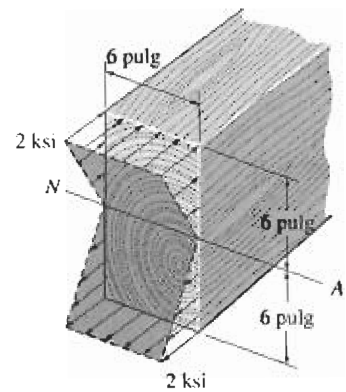
EJEMPLO 6-14

Una viga tiene sección transversal rectangular y está sometida a la distribución de esfuerzo mostrada en la figura 6–27*a*. Determine el momento interno **M** en la sección causado por la distribución de esfuerzo (*a*) usando la fórmula de la flexión, (*b*) calculando la resultante de la distribución del esfuerzo mediante principios básicos.



(a)

Figura 6–27

SOLUCIÓN

Parte (a). La fórmula de la flexión es $\sigma_{\text{máx}} = Mc/I$. De la figura 6–27*a*, $c = 6$ pulg y $\sigma_{\text{máx}} = 2$ ksi. El eje neutro se define como la línea NA, porque el esfuerzo es cero a lo largo de esta línea. Como la sección transversal tiene una forma rectangular, el momento de inercia de la sección respecto al NA se determina con la fórmula para un rectángulo dado en el forro interior de este texto; esto es,

$$I = \frac{1}{12}bh^3 = \frac{1}{12}(6\text{ pulg})(12\text{ pulg})^3 = 864\text{ pulg}^4$$

Por tanto,

$$\sigma_{\text{máx}} = \frac{Mc}{I}; \qquad 2\text{ kip/pulg}^2 = \frac{M(6\text{ pulg})}{864\text{ pulg}^4}$$

$$M = 288\text{ kip}\cdot\text{pulg} = 24\text{ kip}\cdot\text{pie} \qquad \textit{Resp.}$$

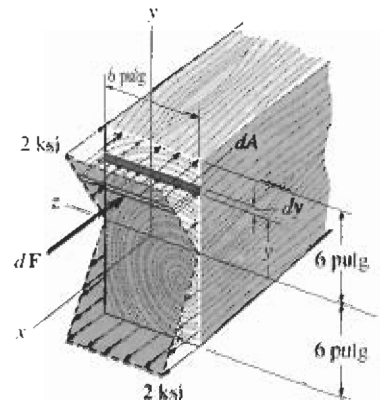
Parte (b). Demostraremos primero que la fuerza resultante de la distribución del esfuerzo es cero. Como se muestra en la figura 6–27*b*, el esfuerzo que actúa sobre la franja arbitraria $dA = (6 \text{ pulg})\, dy$, localizada a una distancia y del eje neutro, es:

$$\sigma = \left(\frac{-y}{6 \text{ pulg}}\right)(2 \text{ kip/pulg}^2)$$

La fuerza generada por este esfuerzo es $dF = \sigma\, dA$, y entonces, para la sección transversal entera,

$$F_R = \int_A \sigma\, dA = \int_{-6 \text{ pulg}}^{6 \text{ pulg}} \left[\left(\frac{-y}{6 \text{ pulg}}\right)(2 \text{ kip/pulg}^2)\right](6 \text{ pulg})\, dy$$

$$= (-1 \text{ kip/pulg}^2)\, y^2 \Big|_{-6 \text{ pulg}}^{+6 \text{ pulg}} = 0$$



(b)

El momento resultante de la distribución del esfuerzo respecto al eje neutro (eje z) debe ser igual a M. Como la magnitud del momento $d\mathbf{F}$ respecto a este eje es $dM = y\, dF$, y $d\mathbf{M}$ es *siempre positiva*, figura 6–27*b*, entonces para la sección entera,

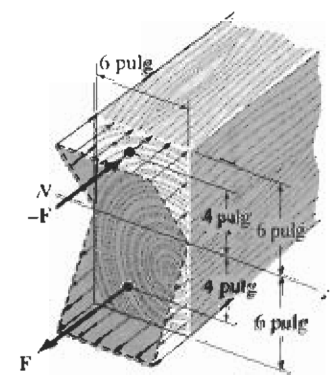
$$M = \int_A y\, dF = \int_{6 \text{ pulg}}^{6 \text{ pulg}} y\left[\left(\frac{-y}{6 \text{ pulg}}\right)(2 \text{ kip/pulg}^2)\right](6 \text{ pulg})\, dy$$

$$= \left(\frac{2}{3} \text{ kip/pulg}^2\right) y^3 \Big|_{-6 \text{ pulg}}^{+6 \text{ pulg}}$$

$$= 288 \text{ kip} \cdot \text{pnlg} = 24 \text{ kip} \cdot \text{pie} \qquad \textbf{\textit{Resp.}}$$

El resultado anterior puede también determinarse sin integración. La fuerza resultante para cada una de las dos distribuciones triangulares de esfuerzo en la figura 6–27*c* es gráficamente equivalente al volumen contenido dentro de cada distribución de esfuerzo. Así entonces, cada volumen es:

$$F = \frac{1}{2}(6 \text{ pulg})(2 \text{ kip/pulg}^2)(6 \text{ pulg}) = 36 \text{ kip}$$



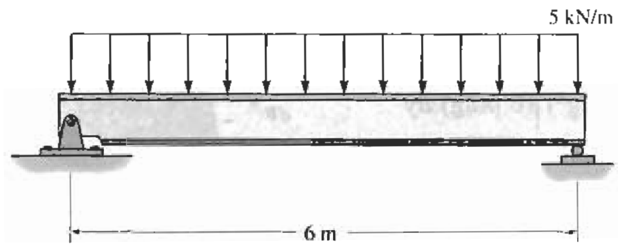
(c)

Esas fuerzas, que forman un par, actúan en el mismo sentido que los esfuerzos dentro de cada distribución, figura 6–27*c*. Además, actúan pasando por el centroide de cada volumen, esto es, $\frac{1}{3}(6 \text{ pulg}) = 2$ pulg desde las partes superior e inferior de la viga. Por tanto, la distancia entre ellas es de 8 pulg, tal como se muestra. El momento del par es entonces:

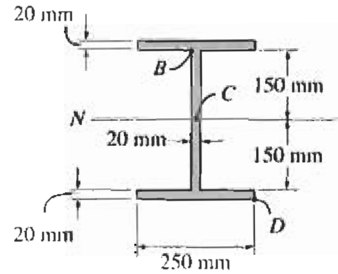
$$M = 36 \text{ kip } (8 \text{ pulg}) = 288 \text{ kip} \cdot \text{pulg} = 24 \text{ kip} \cdot \text{pie} \qquad \textbf{\textit{Resp.}}$$

EJEMPLO 6-15

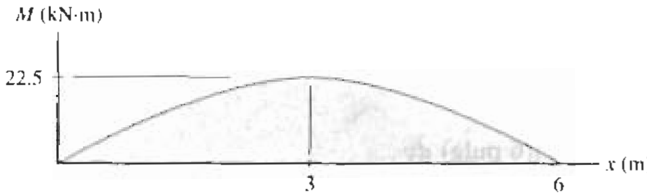
La viga simplemente apoyada en la figura 6–28*a* tiene la sección transversal mostrada en la figura 6–28*b*. Determine el esfuerzo máximo absoluto de flexión en la viga y dibuje la distribución del esfuerzo en la sección transversal en esta localidad.



(a)



(b)



(c)

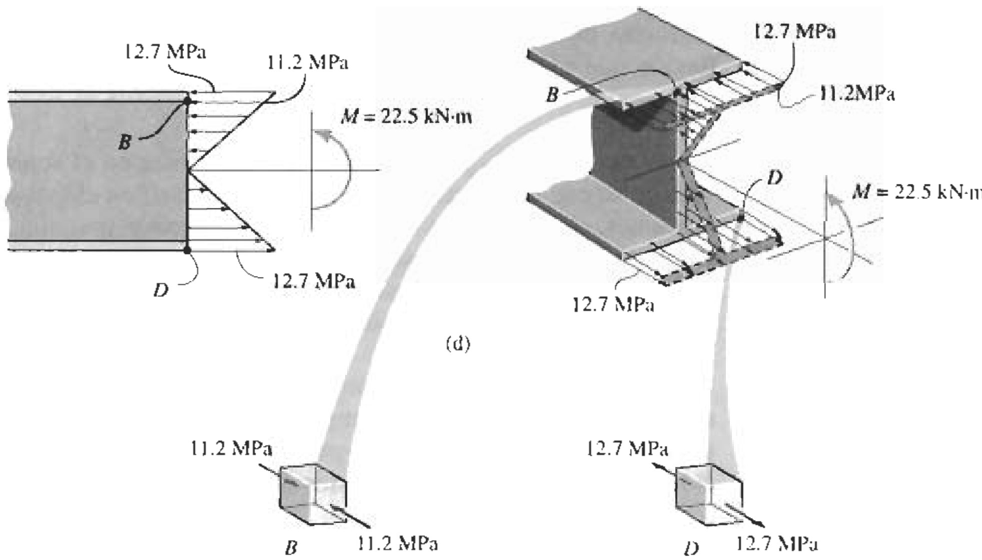
Figura 6–28

SOLUCIÓN

Momento interno máximo. El momento interno máximo en la viga, $M = 22.5\ \mathrm{kN \cdot m}$, ocurre en el centro del claro como se muestra en el diagrama de momento flexionante, figura 6-28*c*. Vea el ejemplo 6–3.

Propiedades de la sección. Por razones de simetría, el centroide C y el eje neutro pasan por la mitad de la altura de la viga, figura 6–28*b*. La sección transversal se subdivide en las tres partes mostradas y el momento de inercia de cada parte se calcula respecto al eje neutro usando el teorema de los ejes paralelos. (Vea la ecuación A–5 del apéndice A.) Trabajando en metros, tenemos:

$$
\begin{aligned}
I &= \Sigma(\bar{I} + Ad^2) \\
&= 2\left[\frac{1}{12}(0.25\ \mathrm{m})(0.020\ \mathrm{m})^3 + (0.25\ \mathrm{m})(0.020\ \mathrm{m})(0.160\ \mathrm{m})^2\right] \\
&\quad + \left[\frac{1}{12}(0.020\ \mathrm{m})(0.300\ \mathrm{m})^3\right] \\
&= 301.3(10^{-6})\ \mathrm{m}^4
\end{aligned}
$$



(d)

(e)

Esfuerzo de flexión. Aplicando la fórmula de la flexión, con $c =$ 170 mm, el esfuerzo máximo absoluto de flexión es:

$$\sigma_{\text{máx}} = \frac{Mc}{I}; \quad \sigma_{\text{máx}} = \frac{22.5 \text{ kN} \cdot \text{m}(0.170 \text{ m})}{301.3(10^{-6}) \text{ m}^4} = 12.7 \text{ MPa} \qquad \textit{Resp.}$$

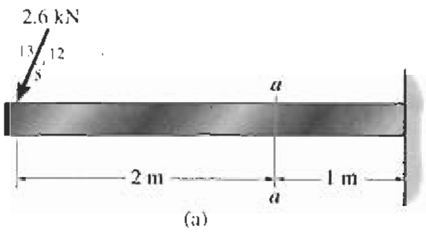
En la figura 6–28*d* se muestran vistas bi y tridimensionales de la distribución del esfuerzo. Note cómo el esfuerzo en cada punto sobre la sección transversal desarrolla una fuerza que contribuye con un momento $d\mathbf{M}$ respecto al eje neutro que tiene el mismo sentido que **M**. Específicamente, en el punto B, $y_B = 150$ mm, por lo que:

$$\sigma_B = \frac{My_B}{I}; \quad \sigma_B = \frac{22.5 \text{ kN} \cdot \text{m}(0.150 \text{ m})}{301.3(10^{-6}) \text{ m}^4} = 11.2 \text{ MPa}$$

El esfuerzo normal que actúa sobre elementos de material localizados en los puntos B y D se muestra en la figura 6–28*e*.

EJEMPLO 6-16

La viga mostrada en la figura 6–29*a* tiene una sección transversal en forma de canal, figura 6–29*b*. Determine el esfuerzo máximo de flexión que se presenta en la sección *a–a* de la viga.



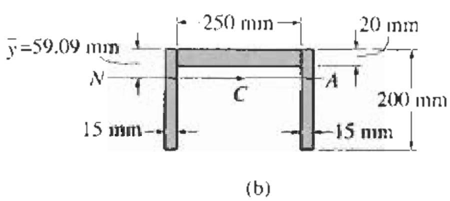
SOLUCIÓN

Momento interno. En este caso, las reacciones en el soporte de la viga no tienen que determinarse. Podemos usar, con el método de las secciones, el segmento a la izquierda de la sección *a–a*, figura 6–29*c*. En particular, advierta que la fuerza axial interna resultante **N** pasa por el centroide de la sección transversal. Observe también que el momento interno resultante debe calcularse respecto al eje neutro de la viga en la sección *a–a*.

Para encontrar la posición del eje neutro, la sección transversal se subdivide en tres partes componentes, como se muestra en la figura 6–29*b*. Como el eje neutro pasa por el centroide, usando la ecuación *A*–2 del apéndice *A*, tenemos entonces:

$$\bar{y} = \frac{\Sigma \tilde{y} A}{\Sigma A} = \frac{2[0.100\text{ m}](0.200\text{ m})(0.015\text{ m}) + [0.010\text{ m}](0.02\text{ m})(0.250\text{ m})}{2(0.200\text{ m})(0.015\text{ m}) + 0.020\text{ m}(0.250\text{ m})}$$

$$= 0.05909\text{ m} = 59.09\text{ mm}$$



Esta posición se muestra en la figura 6–29*c*.

Aplicando la ecuación de equilibrio por momentos respecto al eje neutro, tenemos:

$$\circlearrowleft + \Sigma M_{NA} = 0; \qquad 2.4\text{ kN}(2\text{ m}) + 1.0\text{ kN}(0.05909\text{ m}) - M = 0$$

$$M = 4.859\text{ kN}\cdot\text{m}$$

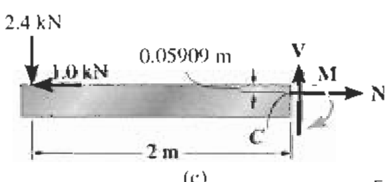


Figura 6–29

Propiedades de la sección. El momento de inercia respecto al eje neutro se determina usando el teorema de los ejes paralelos, aplicado a cada una de las tres partes componentes de la sección transversal. Trabajando en metros, tenemos:

$$I = \left[\frac{1}{12}(0.250\text{ m})(0.020\text{ m})^3 + (0.250\text{ m})(0.020\text{ m})(0.05909\text{ m} - 0.010\text{ m})^2\right]$$

$$+ 2\left[\frac{1}{12}(0.015\text{ m})(0.200\text{ m})^3 + (0.015\text{ m})(0.200\text{ m})(0.100\text{ m} - 0.05909\text{ m})^2\right]$$

$$= 42.26(10^{-6})\text{ m}^4$$

Esfuerzo máximo de flexión. El esfuerzo máximo de flexión ocurre en los puntos más alejados del eje neutro. En este caso, el punto más alejado está en el fondo de la viga; $c = 0.200\text{ m} - \bar{y} = 0.1409$ m. Entonces,

$$\sigma_{\text{máx}} = \frac{Mc}{I} = \frac{4.859\text{ kN}\cdot\text{m}(0.1409\text{ m})}{42.26(10^{-6})\text{ m}^4} = 16.2\text{ MPa} \qquad \textit{Resp.}$$

Muestre que en la parte superior de la viga el esfuerzo de flexión es $\sigma' = 6.79$ MPa. Note que además de este efecto de flexión, la fuerza normal de $N = 1$ kN y la fuerza cortante $V = 2.4$ kN contribuirán también con esfuerzos adicionales sobre la sección transversal. La superposición de todos esos efectos se verá en un capítulo posterior.

EJEMPLO 6-17

El miembro con sección transversal rectangular, figura 6–30*a*, está diseñado para resistir un momento de 40 N · m. Para aumentar su resistencia y rigidez, se propone añadir dos pequeñas costillas en su fondo, figura 6–30*b*. Determine el esfuerzo normal máximo en el miembro para ambos casos.

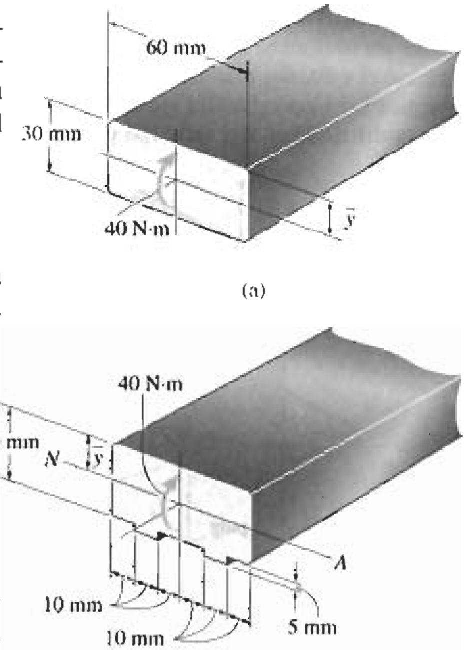


Figura 6–30

SOLUCIÓN

Sin costillas. Es claro que el eje neutro se localiza en el centro de la sección transversal, figura 6–30*a*, por lo que $\bar{y} = c = 15$ mm $= 0.015$ m. Así,

$$I = \frac{1}{12}bh^3 = \frac{1}{12}(0.06\text{ m})(0.03\text{ m})^3 = 0.135(10^{-6})\text{ m}^4$$

Por tanto, el esfuerzo normal máximo es:

$$\sigma_{\text{máx}} = \frac{Mc}{I} = \frac{(40\text{ N}\cdot\text{m})(0.015\text{ m})}{0.135(10^{-6})\text{ m}^4} = 4.44\text{ MPa} \qquad \textit{Resp.}$$

Con costillas. En la figura 6–30*b*, segmentando la sección en el rectángulo grande principal y en los dos rectángulos inferiores (costillas), la posición del centroide y del eje neutro se determinan como sigue:

$$\bar{y} = \frac{\Sigma\tilde{y}A}{\Sigma A}$$

$$= \frac{[0.015\text{ m}](0.030\text{ m})(0.060\text{ m}) + 2[0.0325\text{ m}](0.005\text{ m})(0.010\text{ m})}{(0.03\text{ m})(0.060\text{ m}) + 2(0.005\text{ m})(0.010\text{ m})}$$

$$= 0.01592\text{ m}$$

Este valor no representa a c. Más bien,

$$c = 0.035\text{ m} - 0.01592\text{ m} = 0.01908\text{ m}$$

Usando el teorema de los ejes paralelos, el momento de inercia

$$I = \left[\frac{1}{12}(0.060\text{ m})(0.030\text{ m})^3 + (0.060\text{ m})(0.030\text{ m})(0.01592\text{ m} - 0.015\text{ m})^2\right]$$

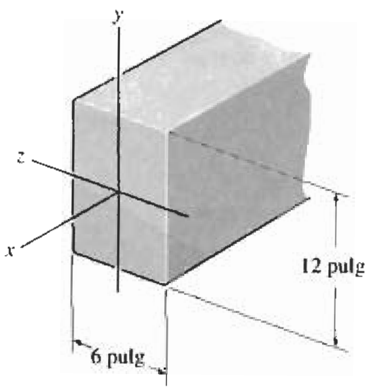
$$+ 2\left[\frac{1}{12}(0.010\text{ m})(0.005\text{ m})^3 + (0.010\text{ m})(0.005\text{ m})(0.0325\text{ m} - 0.01592\text{ m})^2\right]$$

$$= 0.1642(10^{-6})\text{ m}^4$$

respecto al eje neutro es:

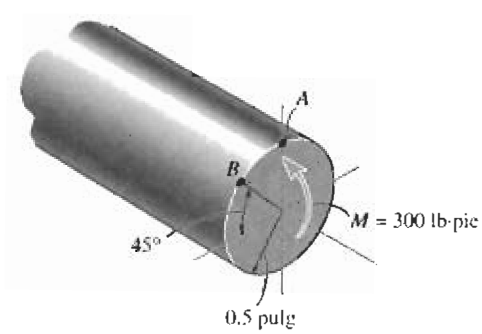
PROBLEMAS

6–43 Un miembro con las dimensiones mostradas se usa para resistir un momento flexionante interno $M = 2$ kip · pie. Determine el esfuerzo máximo en el miembro si el momento se aplica *(a)* alrededor del eje z, *(b)* alrededor del eje y. Esboce la distribución del esfuerzo para cada caso.



Problema 6–43

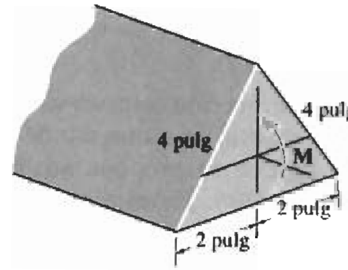
***6–44** La barra de acero con diámetro de 1 pulg está sometida a un momento interno $M = 300$ lb · pie. Determine el esfuerzo generado en los puntos A y B. Esboce también una vista tridimensional de la distribución del esfuerzo que actúa sobre la sección transversal.



Problema 6–44

6–45 Un miembro tiene la sección transversal triangular mostrada. Determine el máximo momento interno M que puede aplicarse a la sección sin exceder los esfuerzos permisibles de tensión y de compresión de $(\sigma_{perm})_t = 22$ ksi y $(\sigma_{perm})_c = 15$ ksi, respectivamente.

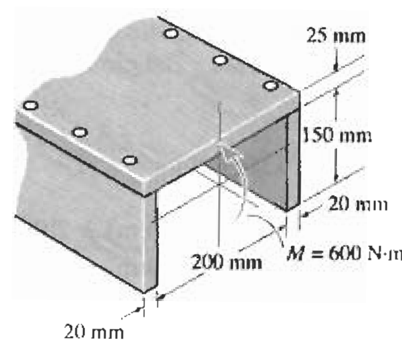
6–46 Un miembro tiene la sección transversal triangular mostrada. Si se aplica un momento $M = 800$ lb · pie a la sección, determine los esfuerzos máximos de tensión y de compresión por flexión en el miembro. También, esboce una vista tridimensional de la distribución del esfuerzo que actúa sobre la sección transversal.



Problemas 6–45/6–46

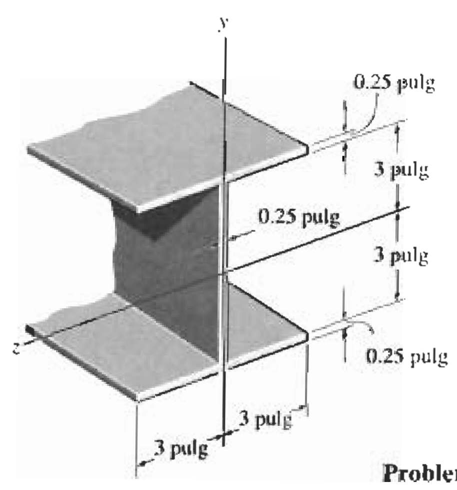
6–47 La viga está hecha de tres tablones unidos entre sí por medio de clavos. Si el momento que actúa sobre la sección transversal es $M = 600$ N · m, determine el esfuerzo de flexión máximo en la viga. Esboce una vista tridimensional de la distribución del esfuerzo que actúa sobre la sección transversal.

***6–48** La viga está hecha de tres tablones unidos entre sí por medio de clavos. Si el momento que actúa sobre la sección transversal es $M = 600$ N · m, determine la fuerza resultante que el esfuerzo de flexión ejerce sobre el tablón superior.



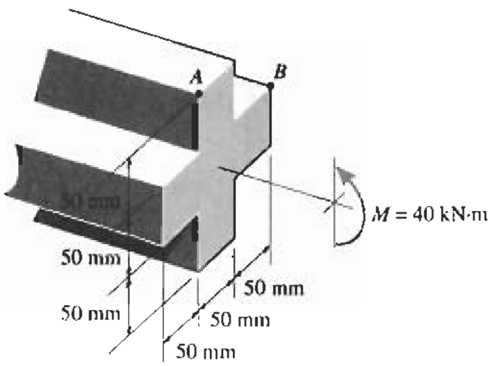
Problemas 6–47/6–48

6–49 Una viga tiene la sección transversal mostrada. Si está hecha de acero con un esfuerzo permisible $\sigma_{perm} = 24$ ksi, determine el máximo momento interno que la viga puede resistir si el momento se aplica *(a)* alrededor del eje z, *(b)* alrededor del eje y.



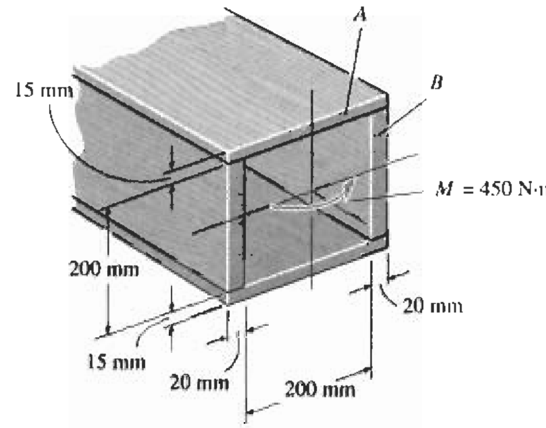
Problema 6–49

6–50 La viga está sometida a un momento $M = 40$ kN · m. Determine el esfuerzo de flexión que actúa en los puntos A y B. Esboce los resultados sobre un elemento de volumen presente en cada uno de esos puntos.



Problema 6–50

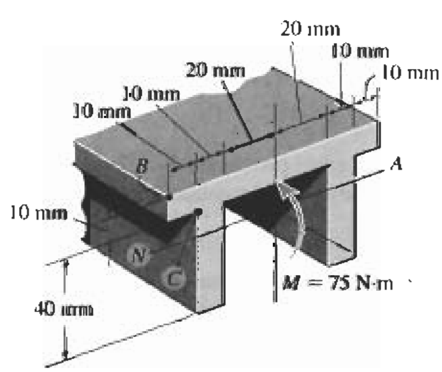
6–53 Una viga está construida con cuatro tablones de madera unidos entre sí por pegamento, como se muestra. Si el momento que actúa sobre la sección transversal es $M = 450$ N · m, determine la fuerza resultante que el esfuerzo de flexión produce sobre el tablón A superior y sobre el tablón B lateral.



Problema 6–53

6–51 La parte de máquina de aluminio está sometida a un momento $M = 75$ N · m. Determine el esfuerzo de flexión generado en los puntos B y C sobre la sección transversal. Esboce los resultados sobre un elemento de volumen localizado en cada uno de esos puntos.

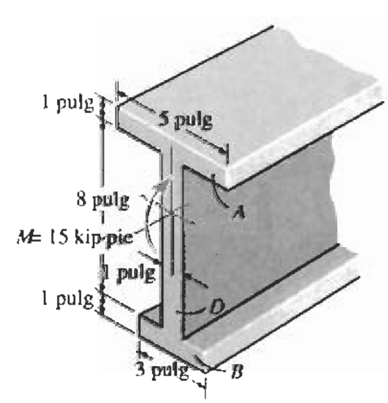
***6–52** La parte de máquina de aluminio está sometida a un momento $M = 75$ N · m. Determine los esfuerzos máximos de tensión y de compresión por flexión en la parte.



Problemas 6–51/6–52

6–54 La viga está sometida a un momento de 15 kip · pie. Determine la fuerza resultante que el esfuerzo de flexión produce sobre el patín A superior y sobre el patín B inferior. También, calcule el esfuerzo máximo de flexión desarrollado en la viga.

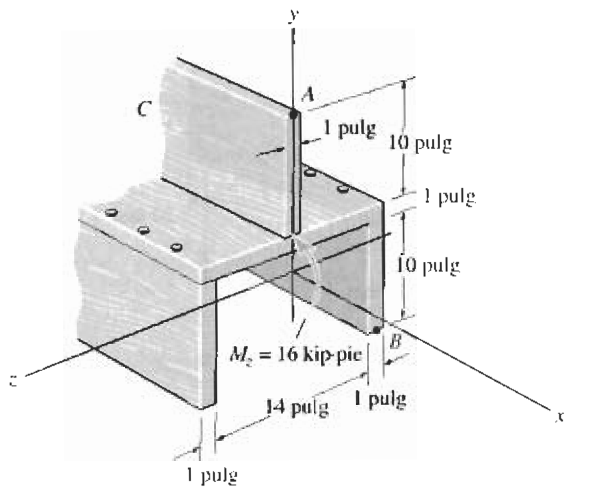
6–55 La viga está sometida a un momento de 15 kip · pie. Determine el porcentaje de este momento que es resistido por el alma D de la viga.



Problemas 6–54/6–55

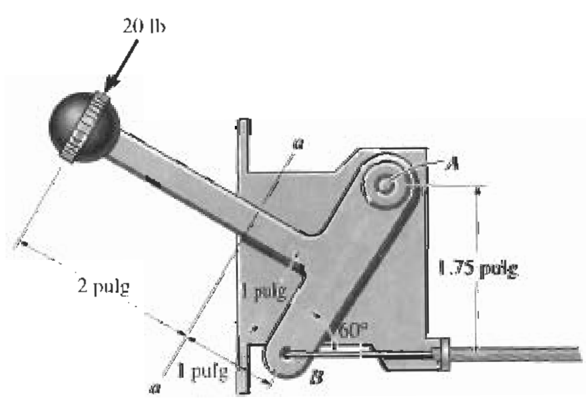
***6–56** La viga está construida con cuatro tablones como se muestra. Si está sometida a un momento M_z = 16 kip ·pie, determine el esfuerzo en los puntos A y B. Esboce una vista tridimensional de la distribución del esfuerzo.

6–57 La viga está construida con cuatro tablones como se muestra. Si está sometida a un momento M_z = 16 kip · pie, determine la fuerza resultante que el esfuerzo produce sobre el tablón C superior.



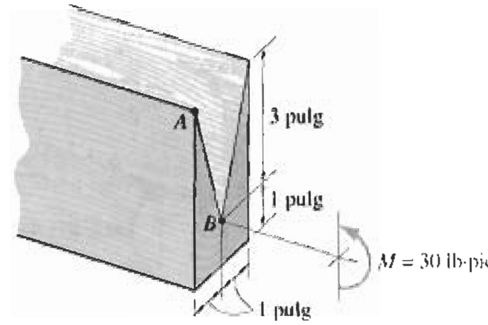
Problemas 6–56/6–57

6–58 La palanca de control se usa en una segadora de césped. Determine el esfuerzo máximo de flexión en la sección a–a de la palanca si se aplica una fuerza de 20 lb a la manija. La palanca está soportada por un pasador en A y por un alambre en B. La sección a–a es cuadrada de 0.25 pulg por 0.25 pulg.



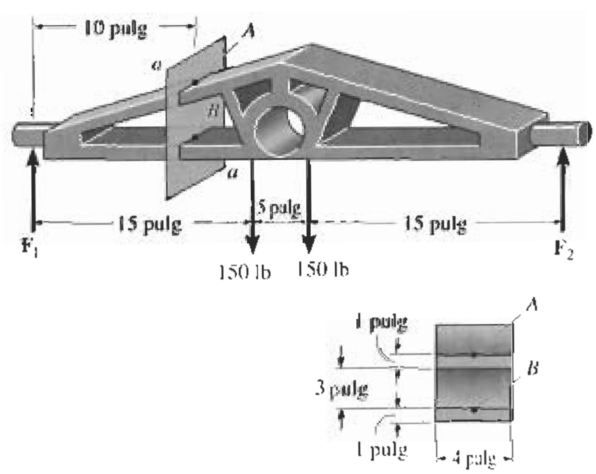
Problema 6–58

6–59 La viga está sometida a un momento M = 30 lb · pie. Determine el esfuerzo de flexión que actúa en los puntos A y B. También esboce una vista tridimensional de la distribución del esfuerzo que actúa sobre la sección transversal entera.



Problema 6–59

***6–60** La pieza de fundición ahusada soporta la carga mostrada. Determine el esfuerzo de flexión en los puntos A y B. La sección transversal en la sección a–a se da en la figura.



Problema 6–60

6–61 Si la flecha en el problema 6–1 tiene un diámetro de 100 mm, determine el esfuerzo máximo absoluto de flexión en la flecha.

6–62 Si la flecha en el problema 6–3 tiene un diámetro de 1.5 pulg, determine el esfuerzo máximo absoluto de flexión en la flecha.

6–63 Si la flecha en el problema 6–6 tiene un diámetro de 50 mm, determine el esfuerzo máximo absoluto de flexión en la flecha.

***6–64** Si el tubo en el problema 6–8 tiene un diámetro exterior de 30 mm y un espesor de 10 mm, determine el esfuerzo máximo absoluto de flexión en la flecha.

6–65 La viga ACB en el problema 6–9 tiene una sección transversal cuadrada de 6×6 pulg. Determine el esfuerzo máximo absoluto de flexión en la viga.

6–66 La pluma ABC de la grúa en el problema 6–10 tiene una sección transversal rectangular con base de 2.5 pulg; determine su altura h requerida, a $\frac{1}{4}$ pulg más cercano, para que el esfuerzo permisible de flexión $\sigma_{perm} = 24$ ksi no sea excedido.

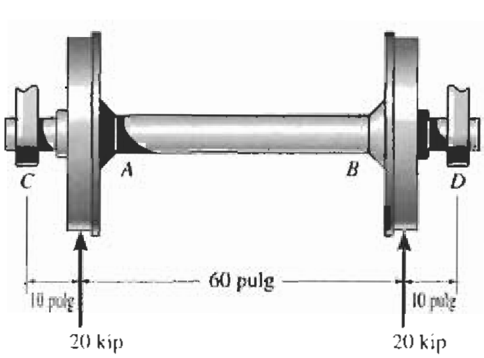
6–67 Si la pluma ABC de la grúa en el problema 6–10 tiene una sección transversal rectangular con base de 2 pulg y altura de 3 pulg, determine el esfuerzo máximo absoluto de flexión en la pluma.

***6–68** Determine el esfuerzo máximo absoluto de flexión en la viga del problema 6–24. La sección transversal es rectangular con base de 3 pulg y altura de 4 pulg.

6–69 Determine el esfuerzo máximo absoluto de flexión en la viga del problema 6–25. Cada segmento tiene una sección transversal rectangular con base de 4 pulg y altura de 8 pulg.

6–70 Determine el esfuerzo máximo absoluto de flexión en el pasador de 20 mm de diámetro en el problema 6–35.

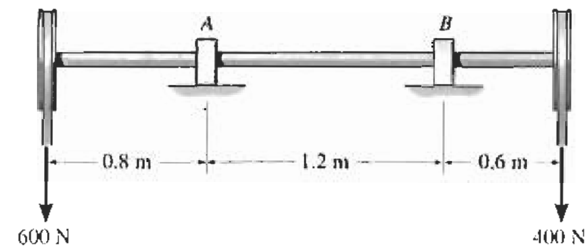
6–71 El eje del vagón de ferrocarril está sometido a cargas de 20 kip en sus ruedas. Si el eje está soportado por dos chumaceras en C y D, determine el esfuerzo máximo de flexión generado en el centro del eje, donde el diámetro es de 5.5 pulg.



Problema 6–71

***6–72** Determine el esfuerzo máximo absoluto de flexión en la flecha de 30 mm de diámetro sometida a las fuerzas concentradas indicadas. Las chumaceras en A y B soportan sólo fuerzas verticales.

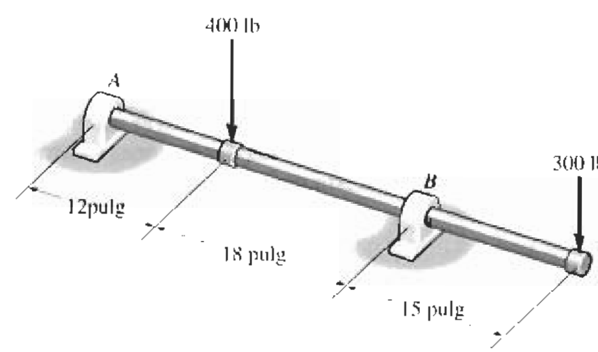
6–73 Determine el diámetro permisible más pequeño para la flecha sometida a las cargas concentradas mostradas. Las chumaceras en A y B sólo soportan fuerzas verticales; el esfuerzo permisible de flexión es $\sigma_{perm} = 160$ MPa.



Problemas 6–72/6–73

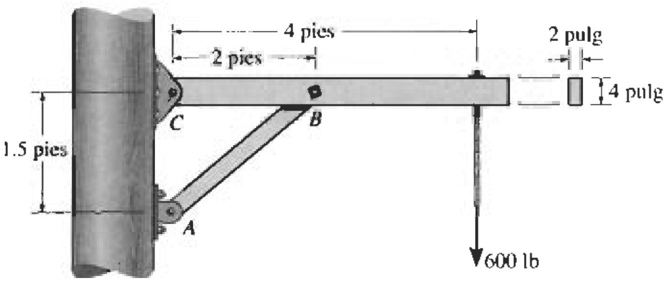
6–74 Determine el esfuerzo máximo absoluto de flexión en la flecha de 1.5 pulg de diámetro sometida a las fuerzas concentradas indicadas. Las chumaceras en A y B soportan sólo fuerzas verticales.

6–75 Determine el diámetro permisible más pequeño para la flecha sometida a las fuerzas concentradas indicadas. Las chumaceras en A y en B soportan sólo fuerzas verticales y el esfuerzo permisible de flexión es $\sigma_{perm} = 22$ ksi.



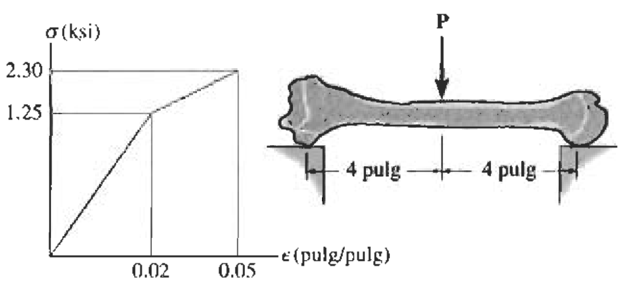
Problemas 6–74/6–75

***6–76** El brazo CD del poste de servicio soporta un cable del que pende un peso de 600 lb. Determine el esfuerzo máximo absoluto de flexión en el brazo si se supone que A, B y C están articulados.



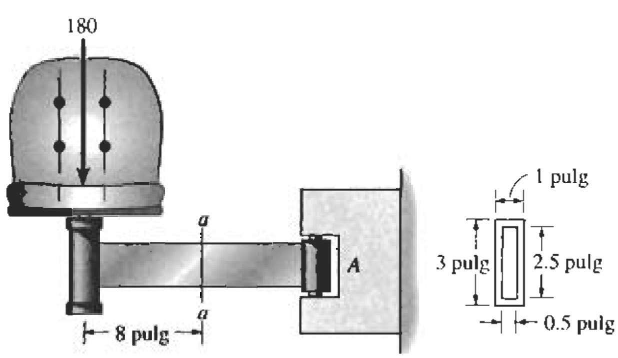
Problema 6–76

6–77 Una porción del fémur puede modelarse como un tubo con diámetro interior de 0.375 pulg y un diámetro exterior de 1.25 pulg. Determine la máxima fuerza P elástica estática que puede aplicársele en su centro sin que se produzca falla. El diagrama σ–ϵ para el material del hueso se muestra en la figura y es el mismo en tensión y en compresión.



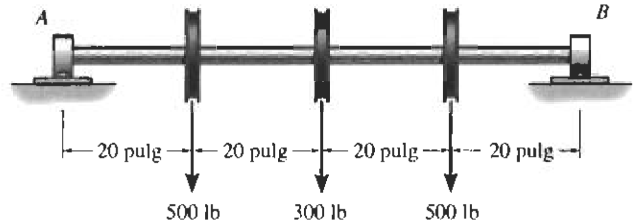
Problema 6–77

6–78 La silla está soportada por un brazo que está articulado de modo que puede girar respecto al eje vertical en A. La carga sobre la silla es de 180 lb y el brazo es un tubo hueco cuya sección transversal tiene las dimensiones mostradas. Determine el esfuerzo máximo de flexión en la sección a–a.



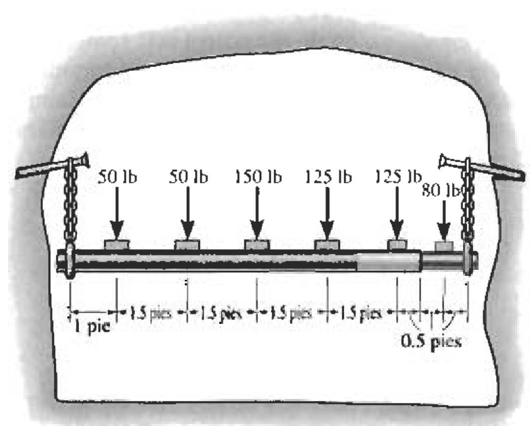
Problema 6–78

6–79 La flecha de acero tiene una sección transversal circular con diámetro de 2 pulg. Está soportada sobre chumaceras lisas A y B, que ejercen sólo reacciones verticales sobre la flecha. Determine el esfuerzo máximo absoluto de flexión en la flecha cuando está sometida a las cargas mostradas de las poleas.



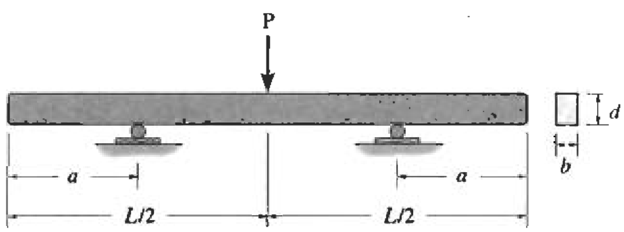
Problema 6–79

***6–80** Los soportes extremos de un andamio para perforadores usado en una mina de carbón consisten en un tubo con diámetro exterior de 4 pulg que enchufa con un tubo de 3 pulg de diámetro exterior. Cada tubo tiene un espesor de 0.25 pulg. Con las reacciones extremas de los tablones soportados dadas, determine el esfuerzo máximo absoluto de flexión en cada tubo. Desprecie el tamaño de los tablones en los cálculos.



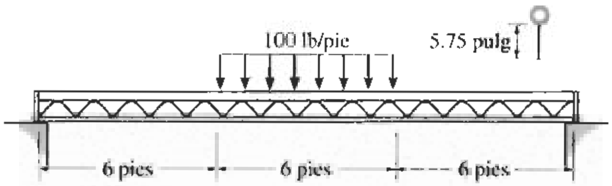
Problema 6–80

6–81 La viga está sometida a la carga **P** en su centro. Determine la posición a de los soportes de manera que el esfuerzo máximo absoluto de flexión en la viga sea tan grande como sea posible. ¿Qué valor tiene este esfuerzo?



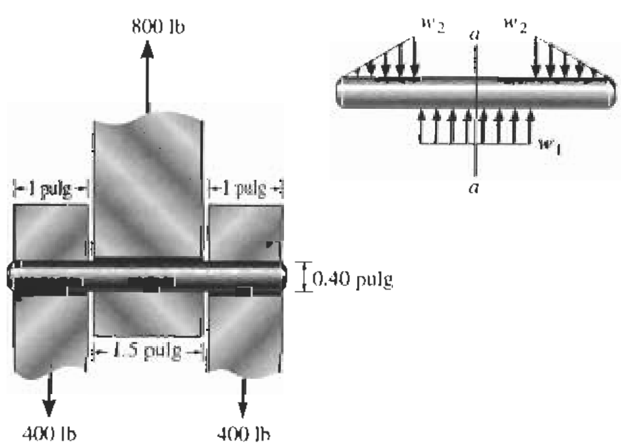
Problema 6–81

6–82 La armadura simplemente apoyada está sometida a la carga central distribuida. Desprecie el efecto de la celosía diagonal y determine el esfuerzo máximo absoluto de flexión en la armadura. El miembro superior es un tubo con diámetro exterior de 1 pulg y espesor de $\frac{3}{16}$ pulg; el miembro inferior es una barra sólida con diámetro de $\frac{1}{2}$ pulg.



Problema 6–82

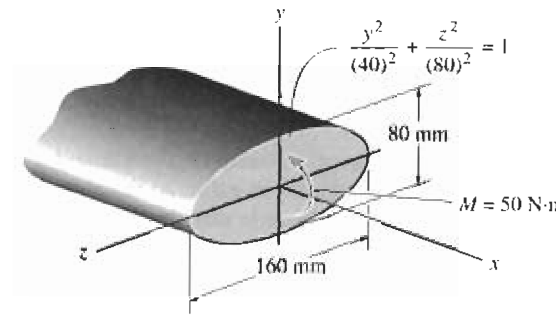
6–83 El pasador se usa para conectar los tres eslabones entre sí. Debido al desgaste, la carga se distribuye sobre la parte superior e inferior del pasador como se muestra en el diagrama de cuerpo libre. Si el diámetro del pasador es de 0.40 pulg, determine el esfuerzo máximo de flexión sobre la sección transversal *a–a* central. Para obtener la solución es necesario primero determinar las intensidades de las cargas w_1 y w_2.



Problema 6–83

***6–84** Una flecha está hecha de un polímero con sección transversal elíptica. Si resiste un momento interno M = 50 N · m, determine el esfuerzo máximo de flexión generado en el material *(a)* usando la fórmula de la flexión, donde $I_z = \frac{1}{4}\pi(0.08\text{ m})(0.04\text{ m})^3$, *(b)* usando integración. Esboce una vista tridimensional de la distribución del esfuerzo que actúa sobre la sección transversal.

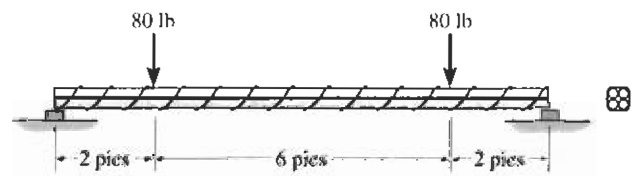
6–85 Resuelva el problema 6–84 considerando que el momento M = 50 N · m está aplicado respecto al eje y y no respecto al eje x. Aquí, $I_y = \frac{1}{4}\pi\,(0.04\text{ m})(0.08\text{ m})^3$.



Problemas 6–84/6-85

6–86 La viga simplemente apoyada está hecha de cuatro barras de $\frac{3}{4}$ pulg de diámetro, dispuestas como se muestra. Determine el esfuerzo máximo de flexión en la viga debido a la carga mostrada.

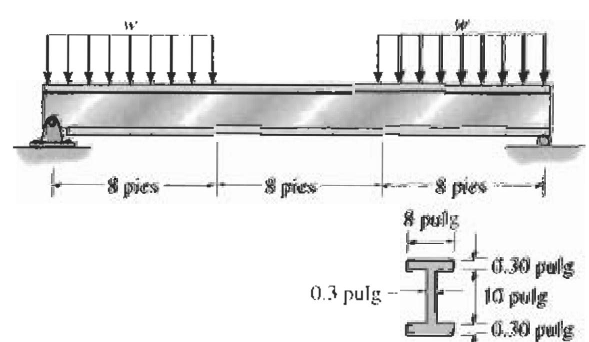
6–87 Resuelva el problema 6–86 si el haz se gira 45° y se fija en los soportes.



Problemas 6–86/6–87

***6–88** La viga de acero tiene la sección transversal mostrada. Determine la intensidad máxima de la carga w distribuida que puede soportar la viga sin que el esfuerzo de flexión exceda el valor $\sigma_{máx}$ = 22 ksi.

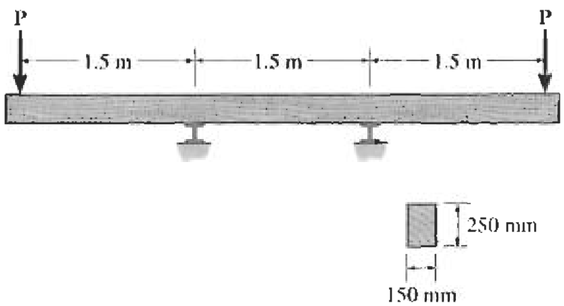
6–89 La viga de acero tiene la sección transversal mostrada. Si w = 5 kip/pie, determine el esfuerzo máximo absoluto de flexión en la viga.



Problemas 6–88/6–89

6–90 La viga tiene la sección transversal rectangular mostrada. Determine la carga P máxima que puede soportar sobre sus extremos volados si el esfuerzo de flexión no debe ser mayor que $\sigma_{máx} = 10$ MPa.

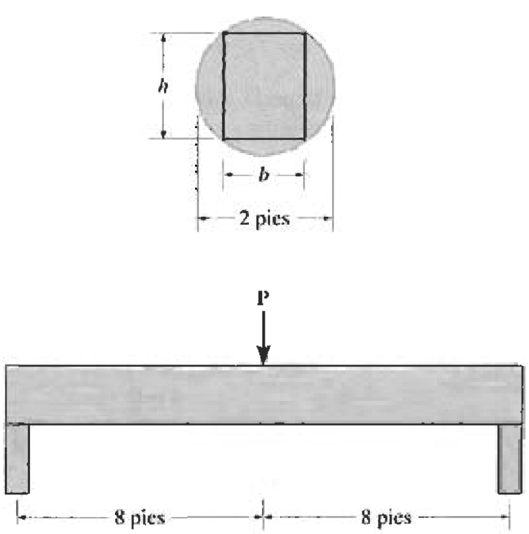
6–91 La viga tiene la sección transversal rectangular mostrada. Si $P = 12$ kN, determine el esfuerzo máximo absoluto de flexión en la viga. Esboce la distribución de esfuerzo que actúa sobre la sección transversal.



Problemas 6–90/6–91

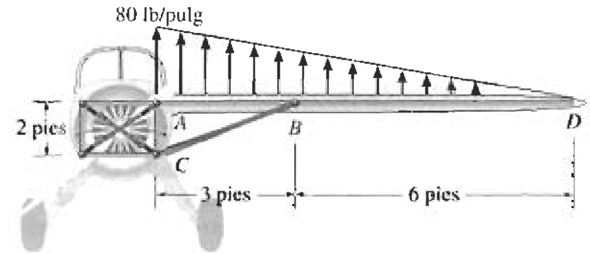
***6–92** De un tronco de dos pies de diámetro va a cortarse una sección rectangular para usarse como viga simplemente apoyada. Si el esfuerzo permisible de flexión para la madera es $\sigma_{perm} = 8$ ksi, determine el ancho b y la altura h requeridos por la viga para que ésta soporte la carga máxima posible. ¿Qué valor tiene esta carga?

6–93 De un tronco de 2 pies de diámetro va a cortarse una sección rectangular para usarse como viga simplemente apoyada. Si el esfuerzo permisible de flexión para la madera es $\sigma_{perm} = 8$ ksi, determine la máxima carga P que podrá soportar si el ancho de la viga es $b = 8$ pulg.



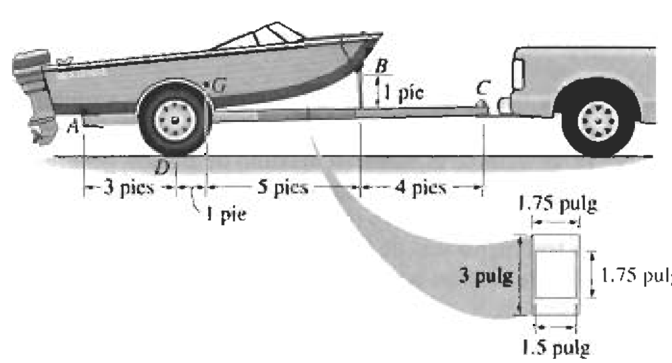
Problemas 6–92/6–93

6–94 El larguero ABD del ala de un avión ligero está hecho de aluminio 2014–T6 y tiene una sección transversal de 1.27 pulg × 3 pulg (peralte) y un momento de inercia respecto a su eje neutro de 2.68 pulg^4. Determine el esfuerzo máximo absoluto de flexión en el larguero para la carga mostrada. Suponga que A, B y C están articuladas. La conexión está hecha a lo largo del eje central longitudinal del larguero.



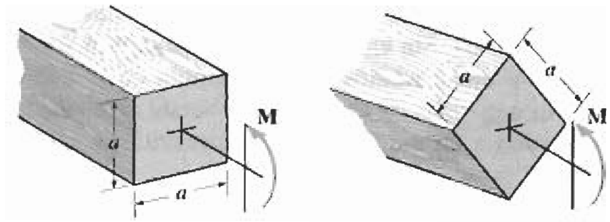
Problema 6–94

6–95 La lancha tiene un peso de 2300 lb y centro de gravedad en G. Si se apoya en el contacto liso A del remolque y puede considerarse soportada por un pasador en B, determine el esfuerzo máximo absoluto de flexión desarrollado en la barra principal del remolque. Considere que esta barra es una viga en caja articulada en C y con las dimensiones mostradas en la figura.



Problema 6–95

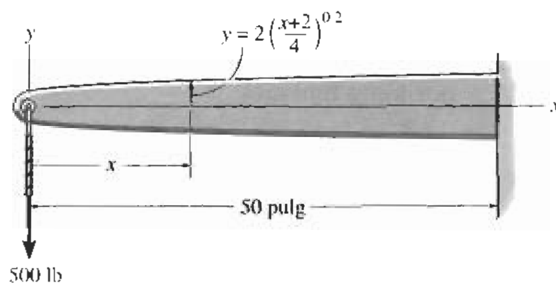
***6–96** Una viga de madera tiene sección transversal cuadrada como se muestra en la figura. Determine qué orientación de la viga da la mayor resistencia para soportar el momento **M**. ¿Cuál es la diferencia en el esfuerzo máximo resultante en ambos casos?



(a) (b)

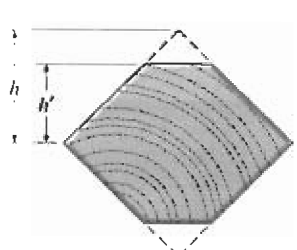
Problema 6–96

6–97 La viga en voladizo tiene un espesor de 4 pulg y un peralte variable que puede describirse por la función $y = 2[(x + 2)/4]^{0.2}$, donde x está en pulgadas. Determine el esfuerzo máximo de flexión en la viga en su centro.



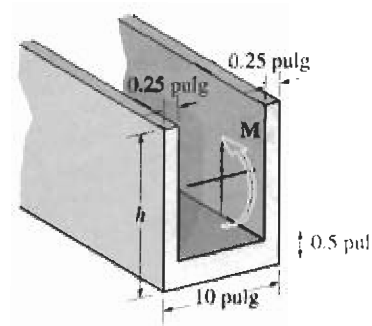
Problema 6–97

6–98 Una viga de madera tiene una sección transversal que era originalmente cuadrada. Si está orientada como se muestra, determine la altura h' para que resista el momento máximo posible. ¿Qué tanto por ciento es este momento mayor que el resistido por la viga sin sus extremos aplanados?



Problema 6–98

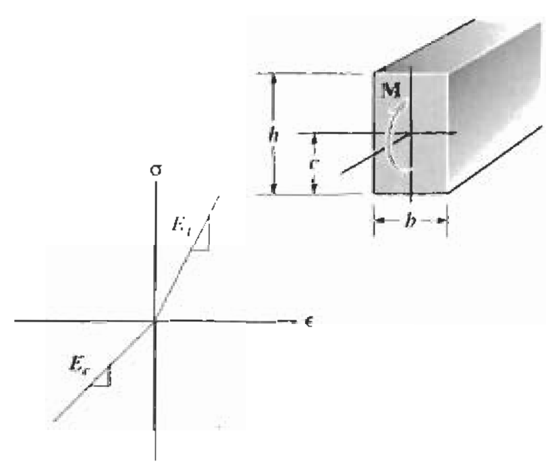
6–99 Una viga va a fabricarse a base de un plástico polietileno y tendrá la sección transversal mostrada. Determine su altura máxima requerida para que soporte el mayor momento M. ¿Qué valor tiene este momento? Los esfuerzos permisibles de tensión y de compresión por flexión del material son $(\sigma_{perm})_t = 10$ ksi y $(\sigma_{perm})_c = 30$ ksi, respectivamente.



Problema 6–99

***6–100** Una viga está hecha de un material que tiene módulos de elasticidad diferentes a tensión y a compresión. Determine la posición c del eje neutro y obtenga una expresión para el esfuerzo máximo de tensión en la viga con las dimensiones mostradas si está sometida al momento flexionante M.

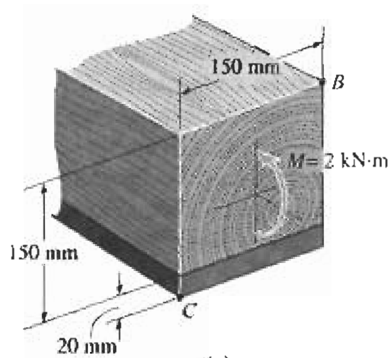
6–101 La viga tiene una sección transversal rectangular y está sometida a un momento flexionante M. Si el material de que está hecha tiene módulos de elasticidad diferentes a tensión y a compresión como se muestra, determine la posición c del eje neutro y el esfuerzo máximo de compresión en la viga.



Problemas 6–100/6–101

EJEMPLO 6-21

Una viga compuesta está hecha de madera y está reforzada con una cubreplaca de acero localizada en el fondo de la viga. Tiene la sección transversal mostrada en la figura 6–40*a*. Si la viga está sometida al momento flexionante $M = 2$ kN · m, determine el esfuerzo normal en los puntos B y C. Considere $E_{mad} = 12$ GPa y $E_{ac} = 200$ GPa.



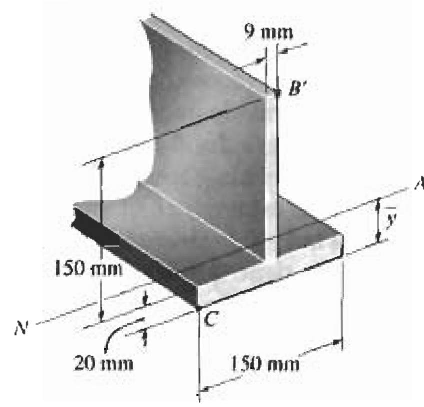


Figura 6–40(a–d)

SOLUCIÓN

Propiedades de la sección. Aunque la selección es arbitraria, transformaremos aquí la sección en una hecha enteramente de acero. Como el acero tiene una mayor rigidez que la madera ($E_{ac} > E_{mad}$), el ancho de la madera debe *reducirse* a un ancho equivalente de acero. Por tanto, n debe ser menor que 1. Para que esto sea el caso, $n = E_{mad}/E_{ac}$, por lo que:

$$b_{ac} = nb_{mad} = \frac{12 \text{ GPa}}{200 \text{ GPa}}(150 \text{ mm}) = 9 \text{ mm}$$

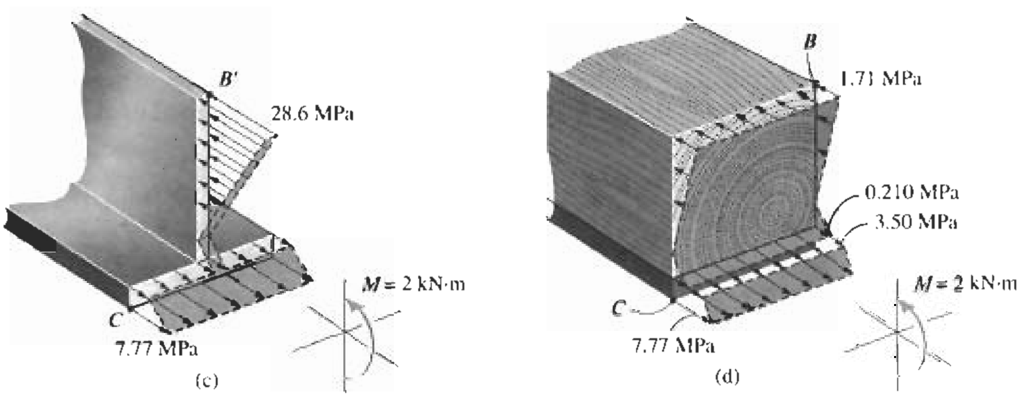
La sección transformada se muestra en la figura 6–40*b*.

La posición del centroide (eje neutro), calculada respecto a un eje de referencia situado en el *fondo* de la sección, es:

$$\bar{y} = \frac{\Sigma\tilde{y}A}{\Sigma A} = \frac{[0.01 \text{ m}](0.02 \text{ m})(0.150 \text{ m}) + [0.095 \text{ m}](0.009 \text{ m})(0.150 \text{ m})}{0.02 \text{ m}(0.150 \text{ m}) + 0.009 \text{ m}(0.150 \text{ m})} = 0.03638 \text{ m}$$

El momento de inercia respecto al eje neutro es entonces:

$$I_{NA} = \left[\frac{1}{12}(0.150 \text{ m})(0.02 \text{ m})^3 + (0.150 \text{ m})(0.02 \text{ m})(0.03638 \text{ m} - 0.01 \text{ m})^2\right]$$
$$+ \left[\frac{1}{12}(0.009 \text{ m})(0.150 \text{ m})^3 + (0.009 \text{ m})(0.150 \text{ m})(0.095 \text{ m} - 0.03638 \text{ m})^2\right]$$
$$= 9.36(10^{-6}) \text{ m}^4$$



(c) (d)

Esfuerzo normal. Aplicando la fórmula de la flexión, el esfuerzo normal en B' y C es:

$$\sigma_{B'} = \frac{2 \text{ kN} \cdot \text{m}(0.170 \text{ m} - 0.03638 \text{ m})}{9.36(10^{-6}) \text{ m}^4} = 28.6 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{C'} = \frac{2 \text{ kN} \cdot \text{m}(0.03638 \text{ m})}{9.36(10^{-6}) \text{ m}^4} = 7.77 \text{ MPa} \qquad \textbf{\textit{Resp.}}$$

La distribución del esfuerzo normal sobre la sección transformada (toda de acero) se muestra en la figura 6–40*c*.

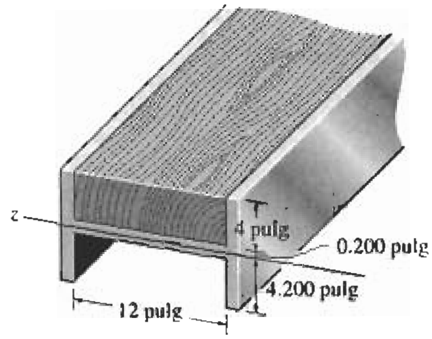
El esfuerzo normal en la madera en B, figura 6–40*a*, se determina con la ecuación 6–21; así,

$$\sigma_B = n\sigma_{B'} = \frac{12 \text{ GPa}}{200 \text{ GPa}}(28.6 \text{ MPa}) = 1.71 \text{ MPa} \qquad \textbf{\textit{Resp.}}$$

Usando estos conceptos, demuestre que el esfuerzo normal en el acero y en la madera en el punto en que están en contacto es $\sigma_{ac} = 3.50$ MPa y $\sigma_{mad} = 0.210$ MPa, respectivamente. La distribución del esfuerzo normal en la viga real se muestra en la figura 6–40*d*.

EJEMPLO 6-22

Para reforzar la viga de acero, se coloca un tablón de roble entre sus patines como se muestra en la figura 6–41*a*. Si el esfuerzo normal permisible para el acero es $(\sigma_{\text{perm}})_{ac} = 24$ ksi y para la madera es $(\sigma_{\text{perm}})_{mad} = 3$ ksi, determine el momento flexionante máximo que la viga puede soportar con y sin el refuerzo de madera. $E_{ac} = 29(10^3)$ ksi, $E_{mad} = 1.60(10^3)$ ksi. El momento de inercia de la viga de acero es $I_z = 20.3$ pulg^4, y el área de su sección transversal es $A = 8.79$ pulg^2.



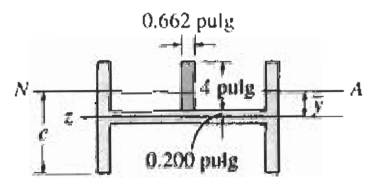


Figura 6–41

SOLUCIÓN

Sin madera. Aquí el eje neutro coincide con el eje z. La aplicación directa de la fórmula de la flexión a la viga de acero nos da:

$$(\sigma_{\text{perm}})_{ac} = \frac{Mc}{I_z}$$

$$24 \text{ kip/pulg}^2 = \frac{M(4.200 \text{ pulg})}{20.3 \text{ pulg}^4}$$

$$M = 116 \text{ kip} \cdot \text{pulg} \qquad \textit{Resp.}$$

Con madera. Como ahora tenemos una viga compuesta, debemos transformar la sección a un solo material. Será más fácil transformar la madera a una cantidad equivalente de acero. Para hacer esto, $n = E_{mad}/E_{ac}$. ¿Por qué? Así, el ancho de una cantidad equivalente de acero es:

$$b_{ac} = nb_{mad} = \frac{1.60(10^3) \text{ ksi}}{29(10^3) \text{ ksi}}(12 \text{ pulg}) = 0.662 \text{ pulg}$$

La sección transformada se muestra en la figura 6–41*b*. El eje neutro está en:

$$\bar{y} = \frac{\Sigma \tilde{y} A}{\Sigma A} = \frac{[0](8.79 \text{ pulg}^2) + [2.20 \text{ pulg}](4 \text{ pulg})(0.662 \text{ pulg})}{8.79 \text{ pulg}^2 + 4(0.662 \text{ pulg}^2)}$$
$$= 0.5093 \text{ pulg}$$

Y el momento de inercia respecto al eje neutro es:

$$I = [20.3 \text{ pulg}^4 + (8.79 \text{ pulg}^2)(0.5093 \text{ pulg})^2] + \left[\frac{1}{12}(0.662 \text{ pulg})(4 \text{ pulg})^3 + (0.662 \text{ pulg})(4 \text{ pulg}) (2.200 \text{ pulg} - 0.5093 \text{ pulg})^2\right] = 33.68 \text{ pulg}^4$$

El esfuerzo normal máximo en el acero ocurrirá en el fondo de la viga, figura 6–41*b*. Aquí, $c = 4.200 \text{ pulg} + 0.5093 \text{ pulg} = 4.7093 \text{ pulg}$. El momento máximo con base en el esfuerzo permisible del acero es por tanto:

$$(\sigma_{\text{perm}})_{ac} = \frac{Mc}{I}$$
$$24 \text{ kip/pulg}^2 = \frac{M(4.7093 \text{ pulg})}{33.68 \text{ pulg}^4}$$
$$M = 172 \text{ kip} \cdot \text{pulg}$$

El esfuerzo normal máximo en la madera se presenta en la parte superior de la viga, figura 6–41*b*. Aquí, $c' = 4.20 \text{ pulg} - 0.5093 \text{ pulg} = 3.6907 \text{ pulg}$. Como $\sigma_{mad} = n\sigma_{ac}$, el momento máximo con base en el esfuerzo permisible de la madera es:

$$(\sigma_{\text{perm}})_{mad} = n\frac{M'c'}{I}$$
$$3 \text{ kip/pulg}^2 = \left[\frac{1.60(10^3) \text{ ksi}}{29(10^3) \text{ ksi}}\right]\frac{M'(3.6907 \text{ pulg})}{33.68 \text{ pulg}^4}$$
$$M' = 496 \text{ kip} \cdot \text{pulg}$$

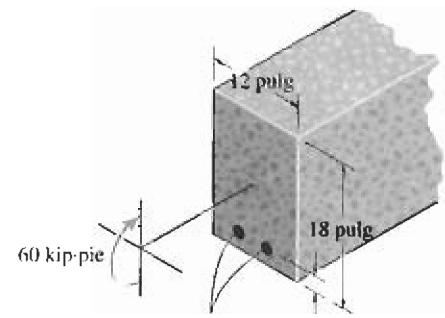
Por comparación, el momento máximo está regido por el esfuerzo permisible en el acero. Así,

$$M = 172 \text{ kip} \cdot \text{pulg} \qquad \textbf{\textit{Resp.}}$$

Advierta también que al usar la madera como refuerzo, se proporciona una capacidad adicional de 48% de momento para la viga.

EJEMPLO 6-23

La viga de concreto reforzado tiene la sección transversal mostrada en la figura 6–43*a*. Si está sometida a un momento flexionante M = 60 kip · pie, determine el esfuerzo normal en cada una de las barras de acero de refuerzo y el esfuerzo normal máximo en el concreto. Considere $E_{ac} = 29(10^3)$ ksi y $E_c = 3.6(10^3)$ ksi.



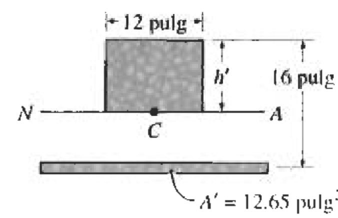
(a)

SOLUCIÓN

Como la viga está hecha de concreto, en el siguiente análisis despreciaremos su resistencia para soportar esfuerzos de tensión.

Propiedades de la sección. El área total de acero, $A_{ac} = 2[\pi(0.5 \text{ pulg})^2] = 1.571 \text{ pulg}^2$ será transformada en un área equivalente de concreto, figura 6–43*b*. Aquí,

$$A' = nA_{ac} = \frac{29(10^3)\text{ ksi}}{3.6(10^3)\text{ ksi}}(1.571 \text{ pulg}^2) = 12.65 \text{ pulg}^2$$



(b)

Requerimos que el centroide se encuentre sobre el eje neutro. Entonces, $\Sigma \tilde{y}A = 0$, o

$$12(h')\frac{h'}{2} - 12.65(16 - h') = 0$$

$$h'^2 + 2.11h' - 33.7 = 0$$

La raíz positiva es:

$$h' = 4.85 \text{ pulg}$$

Usando este valor de h', el momento de inercia de la sección transformada respecto al eje neutro, es:

$$I = \left[\frac{1}{12}(12 \text{ pulg})(4.85 \text{ pulg})^3 + 12 \text{ pulg}(4.85 \text{ pulg})\left(\frac{4.85 \text{ pulg}}{2}\right)^2\right] + 12.65 \text{ pulg}^2(16 \text{ pulg} - 4.85 \text{ pulg})^2$$
$$= 2029 \text{ pulg}^4$$

Esfuerzo normal. Aplicando la fórmula de la flexión a la sección transformada, el esfuerzo normal máximo en el concreto es:

$$(\sigma_{conc})_{máx} = \frac{[60 \text{ kip} \cdot \text{pie } (12 \text{ pulg/pie})](4.85 \text{ pulg})}{2029 \text{ pulg}^4} = 1.72 \text{ ksi} \quad \textbf{\textit{Resp.}}$$

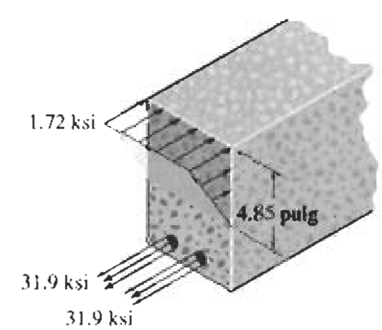
El esfuerzo normal resistido por la franja de "concreto", que reemplazó al acero, es:

$$\sigma'_{conc} = \frac{[60 \text{ kip} \cdot \text{pie } (12 \text{ pulg/pie})](16 \text{ pulg} - 4.85 \text{ pulg})}{2029 \text{ pulg}^4} = 3.96 \text{ ksi}$$

El esfuerzo normal en cada una de las dos barras de refuerzo es por tanto:

$$\sigma_{ac} = n\sigma'_{conc} = \left(\frac{29(10^3)\text{ ksi}}{3.6(10^3)\text{ ksi}}\right)3.96 \text{ ksi} = 31.9 \text{ ksi} \qquad \textbf{\textit{Resp.}}$$

La distribución del esfuerzo normal se muestra gráficamente en la figura 6–43*c*.



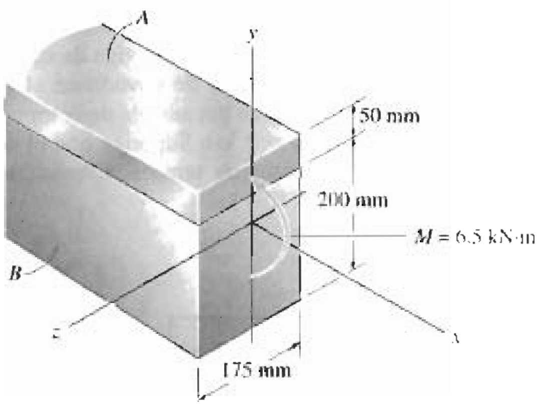
(c)

Figura 6–43

PROBLEMAS

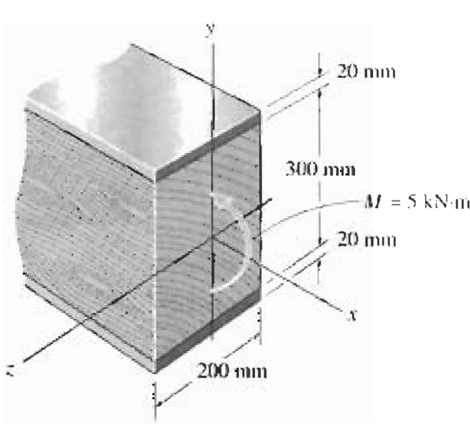
6–119 La viga compuesta está hecha de acero *(A)* unido a latón *(B)* y tiene la sección transversal mostrada. Determine el esfuerzo máximo de flexión en el latón y en el acero cuando está sometida a un momento $M = 6.5$ kN · m. ¿Cuál es el esfuerzo en cada material en el lugar en que están unidos entre sí? $E_{latón} = 100$ GPa y $E_{ac} = 200$ GPa.

6–120 La viga compuesta está hecha de acero *(A)* unido a latón *(B)* y tiene la sección transversal mostrada. Si el esfuerzo permisible a flexión para el acero es $(\sigma_{perm})_{ac} = 180$ MPa y para el latón es $(\sigma_{perm})_{latón} = 60$ MPa, determine el momento máximo M que puede aplicarse a la viga. $E_{latón} = 100$ GPa y $E_{ac} = 200$ GPa.



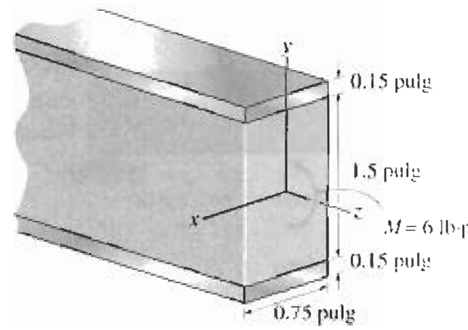
Problemas 6–119/6–120

6–121 Una viga de madera está reforzada con placas de acero en sus partes superior e inferior como se muestra en la figura. Determine el esfuerzo máximo de flexión generado en la madera y en el acero si la viga está sometida a un momento flexionante $M = 5$ kN · m. Esboce la distribución del esfuerzo que actúa sobre la sección transversal. Considere $E_{mad} = 11$ GPa, $E_{ac} = 200$ GPa.



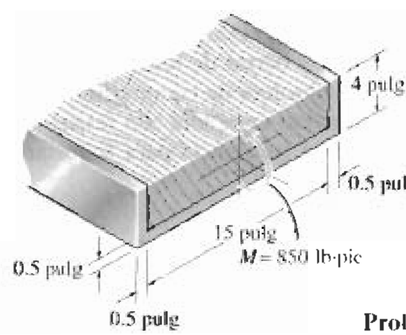
Problema 6–121

6–122 La viga sandwich se usa como puntal en un acuaplano. Consiste en placas de aluminio situadas en las partes superior e inferior de la viga y en un núcleo de resina plástica. Determine el esfuerzo máximo de flexión en el aluminio y en el plástico cuando la viga está sometida a un momento $M = 6$ lb · pulg. $E_{al} = 10(10^3)$ ksi y $E_{pl} = 2(10^3)$ ksi.



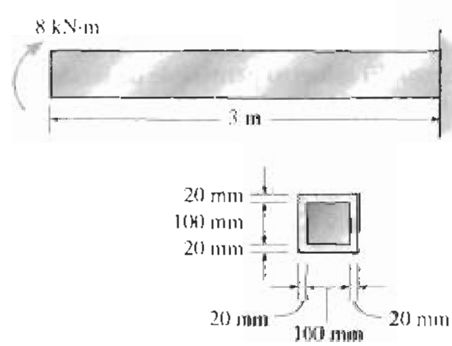
Problema 6–122

6–123 La canal de acero se usa para reforzar la viga de madera. Determine el esfuerzo máximo de flexión en el acero y en la madera si la viga está sometida a un momento $M = 850$ lb · pie. $E_{ac} = 29(10^3)$ ksi, $E_{mad} = 1600$ ksi.



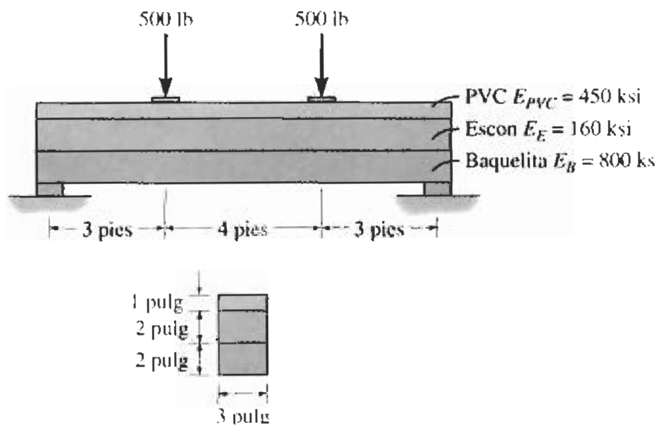
Problema 6–123

6–124 El miembro tiene un núcleo de latón adherido a un recubrimiento de acero. Si se aplica un momento concentrado de 8 kN · m en su extremo, determine el esfuerzo de flexión máximo en el miembro. $E_{latón} = 100$ GPa y $E_{ac} = 200$ GPa.



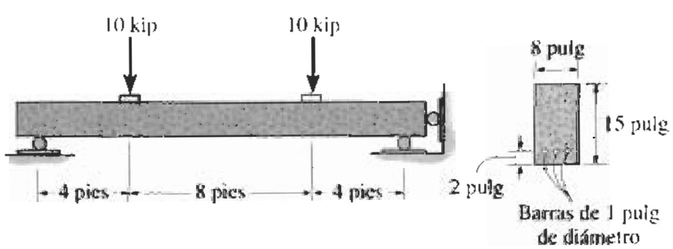
Problema 6–124

6–125 La viga está hecha con tres tipos de plásticos con sus módulos de elasticidad indicados en la figura. Determine el esfuerzo máximo de flexión en el PVC.



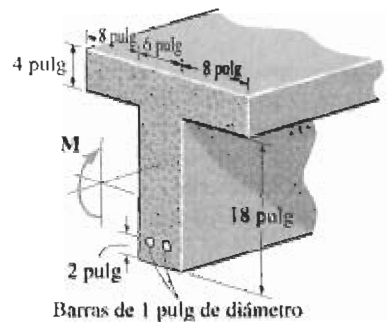
Problema 6–125

6–126 La viga de concreto reforzado se usa para soportar la carga indicada. Determine el esfuerzo máximo absoluto normal en cada una de las barras de refuerzo de acero A-36 y el esfuerzo máximo absoluto de compresión en el concreto. Suponga que el concreto tiene una alta resistencia en compresión y desprecie su resistencia para soportar tensiones.



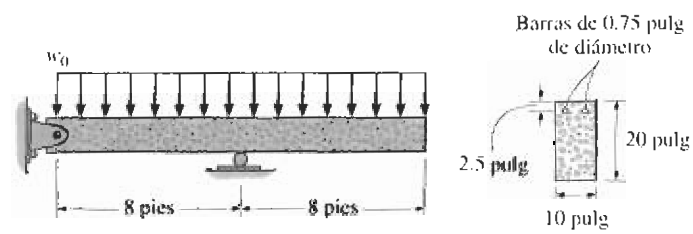
Problema 6–126

6–127 La viga de concreto reforzado tiene dos barras de acero de refuerzo. El esfuerzo permisible de tensión para el acero es $(\sigma_{ac})_{\text{perm}} = 40$ ksi y el esfuerzo permisible de compresión en el concreto es $(\sigma_{conc})_{\text{perm}} = 3$ ksi. Determine el momento máximo M que puede aplicarse a la sección. Suponga que el concreto no puede soportar esfuerzos de tensión. $E_{ac} = 29(10^3)$ ksi y $E_{conc} = 3.8(10^3)$ ksi.



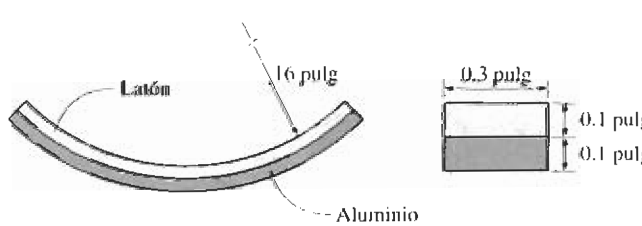
Problema 6–127

***6–128** Determine la máxima carga w_0 uniformemente distribuida que puede ser soportada por la viga de concreto reforzado si el esfuerzo permisible de tensión en el acero es $(\sigma_{ac})_{\text{perm}} = 28$ ksi y el esfuerzo permisible de compresión en el concreto es $(\sigma_{conc})_{\text{perm}} = 3$ ksi. Suponga que el concreto no puede soportar esfuerzos de tensión. Considere $E_{ac} = 29(10^3)$ ksi y $E_{conc} = 3.6(10^3)$ ksi.



Problema 6–128

6–129 Una banda bimetálica está hecha de aluminio 2014-T6 y de latón rojo C83400, con la sección transversal mostrada. Un incremento de temperatura ocasiona que su superficie neutra asuma la forma de un arco circular con radio de 16 pulg. Determine el momento que debe estar actuando en su sección transversal debido al esfuerzo térmico.



Problema 6–129

5–137. 216 psi

5–138. 1.59°

5–139. 26.2 N, 1.86°

5–141. $T_{cir} = 0.282\ A^{3/2}\ \tau_Y$, la flecha circular tomará el par mayor, la flecha elíptica 73.7%, la flecha triangular 62.2%

5–142. 1.10 kW, 825 kPa

5–143. 2.03 MPa, 0.258°

Capítulo 6

6–1. $V_{máx} = -24$ kn, $M_{máx} = -6$ kN · m

6–2. $T_1 = 250$ lb, $T_2 = 200$ lb

6–3. $V_{máx} = -108$ lb, $M_{máx} = 1196$ lb · m

6–5. $V_{máx} = 15$ kn, $M_{máx} = 60$ kN · m

6–6. 15.6 N, $M = (15.6x + 100)$ N · m

6–7. $V_{máx} = 18$ kN, $M_{máx} = -75$ kN · m

6–9. $V_{máx} = 11.7$ kip, $M_{máx} = 46.7$ kip · pie

6–10. $V_{máx} = -2$ kip, $M_{máx} = -6$ kip · pie

6–11. $a = 0.866L$

6–13. $V_{máx} = \pm P/2$, $M_{máx} = -PL/4$

6–15. $V = 17.7 - 1.5x$, $M = -0.75x^2 + 17.7x - 96.25$

6–17. 281 lb · pie

6–18. $V_{máx} = \pm 7$ kip, $M_{máx} = 21$ kip · pie

6–19. $V_{máx} = -10$ kip, $M_{máx} = -27.5$ kip · pie

6–21. $V = 1050 - 150x$, $M = -75x^2 + 1050x - 3200$

6–22. $V_{máx} = \pm 2.8$ kN, $M_{máx} = -2.4$ kN · m

6–23. $V_{máx} = -2$ kip, $M_{máx} = -12$ kip · pie

6–25. $V_{máx} = 20$ kip, $M_{máx} = -120$ kip · pie

6–27. $a = \dfrac{L}{\sqrt{2}}$

6–29. $V_{máx} = \pm w_0L/2$, $M_{máx} = W_0L^2/12$

6–30. $V_{máx} = -w_0L/4$, $M_{máx} = 0.0345w_0L^2$

6–31. $V_{máx} = \pm w_0 l/3$, $M_{máx} = 23w_0L^2/216$

6–33. $V_{máx} = \pm 112.5$ kN, $M_{máx} = 169$ kN · m

6–34. $V = \dfrac{3w_0L}{4} - w_0x$, $M = \dfrac{-w_0x^2}{2} + \dfrac{3w_0L}{4}x - \dfrac{7w_0L^2}{24}$, $V = \dfrac{w_0(L-x)^2}{L}$, $M = \dfrac{-w_0\,(L-x)^3}{3L}$

6–35. $w_0 = 1.2$ kN/m

6–37. $M = 0.0190wL^2$

6–39. $V = 500 - \dfrac{100}{3}x^2$, $M = -\dfrac{100}{9}x^3 + 500x - 600$

6–41. $V_{máx} = 21.3$ kip, $M_{máx} = -128$ kip · pie

6–42. $V_{máx} = 2w_0L/\pi$, $M_{máx} = -w_0L^2/\pi$

6–43. 167 psi, 333 psi

6–45. $M = 2.50$ kip · pie

6–46. $(\sigma_{máx})_t = 2.40$ ksi, $(\sigma_{máx})_c = 4.80$ ksi

6–47. $I = 34.53(10^{-6})$ m^4, $\sigma_{máx} = 2.06$ MPa

6–49. a) $(M_{perm})_z = 20.8$ kip · pie, b) $(M_{perm})_y = 6.00$ kip · pie

6–50. $\sigma_A = 199$ MPa, $\sigma_B = 66.2$ MPa

6–51. $I = 0.3633(10^{-6})$ m^4, $\sigma_B = 3.61$ MPa, $\sigma_C = 1.55$ MPa

6–53. $F_{R_A} = 0$, $F_{R_B} = 1.50$ kN

6–54. $I = 200.27$ pulg^4, $\sigma_D = 5.00$ ksi, $F_A = 17.7$ kip, $F_B = 13.7$ kip

6–55. $I = 200.27$ pulg^4, 22.6%

6–57. $I = 1093.07$ pulg^4, $(F_R)_C = 11.8$ kip

6–58. 15.4 ksi

6–59. $I = 4.367$ pulg^4, $\sigma_A = 214$ psi, $\sigma_B = 33.0$ psi

6–61. 61.1 MPa

6–62. 3.61 ksi

6–63. 9.05 MPa

6–65. 15.6 ksi

6–66. 2.75 pulg

6–67. 24 ksi

6–69. 33.8 ksi

6–70. 331 kPa

6–71. 12.2 ksi

6–73. 31.3 mm

6–74. 13.6 ksi

6–75. 1.28 pulg

6–77. 119 lb

6–78. 1.35 ksi

6–79. 20.4 ksi

6–81. $\sigma_{máx} = \dfrac{3}{2}\dfrac{PL}{bd^2}$

6–82. 22.1 ksi

6–83. $w_2 = 800$ lb/pulg, $w_1 = 533$ lb/pulg, $\sigma_{máx} = 45.1$ ksi

6–85. 249 kPa

6–86. 2.32 ksi

6–87. 5.60 ksi

6–89. 66.8 ksi

6–90. 10.4 kN

6–91. 11.5 MPa

6–93. 114 kip

5

6–94. 25.8 ksi

6–95. 21.1 ksi

6–97. 2.18 ksi

6–98. $h' = \frac{8}{9}h$, 1.05

6–99. 8.36 pulg, 23.5 kip · pie

6–101. $c = \frac{h\sqrt{E_c}}{\sqrt{E_t} + \sqrt{E_c}}$, $(\sigma_{\text{máx}})_c = \frac{3M}{bh^2}\left(\frac{\sqrt{E_t} + \sqrt{E_c}}{\sqrt{E_t}}\right)$

6–102. $\sigma_A = 0$, $\sigma_B = 462$ kPa, $\sigma_D = -462$ kPa, $\sigma_E = 0$

6–103. $\sigma_A = -119$ kPa, $\sigma_B = 446$ kPa, $\sigma_D = -446$ kPa, $\sigma_E = 119$ kPa

6–105. $\sigma_A = 3.33$ ksi, $\alpha = -63.1°$

6–106. $\bar{z} = 36.6$ mm, $I_z = 0.18869(10^{-3})$ m^4, $I_y = 16.3374(10^{-6})$ m^4, $\sigma_A = 4.38$ MPa, $\sigma_B = -1.13$ MPa, $\alpha = -87.1°$

6–107. $\bar{z} = 36.6$ mm, $I_z = 0.18869(10^{-3})$ m^4, $I_y = 16.3374(10^{-6})$ m^4, $\sigma_A = 4.38$ MPa, $\sigma_B = -1.13$ MPa, $\sigma_E = 5.23$ MPa

6–109. 13.3 MPa

6–110. 924 psi, −25.3°, 800 psi

6–113. 7.81 ksi

6–114. 293 kPa (C)

6–115. 293 kPa (C)

6–117. 326 kPa (T)

6–118. 2.60 MPa (T)

6–119. $(\sigma_{latón})_{\text{máx}} = 3.04$ MPa, $(\sigma_{ac})_{\text{máx}} = 4.65$ MPa, $\sigma_{latón} = 1.25$ MPa, $\sigma_{ac} = 2.51$ MPa

6–121. $(\sigma_{ac})_{\text{máx}} = 3.70$ MPa, $(\sigma_{mad})_{\text{máx}} = 0.179$ MPa

6–122. $(\sigma_{al})_{\text{máx}} = 27.6$ ksi, $(\sigma_{lp})_{\text{máx}} = 4.60$ ksi

6–123. $(\sigma_{ac})_{\text{máx}} = 1.40$ ksi, $(\sigma_{mad})_{\text{máx}} = 77.0$ psi

6–125. 1.53 ksi

6–126. $(\sigma_{conc})_{\text{máx}} = 1.95$ ksi, $(\sigma_{ac})_{\text{máx}} = 18.3$ ksi

6–127. 97.5 kip · pie

6–129. 155 lb · pulg

6–130. 1.16 ksi (T)

6–131. $\sigma_A = 10.6$ ksi (T), $\sigma_B = 12.7$ ksi (C)

6–133. 842 psi (T)

6–134. 1.14 kip · pie

6–135. $\sigma_A = 792$ kPa (C), $\sigma_B = 1.02$ MPa (T)

6–137. $(\sigma_t)_{\text{máx}} = 366$ psi, $(\sigma_c)_{\text{máx}} = -321$ psi, $(\sigma_t)_{\text{máx}} = (\sigma_c)_{\text{máx}} = 341$ psi

6–138. 4.77 MPa

6–139. 204 psi (T), 120 psi (C)

6–141. $\sigma_A = 446$ kPa (T), $\sigma_B = 224$ kPa (C), No debido a la concentración de esfuerzos en la pared

6–142. 14.0 kN · m

6–143. 43.1 lb · pie

6–145. 27.0 MPa

6–146. 97.2 N · m

6–147. $M = 286$ lb · pie, $M' = 176$ lb · pie

6–149. 749 psi

6–150. 950 mm

6–151. 8.0 mm

6–153. 15.0 kip · pie

6–154. 12.0 ksi

6–155. 122 lb

6–157. 8.25 kip · pie

6–158. $z = 845(10^{-6})$ m^3, $K = 1.17$

6–159. 43.5 MPa

6–161. 142 MPa

6–162. $K = 1.70$, $Z = \frac{4r^3}{3}$

6–163. $M_Y = 63.6$ kip · pie, $M_p = 108$ kip · pie

6–165. $Z = 114$ pulg^3, $K = 1.78$

6–166. $Z = 570(10^{-6})$ m^3, $K = 1.16$

6–167. 172 kip · pie

6–169. $Z = \frac{bh^2}{12}$, $K = 2$

6–170. $M_Y = 18$ kip · pie, $M_p = 36$ kip · pie

6–171. $Z = bt(h - t) + \frac{t}{4}(h - 2t)^2$,

$$K = \frac{3h}{2}\left[\frac{4bt(h - t) + t(h - 2t)^2}{bh^3 - (b - t)(h - 2t)^3}\right]$$

6–173. **a)** 25.0 kN, **b)** 37.5 kN

6–174. 18.0 kip/pie, 22.8 kip/pie

6–175. **a)** $w = 4.27$ kip/pie, **b)** $w = 6.40$ kip/pie

6–177. 9.03 kN · m

6–178. 73.5 kip · pie

6–179. 81.7 kip · pie

6–181. $M = \frac{nbh^2}{2(2n + 1)}\sigma_{\text{máx}}$

6–182. 14.9 kN · m

6–183. 26.4 kN · m

6–185. 635 kPa

6–186. $Z = 0.963(10^{-3})$ m^3, $K = 1.22$

6–187. 55.0 MPa

6–189. $\sigma_A = 225$ kPa (C), $\sigma_B = 265$ kPa (T)

6–190. $V_{\text{máx}} = -233$ N, $M_{\text{máx}} = -50$ N · m

6–191. 8.41 ksi