

8

DISEÑO DE VIGAS

8.1 GENERALIDADES

Como ya se observó, una viga es un elemento estructural que está sujeto a cargas transversales. En la sección 6.1 están las definiciones para varios tipos de vigas y se ilustran en la figura 6.1. Las vigas comparativamente pequeñas, con separaciones muy cortas entre ellas, sobre las que se apoya directamente el contrapiso en la construcción con marcos de madera, se llaman *viguetas*. Las *viguetas* inclinadas que se usan para soportar techos inclinados se llaman *cambios*. Las vigas rectangulares con dimensiones nominales de la sección transversal de 5×8 pulgadas y mayores se encuentran en la clasificación de *vigas y largueros* (sección 1.6).

Hasta ahora, en el análisis de las vigas se ha considerado a las reacciones como fuerzas concentradas. Esto, por supuesto, es sólo una aproximación, como puede verse en el caso de una viga apoyada sobre un muro de mampostería (figura 8.1). La viga se prolonga más allá de la cara del muro, a una cierta distancia, y la reacción se distribuye sobre el área de contacto entre la viga y el muro. Esta área, conocida como *área de apoyo*, en general es muy pequeña, de modo que no se produce un error importante si se considera que la reacción actúa en el centro del área de apoyo. Por lo tanto, el claro de una viga simple puede tomarse como la distancia libre entre las caras de los apoyos más la mitad de la longitud de apoyo requerida en cada extremo.

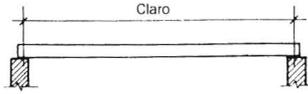


Figura 8.1

8.2 PROCEDIMIENTO DE DISEÑO

El diseño completo de una viga de madera se alcanza en cinco pasos, algunos de los cuales pueden ser abreviados a medida que el calculista adquiere experiencia; por ejemplo, muchos calculistas seleccionan una viga que cumple con el paso 2, pues saben, por experiencia, que cumplirá los requerimientos de fuerza cortante o flecha o ambos. La experiencia en el trabajo estructural también capacitará al calculista o al ingeniero para estimar, con bastante precisión, el peso de la viga, de modo que puede incluirse en el paso 1 una tolerancia por el peso de la viga. En la tabla 5.1 se da el peso por pie lineal para madera estructural, basado en un peso promedio supuesto de 35 libras por pie cúbico. Los cinco pasos del procedimiento de diseño son los siguientes:

- Paso 1.* Calcular las cargas que es necesario que soporte la viga y hacer un dibujo con dimensiones (diagrama de viga), en el que se muestren las cargas y sus posiciones. Encontrar las reacciones.
- Paso 2.* Determinar el momento flexionante máximo y calcular el módulo de la sección requerido, a partir de la fórmula de flexión $S = M/F_b$, como se explica en la sección 7.8. Luego, seleccionar en la tabla 5.1 una sección transversal de viga con un módulo de sección adecuado. Es obvio que varias dimensiones diferentes pueden cumplir con esta condición, pero las más prácticas tienen anchos que varían de un medio a un tercio del peralte. Los elementos que son angostos tienden a doblarse hacia los lados a menos que tengan un arriostramiento adecuado (sección 7.14).
- Paso 3.* Analizar la viga seleccionada en el paso 2, con respecto al esfuerzo cortante horizontal, siguiendo el procedimiento dado en la sección 7.4. Si es necesario, aumentar las dimensiones de la viga. En la tabla 4.1 se dan los esfuerzos cortantes horizontales admisibles.
- Paso 4.* Analizar la viga con respecto a la flecha para revisar que la flecha calculada no exceda el límite previsto. En la figura 6.13 se dan fórmulas para calcular las flechas bajo diferentes condiciones de carga y se usan según se explica en la sección 7.12.
- Paso 5.* Cuando se determina una sección transversal que satisface estas condiciones, se establece la longitud de apoyo. Como se explicó en la sección 7.13, el área de apoyo debe ser suficientemente grande para que no se exceda el esfuerzo de compresión admisible perpendicular a la veta.

8.3 EJEMPLOS DE DISEÑO DE VIGAS

Los ejemplos siguientes ilustran la aplicación del procedimiento anterior al diseño de vigas de madera, bajo diferentes patrones de carga.

Ejemplo 1. Una viga simple tiene un claro de 14 pies (4.2 m) y soporta una carga de 7 200 lb (32 kN) distribuida uniformemente en la longitud del claro. Diseñe la viga usando madera de abeto Douglas, de clase No. 1. La flecha está limitada a 0.5 pulgadas (13 mm).

Solución: 1) En la figura 8.2 se muestra la carga (con excepción del peso de la viga), y la información de diseño aplicable de la tabla 4.1 se registra como sigue: $F_b = 1\,300$ lb/pulg² (9.3 MPa), $F_v = 85$ lb/pulg² (0.59 MPa), $F_{c\perp} = 625$ lb/pulg² (4.31 MPa), $E = 1\,600\,000$ lb/pulg² (11 GPa). Debido a que la carga es simétrica, $R_1 = R_2 = 7\,200/2 = 3\,600$ lb (16 kN).

2) El momento flexionante máximo para esta carga es:

$$M = \frac{WL}{8} = \frac{(7\,200)(14)}{8} = 12\,600 \text{ lb-pie (16.8 kN-m)}$$

y

$$S = \frac{M}{F_b} = \frac{12\,600 \times 12}{1\,300} = 116 \text{ pulg}^3 \quad (1\,901 \times 10^3 \text{ mm}^3)$$

En referencia a la tabla 5.1, se encuentra que una viga de 6 × 12 tiene un módulo de sección de 121.3 (valor tabular redondeado) y que pesa, aproximadamente, 15.4 lb por pie lineal, lo que hace que el peso de la viga sea $15.4 \times 14 = 216$ lb. Si los cálculos se repiten con una carga revisada de $7\,200 + 246 = 7\,446$ lb (33.1 kN), el nuevo momento flexionante es 13 000 lb-pie (17.4 kN-m) y el nuevo módulo de la sección requerido es 120 pulg³ ($1\,871 \times 10^3$ mm³). Éste todavía es menor que el de la viga de 6 × 12, de modo que las dimensiones escogidas son adecuadas.

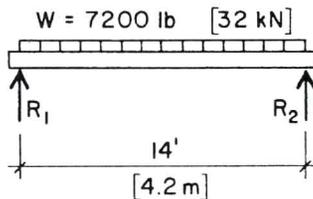


Figura 8.2

3) La fuerza cortante máxima vertical en el extremo es igual a una de las reacciones, es decir, $R_1 = R_2 = V = 7\,416/2 = 3\,708$ lb (16.5 kN). El esfuerzo cortante horizontal producido por la carga es:

$$f_v = \frac{3}{2} \frac{V}{bd} = \frac{3}{2} \frac{3\,708}{63.25} = 87.9 \text{ lb/pulg}^2 \text{ (0.608 MPa)}$$

Este valor es ligeramente mayor que el F_v , admisible de 85 lb/pulg². Sin embargo, la fuerza cortante crítica real para la viga sometida a la carga uniforme es menor que la usada para el cálculo (véase la sección 7.3), de modo que el tamaño escogido todavía es adecuado.

4) Al analizar la flecha, se observa que el caso 2 de la figura 6.13 se aplica a las condiciones de este ejemplo. En la tabla 5.1 se muestra que el momento de inercia de una viga de 6×12 es de 697.1 pulg⁴. Al sustituir este valor y otros datos de diseño en la ecuación de la flecha, se tiene:

$$\Delta = \frac{5WL^3}{384EI} = \frac{5(7\,416)(14 \times 12)^3}{384(1\,600\,000)(697.1)} = 0.41 \text{ pulg (11 mm)}$$

Debido a que la flecha calculada es menor que el límite especificado, la viga de 6×12 cumple con todos los requisitos y, por lo tanto, se acepta.

5) El área mínima requerida para el apoyo extremo de la viga es igual a la reacción dividida entre $F_{c\perp}$, es decir, $3\,708/625 = 5.93$ pulg² (3 828 mm²). En la tabla 5.1 se indica que el ancho verdadero de la viga de 6×12 es de 5.5 pulgadas (140 mm), lo cual hace que la longitud requerida de apoyo sea de $5.93/5.5 = 1.08$ pulgadas (27.4 mm). Como una cuestión de construcción práctica, a una viga de este tamaño, normalmente, se le daría una longitud de apoyo mínima de 4 pulgadas, de modo que el apoyo no es un aspecto crítico para este ejemplo.

Ejemplo 2. Una viga simple tiene un claro de 15 pies (4.5 m) con cargas concentradas de 3 200 lb (14 kN) colocadas en los tercios del claro. También hay una carga uniformemente distribuida de 200 lb/pie (2.9 kN/m) (incluyendo una tolerancia para el peso de la viga), que se extiende sobre todo el claro. La flecha está limitada a 1/360 del claro. Diseñe la viga usando madera de abeto Douglas de clase No. 1.

Solución: 1) El diagrama de cargas se dibuja como se muestra en la figura 8.3, y la información de diseño aplicable de la tabla 4.1 es la siguiente: $F_b = 1\,300$ lb/pulg² (9.0 MPa); $F_v = 85$ lb/pulg² (0.59 MPa); $F_{c\perp} = 625$ lb/pulg² (4.3 MPa); y $E = 1\,600\,000$ lb/pulg² (11 GPa). La carga simétrica total sobre la viga es $3\,200 + 3\,200 + (200 \times 15) = 9\,400$ lb y $R_1 = R_2 = 9\,400/2 = 4\,700$ lb (20.525 kN).

2) En referencia a la figura 6.13, se ve que el momento flexionante máximo tanto para el caso 2 como para el caso 3, se presenta en el centro del claro. Por lo tanto, los momentos se suman directamente. Entonces, se tiene:

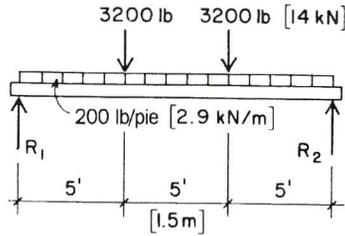


Figura 8.3

$$M = \frac{PL}{3} + \frac{WL}{8} = \frac{(3\,200)(15)}{3} + \frac{(3\,000)(15)}{8}$$

$$= 16\,000 + 5\,625 = 21\,625 \text{ lb-pie} \quad (28.34 \text{ kN}\cdot\text{m})$$

y el módulo de la sección requerido es

$$S = \frac{M}{F_b} = \frac{(21\,625 \times 12)}{1\,300} = 199.6 \text{ pulg}^3 \quad (3\,150 \times 10^3 \text{ mm}^3)$$

En referencia a la tabla 5.1, se encuentra que $S = 209.4 \text{ pulg}^3$ para una viga de 10×12 y $S = 227.8$ para una viga de 8×14 . Si se selecciona la de 8×14 , el esfuerzo flexionante admisible debe reducirse por el factor dimensional, como se explica en la sección 7.9. Para la viga de 14 pulgadas de peralte, el factor es 0.987, de modo que el valor ajustado de S es $199.6/0.987 = 202.2 \text{ pulg}^3$ ($3\,191 \times 10^3 \text{ mm}^3$). Debido a que este valor todavía es más pequeño que el valor real para la viga de 8×14 , la elección todavía es válida.

3) La fuerza cortante vertical máxima es de 4 700 lb (20.525 kN), lo que hace que el esfuerzo cortante horizontal máximo sea igual a lo siguiente:

$$f_v = \frac{3}{2} \frac{V}{bd} = \frac{3}{2} \frac{4\,700}{101.3} = 69.6 \text{ lb/pulg}^2 \quad (0.471 \text{ MPa})$$

Debido a que esto es menor que F_v , la viga es adecuada respecto a la fuerza cortante horizontal.

4) Para esta viga, la flecha máxima se presenta en el centro del claro para ambas cargas, y se puede determinar entonces combinando las fórmulas para el caso 2 y el caso 3 de la figura 6.13. El momento de inercia para la viga 8×14 de la tabla 5.1, es de 1 538 pulg⁴. Entonces, se obtiene:

$$\Delta = \frac{23PL^3}{648EI} + \frac{5WL^3}{384EI} = \frac{23(3\,200)(15 \times 12)^3}{648(1\,600\,000)(1538)}$$

$$+ \frac{5(3\,000)(15 \times 12)^3}{384(1\,600\,000)(1\,538)}$$

$$= 0.269 + 0.093 = 0.362 \text{ pulg} \quad (6.8 + 2.4 = 9.2 \text{ mm})$$

Esto es menor que la admisible de $(15 \times 12)/360 = 0.5$ pulgadas (13 mm) y así, la viga es adecuada con respecto a la flecha.

5) El área de apoyo requerida en cada apoyo es igual a la reacción dividida entre $F_{c.l}$, es decir, $4\,700/625 = 7.52$ pulg² (4 850 mm²). Con el ancho de la viga de 7.5 pulgadas, la longitud de apoyo mínima requerida es de $7.52/7.5 = 1.0$ pulgadas. Aquí, como en el ejemplo 1, el apoyo mínimo sería, probablemente, de 4 pulgadas y así, este factor no es decisivo para el diseño de la viga.

Ejemplo 3. Una viga simple tiene un claro de 12 pies (3.6 m) y está sometida a una carga concentrada de 6 kilolibras (27 kN) a 4 pies (1.2 m) del apoyo izquierdo. Además, hay una carga uniformemente distribuida de 1 kilolibra/pie (15 kN/m) (incluyendo una tolerancia para el peso de la viga) en todo el claro. Si la flecha está limitada a 1/360 del claro, diseñe la viga con los siguientes valores: $F_b = 1\,600$ lb/pulg² (11 MPa); $F_v = 105$ lb/pulg² (0.72 Mpa); $F_{c.l} = 375$ lb/pulg² (2.60 MPa); y $E = 1\,600\,000$ lb/pulg² (11 GPa).

Solución: 1) En la figura 8.4a se presenta el diagrama de la viga, en donde se muestra la carga y las reacciones.

2) El momento máximo se presenta donde el diagrama de fuerza cortante pasa por cero; se calcula como sigue:

$$M = (10\,000 \times 4) - (1\,000 \times 4 \times 2) = 32\,000 \text{ lb-pie (43.2 kN-m)}$$

Luego,

$$S = \frac{M}{F_b} = \frac{(32\,000 \times 12)}{1\,600} = 240 \text{ pulg}^3 \quad (3\,930 \times 10^3 \text{ mm}^3)$$

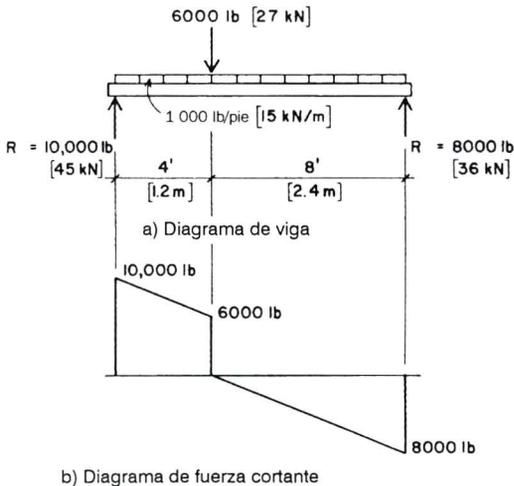


Figura 8.4

De la tabla 5.1, una viga de 10×14 tiene $S = 288.6$ pulg³. Esta sección se selecciona como una viga a prueba.

3) Si se usa la fuerza cortante máxima de la figura 8.4b, se calcula lo siguiente:

$$f_v = \frac{3}{2} \frac{V}{bd} = \frac{3}{2} \frac{10\,000}{128} = 117 \text{ lb/pulg}^2 (0.81 \text{ MPa})$$

Debido a que este valor es mayor que F_v , se intenta de nuevo y se selecciona la siguiente sección más ancha, es decir, la de 12×14 . Entonces,

$$f_v = \frac{3}{2} \frac{10\,000}{155} = 97 \text{ lb/pulg}^2 (0.67 \text{ MPa})$$

lo que es aceptable (obsérvese que también es posible elegir otras secciones, como una de 10×16 . En una situación real, diferentes factores de diseño no considerados aquí pueden afectar la elección entre opciones viables).

4) Ya que la carga en esta viga no es una de las cargas estándar listadas en la figura 6.13, se usa un método aproximado con una carga uniforme equivalente, como se estudió en la sección 7.12. El valor para esta carga hipotética se obtiene del momento flexionante máximo; por tanto:

$$W = \frac{8M}{L} = \frac{8(32\,000)}{12} = 21\,300 \text{ lb (96 kN)}$$

Con el valor para el momento de inercia de la viga de 12×14 de la tabla 5.1, y al sustituir en la fórmula para la viga simple con carga uniforme, se tiene

$$\Delta = \frac{5WL^3}{384EI} = \frac{5(21\,300)(12 \times 12)^3}{384(1\,600\,000)(2\,358)} = 0.22 \text{ pulg (5.6 mm)}$$

La flecha admisible es $(12 \times 12)/360 = 0.4$ pulgadas (10 mm). Así, la viga es aceptable con respecto a la flecha.

5) Si se supone un apoyo mínimo de 4 pulgadas (100 mm), y se usa el valor para la reacción máxima, se calcula el esfuerzo para el apoyo en el extremo como sigue:

$$f_p = \frac{10\,000}{4 \times 11.5} = 217 \text{ lb/pulg}^2 (1.5 \text{ MPa})$$

Debido a que esto es menor que $F_{c\perp}$, el apoyo no es decisivo.

Problema 8.3.A.

Una viga simple con un claro de 15 pies (4.5 m) soporta una carga uniformemente distribuida de 9 000 lb (40 kN), además de su propio peso. La flecha

está limitada a 0.625 pulgadas. Diseñe la viga usando abeto Douglas, clase estructural selecta.

Problema 8.3.B.

Una viga simple con un claro de 13 pies (3.9 m) tiene cargas concentradas de 9 000 lb (40 kN) a cada tercio del claro. La flecha está limitada a 1/360 del claro. Diseñe la viga con abeto Douglas, grado No. 1.

8.4 VIGUETAS PARA PISO

Se denominan *viguetas* a las vigas que se colocan con separaciones pequeñas entre sí que soportan las cubiertas de los pisos estructurales. Éstas pueden constar de madera sólida, armaduras ligeras o construcción compuesta con elementos combinados de madera sólida, piezas laminadas, madera contrachapada, o elementos prefabricados hechos de partículas. El estudio de esta sección se limita a la madera sólida, característicamente en la clase denominada *madera aserrada en elementos de tamaños comunes*, y que tienen un espesor nominal de 2 a 3 pulgadas.

Las dimensiones más usadas comúnmente son de 2×8 , 2×10 y 2×12 . Aunque la resistencia de la cubierta estructural es un factor importante, la medida que se usa para separar las viguetas (centro a centro) se determina, por lo general, por el tamaño de los materiales de los tableros que se usan para la cubierta y por las características de los cielos rasos. Los bordes clavados de los tableros deben quedar al centro de las viguetas. Las dimensiones de tablero que más se usan son de 48×96 pulgadas, lo que hace que las separaciones deseadas sean un submúltiplo de estas dimensiones. Las separaciones más empleadas son 24, 16 y 12 pulgadas.

En la figura 8.5 se muestra una forma común para construir un piso de madera. La cubierta estructural que se muestra es madera contrachapada, que proporciona una superficie no utilizable como capa de desgaste. Entonces, se debe usar algún acabado como el entarimado de madera dura que se muestra aquí. En la actualidad, es más común que la mayoría de los interiores tenga alfombra o losetas delgadas, las cuales requieren una superficie más lisa que la madera contrachapada, lo que conduce a usar algún material como *contrapiso* (por lo general, aglomerado) o un firme delgado de concreto.

Se muestra aquí un acabado con tableros prefabricados para un cielo raso colocado directamente en la parte inferior de las viguetas. Si se requiere un cielo raso suspendido, se debe diseñar un segundo marco estructural debajo de las viguetas. Algunos detalles de este tipo de construcción se muestran en los ejemplos del capítulo 16.

El arriostramiento lateral de las viguetas se logra con las riostras de la figura 8.5. La necesidad de lo anterior se estudia en la sección 7.13. Un problema

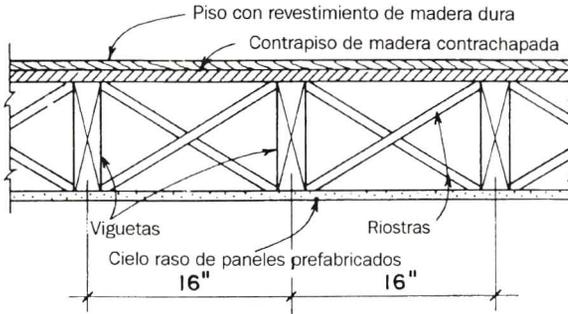


Figura 8.5 Construcción característica de pisos de viguetas.

a considerar, en este tipo de construcción, es la falta de apoyo para los bordes de los materiales de revestimiento en una dirección perpendicular a las viguetas. El uso de una cubierta estructural con bordes machihembrados es una solución para rigidizar la cubierta, pero falta dar apoyo a los bordes de los tableros del cielo raso. Una solución es usar refuerzo macizo (piezas cortas para madera de vigueta) entre las viguetas en hileras que correspondan al tamaño del tablero del material de revestimiento. Otro factor importante en esta decisión, es la necesidad de generar la acción de diafragma horizontal para resistir las fuerzas laterales (véase el capítulo 15).

También se usa un refuerzo macizo bajo cualquier muro apoyado que sea perpendicular a las viguetas o bajo muros paralelos a las viguetas, pero que no estén situados directamente sobre una vigueta. Se debe considerar cualquier carga sobre el sistema general de viguetas que no sea la construcción común del piso. Una forma simple de incrementar localmente la resistencia del sistema, es colocar viguetas dobles, lo que, por lo común se hace en los bordes de los vanos, como los de las escaleras.

Aun cuando son adecuados respecto a su resistencia a las cargas, los detalles característicos que se muestran en la figura 8.5 conducen, con frecuencia, a una forma ligera de construcción de piso. Hay la posibilidad de que vibre un poco y no impida la transmisión del sonido. Para mejorar estas dos propiedades, así como la resistencia al fuego, lo común ahora es usar un delgado firme de concreto en la parte superior de la cubierta estructural. Sin embargo, esto casi duplica la carga muerta de la construcción.

8.5 DISEÑO DE VIGUETAS

Debido a que las viguetas son, en realidad, vigas simples pequeñas, el procedimiento de diseño para vigas que se da en la sección 8.2 es aplicable al diseño de viguetas para piso. Sin embargo, lo común en la práctica es que el diseño de viguetas que soportan cargas uniformemente distribuidas (con mucho, la car-

ga más común) se haga usando tablas en donde se listan los claros máximos de seguridad para diferentes combinaciones de dimensiones, separación y condiciones de carga de las viguetas. El uso de estas tablas se explica en la sección 8.6. En esta sección, se presentan dos ejemplos de diseño de viguetas en los que se usan los procedimientos acostumbrados que se siguen para el diseño de vigas. El ejemplo 1 es para una carga uniforme aplicada sobre todo el claro y se da para tener un antecedente para el uso posterior de tablas de claros. El ejemplo 2 es un caso especial, en el cual las viguetas soportan un muro divisorio además de la carga uniformemente distribuida del piso, para lo que es necesario calcular el módulo de la sección requerido y seleccionar, de acuerdo con ello, la sección transversal de la vigueta.

Ejemplo 1. Determine el tamaño requerido de vigueta para colocarse con separaciones de 16 pulgadas, que soporte una carga viva de 40 lb/pie² en un claro de 14 pies. La construcción del piso y del cielo raso es como se muestra en la figura 8.5. La madera especificada para las viguetas es abeto Douglas, clase No. 2.

Solución: 1) Con los datos de la tabla 16.1, se determina la carga muerta de diseño como sigue:

Piso de madera	2.5 lb/pie ²
Cubierta de madera contrachapada de 3/4 de pulg	2.25
Viguetas y crucetas (estimación)	2.75
Cielo raso de paneles prefabricados de 1/2 pulg	<u>2.25</u>
Carga muerta total	10.0 lb/pie ²

Así, la carga de piso total es 40 + 10 = 50 lb/pie². Con los centros de las viguetas separados 16 pulgadas, la carga uniformemente distribuida para una vigueta individual es (50)(16/12) = 66.7 lb/pie lineal de vigueta. Para las viguetas de claro simple, el momento máximo es:

$$M = \frac{wL^2}{8} = \frac{(66.7)(14)^2}{8} = 1\ 634 \text{ lb-pie}$$

Según la tabla 4.1, el esfuerzo flexionante admisible para la vigueta es 1 006 lb/pulg²; por lo tanto, el módulo de la sección requerido es:

$$S = \frac{M}{F_b} = \frac{(1\ 634)(12)}{1\ 006} = 9.5 \text{ pulg}^3$$

Al revisar la tabla 5.1, se observa que es necesario usar una pieza de 2 × 10 con S = 21.391 pulg³. Las opciones serían considerar el uso de una madera con un grado de esfuerzo mayor o colocar los centros de las viguetas a 12 pulgadas.

2) El esfuerzo cortante es, rara vez, un factor determinante para viguetas con carga ligera, pero se debe hacer un análisis para confirmarlo. La fuerza cortante máxima es un medio de la carga total; así $V = wL/2 = (66.7)(14/2) = 467$ lb. El esfuerzo cortante máximo en la viga de 2×10 es, entonces:

$$f_v = \frac{3}{2} \frac{V}{bd} = \frac{3(467)}{2(13.875)} = 50.5 \text{ lb/pulg}^2$$

Ya que esto es menor que el valor de F_v , dado como 95 lb/pulg² en la tabla 4.1, la vigueta de 2×10 es suficiente.

3) Para esta situación, el límite común de la flecha es para una flecha máxima, bajo carga viva, de 1/360 del claro. Entonces se determina lo siguiente:

$$\text{Flecha admisible} = \frac{L}{360} = \frac{(14 \times 12)}{360} = 0.467 \text{ pulgadas}$$

$$\text{Carga viva total} = (40) \left(\frac{16}{12} \right) (14) = 747 \text{ lb}$$

$$D \text{ máxima} = \frac{5WL^3}{384EI} = \frac{(5)(747)(14 \times 12)^3}{(384)(1\,600\,000)(98.9)} = 0.29 \text{ pulgadas}$$

Ya que la flecha calculada es menor que la admisible, la pieza de 2×10 es adecuada.

Ejemplo 2. Viguetas para piso similares a las del ejemplo 1 deben soportar, además de la carga del piso, un muro divisorio que es perpendicular a las viguetas y se ubica a 4 pies de un extremo del claro de la vigueta. Analice las viguetas diseñadas en el ejemplo 1 para ver si son adecuadas para soportar esta carga adicional. El muro divisorio tiene un peso total de 120 lb/pie de su longitud.

Solución: 1) Se encuentra que la carga sobre una vigueta individual es $(16/12)(120) = 160$ lb. Con los datos del ejemplo 1, la carga que soporta una vigueta por tanto, es como se observa en la figura 8.6, con valores de fuerza cortante y de momento como los que se muestran en los diagramas.

2) El esfuerzo flexionante máximo en la vigueta es:

$$f_b = \frac{M}{S} = \frac{(1\,970 \times 12)}{21.391} = 1\,105 \text{ lb/pulg}^2$$

Como éste es mayor que el esfuerzo admisible máximo de 1 006 lb/pulg², el tamaño de la vigueta debe aumentarse a 2×12 .

3) El esfuerzo cortante máximo en la vigueta de 2×12 es:

$$f_v = \frac{3}{2} \frac{V}{bd} = \frac{(3)(581.3)}{(2)(16.875)} = 51.7 \text{ lb/pulg}^2$$

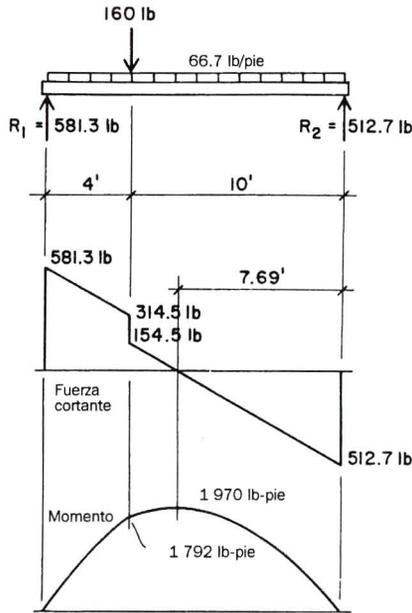


Figura 8.6

Como éste es menor que el límite de 95 lb/pulg², la vigueta es adecuada.

4) Si es de importancia la flecha total producida por las cargas muerta y viva, se obtiene un valor razonablemente aproximado, usando una carga uniforme equivalente que producirá el mismo momento máximo que aquel que se produce bajo la carga combinada verdadera que se muestra en la figura 8.6. Para esto, se determina como sigue:

$$M = \frac{WL}{8} \Rightarrow \text{o bien, } W = \frac{8M}{L}$$

y con el uso del valor de la figura 8.6,

$$W = \frac{8M}{L} = \frac{8(1\,970)}{14} = 1\,126 \text{ lb}$$

Ahora puede usarse esta carga con la fórmula común para calcular la flecha de una viga sometida a carga uniforme. (Véase el ejemplo 2 en la sección 7.11.)

8.6 TABLAS DE CLAROS PARA VIGUETAS

En muchas publicaciones se encuentran tablas en las cuales se seleccionan viguetas para situaciones comunes. La tabla 8.1 es una reproducción de la tabla

TABLA 8.1 Claros admisibles, en pies y pulgadas, para viguetas de piso*

Vigueta		Módulo de elasticidad E , en 1 000 000 lb/pulg ²													
Dimensiones Separación (PULG) (PULG)		0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.2
2x6	12.0	8-6	8-10	9-2	9-6	9-9	10-0	10-3	10-6	10-9	10-11	11-2	11-4	11-7	11-11
		720	780	830	890	940	990	1040	1090	1140	1190	1230	1280	1320	1410
	16.0	7-9	8-0	8-4	8-7	8-10	9-1	9-4	9-6	9-9	9-11	10-2	10-4	10-6	10-10
		790	860	920	980	1040	1090	1150	1200	1250	1310	1360	1410	1460	1550
	24.0	6-9	7-0	7-3	7-6	7-9	7-11	8-2	8-4	8-6	8-8	8-10	9-0	9-2	9-6
		900	980	1050	1120	1190	1250	1310	1380	1440	1500	1550	1610	1670	1780
2x8	12.0	11-3	11-8	12-1	12-6	12-10	13-2	13-6	13-10	14-2	14-5	14-8	15-0	15-3	15-9
		720	780	830	890	940	990	1040	1090	1140	1190	1230	1280	1320	1410
	16.0	10-2	10-7	11-0	11-4	11-8	12-0	12-3	12-7	12-10	13-1	13-4	13-7	13-10	14-3
		790	850	920	980	1040	1090	1150	1200	1250	1310	1360	1410	1460	1550
	24.0	8-11	9-3	9-7	9-11	10-2	10-6	10-9	11-0	11-3	11-5	11-8	11-11	12-1	12-6
		900	980	1050	1120	1190	1250	1310	1380	1440	1500	1550	1610	1670	1780
2x10	12.0	14-4	14-11	15-5	15-11	16-5	16-10	17-3	17-8	18-0	18-5	18-9	19-1	19-5	20-1
		720	780	830	890	940	990	1040	1090	1140	1190	1230	1280	1320	1410
	16.0	13-0	13-6	14-0	14-6	14-11	15-3	15-8	16-0	16-5	16-9	17-0	17-4	17-8	18-3
		790	850	920	980	1040	1090	1150	1200	1250	1310	1360	1410	1460	1550
	24.0	11-4	11-10	12-3	12-8	13-0	13-4	13-8	14-0	14-4	14-7	14-11	15-2	15-5	15-11
		900	980	1050	1120	1190	1250	1310	1380	1440	1500	1550	1610	1670	1780
2x12	12.0	17-5	18-1	18-9	19-4	19-11	20-6	21-0	21-6	21-11	22-5	22-10	23-3	23-7	24-5
		720	780	830	890	940	990	1040	1090	1140	1190	1230	1280	1320	1410
	16.0	15-10	16-5	17-0	17-7	18-1	18-7	19-1	19-6	19-11	20-4	20-9	21-1	21-6	22-2
		790	850	920	980	1040	1090	1150	1200	1250	1310	1360	1410	1460	1550
	24.0	13-10	14-4	14-11	15-4	15-10	16-3	16-8	17-0	17-5	17-9	18-1	18-5	18-9	19-4
		900	980	1050	1120	1190	1250	1310	1380	1440	1500	1550	1610	1670	1780

*Criterios: Carga viva de 40 lb/pie², carga muerta de 10 lb/pie², flecha por carga viva limitada a 1/360 del claro. El número indicado en cada renglón, abajo del claro, es el esfuerzo flexionante admisible requerido en lb/pulg².

Fuente: Reproducido del *Uniform Building Code*, edición de 1991 (referencia 3), con permiso de los editores, *International Conference of Building Officials*.

TABLA 8.2 Claros admisibles, en pies y pulgadas, para viguetas de cielo raso (cielo raso de paneles prefabricados)^a

Vigueta Dimensiones Separación (PULG) (PULG)		Módulo de elasticidad E , en 1 000 000 lb/pulg ²													
		0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.2
2x4	12.0	9-10	10-3	10-7	10-11	11-3	11-7	11-10	12-2	12-5	12-8	12-11	13-2	13-4	13-9
		710	770	830	880	930	980	1030	1080	1130	1180	1220	1270	1310	1400
	16.0	8-11	9-4	9-8	9-11	10-3	10-6	10-9	11-0	11-3	11-6	11-9	11-11	12-2	12-6
		780	850	910	970	1030	1080	1140	1190	1240	1290	1340	1390	1440	1540
	24.0	7-10	8-1	8-5	8-8	8-11	9-2	9-5	9-8	9-10	10-0	10-3	10-5	10-7	10-11
		900	970	1040	1110	1170	1240	1300	1360	1420	1480	1540	1600	1650	1760
2x6	12.0	15-6	16-1	16-8	17-2	17-8	18-2	18-8	19-1	19-6	19-11	20-3	20-8	21-0	21-8
		710	770	830	880	930	980	1030	1080	1130	1180	1220	1270	1310	1400
	16.0	14-1	14-7	15-2	15-7	16-1	16-6	16-11	17-4	17-8	18-1	18-5	18-9	19-1	19-8
		780	850	910	970	1030	1080	1140	1190	1240	1290	1340	1390	1440	1540
	24.0	12-3	12-9	13-3	13-8	14-1	14-5	14-9	15-2	15-6	15-9	16-1	16-4	16-8	17-2
		900	970	1040	1110	1170	1240	1300	1360	1420	1480	1540	1600	1650	1760
2x8	12.0	20-5	21-2	21-11	22-8	23-4	24-0	24-7	25-2	25-8	26-2	26-9	27-2	27-8	28-7
		710	770	830	880	930	980	1030	1080	1130	1180	1220	1270	1310	1400
	16.0	18-6	19-3	19-11	20-7	21-2	21-9	22-4	22-10	23-4	23-10	24-3	24-8	25-2	25-11
		780	850	910	970	1030	1080	1140	1190	1240	1290	1340	1390	1440	1540
	24.0	16-2	16-10	17-5	18-0	18-6	19-0	19-6	19-11	20-5	20-10	21-2	21-7	21-11	22-8
		900	970	1040	1110	1170	1240	1300	1360	1420	1480	1540	1600	1650	1760
2x10	12.0	26-0	27-1	28-0	28-11	29-9	30-7	31-4	32-1	32-9	33-5	34-1	34-8	35-4	36-5
		710	770	830	880	930	980	1030	1080	1130	1180	1220	1270	1310	1400
	16.0	23-8	24-7	25-5	26-3	27-1	27-9	28-6	29-2	29-9	30-5	31-0	31-6	32-1	33-1
		780	850	910	970	1030	1080	1140	1190	1240	1290	1340	1390	1440	1540
	24.0	20-8	21-6	22-3	22-11	23-8	24-3	24-10	25-5	26-0	26-6	27-1	27-6	28-0	28-11
		900	970	1040	1110	1170	1240	1300	1360	1420	1480	1540	1600	1650	1760

^a *Criterios:* carga viva de 10 lb/pie², carga muerta de 5 lb/pie², flecha por carga viva limitada a 1/240 del claro. El número indicado en cada renglón, abajo del claro, es el esfuerzo flexionante admisible mínimo requerido en lb/pulg².

Fuente: Reproducido del *Uniform Building Code*, edición de 1991, (referencia 3), con permiso de los editores, *International Conference of Building Officials*.

TABLA 8.3 Claros admisibles, en pies y pulgadas, para cables poco o muy inclinados (cielo raso de paneles prefabricados)*

Cable		Esfuerzo admisible a flexión en la fibra extrema F_b , (lb/pulg ²)														
Dimensiones (PULG)	Separación (PULG)	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900
2x6	12.0	8-6	9-4	10-0	10-9	11-5	12-0	12-7	13-2	13-8	14-2	14-8	15-2	15-8	16-1	16-7
		0.26	0.35	0.44	0.54	0.64	0.75	0.86	0.98	1.11	1.24	1.37	1.51	1.66	1.81	1.96
	16.0	7-4	8-1	8-8	9-4	9-10	10-5	10-11	11-5	11-10	12-4	12-9	13-2	13-7	13-11	14-4
		0.23	0.30	0.38	0.46	0.55	0.65	0.75	0.85	0.97	1.07	1.19	1.31	1.44	1.56	1.70
	24.0	6-0	6-7	7-1	7-7	8-1	8-6	8-11	9-4	9-8	10-0	10-5	10-9	11-1	11-5	11-8
		0.19	0.25	0.31	0.38	0.45	0.53	0.61	0.70	0.78	0.88	0.97	1.07	1.17	1.28	1.39
2x8	12.0	11-2	12-3	13-3	14-2	15-0	15-10	16-7	17-4	18-0	18-9	19-5	20-0	20-8	21-3	21-10
		0.26	0.35	0.44	0.54	0.64	0.75	0.86	0.98	1.11	1.24	1.37	1.51	1.66	1.81	1.96
	16.0	9-8	10-7	11-6	12-3	13-0	13-8	14-4	15-0	15-7	16-3	16-9	17-4	17-10	18-5	18-11
		0.23	0.30	0.38	0.46	0.55	0.65	0.75	0.85	0.96	1.07	1.19	1.31	1.44	1.56	1.70
	24.0	7-11	8-8	9-4	10-0	10-7	11-2	11-9	12-3	12-9	13-3	13-8	14-2	14-7	15-0	15-5
		0.19	0.25	0.31	0.38	0.45	0.53	0.61	0.70	0.78	0.88	0.97	1.07	1.17	1.28	1.39
2x10	12.0	14-3	15-8	16-11	18-1	19-2	20-2	21-2	22-1	23-0	23-11	24-9	25-6	26-4	27-1	27-10
		0.26	0.35	0.44	0.54	0.64	0.75	0.86	0.98	1.11	1.24	1.37	1.51	1.66	1.81	1.96
	16.0	12-4	13-6	14-8	15-8	16-7	17-6	18-4	19-2	19-11	20-8	21-5	22-1	22-10	23-5	24-1
		0.23	0.30	0.38	0.46	0.55	0.65	0.75	0.85	0.96	1.07	1.19	1.31	1.44	1.56	1.70
	24.0	10-1	11-1	11-11	12-9	13-6	14-3	15-0	15-8	16-3	16-11	17-6	18-1	18-7	19-2	19-8
		0.19	0.25	0.31	0.38	0.45	0.53	0.61	0.70	0.78	0.88	0.97	1.07	1.17	1.28	1.39
2x12	12.0	17-4	19-0	20-6	21-11	23-3	24-7	25-9	26-11	28-0	29-1	30-1	31-1	32-0	32-11	33-10
		0.26	0.35	0.44	0.54	0.64	0.75	0.86	0.98	1.11	1.24	1.37	1.51	1.66	1.81	1.96
	16.0	15-0	16-6	17-9	19-0	20-2	21-3	22-4	23-3	24-3	25-2	26-0	26-11	27-9	28-6	29-4
		0.23	0.30	0.38	0.46	0.55	0.65	0.75	0.85	0.97	1.07	1.19	1.31	1.44	1.56	1.70
	24.0	12-3	13-5	14-6	15-6	16-6	17-4	18-2	19-0	19-10	20-6	21-3	21-11	22-8	23-3	23-11
		0.19	0.25	0.31	0.38	0.45	0.53	0.61	0.70	0.78	0.88	0.97	1.07	1.17	1.28	1.39

**Criterios:* Carga viva de 20 lb/pie², carga muerta de 15 lb/pie², flecha por carga viva limitada a 1/240 del claro. El número indicado en cada renglón, abajo del claro, es el módulo de elasticidad mínimo requerido en unidades de 1 000 000 lb/pulg². Los claros se miden a lo largo de la proyección horizontal y las cargas se consideran aplicadas a lo largo de la proyección horizontal.

Fuente: Reproducido del *Uniform Building Code*, edición de 1991, (referencia 3), con permiso de los editores, *International Conference of Building Officials*.

25-U-J-1 de la edición de 1991 del *Uniform Building Code* (Reglamento de Construcción), que suministra claros admisibles para viguetas de piso, según los datos dados en el ejemplo 1 de la sección anterior. Con referencia a ese ejemplo, la tabla se usa como sigue:

1. Se consideran los valores de $F_b = 1\,006\text{ lb/pulg}^2$ y $E = 1\,600\,000\text{ lb/pulg}^2$ para la madera que se desea usar.
2. Con el valor de E , se entra a la tabla en la columna vertical, encabezada por 1.6 (para $E = 1\,600\,000\text{ lb/pulg}^2$). Obsérvense las siguientes posibilidades para un claro de 14 pies:

viguetas de 2×8 con centros a cada 12 pulg – claro de 14 pies 2 pulg
 viguetas de 2×10 a 24 pulg entre centros – claro de 14 pies 4 pulg

Así, si se conserva la separación deseada entre viguetas de 16 pulgadas, la elección debe ser para la 2×10 .

3. Si se acepta la separación de 16 pulgadas, observe en los renglones correspondientes a viguetas de 2×10 , con separación de 16 pulgadas, que el claro de 14 pies está en la columna encabezada por 1.0 (lo que indica un E mínimo requerido de $1\,000\,000\text{ lb/pulg}^2$).
4. Observe también que el renglón así indicado, muestra un valor del esfuerzo flexionante admisible mínimo requerido de 920 lb/pulg^2 .

Si las viguetas de 2×10 se usan con separaciones de 16 pulgadas, la clase de madera seleccionada es más que adecuada, como se verifica por los cálculos en la sección anterior.

Se dispone de tablas de claros para viguetas en muchas publicaciones, como las referencias 2, 3 y 4 de la bibliografía que se encuentra después del capítulo 16. Otras fuentes son *Architectural Graphic Standards* de Ramsey y Sleeper, Wiley, y *Design Values for Joists and Rafters* de la *National Forest Products Association*. Al igual que con cualesquiera datos de diseño tabulares, debe tenerse cuidado de conocer los criterios sobre los que se basan los datos de la tabla, especialmente, en este caso, los correspondientes a cargas vivas, carga muerta supuesta y limitación de la flecha.

Problema 8.6.A.

Se requieren viguetas para piso de abeto Douglas, de clase No. 2, para soportar una carga viva de 40 lb/pie^2 , sobre un claro de 14 pies. La carga muerta total es, aproximadamente, 10 lb/pie^2 y la flecha por carga viva está limitada a $1/360$ del claro. Determine: 1) las dimensiones y las separaciones requeridas para las viguetas más cortas (de menor peralte); 2) la dimensión requerida de vigueta si la separación es de 24 pulgadas (úsense sólo separaciones de 12, 16 y 24 pulgadas). Utilice la tabla 8.1 para resolver este problema.

Problema 8.6.B.

Ejecute los cálculos como en el ejemplo 1 de la sección 8.6, para confirmar las selecciones del problema 8.6.A.

Problema 8.6.C.

Para las viguetas seleccionadas en la parte (2) del problema 8.6.A., analice si las viguetas son adecuadas para soportar, a la mitad del claro, un muro divisorio que es perpendicular a las viguetas y pesa 140 lb/pie de longitud de muro, además de la carga de piso dada en el problema 8.6.A.

8.7 VIGUETAS PARA CIELOS RASOS

Los cielos rasos se construyen de varias maneras; tres formas comunes son las construcciones con listonado y enlucido, paneles prefabricados de cartón y yeso y de tableros modulados ligados a un entramado suspendido. El soporte de un cielo raso se logra ligándolo directamente a la estructura superior (como se muestra en la figura 8.5), suspendiéndolo de la estructura superior, o mediante un conjunto independiente de viguetas de cielo raso. Si se crea un espacio grande para ático, entre un cielo raso y la estructura arriba de éste, es necesario diseñar los apoyos del cielo raso como viguetas para piso, previendo que se llegue a utilizar como bodega este espacio. Cuando el espacio está limitado a sólo unos cuantos pies, los reglamentos requieren generalmente, sólo una carga viva mínima. En la tabla 8.2 del *Uniform Building Code* se establece una carga viva de sólo 10 lb/pie².

Para cielos rasos con revoque, el peralte de las viguetas del cielo raso debe seleccionarse en forma conservadora para minimizar la flecha. Aunque el pandeo siempre es visualmente objetable en una estructura que se coloca en la parte superior, que cubre un claro, el agrietamiento del enlucido es un punto determinante debido a que el reemplazo es muy costoso.

La tabla 8.3 es una reproducción de la tabla 25-U-J-6 del *Uniform Building Code* (referencia 3), y proporciona claros para viguetas de cielo raso, con construcción de paneles prefabricados y una carga viva de 10 lb/pulg². La organización de la tabla es similar a la de la tabla 8.1 y el procedimiento para su uso es el mismo que el descrito en la sección 8.6.

Problema 8.7.A, B, C.

Con los siguientes datos, seleccione viguetas para cielo raso de abeto Douglas, de clase No. 2, de la tabla 8.2.

	Separación de las viguetas	Clase de la madera	Claro
A	16 pulgadas	No. 2	12 pies
B	16 pulgadas	No. 3	14 pies
C	24 pulgadas	No. 2	18 pies

8.8 CABIOS

Los *cabios* son las vigas pequeñas, poco separadas entre sí, que soportan la carga de las techumbres inclinadas. El claro de un cabio se mide a lo largo de su proyección horizontal, como se indica en la figura 8.7. Aunque las líneas de dimensión en la figura indican la distancia entre centros de los apoyos, es práctica común considerar el claro como la distancia libre entre apoyos, cuando se diseñan cabios con separación entre centros no mayor a 24 pulgadas.

La carga muerta que se debe soportar consta del peso de los cabios, la falsa cubierta (cubierta del techo) y el revestimiento de la techumbre, como tejamaniles, tejas, o el techado prearmado. La carga viva en los techos inclinados es la carga que resulta del viento y de la nieve.

La carga de nieve es vertical y la cantidad de su acumulación depende de la inclinación del techo; la nieve tiende a deslizarse en los techos empinados pero puede acumularse en techos planos. La acción del viento produce cargas con una componente horizontal; y debido a que se acostumbra considerar que el viento actúa en una dirección perpendicular a la superficie de la techumbre, la magnitud de la presión del viento es menor a medida que se reduce la inclinación de la techumbre. En general, no es razonable esperar que se presenten

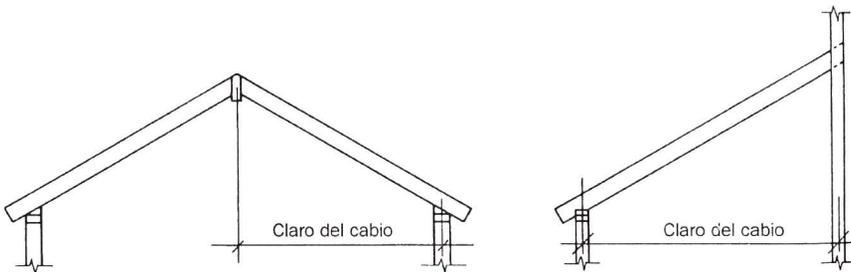


Figura 8.7 Claro de cabios inclinados.

TABLA 8.4 Claros admisibles, en pies y pulgadas, para cables poco o muy inclinados, con cielo raso de paneles prefabricados*

Cable		Esfuerzo admisible a flexión en la fibra extrema F_b , (lb/pulg ²)														
Dimensiones Separación (PULG) (PULG)		500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900
2x6	12.0	7-6 0.27	8-2 0.36	8-10 0.45	9-6 0.55	10-0 0.66	10-7 0.77	11-1 0.89	11-7 1.01	12-1 1.14	12-6 1.28	13-0 1.41	13-5 1.56	13-10 1.71	14-2 1.86	14-7 2.02
	16.0	6-6 0.24	7-1 0.31	7-8 0.39	8-2 0.48	8-8 0.57	9-2 0.67	9-7 0.77	10-0 0.88	10-5 0.99	10-10 1.10	11-3 1.22	11-7 1.35	11-11 1.48	12-4 1.61	12-8 1.75
	24.0	5-4 0.19	5-10 0.25	6-3 0.32	6-8 0.39	7-1 0.46	7-6 0.54	7-10 0.63	8-2 0.72	8-6 0.81	8-10 0.90	9-2 1.00	9-6 1.10	9-9 1.21	10-0 1.31	10-4 1.43
2x8	12.0	9-10 0.27	10-10 0.36	11-8 0.45	12-6 0.55	13-3 0.66	13-11 0.77	14-8 0.89	15-3 1.01	15-11 1.14	16-6 1.28	17-1 1.41	17-8 1.56	18-2 1.71	18-9 1.86	19-3 2.02
	16.0	8-7 0.24	9-4 0.31	10-1 0.39	10-10 0.48	11-6 0.57	12-1 0.67	12-8 0.77	13-3 0.88	13-9 0.99	14-4 1.10	14-10 1.22	15-3 1.35	15-9 1.48	16-3 1.61	16-8 1.75
	24.0	7-0 0.19	7-8 0.25	8-3 0.32	8-10 0.39	9-4 0.46	9-10 0.54	10-4 0.63	10-10 0.72	11-3 0.81	11-8 0.90	12-1 1.00	12-6 1.10	12-10 1.21	13-3 1.31	13-7 1.43
2x10	12.0	12-7 0.27	13-9 0.36	14-11 0.45	15-11 0.55	16-11 0.66	17-10 0.77	18-8 0.89	19-6 1.01	20-4 1.14	21-1 1.28	21-10 1.41	22-6 1.56	23-3 1.71	23-11 1.86	24-6 2.02
	16.0	10-11 0.24	11-11 0.31	12-11 0.39	13-9 0.48	14-8 0.57	15-5 0.67	16-2 0.77	16-11 0.88	17-7 0.99	18-3 1.10	18-11 1.22	19-6 1.35	20-1 1.48	20-8 1.61	21-3 1.75
	24.0	8-11 0.19	9-9 0.25	10-6 0.32	11-3 0.39	11-11 0.46	12-7 0.54	13-2 0.63	13-9 0.72	14-4 0.81	14-11 0.90	15-5 1.00	15-11 1.10	16-5 1.21	16-11 1.31	17-4 1.43
2x12	12.0	15-4 0.27	16-9 0.36	18-1 0.45	19-4 0.55	20-6 0.66	21-8 0.77	22-8 0.89	23-9 1.01	24-8 1.14	25-7 1.28	26-6 1.41	27-5 1.56	28-3 1.71	29-1 1.86	29-10 2.02
	16.0	13-3 0.24	14-6 0.31	15-8 0.39	16-9 0.48	17-9 0.57	18-9 0.67	19-8 0.77	20-6 0.88	21-5 0.99	22-2 1.10	23-0 1.22	23-9 1.35	24-5 1.48	25-2 1.61	25-10 1.75
	24.0	10-10 0.19	11-10 0.25	12-10 0.32	13-8 0.39	14-6 0.46	15-4 0.54	16-1 0.63	16-9 0.72	17-5 0.81	18-1 0.90	18-9 1.00	19-4 1.10	20-0 1.21	20-6 1.31	21-1 1.43

*Criterios: Carga viva de 30 lb/pie², carga muerta de 15 lb/pie², flecha por carga viva limitada a 1/240 del claro. El número indicado en cada renglón, abajo del claro, es el módulo de elasticidad mínimo requerido en unidades de 1 000 000 lb/pulg². Los claros se miden a lo largo de la proyección horizontal y las cargas se consideran aplicadas a lo largo de la proyección horizontal.

Fuente: Reproducido del *Uniform Building Code*, edición de 1991, (referencia 3), con permiso de los editores, *International Conference of Building Officials*.

TABLA 8.5 Claros admisibles, en pies y pulgadas, para cabios con poca inclinación, pendiente de 3 en 12 o menor (sin cielo raso)^a

Cabio		Esfuerzo admisible a flexión en la fibra extrema F_b , (lb/pulg ²)														
Dimensiones Separación	(PULG)	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900
2x6	12.0	9-2 0.33	10-0 0.44	10-10 0.55	11-7 0.67	12-4 0.80	13-0 0.94	13-7 1.09	14-2 1.24	14-9 1.40	15-4 1.56	15-11 1.73	16-5 1.91	16-11 2.09	17-5 2.28	17-10 2.47
	16.0	7-11 0.29	8-8 0.38	9-5 0.48	10-0 0.58	10-8 0.70	11-3 0.82	11-9 0.94	12-4 1.07	12-10 1.21	13-3 1.35	13-9 1.50	14-2 1.65	14-8 1.81	15-1 1.97	15-6 2.14
	24.0	6-6 0.24	7-1 0.31	7-8 0.39	8-2 0.48	8-8 0.57	9-2 0.67	9-7 0.77	10-0 0.88	10-5 0.99	10-10 1.10	11-3 1.22	11-7 1.35	11-11 1.48	12-4 1.61	12-8 1.75
2x8	12.0	12-1 0.33	13-3 0.44	14-4 0.55	15-3 0.67	16-3 0.80	17-1 0.94	17-11 1.09	18-9 1.24	19-6 1.40	20-3 1.56	20-11 1.73	21-7 1.91	22-3 2.09	22-11 2.28	23-7 2.47
	16.0	10-6 0.29	11-6 0.38	12-5 0.48	13-3 0.58	14-0 0.70	14-10 0.82	15-6 0.94	16-3 1.07	16-10 1.21	17-6 1.35	18-2 1.50	18-9 1.65	19-4 1.81	19-10 1.97	20-5 2.14
	24.0	8-7 0.24	9-4 0.31	10-1 0.39	10-10 0.48	11-6 0.57	12-1 0.67	12-8 0.77	13-3 0.88	13-9 0.99	14-4 1.10	14-10 1.22	15-3 1.35	15-9 1.48	16-3 1.61	16-8 1.75
2x10	12.0	15-5 0.33	16-11 0.44	18-3 0.55	19-6 0.67	20-8 0.80	21-10 0.94	22-10 1.09	23-11 1.24	24-10 1.40	25-10 1.56	26-8 1.73	27-7 1.91	28-5 2.09	29-3 2.28	30-1 2.47
	16.0	13-4 0.29	14-8 0.38	15-10 0.48	16-11 0.58	17-11 0.70	18-11 0.82	19-10 0.94	20-8 1.07	21-6 1.21	22-4 1.35	23-2 1.50	23-11 1.65	24-7 1.81	25-4 1.97	26-0 2.14
	24.0	10-11 0.24	11-11 0.31	12-11 0.39	13-9 0.48	14-8 0.57	15-5 0.67	16-2 0.77	16-11 0.88	17-7 0.99	18-3 1.10	18-11 1.22	19-6 1.35	20-1 1.48	20-8 1.61	21-3 1.75
2x12	12.0	18-9 0.33	20-6 0.44	22-2 0.55	23-9 0.67	25-2 0.80	26-6 0.94	27-10 1.09	29-1 1.24	30-3 1.40	31-4 1.56	32-6 1.73	33-6 1.91	34-7 2.09	35-7 2.28	36-7 2.47
	16.0	16-3 0.29	17-9 0.38	19-3 0.48	20-6 0.58	21-9 0.70	23-0 0.82	24-1 0.94	25-2 1.07	26-2 1.21	27-2 1.35	28-2 1.50	29-1 1.65	29-11 1.81	30-10 1.97	31-8 2.14
	24.0	13-3 0.24	14-6 0.31	15-8 0.39	16-9 0.48	17-9 0.57	18-9 0.67	19-8 0.77	20-6 0.88	21-5 0.99	22-2 1.10	23-0 1.22	23-9 1.35	24-5 1.48	25-2 1.61	25-10 1.75

^a **Crterios:** Carga viva de 20 lb/pie², carga muerta de 10 lb/pie², flecha por carga viva limitada a 1/240 del claro. El número indicado en cada renglón, abajo del claro, es el módulo de elasticidad mínimo requerido en unidades de 1 000 000 lb/pulg². Los claros se miden a lo largo de la proyección horizontal y las cargas se consideran aplicadas a lo largo de la proyección horizontal.

Fuente: Reproducido del Uniform Building Code, edición de 1991, (referencia 3), con permiso de los editores, International Conference of Building Officials.

para techo*

Cambio		Esfuerzo admisible a flexión en la fibra extrema F_b , (lb/pulg ²)														
Dimensiones (PULG)	Separación (PULG)	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900
2x4	12.0	6-2	6-9	7-3	7-9	8-3	8-8	9-1	9-6	9-11	10-3	10-8	11-0	11-4	11-8	12-0
		0.29	0.38	0.49	0.59	0.71	0.83	0.96	1.09	1.23	1.37	1.52	1.68	1.84	2.00	2.17
	16.0	5-4	5-10	6-4	6-9	7-2	7-6	7-11	8-3	8-7	8-11	9-3	9-6	9-10	10-1	10-5
		0.25	0.33	0.42	0.51	0.61	0.72	0.83	0.94	1.06	1.19	1.32	1.45	1.59	1.73	1.88
	24.0	4-4	4-9	5-2	5-6	5-10	6-2	6-5	6-9	7-0	7-3	7-6	7-9	8-0	8-3	8-6
		0.21	0.27	0.34	0.42	0.50	0.59	0.68	0.77	0.87	0.97	1.08	1.19	1.30	1.41	1.53
2x6	12.0	9-8	10-7	11-5	12-3	13-0	13-8	14-4	15-0	15-7	16-2	16-9	17-3	17-10	18-4	18-10
		0.29	0.38	0.49	0.59	0.71	0.83	0.96	1.09	1.23	1.37	1.52	1.68	1.84	2.00	2.17
	16.0	8-4	9-2	9-11	10-7	11-3	11-10	12-5	13-0	13-6	14-0	14-6	15-0	15-5	15-11	16-4
		0.25	0.33	0.42	0.51	0.61	0.72	0.83	0.94	1.06	1.19	1.32	1.45	1.59	1.73	1.88
	24.0	6-10	7-6	8-1	8-8	9-2	9-8	10-2	10-7	11-0	11-5	11-10	12-3	12-7	13-0	13-4
		0.21	0.27	0.34	0.42	0.50	0.59	0.68	0.77	0.87	0.97	1.08	1.19	1.30	1.41	1.53
2x8	12.0	12-9	13-11	15-1	16-1	17-1	18-0	18-11	19-9	20-6	21-4	22-1	22-9	23-6	24-2	24-10
		0.29	0.38	0.49	0.59	0.71	0.83	0.96	1.09	1.23	1.37	1.52	1.68	1.84	2.00	2.17
	16.0	11-0	12-1	13-1	13-11	14-10	15-7	16-4	17-1	17-9	18-5	19-1	19-9	20-4	20-11	21-6
		0.25	0.33	0.42	0.51	0.61	0.72	0.83	0.94	1.06	1.19	1.32	1.45	1.59	1.73	1.88
	24.0	9-0	9-10	10-8	11-5	12-1	12-9	13-4	13-11	14-6	15-1	15-7	16-1	16-7	17-1	17-7
		0.21	0.27	0.34	0.42	0.50	0.59	0.68	0.77	0.87	0.97	1.08	1.19	1.30	1.41	1.53
2x10	12.0	16-3	17-10	19-3	20-7	21-10	23-0	24-1	25-2	26-2	27-2	28-2	29-1	30-0	30-10	31-8
		0.29	0.38	0.49	0.59	0.71	0.83	0.96	1.09	1.23	1.37	1.52	1.68	1.84	2.00	2.17
	16.0	14-1	15-5	16-8	17-10	18-11	19-11	20-10	21-10	22-8	23-7	24-5	25-2	25-11	26-8	27-5
		0.25	0.33	0.42	0.51	0.61	0.72	0.83	0.94	1.06	1.19	1.32	1.45	1.59	1.73	1.88
	24.0	11-6	12-7	13-7	14-6	15-5	16-3	17-1	17-10	18-6	19-3	19-11	20-7	21-2	21-10	22-5
		0.21	0.27	0.34	0.42	0.50	0.59	0.68	0.77	0.87	0.97	1.08	1.19	1.30	1.41	1.53

*Criterios: Carga viva de 20 lb/pie², carga muerta de 7 lb/pie², flecha por carga viva limitada a 1/180 del claro. El número indicado en cada renglón, abajo del claro, es el módulo de elasticidad mínimo requerido en unidades de 1 000 000 lb/pulg². Los claros se miden a lo largo de la proyección horizontal y las cargas se consideran aplicadas a lo largo de la proyección horizontal.

Fuente: Reproducido del *Uniform Building Code*, edición de 1991, (referencia 3), con permiso de los editores, *International Conference of Building Officials*.

a la vez, en una techumbre, cargas completas de nieve y viento. Si el viento soplara con suficiente fuerza para producir la presión máxima a partir de la cual la techumbre está diseñada, gran parte de la nieve sería dispersada. Estas y otras consideraciones han conducido a usar una *carga vertical equivalente* para representar las cargas combinadas de nieve y viento en las cubiertas de cabios. Algunos reglamentos de construcción especifican que la carga vertical equivalente se considere uniformemente distribuida sobre el área real de la superficie de la techumbre, en tanto que otros establecen valores que permiten la proyección horizontal del área (como con los claros de los cabios) que se debe usar.

El diseño de cabios para cubrir claros cortos se hace, principalmente, con tablas de carga-claro. Además de las variables acostumbradas, se debe considerar el ángulo de inclinación de los cabios. En las tablas 8.3 a 8.6 se presentan datos de diseño para cuatro situaciones comunes; son reproducciones de una serie presentada en el *Uniform Building Code* (referencia 3). Por diferentes razones, la organización de las tablas es un poco diferente a la de las tablas para viguetas que se muestran en las secciones anteriores. En este caso, el encabezado de las columnas de las tablas es el esfuerzo flexionante admisible, y el correspondiente módulo de elasticidad mínimo requerido se da en cada renglón. Sin embargo, el procedimiento para su uso es, esencialmente, el mismo que el que se explica en la sección 8.6.

En muchos casos, es posible usar un aumento en el esfuerzo flexionante admisible basado en la duración de la carga, como se explica en la sección 4.3. Si el reglamento de construcción lo permite, la modificación se debe hacer sobre el valor obtenido de la tabla 4.1 y entonces deberá usarse el valor modificado en las tablas de claros. Sin embargo, el módulo de elasticidad no se modifica en estos casos.

Se debe tener cuidado en usar la tabla con los criterios apropiados, sin olvidar los de la inclinación de la techumbre, carga viva y construcción del cielo raso. Como se mencionó en el caso de las tablas de claros para cabios, se dispone de tabulaciones extensas en diferentes publicaciones, incluyendo las referencias 2, 3 y 4 en la bibliografía de este libro.

Problema 8.8.A.

Con ayuda de la tabla 8.3, seleccione el tamaño mínimo de cabio para un claro de 18 pies, si los cabios están separados 16 pulgadas, de centro a centro, y la madera es abeto Douglas, clase No. 2.

Problema 8.8.B.

Con ayuda de la tabla 8.4, seleccione el tamaño mínimo de cabio para un claro de 20 pies, si los cabios están separados 16 pulgadas, de centro a centro, y la madera es abeto Douglas, clase No. 1.

Problema 8.8.C.

Con el uso de la tabla 8.5, seleccione el cabio de tamaño mínimo para un claro de 24 pies, si los cabios están a 16 pulgadas, centro a centro, y la clase de madera es abeto Douglas, clase No. 1.

