
CAPITULO II

2. CAPACIDAD RESISTENTE A FLEXIÓN

2.1. GENERALIDADES

Las traveses armadas son vigas fabricadas con placas de acero de alma muy delgada para bajar el peso y costo del elemento; se utilizan cuando se requiere un módulo de sección más grande del que se puede obtener en cualquier viga laminada. Por lo general, se deben reforzar las almas de las traveses armadas en los puntos donde haya cargas concentradas por medio de atiesadores de apoyo para lograr una distribución de las cargas al alma; se pueden añadir atiesadores intermedios para incrementar la resistencia contra el pandeo y mejorar la eficiencia del alma para resistir los esfuerzos.

Con la ayuda de los atiesadores se pueden cubrir claros más grandes y mantener un espesor pequeño del alma. El cálculo de la resistencia de éstos es similar al estudio de una columna sujeta a compresión.

“La mayoría de los puentes carreteros de acero, construidos actualmente para claros menores de unos 80 pies (24 m), son puentes de vigas laminadas de acero. Para claros mayores, las traveses armadas de alma llena empiezan a competir económicamente con buenas perspectivas. Donde las cargas son extremadamente grandes, como para los puentes ferroviarios, las vigas de alma llena compiten para claros tan cortos como son 45 ó 50 pies (13.72 a 15.24m)”.¹

¹ Jack C. McCormac, 1972, *Diseño de Estructuras Metálicas*, Representaciones y Servicios de Ingeniería, México.

El límite superior económico de los claros en traveses armados de alma llena depende de varios factores, incluyéndose: si el puente es simple o continuo, si se trata de un puente carretero o ferroviario, del tramo más grande que puede embarcarse en una pieza, etc.

Las diferencias principales entre el diseño de una viga laminada y el diseño de una trabe armada son la mayor libertad para dimensionar la sección transversal de una trabe armada y el hecho de que el peralte mayor de la trabe armada con frecuencia da como resultado almas relativamente delgadas que hacen que los problemas de pandeo del alma sean más importantes.

Para que el miembro que se analiza sea aceptado como trabe armada, debe cumplir con la ecuación 2.1; en caso contrario, se tomará como una viga.

$$\frac{h}{t_w} > \frac{970}{\sqrt{F_y}} \quad 2.1$$

donde:

h : Altura del alma.

t_w : Espesor del alma.

Las traveses armados son miembros estructurales que soportan cargas transversales y quedan por lo tanto sometidas a flexión y cortante.

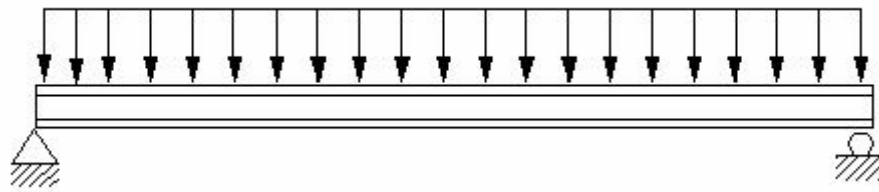


Figura 2.1 Trabe simplemente apoyada.

2.2. RESISTENCIA POR FLEXIÓN

La capacidad resistente a flexión depende básicamente de la altura del alma y del área de los patines.

“Una condición que puede limitar las proporciones de la trabe así como su resistencia a la flexión, es el tamaño máximo que puede ser fabricado en el taller y embarcado a la obra, pues podría haber problema de transportación a causa de la altura libre. Las trabes de menor peralte probablemente se utilizarán cuando las cargas sean ligeras, y las de mayor peralte cuando se necesita soportar grandes cargas concentradas, como las concentraciones debidas a columnas en edificios altos. “(Ref.¹).

Una trabe armada puede fallar por flexión por varias causas. A continuación se muestra una lista de las fallas por flexión:

1. La trabe puede fallar por cedencia de las fibras extremas. Cuando el punto de fluencia es alcanzado en las fibras, la deflexión de la viga aumenta rápidamente con respecto al aumento de carga.
2. En una trabe de claro grande la falla puede ser por inestabilidad lateral, como en una columna.
3. La falla de miembros delgados puede ocurrir debido a esfuerzos por cortante excesivos en el alma.

La resistencia de diseño por flexión de las trabes armadas viene dada por la ecuación 2.2:

$$R_n = \phi_b M_n \tag{2.2}$$

donde:

$\phi_b = 0.9$ Factor de reducción de resistencia.

M_n = Momento nominal resistente.

Para el diseño por flexión, en primer lugar, se determina la capacidad de la trabe de acuerdo a la fluencia del patín de tensión. Una vez analizado este primer punto, se llevará, como segunda parte del proceso de resistencia, el referido al pandeo del patín a compresión. La resistencia por pandeo del patín de compresión se determinará por el pandeo local (PLP) o por el pandeo lateral torsional (PLT) de cualquiera de los dos patines.

2.3. FLUENCIA DEL PATÍN EN TENSIÓN

Las secciones compuestas por placas son consideradas como trabes armadas, pero las especificaciones del AISC distinguen las vigas de las trabes armadas con base a la razón de ancho-espesor del alma. Hay que tener en cuenta que la mayoría de las secciones compuestas se clasifican como trabes armadas, pero algunos son vigas de acuerdo con la definición del AISC.

Para las trabes armadas, el esfuerzo máximo de flexión en un miembro flexionado respecto a su eje mayor esta dado por la ecuación 2.3.

$$f_b = \frac{M}{S_x} \quad 2.3$$

de la cual, despejando el momento flexionante, se obtiene la ecuación 2.4.

$$M = S_x f_b \quad 2.4$$

Con base a las ecuaciones, se utiliza las normas del Apéndice G2 del AISC, con lo cual se puede dar la resistencia nominal por flexión como se muestra en la ecuación 2.5:

$$M_n = S_x R_e F_y \quad 2.5$$

donde:

S_x = Módulo de sección elástico referido al lado de tensión.

R_e = Factor de trabe híbrida.

F_y = Esfuerzo de fluencia del patín de tensión.

2.4. PANDEO DEL PATÍN EN COMPRESIÓN

La resistencia nominal por flexión correspondiente al pandeo del patín de compresión se basa en la ecuación 2.6.

$$M_n = S_{xc} R_{PG} R_e F_{cr} \quad 2.6$$

donde:

F_{cr} = Representa el esfuerzo crítico del patín de compresión.

Este esfuerzo crítico del patín a compresión se determina mediante la previa obtención de algunos parámetros establecidos en el AISC a través de las ecuaciones 2.7, 2.8 y 2.9.

$$\lambda = \frac{L_b}{r_T} \quad 2.7$$

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

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

donde:

L_b = Longitud no soportada lateralmente.

F_y = Esfuerzo de fluencia.

r_T = Radio de giro con respecto al eje débil de la trabe armada.

Los parámetros $\lambda, \lambda_p, \lambda_r$ representan los diferentes rangos para la obtención de los diferentes esfuerzos críticos, F_{cr} , mientras tanto debemos mencionar que para el pandeo lateral torsional, se usa la esbeltez de una porción de la región a compresión de la trabe armada.

Si $\lambda \leq \lambda_p$, la falla será por fluencia y se utiliza la ecuación 2.10 para F_{cr} .

$$F_{cr} = F_y \quad 2.10$$

Si $\lambda_p < \lambda \leq \lambda_r$, la falla será por PLT inelástico; F_{cr} se obtiene con la ecuación 2.11.

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

Si $\lambda > \lambda_r$, la falla será por PLT elástico; F_{cr} cumple la ecuación 2.12.

$$F_{cr} = \frac{286,000C_b}{\lambda^2} \quad 2.12$$

Por otro lado, si se desea obtener los valores para el pandeo por compresión del patín basado en el pandeo local del patín, la razón relevante entre ancho-espesor y sus límites vienen dados por las ecuaciones 2.13, 2.14 y 2.15.

$$\lambda = \frac{b_f}{2t_f} \quad 2.13$$

$$\lambda_p = \frac{65}{\sqrt{F_{yf}}} \quad 2.14$$

$$\lambda_r = \frac{230}{\sqrt{\frac{F_y}{K_c}}} \quad 2.15$$

donde:

$$K_c = \frac{4}{\sqrt{\frac{h}{t_w}}}; \text{ para } 0.35 \leq K_c \leq 0.763 \quad 2.16$$

Así pues:

Si $\lambda \leq \lambda_p$, la falla será por fluencia y:

$$F_{cr} = F_y \quad 2.17$$

Si $\lambda_p < \lambda \leq \lambda_r$, la falla será por PLP inelástico y:

$$F_{cr} = C_b F_y \left[1 - \frac{1}{2} \left(\frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \right) \right] \leq F_y \quad 2.18$$

Si $\lambda > \lambda_r$, la falla será por PLP elástico y:

$$F_{cr} = \frac{26,200K_c}{\lambda^2} \quad 2.19$$

El valor crítico que se va a tomar en cuenta para el diseño de la trabe armada será siempre el valor más bajo.

“Si el alma de una trabe armada es muy esbelta, el patín de compresión estará sujeto a un posible pandeo en el plano vertical debido a un esfuerzo menor que el esfuerzo de fluencia. El estudio de este fenómeno nos demuestra que el patín de compresión es una viga columna, soportada de manera continua por los atiesadores verticales, cuya estabilidad depende del espaciamiento entre atiesadores y la rigidez relativa del patín y el alma”.²

Sin embargo, este análisis será eliminado en su consideración por las limitaciones impuestas por la ecuación 2.20 y 2.21:

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

$$\frac{h}{t_w} \leq \frac{2000}{\sqrt{F_{yf}}} \quad 2.20$$

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

$$\frac{h}{t_w} \leq \frac{14,000}{\sqrt{F_{yf}(F_{yf} + 16.5)}} \quad 2.21$$

donde:

a = Distancia libre entre los atiesadores.

Un resumen del procedimiento anterior se indica en el siguiente diagrama de flujo.

² Edwin H. Gaylord, *Diseño de Estructuras de Acero*, Continental, México.

2.5. DIAGRAMA DE FLUJO

