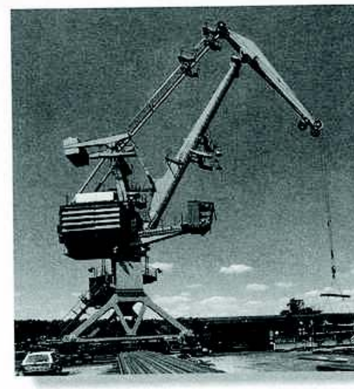
1.6 Esfuerzo permisible

Un ingeniero a cargo del *diseño* de un miembro estructural o elemento mecánico debe restringir el esfuerzo en el material a un nivel que sea seguro. Además, una estructura o máquina corrientemente en uso puede en ocasiones tener que ser *analizada* para ver qué carga adicional pueden soportar sus miembros o partes. Así que nuevamente es necesario efectuar los cálculos usando un esfuerzo permisible o seguro.



Factores apropiados de seguridad deben ser considerados al diseñar grúas y cables usados para transferir cargas pesadas.

Para garantizar la seguridad es necesario escoger un esfuerzo permisible que limite la carga aplicada a un valor que sea *menor* al que el miembro pueda soportar plenamente. Hay varias razones para esto. Por ejemplo, la carga para la cual el miembro se diseña puede ser diferente de la carga real aplicada sobre él. Las medidas previstas para una estructura o máquina pueden no ser exactas debido a errores en la fabricación o en el montaje de las partes componentes. Pueden ocurrir vibraciones desconocidas, impacto o cargas accidentales que no se hayan tomado en cuenta durante el diseño. La corrosión atmosférica, el decaimiento o las condiciones ambientales tienden a que los materiales se deterioren durante el servicio. Finalmente, algunos materiales, como la madera, el concreto o los compuestos reforzados con fibras, pueden mostrar alta variabilidad en sus propiedades mecánicas.

Una manera de especificar la carga permisible para el diseño o análisis de un miembro es usar un número llamado factor de seguridad. El ***factor de seguridad*** (FS) es la razón de la carga de falla, F_{falla}, dividida entre la carga permisible, F_{perm}. La F_{falla} se determina por medio de ensayos experimentales del material y el factor de seguridad se selecciona con base en la experiencia, de manera que las incertidumbres mencionadas antes sean tomadas en cuenta cuando el miembro se use en condiciones similares de carga y simetría. Expresado matemáticamente,

$$\boxed{FS = \frac{F_{\text{falla}}}{F_{\text{perm}}}} \tag{1-8}$$

Si la carga aplicada al miembro está *linealmente relacionada* al esfuerzo desarrollado dentro del miembro, como en el caso de usar $\sigma = P/A$ y $\tau_{\text{prom}} = V/A$, entonces podemos expresar el factor de seguridad como la razón del esfuerzo de falla σ_{falla} (o τ_{falla}) al esfuerzo permisible σ_{perm} (o τ_{perm});* esto es,

$$FS = \frac{\sigma_{\text{falla}}}{\sigma_{\text{perm}}} \tag{1-9}$$

o

$$FS = \frac{\tau_{\text{falla}}}{\tau_{\text{perm}}} \tag{1-10}$$

*En algunas capas, como en las columnas, la carga aplicada no está relacionada linealmente a la tensión y por lo tanto sólo la ecuación 1-8 puede usarse para determinar el factor de seguridad. Vea el capítulo 13.

En cualquiera de esas ecuaciones, el factor de seguridad se escoge *mayor* que 1 para evitar una posible falla. Los valores específicos dependen de los tipos de materiales por usarse y de la finalidad prevista para la estructura o máquina. Por ejemplo, el FS usado en el diseño de componentes de aeronaves o vehículos espaciales puede ser cercano a 1 para reducir el peso del vehículo. Por otra parte, en el caso de una planta nuclear, el factor de seguridad para algunos de sus componentes puede ser tan alto como 3, ya que puede haber incertidumbre en el comportamiento de la carga o del material. Sin embargo, en general, los factores de seguridad, y por tanto las cargas o esfuerzos permisibles para elementos estructurales y mecánicos, han sido muy estandarizados, ya que sus indeterminaciones de diseño han podido ser evaluadas razonablemente bien. Sus valores, que pueden encontrarse en los códigos de diseño y manuales de ingeniería, pretenden reflejar un balance de seguridad ambiental y para el público junto con una solución económica razonable para el diseño.

1.7 Diseño de conexiones simples

Haciendo suposiciones simplificatorias relativas al comportamiento del material, las ecuaciones $\sigma = P/A$ y $\tau_{\text{prom}} = V/A$ pueden usarse para analizar o diseñar una conexión simple o un elemento mecánico. En particular, si un miembro está sometido a una *fuerza normal* en una sección, su área requerida en la sección se determina con

$$A = \frac{P}{\sigma_{\text{perm}}} \tag{1-11}$$

Por otra parte, si la sección está sometida a una *fuerza cortante*, entonces el área requerida en la sección es:

$$A = \frac{V}{\tau_{\text{perm}}} \tag{1-12}$$

Como vimos en la sección 1.6, el esfuerzo permisible usado en cada una de esas ecuaciones se determina aplicando un factor de seguridad a un esfuerzo normal o cortante especificado o encontrando esos esfuerzos directamente en un código apropiado de diseño.

Ahora discutiremos cuatro tipos comunes de problemas para las cuales las ecuaciones pueden usarse en el diseño.

Área de la sección transversal de un miembro a tensión. El área de la sección transversal de un miembro prismático sometido a una fuerza de tensión puede determinarse *si* la fuerza tiene una línea de acción que pasa por el centroide de la sección transversal. Por ejemplo, conside-

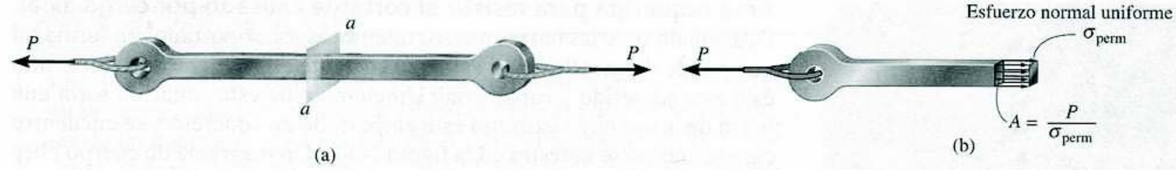


Fig. 1-27

re la barra con perforación en sus extremos mostrada en la figura 1-27*a*. En la sección intermedia *a-a*, la distribución de esfuerzos es uniforme sobre toda la sección y se determina el área sombreada *A*, como se muestra en la figura 1-27*b*.

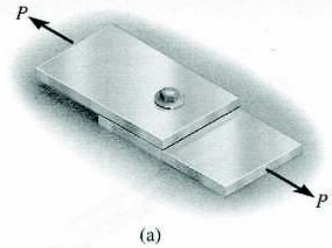
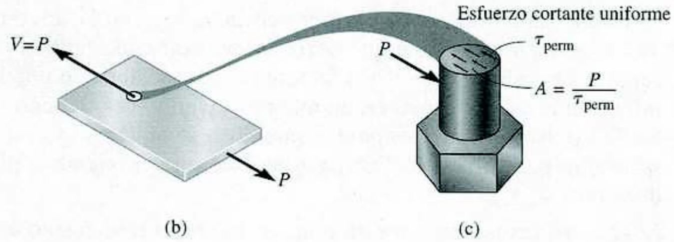


Fig. 1-28



Área de la sección transversal de un conector sometido a cortante. A menudo los pernos o pasadores se usan para conectar placas, tablones o varios miembros entre sí. Por ejemplo, considere la junta traslapada mostrada en la figura 1-28*a*. Si el perno está suelto o la fuerza de agarre del perno es desconocida, es seguro suponer que cualquier fuerza de fricción *entre* las placas es despreciable. El diagrama de cuerpo libre de una sección que pasa *entre* las placas y a través del perno se muestra en la figura 1-28*b*. El perno está sometido a una fuerza cortante interna resultante de $V = P$ en esta sección transversal. Suponiendo que el esfuerzo cortante que causa esta fuerza está *distribuido uniformemente* sobre la sección transversal, el área *A* de la sección transversal del perno se determina como se muestra en la figura 1-28*c*.

Área requerida para resistir aplastamiento. Un esfuerzo normal producido por la compresión de una superficie contra otra se denomina ***esfuerzo de aplastamiento***. Si este esfuerzo es demasiado grande, puede aplastar o deformar localmente una o ambas superficies. Por tanto, para impedir una falla es necesario determinar el área apropiada de apoyo para el material, usando un esfuerzo de aplastamiento permisible. Por ejemplo, el área *A* de la placa *B* de base de la columna mostrada en la figura 1-29 se determina a partir del esfuerzo permisible de aplastamiento del concreto, usando la ecuación $A = P/(\sigma_b)_{perm}$. Esto supone, desde luego, que el esfuerzo permisible de aplastamiento para el concreto es menor que el del material de la placa de base y además que el esfuerzo está uniformemente distribuido entre la placa y el concreto, como se muestra en la figura.

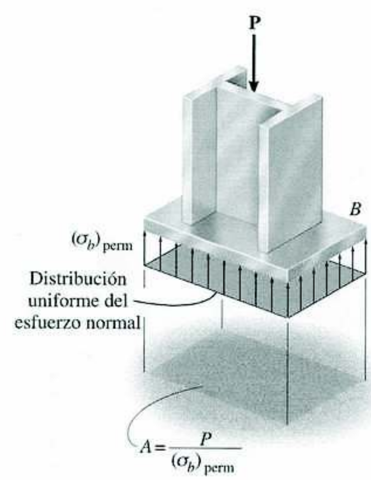
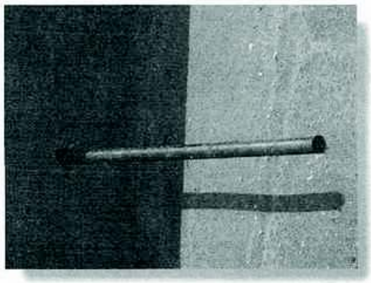


Fig. 1-29



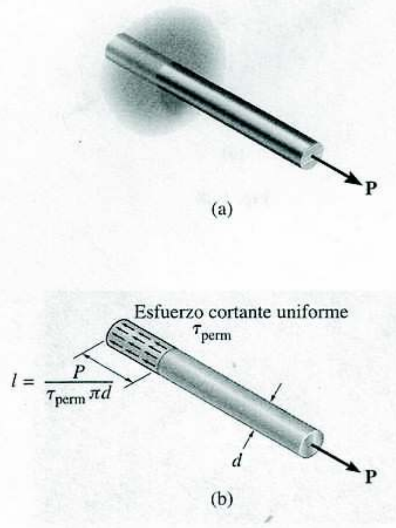


Fig. 1-30

Área requerida para resistir el cortante causado por carga axial. Ocasionalmente las barras u otros miembros son soportados en forma tal que puede desarrollarse un esfuerzo cortante en el miembro aun cuando éste esté sometido a carga axial. Un ejemplo de esta situación sería una barra de acero cuyo extremo esté empotrado en concreto y se encuentre cargado como se muestra en la figura 1-30*a*. Un diagrama de cuerpo libre de la barra, figura 1-30*b*, muestra que un *esfuerzo cortante* actúa sobre el área de contacto de la barra con el concreto. Esta área es $(\pi d)l$, donde d es el diámetro de la barra y l es la longitud del empotramiento. Si bien la distribución real del esfuerzo cortante a lo largo de la barra sería difícil de determinar, si suponemos que es *uniforme,* podemos usar $A = V/\tau_{perm}$ para calcular l, siempre que conozcamos d y τ_{perm}, figura 1-30*b*.

PUNTOS IMPORTANTES

- El diseño de un miembro por resistencia se basa en la selección de un esfuerzo admisible que permita soportar con seguridad su carga propuesta. Hay muchos factores desconocidos que pueden influir en el esfuerzo real en un miembro y entonces, dependiendo de los usos propuestos para el miembro, se aplica un *factor de seguridad* para obtener la carga admisible que el miembro puede soportar.
- Los cuatro casos ilustrados en esta sección representan sólo unas pocas de las muchas aplicaciones de las fórmulas para los esfuerzos normal y cortante promedio usadas en el diseño y análisis en ingeniería. Sin embargo, siempre que esas ecuaciones son aplicadas, debe ser claro que la distribución del esfuerzo se supone *uniformemente distribuida* o "promediada" sobre la sección.

PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS

Al resolver problemas usando las ecuaciones del esfuerzo normal promedio y del esfuerzo cortante promedio, debe primero considerarse cuidadosamente sobre qué sección está actuando el esfuerzo crítico. Una vez identificada esta sección, el miembro debe entonces diseñarse con suficiente área en la sección para resistir el esfuerzo que actúe sobre ella. Para determinar esta área, se requieren los siguientes pasos.

Carga interna.

- Seccione el miembro por el área y dibuje un diagrama de cuerpo libre de un segmento del miembro. La fuerza interna resultante en la sección se determina entonces usando las ecuaciones de equilibrio.

Área requerida.

- Si se conoce o puede determinarse el esfuerzo permisible, el área requerida para soportar la carga en la sección se calcula entonces con $A = P/\sigma_{perm}$ o $A = V/\tau_{perm}$.

EJEMPLO 1.13

Los dos miembros están unidos por pasadores en B como se muestra en la figura 1-31a. Se muestran también en la figura dos vistas superiores de las conexiones por pasador en A y B. Si los pasadores tienen un esfuerzo cortante permisible $\tau_{perm} = 12.5$ klb/pulg^2 y el esfuerzo permisible de tensión de la barra CB es $(\sigma_t)_{perm} = 16.2$ klb/pulg^2, determine el diámetro más pequeño, con una aproximación a $\frac{1}{16}$ pulg, de los pasadores A y B y el diámetro de la barra CB, necesarios para soportar la carga.

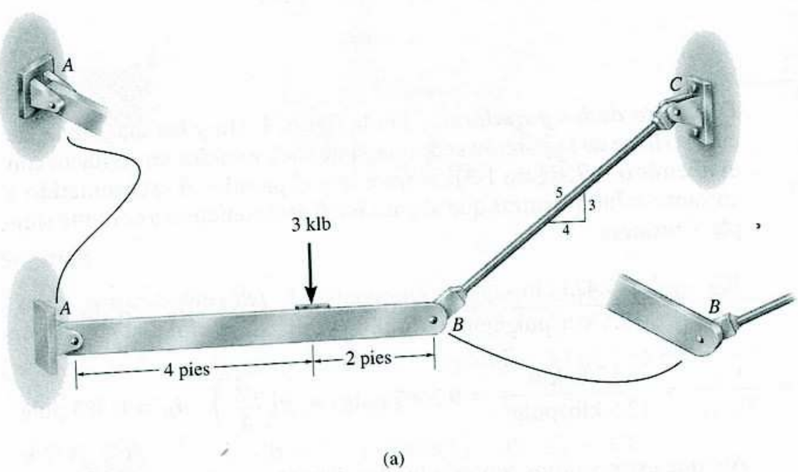
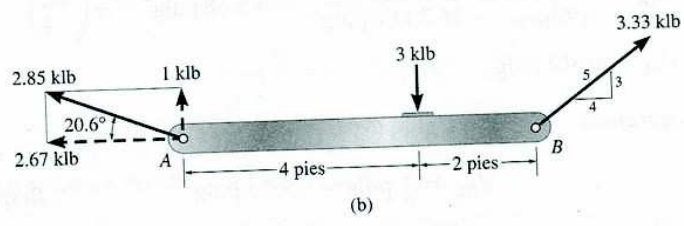


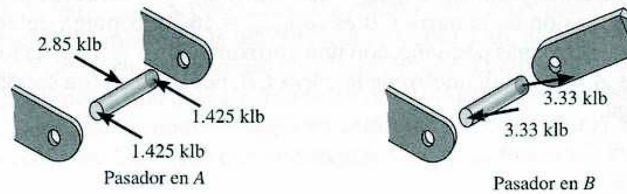
Fig. 1-31

Solución

La barra CB es un miembro de dos fuerzas; el diagrama de cuerpo libre del miembro AB, junto con las reacciones calculadas en A y B, se muestran en la figura 1-31b. Como ejercicio, verifique los cálculos y note que la *fuerza resultante* en A debe usarse para el diseño del pasador A, ya que ésta es la fuerza cortante que el pasador resiste.



Continúa



(c)

Diámetro de los pasadores. De la figura 1-31a y los diagramas de cuerpo libre de la porción seccionada de cada pasador en contacto con el miembro AB, figura 1-31c, vemos que el pasador A está sometido a cortante doble, mientras que el pasador B está sometido a cortante simple. Entonces,

$$A_A = \frac{V_A}{T_{\text{perm}}} = \frac{1.425 \text{ klb}}{12.5 \text{ klb/pulg}^2} = 0.1139 \text{ pulg}^2 = \pi\left(\frac{d_A^2}{4}\right) \quad d_A = 0.381 \text{ pulg}$$

$$A_B = \frac{V_B}{T_{\text{perm}}} = \frac{3.333 \text{ klb}}{12.5 \text{ klb/pulg}^2} = 0.2667 \text{ pulg}^2 = \pi\left(\frac{d_B^2}{4}\right) \quad d_B = 0.583 \text{ pulg}$$

Aunque estos valores representan los diámetros *más pequeños* permisibles para los pasadores, deberá escogerse un tamaño de pasador *comercial*. Escogeremos un tamaño *mayor* con una aproximación a $\frac{1}{16}$ pulg como se requiere.

$$d_A = \tfrac{7}{16} \text{ pulg} = 0.4375 \text{ pulg} \qquad \textit{Resp.}$$

$$d_B = \tfrac{5}{8} \text{ pulg} = 0.625 \text{ pulg} \qquad \textit{Resp.}$$

Diámetro de la barra. El diámetro requerido para la barra en su sección media es entonces:

$$A_{BC} = \frac{P}{(\sigma_t)_{\text{perm}}} = \frac{3.333 \text{ klb}}{16.2 \text{ klb/pulg}^2} = 0.2058 \text{ pulg}^2 = \pi\left(\frac{d_{BC}^2}{4}\right)$$

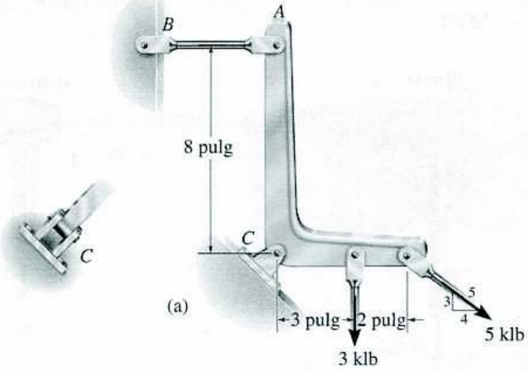
$$d_{BC} = 0.512 \text{ pulg}$$

Escogeremos

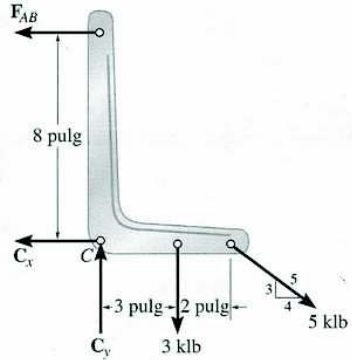
$$d_{BC} = \tfrac{9}{16} \text{ pulg} = 0.5625 \text{ pulg} \qquad \textit{Resp.}$$

EJEMPLO 1.14

El brazo de control está sometido a la carga mostrada en la figura 1-32*a*. Determine el diámetro requerido, con una aproximación de $\frac{1}{4}$ pulg, para el pasador de acero en *C* si el esfuerzo cortante permisible para el acero es $\tau_{perm} = 8\ \text{lb/pulg}^2$. Advierta en la figura que el pasador está sometido a cortante doble.



(a)



(b)

Solución

Fuerza cortante interna. Un diagrama de cuerpo libre del brazo se muestra en la figura 1-32*b*. Por equilibrio tenemos,

$$\circlearrowleft + \Sigma M_C = 0; \qquad F_{AB}(8\ \text{pulg}) - 3\ \text{klb}(3\ \text{pulg}) - 5\ \text{klp}(\tfrac{3}{5})(5\ \text{pulg}) = 0$$

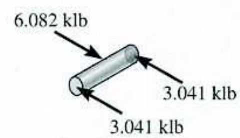
$$F_{AB} = 3\ \text{klb}$$

$$\xrightarrow{+} \Sigma F_x = 0; \qquad -3\ \text{klb} - C_x + 5\ \text{klb}(\tfrac{4}{5}) = 0 \quad C_x = 1\ \text{klb}$$

$$+\uparrow \Sigma F_y = 0; \qquad C_y - 3\ \text{klb} - 5\ \text{klb}(\tfrac{3}{5}) = 0 \quad C_y = 6\ \text{klb}$$

El pasador en *C* resiste la fuerza resultante en *C*. Por lo tanto,

$$F_C = \sqrt{(1\ \text{klb})^2 + (6\ \text{klb})^2} = 6.082\ \text{klb}$$



Pasador en *C*

(c)

Fig. 1-32

Como el pasador está sometido a cortante doble, una fuerza cortante de 3.041 klb actúa sobre su área transversal *entre* el brazo y cada hoja de soporte para el pasador, figura 1-32*c*.

Área requerida. Tenemos

$$A = \frac{V}{\tau_{perm}} = \frac{3.041\ \text{klb}}{8\ \text{klb/pulg}^2} = 0.3802\ \text{pulg}^2$$

$$\pi\left(\frac{d}{2}\right)^2 = 0.3802\ \text{pulg}^2$$

$$d = 0.696\ \text{pulg}$$

Usaremos un pasador con diámetro de

$$d = \tfrac{3}{4}\ \text{pulg} = 0.750\ \text{pulg} \qquad \textit{Resp.}$$

EJEMPLO 1.15

La barra colgante está soportada en su extremo por un disco circular empotrado a ella, como se muestra en la figura 1-33*a*. Si la barra pasa por un agujero con diámetro de 40 mm, determine el diámetro mínimo requerido de la barra y el espesor mínimo del disco necesario para soportar la carga de 20 kN. El esfuerzo normal permisible para la barra es $\sigma_{perm} = 60$ MPa y el esfuerzo cortante permisible para el disco es $\tau_{perm} = 35$ MPa.

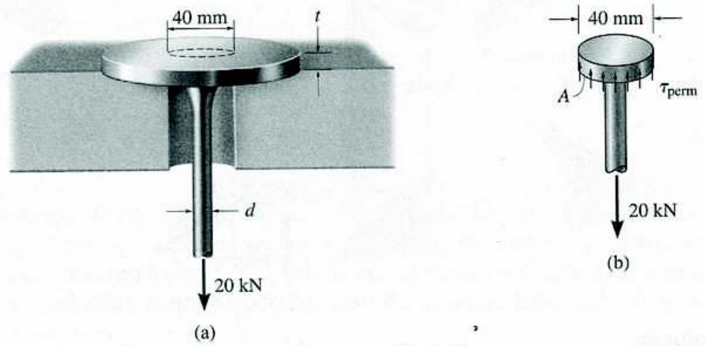


Fig. 1-33

Solución

Diámetro de la barra. Por inspección, la fuerza axial en la barra es de 20 kN. El área transversal requerida para la barra es entonces

$$A = \frac{P}{\sigma_{perm}} = \frac{20(10^3)\text{ N}}{60(10^6)\text{ N/m}^2} = 0.3333(10^{-3})\text{ m}^2$$

De manera que

$$A = \pi\left(\frac{d^2}{4}\right) = 0.3333(10^{-2})\text{ m}^2$$

$$d = 0.0206\text{ m} = 20.6\text{ mm} \qquad \textit{Resp.}$$

Espesor del disco. Como se muestra en el diagrama de cuerpo libre de la sección del núcleo del disco, figura 1-33*b*, el material en el área seccionada debe resistir *esfuerzos cortantes* para impedir el movimiento del disco a través del agujero. Si se *supone* que este esfuerzo cortante está uniformemente distribuido sobre el área seccionada, entonces, como $V = 20$ kN, tenemos:

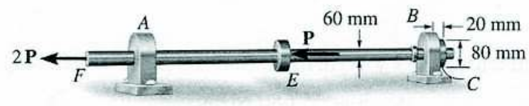
$$A = \frac{V}{\tau_{perm}} = \frac{20(10^3)\text{ N}}{35(10^6)\text{ N/m}^2} = 0.571(10^{-3})\text{ m}^2$$

Como el área seccionada $A = 2\pi(0.02\text{ m})(t)$, el espesor requerido del disco es:

$$t = \frac{0.5714(10^{-3})\text{ m}^2}{2\pi(0.02\text{ m})} = 4.55(10^{-3})\text{ m} = 4.55\text{ mm} \qquad \textit{Resp.}$$

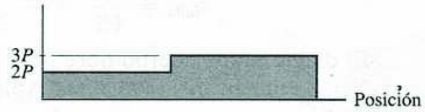
EJEMPLO 1.16

Una carga axial sobre la flecha mostrada en la figura 1-34*a* es resistida por el collarín en C que está unido a la flecha y localizado a la derecha del cojinete en B. Determine el máximo valor de P para las dos fuerzas axiales en E y F, de manera que el esfuerzo en el collarín no exceda un esfuerzo de aplastamiento permisible en C de $(\sigma_b)_{\text{perm}} = 75$ MPa y que el esfuerzo normal promedio en la flecha no exceda un esfuerzo de tensión permisible de $(\sigma_t)_{\text{perm}} = 55$ MPa.



(a)

(b)



(c)

Fig. 1-34

Solución

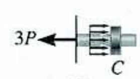
Para resolver el problema determinaremos P para cada condición posible de falla. Luego escogeremos el valor *más pequeño*. ¿Por qué?

Esfuerzo normal. Usando el método de las secciones, vemos que la carga axial dentro de la región FE de la flecha es $2P$, mientras que la carga axial *máxima*, $3P$, ocurre dentro de la región EC, figura 1-34*b*. La variación de la carga interna se ve claramente en el diagrama de fuerza normal, figura 1-34*c*. Como el área transversal de toda la flecha es constante, la región EC estará sometida al esfuerzo normal promedio máximo. Aplicando la ecuación 1-11, tenemos:

$$\sigma_{\text{perm}} = \frac{P}{A} \qquad 55(10^6)\text{ N/m}^2 = \frac{3P}{\pi(0.03\text{ m})^2}$$

$$P = 51.8\text{ kN}$$

Esfuerzo de aplastamiento. Como se muestra en el diagrama de cuerpo libre en la figura 1-34*d*, el collarín en C debe resistir la carga de $3P$, que actúa sobre un área de apoyo de $A_b = [\pi(0.04\text{ m})^2 - \pi(0.03\text{ m})^2] = 2.199(10^{-3})\text{ m}^2$. Entonces,



(d)

$$A = \frac{P}{\sigma_{\text{perm}}}; \qquad 75(10^6)\text{ N/m}^2 = \frac{3P}{2.199(10^{-3})\text{ m}^2}$$

$$P = 55.0\text{ kN}$$

En comparación, la carga máxima que puede aplicarse a la flecha es $P = 51.8$ kN, ya que cualquier carga mayor que ésta ocasionará que el esfuerzo normal permisible en la flecha se exceda.

EJEMPLO 1.17

La barra rígida AB mostrada en la figura 1-35a está soportada por una barra de acero AC que tiene un diámetro de 20 mm y por bloque de aluminio que tiene un área transversal de 1800 mm^2. Los pasadores de diámetro de 18 mm en A y C están sometidos a *cortante simple*. Si el esfuerzo de falla para el acero y el aluminio son $(\sigma_{ac})_{falla} = 680$ MPa y $(\sigma_{al})_{falla} = 70$ MPa, respectivamente, y el esfuerzo cortante de falla para cada pasador es $\tau_{falla} = 900$ MPa, determine la carga máxima P que puede aplicarse a la barra. Aplique un factor de seguridad FS de 2.

Solución

Usando las ecuaciones 1-9 y 1-10, los esfuerzos permisibles son

$$(\sigma_{ac})_{falla} = \frac{(\sigma_{ac})_{falla}}{\text{FS}} = \frac{680\text{ MPa}}{2} = 340\text{ MPa}$$

$$(\sigma_{al})_{falla} = \frac{(\sigma_{al})_{falla}}{\text{FS}} = \frac{70\text{ MPa}}{2} = 35\text{ MPa}$$

$$\tau_{falla} = \frac{\tau_{falla}}{\text{FS}} = \frac{900\text{ MPa}}{2} = 450\text{ MPa}$$

El diagrama de cuerpo libre para la barra se muestra en la figura 1-35b. Se tienen tres incógnitas. Aplicaremos aquí las ecuaciones de equilibrio para expresar F_{AC} y F_B en términos de la carga P aplicada. Tenemos

$$\circlearrowright+ \Sigma M_B = 0; \qquad P(1.25\text{ m}) - F_{AC}(2\text{ m}) = 0 \qquad (1)$$

$$\circlearrowright+ \Sigma M_A = 0; \qquad F_B(2\text{ m}) - P(0.75\text{ m}) = 0 \qquad (2)$$

Determinaremos ahora cada valor de P que genera el esfuerzo permisible en la barra, bloque y pasadores, respectivamente.

Barra AC. Se requiere

$$F_{AC} = (\sigma_{ac})_{perm}(A_{AC}) = 340(10^6)\text{ N/m}^2[\pi(0.01\text{ m})^2] = 106.8\text{ kN}$$

Usando la ecuación 1,

$$P = \frac{(106.8\text{ kN})(2\text{ m})}{1.25\text{ m}} = 171\text{ kN}$$

Bloque B. En este caso,

$$F_B = (\sigma_{al})_{perm}A_B = 35(10^6)\text{ N/m}^2[1800\text{ mm}^2(10^{-6})\text{ m}^2/\text{mm}^2] = 63.0\text{ kN}$$

Usando la ecuación 2,

$$P = \frac{(63.0\text{ kN})(2\text{ m})}{0.75\text{ m}} = 168\text{ kN}$$

Pasador A o C. Aquí

$$V = F_{AC} = \tau_{perm}A = 450(10^6)\text{ N/m}^2[\pi(0.009\text{ m})^2] = 114.5\text{ kN}$$

De la ecuación 1,

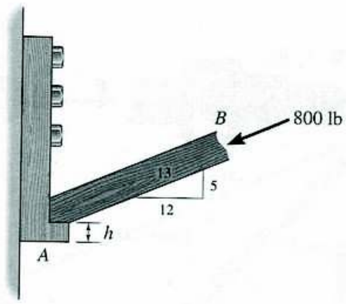
$$P = \frac{114.5\text{ kN}(2\text{ m})}{1.25\text{ m}} = 183\text{ kN}$$

Por comparación, cuando P alcanza su *valor más pequeño* (168 kN), se genera el esfuerzo normal permisible en el bloque de aluminio. Por consiguiente,

$$P = 168\text{ kN} \qquad \textit{Resp.}$$

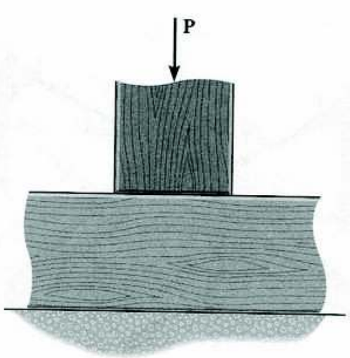
PROBLEMAS

***1-80.** El miembro B está sometido a una fuerza de compresión de 800 lb. Si A y B están hechos de madera y tienen $\frac{3}{8}$ pulg de espesor, determine con una aproximación de $\frac{1}{4}$ pulg la dimensión h más pequeña del soporte para que el esfuerzo cortante promedio no sea mayor que $\tau_{\text{perm}} = 300\ \text{lb/pulg}^2$.



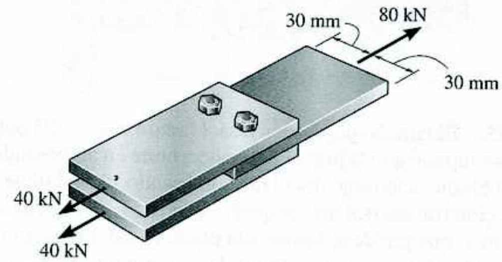
Prob. 1-80

1-81. El poste de roble de 60 × 60 mm está soportado por el bloque de pino. Si los esfuerzos permisibles por aplastamiento en esos materiales son $\sigma_{\text{roble}} = 43$ MPa y $\sigma_{\text{pino}} =$ 25 MPa, determine la carga máxima P que puede ser soportada. Si se usa una placa rígida de apoyo entre los dos materiales, determine su área requerida de manera que la carga máxima P pueda ser soportada. ¿Qué valor tiene esta carga?



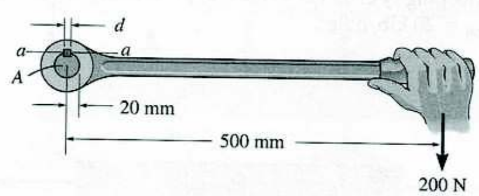
Prob. 1-81

1-82. La junta está conectada por medio de dos pernos. Determine el diámetro requerido de los pernos si el esfuerzo cortante permisible en los pernos es $\tau_{\text{perm}} =$ 110 MPa. Suponga que cada perno soporta una porción igual de la carga.



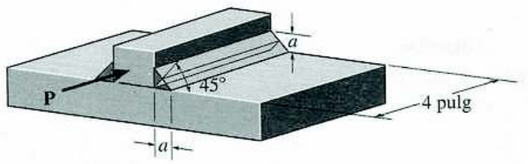
Prob. 1-82

1-83. La palanca está unida a la flecha A por medio de una chaveta de ancho d y longitud de 25 mm. Si la flecha está empotrada y se aplica una fuerza vertical de 200 N perpendicular al mango, determine la dimensión d si el esfuerzo cortante permisible en la chaveta es $\tau_{\text{perm}} = 35$ MPa.



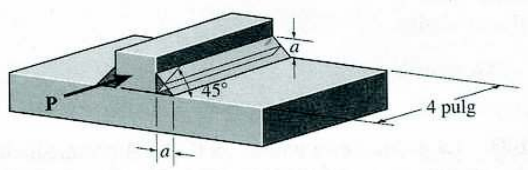
Prob. 1-83

***1-84.** El tamaño a del filete se determina calculando el esfuerzo cortante promedio a lo largo del plano sombreado que tenga la menor sección transversal. Determine el tamaño a más pequeño de los dos cordones si la fuerza aplicada a la placa es $P = 20$ klb. El esfuerzo cortante permisible para el material de la soldadura es $\tau_{perm} = 14$ klb/pulg^2.



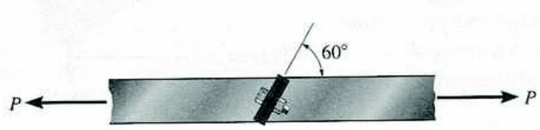
Prob. 1-84

1-85. El tamaño del cordón de soldadura es $a = 0.25$ pulg. Si se supone que la junta falla por cortante en ambos lados del bloque a lo largo del plano sombreado, el cual tiene la sección transversal más pequeña, determine la fuerza máxima P que puede aplicarse a la placa. El esfuerzo cortante permisible para el material de la soldadura es $\tau_{perm} = 14$ klb/pulg^2.



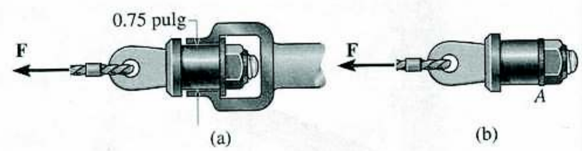
Prob. 1-85

1-86. El miembro a tensión está ensamblado por medio de *dos* pernos, uno a cada lado del miembro como se muestra. Cada perno tiene un diámetro de 0.3 pulg. Determine la carga máxima P que puede aplicarse al miembro si el esfuerzo cortante permisible para los pernos es $\tau_{perm} = 12$ klb/pulg^2 y el esfuerzo normal promedio permisible es $\sigma_{perm} = 20$ klb/pulg^2.



Prob. 1-86

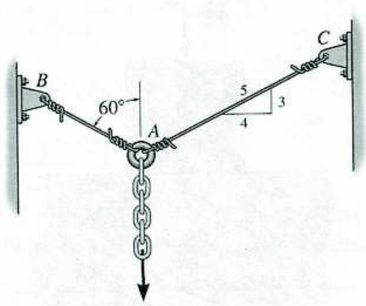
1-87. El manguito de un eslabón giratorio en el control elevador de un avión se mantiene en posición usando una tuerca y una arandela como se muestra en la figura (a). La falla de la arandela A puede ocasionar que la barra de empuje se separe como se muestra en la figura (b). Si el esfuerzo normal promedio máximo para la arandela es $\sigma_{máx} = 60$ klb/pulg^2 y el esfuerzo cortante promedio máximo es $\tau_{máx} = 21$ klb/pulg^2, determine la fuerza **F** que debe aplicarse al manguito para que ocurra la falla. La arandela tiene $\frac{1}{16}$ pulg de espesor.



Prob. 1-87

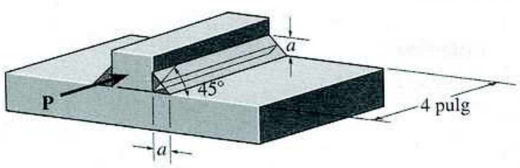
***1-88.** Los dos alambres de acero AB y AC se usan para soportar la carga. Si ambos alambres tienen un esfuerzo de tensión permisible de $\sigma_{perm} = 200$ MPa, determine el diámetro requerido de cada alambre si la carga aplicada es $P = 5$ kN.

1-89. Los dos cables de acero AB y AC se usan para soportar la carga. Si ambos alambres tienen un esfuerzo de tensión permisible de $\sigma_{perm} = 180$ MPa, y el alambre AB tiene un diámetro de 6 mm y AC tiene un diámetro de 4 mm, determine la mayor fuerza P que puede aplicarse a la cadena antes de que falle uno de los alambres.



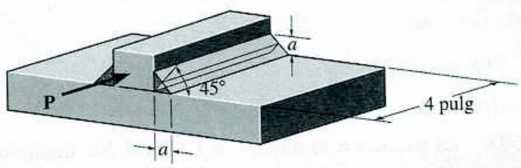
Probs. 1-88/89

***1-84.** El tamaño a del filete se determina calculando el esfuerzo cortante promedio a lo largo del plano sombreado que tenga la menor sección transversal. Determine el tamaño a más pequeño de los dos cordones si la fuerza aplicada a la placa es $P = 20$ klb. El esfuerzo cortante permisible para el material de la soldadura es $\tau_{perm} = 14$ klb/pulg^2.



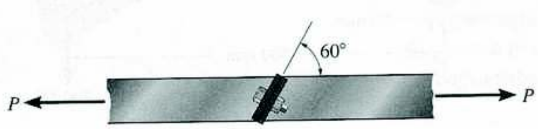
Prob. 1-84

1-85. El tamaño del cordón de soldadura es $a = 0.25$ pulg. Si se supone que la junta falla por cortante en ambos lados del bloque a lo largo del plano sombreado, el cual tiene la sección transversal más pequeña, determine la fuerza máxima P que puede aplicarse a la placa. El esfuerzo cortante permisible para el material de la soldadura es $\tau_{perm} = 14$ klb/pulg^2.



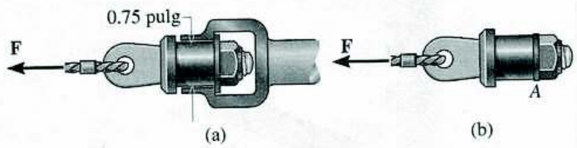
Prob. 1-85

1-86. El miembro a tensión está ensamblado por medio de *dos* pernos, uno a cada lado del miembro como se muestra. Cada perno tiene un diámetro de 0.3 pulg. Determine la carga máxima P que puede aplicarse al miembro si el esfuerzo cortante permisible para los pernos es $\tau_{perm} = 12$ klb/pulg^2 y el esfuerzo normal promedio permisible es $\sigma_{perm} = 20$ klb/pulg^2.



Prob. 1-86

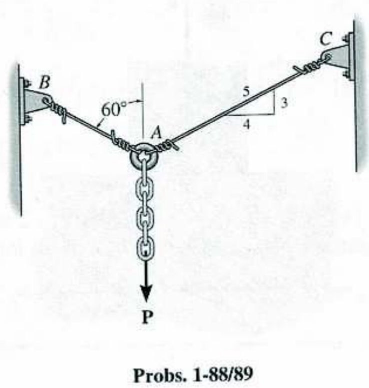
1-87. El manguito de un eslabón giratorio en el control elevador de un avión se mantiene en posición usando una tuerca y una arandela como se muestra en la figura (a). La falla de la arandela A puede ocasionar que la barra de empuje se separe como se muestra en la figura (b). Si el esfuerzo normal promedio máximo para la arandela es $\sigma_{máx} = 60$ klb/pulg^2 y el esfuerzo cortante promedio máximo es $\tau_{máx} = 21$ klb/pulg^2, determine la fuerza **F** que debe aplicarse al manguito para que ocurra la falla. La arandela tiene $\frac{1}{16}$ pulg de espesor.



Prob. 1-87

***1-88.** Los dos alambres de acero AB y AC se usan para soportar la carga. Si ambos alambres tienen un esfuerzo de tensión permisible de $\sigma_{perm} = 200$ MPa, determine el diámetro requerido de cada alambre si la carga aplicada es $P = 5$ kN.

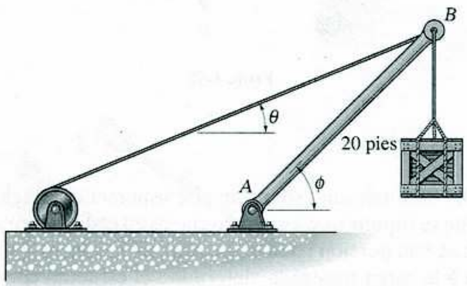
1-89. Los dos cables de acero AB y AC se usan para soportar la carga. Si ambos alambres tienen un esfuerzo de tensión permisible de $\sigma_{perm} = 180$ MPa, y el alambre AB tiene un diámetro de 6 mm y AC tiene un diámetro de 4 mm, determine la mayor fuerza P que puede aplicarse a la cadena antes de que falle uno de los alambres.



Probs. 1-88/89

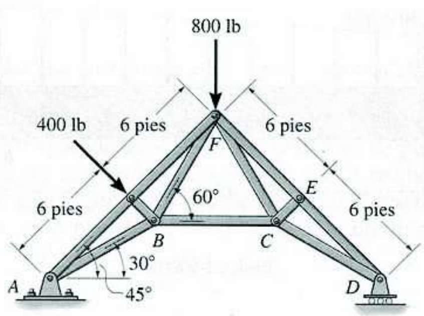
1-90. El brazo de la grúa está soportado por el cable de un malacate que tiene un diámetro de 0.25 pulg y un esfuerzo normal permisible de $\sigma_{perm} = 24$ klb/pulg^2. Determine la carga máxima que puede ser soportada sin que el cable falle cuando $\theta = 30°$ y $\phi = 45°$. Desprecie el tamaño del malacate.

1-91. El brazo está soportado por el cable del malacate que tiene un esfuerzo normal permisible de $\sigma_{perm} = 24$ klb/pulg^2. Si se requiere que el cable levante lentamente 5000 lb, de $\theta = 20°$ a $\theta = 50°$, determine el diámetro más pequeño del cable con una aproximación de $\frac{1}{16}$ pulg. El brazo AB tiene una longitud de 20 pies. Desprecie el tamaño del malacate.



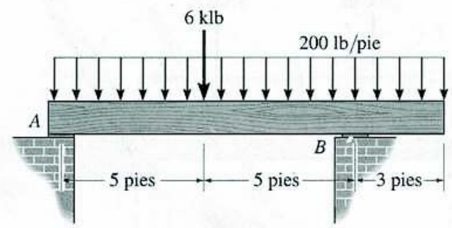
Probs. 1-90/91

***1-92.** La armadura se usa para soportar la carga mostrada. Determine el área requerida de la sección transversal del miembro BC si el esfuerzo normal permisible es $\sigma_{perm} = 24$ klb/pulg^2.



Prob. 1-92

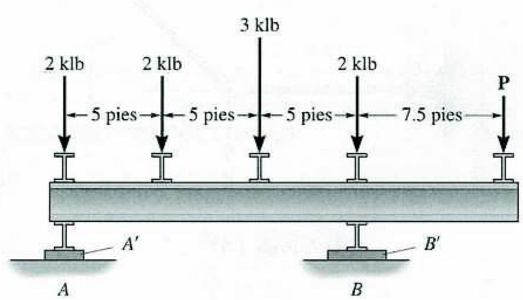
1-93. La viga está hecha de pino del sur y está soportada por placas de base que descansan en mampostería. Si los esfuerzos permisibles de aplastamiento para los materiales son $(\sigma_{pino})_{perm} = 2.81$ klb/pulg^2, $(\sigma_{mamp})_{perm} = 6.70$ klb/pulg^2, determine la longitud requerida para las placas de apoyo en A y B, con una aproximación de $\frac{1}{4}$ pulg, para soportar la carga mostrada. Las placas tienen 3 pulg de ancho.



Prob. 1-93

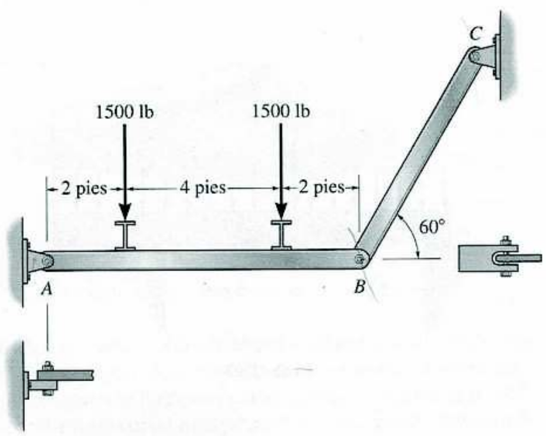
1-94. Si el esfuerzo permisible de aplastamiento para el material bajo los soportes A y B es $(\sigma_b)_{perm} = 400$ lb/pulg^2, determine el tamaño de las placas *cuadradas* de apoyo A' y B' requeridas para soportar la carga. Considere $P = 1.5$ klb. Dimensione las placas con una aproximación de $\frac{1}{2}$ pulg. Las reacciones en los soportes son verticales.

1-95. Si el esfuerzo permisible por aplastamiento para el material bajo los soportes A y B es $(\sigma_b)_{perm} = 400$ lb/pulg^2, determine la carga **P** máxima que puede aplicarse a la viga. Las placas de apoyo A' y B' tienen sección cuadrada de 2×2 pulg y 4×4 pulg, respectivamente.



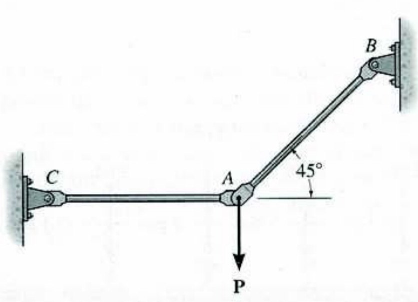
Probs. 1-94/95

*1-96. Determine el área transversal requerida en el miembro BC y el diámetro de los pasadores en A y B si el esfuerzo normal permisible es $\sigma_{perm} = 3$ klb/pulg^2 y el esfuerzo cortante permisible es $\tau_{perm} = 4$ klb/pulg^2.



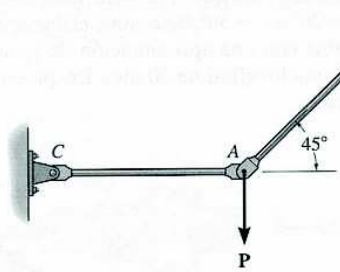
Prob. 1-96

1-97. Las dos barras de aluminio soportan la fuerza vertical de $P = 20$ kN. Determine sus diámetros requeridos si el esfuerzo permisible de tensión para el aluminio es de $\sigma_{perm} = 150$ MPa.



Prob. 1-97

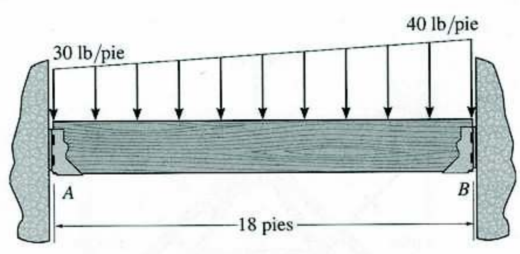
1-98. Las dos barras de aluminio AB y AC tienen diámetros de 10 mm y 8 mm, respectivamente. Determine la fuerza **P** máxima vertical que puede ser soportada. El esfuerzo permisible de tensión para el aluminio es $\sigma_{perm} =$ 150 MPa.



Prob. 1-98

1-99. Las ménsulas soportan uniformemente la viga, por lo que se supone que los cuatro clavos en cada ménsula soportan una porción igual de la carga. Si la viga está sometida a la carga mostrada, determine el esfuerzo cortante promedio en cada clavo de la ménsula en los extremos A y B. Cada clavo tiene un diámetro de 0.25 pulg. Las ménsulas soportan sólo cargas verticales.

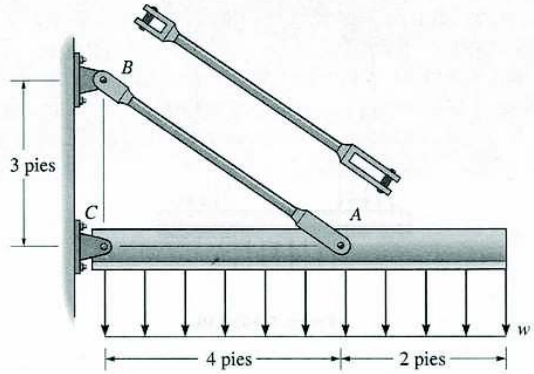
*1-100. Las ménsulas soportan uniformemente la viga, por lo que se supone que los cuatro clavos de cada ménsula soportan porciones iguales de la carga. Determine el diámetro más pequeño de los clavos en A y B si el esfuerzo cortante permisible para los clavos es $\tau_{perm} = 4$ klb/pulg^2. Las ménsulas soportan sólo cargas verticales.



Probs. 1-99/100

1-101. La viga atirantada se usa para soportar una carga distribuida de $w = 0.8$ klb/pie. Determine el esfuerzo cortante promedio en el perno en A de 0.40 pulg de diámetro y el esfuerzo de tensión promedio en el tirante AB que tiene un diámetro de 0.5 pulg. Si el esfuerzo de fluencia en cortante para el perno es $\tau_y = 25$ klb/pulg^2 y el esfuerzo de fluencia en tensión para el tirante es $\sigma_y = 38$ klb/pulg^2, determine el factor de seguridad con respecto a la fluencia en cada caso.

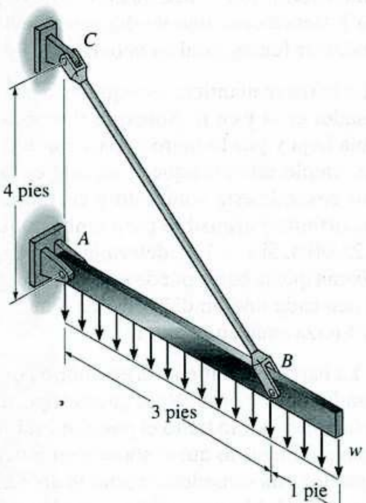
1-102. Determine la intensidad w máxima de la carga distribuida que puede ser soportada por la viga atirantada de manera que no se exceda un esfuerzo cortante permisible $\tau_{perm} = 13.5$ klb/pulg^2 en los pernos de 0.40 pulg de diámetro en A y B, ni que se exceda tampoco un esfuerzo permisible de tensión $\sigma_{perm} = 22$ klb/pulg^2 en el tirante AB de 0.5 pulg de diámetro.



Probs. 1-101/102

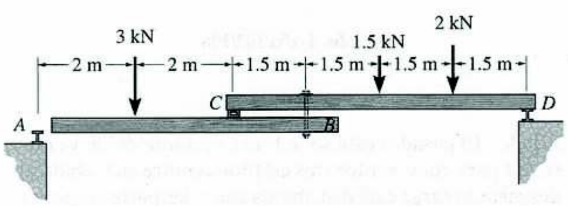
1-103. La viga atirantada se usa para soportar la carga distribuida de $w = 500$ lb/pie. Determine el factor de seguridad con respecto a la fluencia en el tirante de acero BC y en los pasadores en B y C si el esfuerzo de fluencia para el acero en tensión es $\sigma_y = 36$ klb/pulg^2 y en cortante es $\tau_y = 18$ klb/pulg^2. El tirante tiene un diámetro de 0.4 pulg y los pasadores tienen cada uno un diámetro de 0.30 pulg.

***1-104.** Si el esfuerzo cortante permisible para cada uno de los pasadores de acero de 0.3 pulg de diámetro en A, B y C es $\tau_{perm} = 12.5$ klb/pulg^2 y el esfuerzo normal permisible para la barra de 0.40 pulg de diámetro es $\sigma_{perm} = 22$ klb/pulg^2, determine la intensidad w máxima de la carga uniformemente distribuida que puede colgarse de la viga.



Probs. 1-103/104

1-105. Las dos partes de la viga de madera están conectadas entre sí por un perno en B. Suponiendo que las conexiones en A, B, C y D ejercen sólo fuerzas verticales sobre la viga, determine el diámetro requerido del perno en B y el diámetro exterior requerido de sus arandelas si el esfuerzo permisible de tensión para el perno es $(\sigma_t)_{perm} = 150$ MPa y el esfuerzo permisible por aplastamiento para la madera es $(\sigma_b)_{perm} = 28$ MPa. Suponga que el agujero en las arandelas tiene el mismo diámetro que el perno.

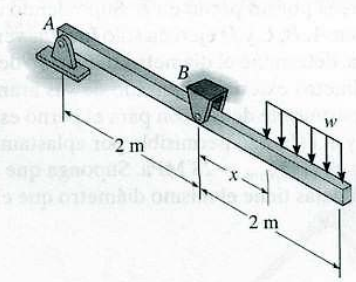


Prob. 1-105

1-106. La barra se mantiene en equilibrio por los soportes de pasador en A y en B. Observe que el soporte en A tiene una sola hoja y por lo tanto el pasador está sometido a cortante simple, mientras que el soporte en B tiene dos hojas y su pasador está sometido a cortante doble. El esfuerzo cortante permisible para ambos pasadores es $\tau_{perm} = 150$ MPa. Si se coloca sobre la barra una carga uniformemente distribuida $w = 8$ kN/m, determine su posición mínima permisible x medida desde B. Los pasadores en A y en B tienen cada uno un diámetro de 8 mm. Desprecie cualquier fuerza axial en la barra.

1-107. La barra se mantiene en equilibrio por los soportes de pasador en A y en B. Note que el soporte en A tiene una sola hoja y por lo tanto el pasador está sometido a cortante simple, mientras que el soporte en B tiene dos hojas y su pasador está sometido a cortante doble. El esfuerzo cortante permisible para ambos pasadores es $\tau_{perm} = 125$ MPa. Si $x = 1$ m, determine la carga w distribuida máxima que la barra puede soportar. Los pasadores A y B tienen cada uno un diámetro de 8 mm. Desprecie cualquier fuerza axial en la barra.

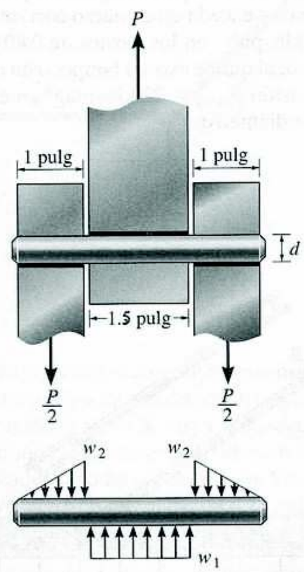
***1-108.** La barra se mantiene en equilibrio por los soportes de pasador en A y en B. Note que el soporte en A tiene una sola hoja y por lo tanto el pasador está sometido a cortante simple, mientras que el soporte en B tiene dos hojas y su pasador está sometido a cortante doble. El esfuerzo cortante permisible para ambos pasadores es $\tau_{perm} = 125$ MPa. Si $x = 1$ m y $w = 12$ kN/m, determine el menor diámetro requerido para los pasadores A y B. Desprecie cualquier fuerza axial en la barra.



Probs. 1-106/107/108

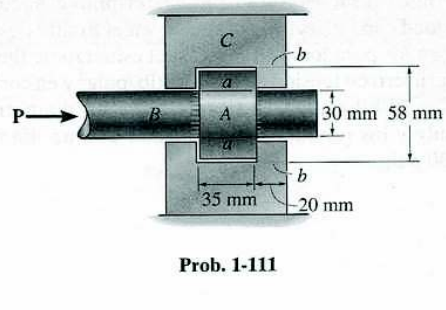
1-109. El pasador está sometido a cortante doble ya que se usa para conectar los tres eslabones entre sí. Debido al desgaste, la carga está distribuida sobre las partes superior e inferior del pasador como se muestra en el diagrama de cuerpo libre. Determine el diámetro d del pasador si el esfuerzo cortante permisible es $\tau_{perm} = 10$ klb/pulg^2 y la carga $P = 8$ klb. Determine también las intensidades de carga w_1 y w_2.

1-110. El pasador está sometido a cortante doble ya que se usa para conectar los tres eslabones entre sí. Debido al desgaste, la carga está distribuida sobre las partes superior e inferior del pasador como se muestra en el diagrama de cuerpo libre. Determine la máxima carga P que la conexión puede soportar si el esfuerzo cortante permisible para el material es $\tau_{perm} = 8$ klb/pulg^2 y el diámetro del pasador es de 0.5 pulg. Determine también las intensidades de carga w_1 y w_2.



Probs. 1-109/110

1-111. El cojinete de empuje consiste en un collarín circular A fijo a la flecha B. Determine la fuerza axial P máxima que puede aplicarse a la flecha de manera que el esfuerzo cortante a lo largo de la superficie cilíndrica a o b no sea mayor que el esfuerzo cortante permisible $\tau_{perm} = 170$ MPa.



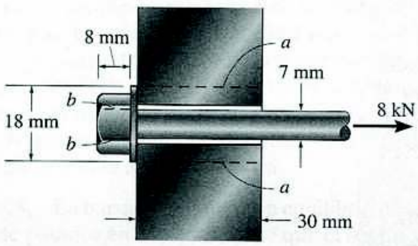
Prob. 1-111

REPASO DEL CAPÍTULO

- Las cargas internas en un cuerpo consisten en una fuerza normal, una fuerza cortante, un momento flexionante y un momento torsionante. Estas cargas internas representan las resultantes de las distribuciones de esfuerzos normales y de esfuerzos cortantes que actúan sobre la sección transversal. Para obtener esas resultantes, use el método de las secciones y las ecuaciones de equilibrio.
- Si una barra está hecha de material homogéneo isotrópico y está sometida a una serie de cargas axiales externas que pasan por el centroide de la sección transversal, entonces una distribución uniforme de esfuerzo normal actuará sobre la sección transversal. Este esfuerzo normal promedio puede ser determinado de $\sigma = P/A$, donde P es la carga axial interna en la sección.
- El esfuerzo cortante promedio puede ser determinado usando $\tau\ V/A$, donde V es la fuerza cortante resultante sobre el área de la sección transversal A. Esta fórmula se usa a menudo para encontrar el esfuerzo cortante promedio en sujetadores o en partes usadas para conexiones.
- El diseño de cualquier conexión simple requiere que el esfuerzo promedio a lo largo de cualquier sección transversal no exceda un factor de seguridad o un valor permisible de σ_{perm} o τ_{perm}. Esos valores se dan en códigos o reglamentos y se consideran seguros con base en experimentos o experiencia.

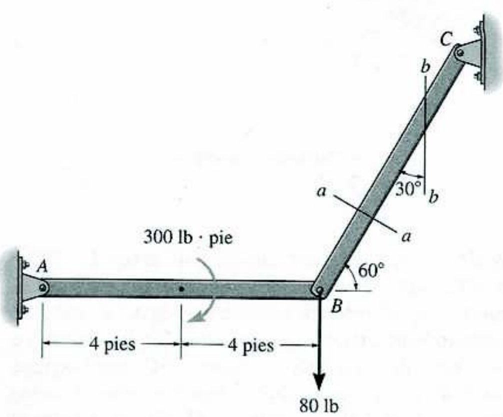
PROBLEMAS DE REPASO

*1-112. Un perno atraviesa una placa de 30 mm de espesor. Si la fuerza en el vástago del perno es de 8 kN, determine el esfuerzo normal promedio en el vástago, el esfuerzo cortante promedio a lo largo del área cilíndrica de la placa definida por las líneas *a-a* y el esfuerzo cortante promedio en la cabeza del perno a lo largo del área cilíndrica definida por las líneas *b-b*.



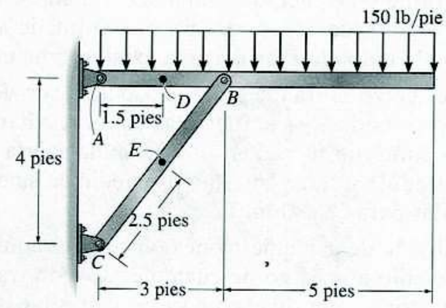
Prob. 1-112

1-113. La estructura de dos miembros está sometida a la carga mostrada. Determine el esfuerzo normal promedio y el esfuerzo cortante promedio que actúan en las secciones *a-a* y *b-b*. El miembro *CB* tiene una sección transversal cuadrada de 2 pulg por lado.



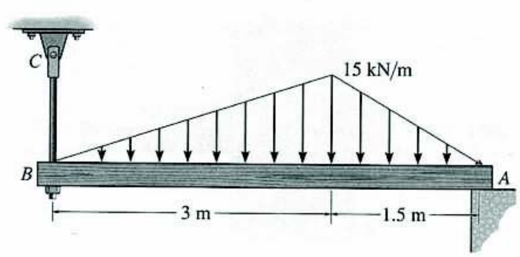
Prob. 1-113

1-114. Determine las cargas internas resultantes que actúan sobre las secciones transversales por los puntos *D* y *E* de la estructura.



Prob. 1-114

1-115. La barra *BC* está hecha de acero cuyo esfuerzo permisible de tensión es $\sigma_{perm} = 155$ MPa. Determine su diámetro más pequeño para que pueda soportar la carga mostrada. Suponga que la viga está conectada por un pasador en *A*.



Prob. 1-115