM}\right) = t_w\left[\left(.9(0.60F_y)\right)\right] = 0.25(0.54)(36) = 4.86\ \frac{\text{kips}}{\text{in}} \qquad 4.63$$

La capacidad de un par de soldaduras de 1.5 in se calcula con la ecuación 4.64.

$$L_{soldadura} t_w\left[\left(0.9(0.60F_y)\right)\right] = 4.86(1.5) = 7.29\,\text{kips} \qquad 4.64$$

Para determinar la separación de las soldaduras se calculará “s”.

$$s = \frac{7.29}{V_u Q I_x} = \frac{7.29}{3.20} = 2.28\,\text{in} < 12\,\text{in} \quad \text{(satisfactorio)} \tag{4.65}$$

Aunque la separación $s = 2.28\,\text{in}$ centro a centro se utiliza para toda la longitud de la trabe, una mayor separación puede usarse donde la fuerza cortante es menor que la máxima de 187 kips. Se investigará una separación de 5 pulgadas, ver ecucacion 4.66.

$$V_{u2} = \frac{7.29(32982)}{561(5\,\text{in})} = 85.7\,\text{kips} \tag{4.66}$$

Refiérase a la Figura 4.38 y sea “x” la distancia desde el soporte izquierdo, ver ecuación 4.67.

$$x = \frac{187 - 85.7}{5.1} = 19.8\,\text{ft} \tag{4.67}$$

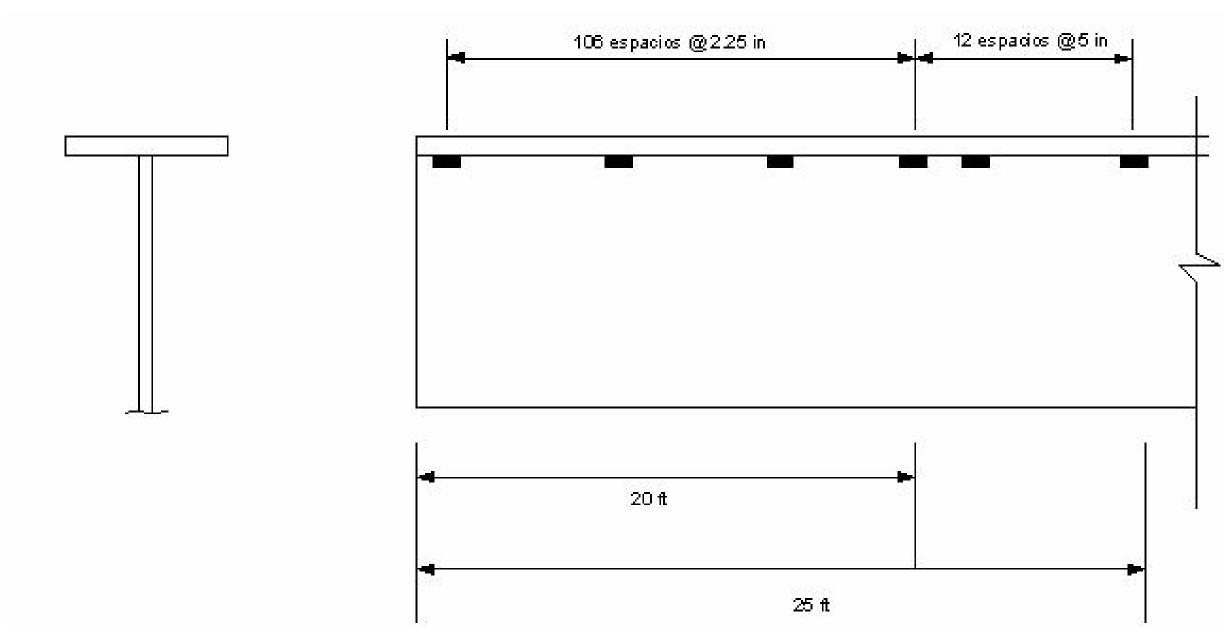

Figura 4.43 Soldadura Alma-Patín.

b) Calcúlese la separación de los atiesadores intermedios.

$$\textit{Tamaño}\ \text{mínimo de soldadura} = \frac{3}{16}\ \text{in} \tag{4.68}$$

$$\textit{Longuitud}\ \text{mínima} = 4\left[\frac{3}{16}\right] = 0.75\ \text{in} < 1.5\ \text{in}\ \ \text{Usaremos 1.5 in.} \tag{4.69}$$

$$f = 0.045h\sqrt{\frac{F_y^3}{E}} = 0.045(52)\sqrt{\frac{(36)^3}{29000}} = 2.97\ \frac{\text{kips}}{\text{in}} \tag{3.21}$$

La separación máxima permisible de la soldadura es:

$$16t_w = 16(0.25) = 4\ \text{in} \tag{4.70}$$

$$s = \frac{7.29}{2.97} = 2.46\ \text{in} < 4\ \text{in}\ \ \text{(satisfactorio)} \tag{4.71}$$

Usaremos soldadura de filete de $\frac{1}{4}\ \text{in} \times 1.5\ \text{in}$ para los atiesadores intermedios.

c) Calcúlese la soldadura de los atiesadores de apoyo:

$$\textit{Longuitud}\ \text{mínima} = 4\text{t}_\text{w} = 4(0.25) = 1\ \text{in} < 1.5\ \text{in}\ \ \text{Usaremos 1.5 in.} \tag{4.69}$$

$$\textit{Tamaño}\ \text{mínimo} = \text{t}_\text{w} = 0.25\ \text{in} \tag{4.68}$$

$$\frac{\text{Re}\,\textit{acción}}{\textit{Longuitud disponible para soldadura}} = \frac{187.77}{52 - 1.5} = 3.72\ \frac{\text{kips}}{\text{in}} \tag{4.72}$$

$$s = \frac{7.29}{3.72} = 1.96\ \text{in} \tag{4.73}$$

Se usará soldadura de filete de $\frac{1}{4}\ \text{in} \times 1.5\ \text{in}$ para los atiesadores de apoyo.