7. INTRODUCCIÓN AL DISEÑO DE MIEMBROS SUJETOS A ESFUERZOS DE FLEXOCOMPRESIÓN

7.1 Vigas columna

La mayor parte de los miembros estructurales tales como vigas y columnas, se encuentran sujetos a una combinación de esfuerzos por flexión y carga axial. Las columnas que forman parte de una estructura deben soportar, casi siempre, momentos flexionanes así como sus cargas usuales de comprensión. En los miembros sujetos a tensión, los momentos flexionantes no resultan tan peligrosos como en los miembros sujetos a compresión; esto se debe a que la tensión tiende a reducir las deflexiones laterales. Los miembros sujetos a flexotensión deben de ser suficientemente rígidos para impedir las deflexiones laterales excesivas que puedan llegar a presentarse.

Como en los casos explicados anteriormente se encuentra implicada más de un tipo de resistencia, se recurre a la utilización de las llamadas fórmulas de interacción donde la siguiente ecuación es la base para las formulaciones aprobadas por el AISC para miembros sometidos a flexión más carga de compresión axial.

$$\frac{P_u}{\phi_c \cdot P_n} + \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b \cdot M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b \cdot M_{ny}} \right) \leq 1.0 \qquad (7.1)$$

donde:

P_u .- Carga de compresión axial factorizada.

$\phi_c \cdot P_n$.- Resistencia de diseño por compresión

M_u .- Momento flexionante factorizado

$\phi_c \cdot M_n$.- Momento de diseño

Los subíndices "x" y "y" se refieren a la flexión respecto a los ejes "x" y "y".

En el AISIC se presentan dos formulaciones dentro de sus especificaciones, una en caso de que la carga axial sea pequeña y otra en caso de que la carga axial sea grande. A continuación se presentan las ecuaciones para cada caso.

Para $\frac{P_u}{\phi_c \cdot P_n} \geq 0.20$ se usará:

$$\frac{P_u}{\phi_c \cdot P_n} + \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b \cdot M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b \cdot M_{ny}} \right) \cdot \frac{8}{9} \leq 1.0 \qquad (7.2)$$

Para $\frac{P_u}{\phi_c \cdot P_n} < 0.20$ se usará:

$$\frac{P_u}{2 \cdot \phi_c \cdot P_n} + \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b \cdot M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b \cdot M_{ny}} \right) \leq 1.0 \qquad (7.3)$$

Al realizar una revisión de un elemento viga-columna, también se debe tener en cuenta el posible pandeo local del alma que se producirá si el alma de la sección analizada no es compacta. Para esta revisión se recurre a los siguientes conceptos.

Definiendo:

$$\lambda = \frac{h}{t_w} \qquad (7.4)$$

Donde:

h .- Peralte del alma de punta a punta de filetes de los patines en un perfil laminado, peralte del alma de paño a paño interior de los patines de un perfil soldado.

t_w: Espesor del alma del perfil estudiado.

Se considera como perfil compacto sí:

$$\lambda \leq \lambda_p \qquad (7.5)$$

Se considera un perfil no compacto sí:

$$\lambda_p < \lambda \leq \lambda_r \qquad (7.6)$$

Se considera un perfil esbelto sí:

$$\lambda > \lambda r \qquad (7.7)$$

Donde:

Si se cumple que $\frac{P_u}{\phi_b \cdot P_y} \leq 0.125$, entonces:

$$\lambda_p = \frac{640}{\sqrt{F_y}} \cdot \left(1 - \frac{2.75 \cdot P_u}{\phi_b \cdot P_y}\right) \tag{7.8}$$

Si, por el contrario, se cumple: $\frac{P_u}{\phi_b \cdot P_y} > 0.125$, entonces:

$$\lambda_p = \frac{191}{\sqrt{F_y}} \cdot \left(2.33 - \frac{P_u}{\phi_b \cdot P_y}\right) \tag{7.9}$$

El valor utilizado en P_y es simplemente la carga axial requerida para alcanzar el estado límite de fluencia del perfil.

$$P_y = A_g \cdot F_y \tag{7.10}$$

Se define análisis de primer orden a los métodos de análisis estructural ordinarios que no toman en cuenta las deformaciones, existen procedimientos numéricos iterativos que pueden emplearse para encontrar las deflexiones y estos momentos secundarios (ver **Figura 7-1**). Estos procedimientos, llamados análisis de segundo orden, requieren de procedimientos de cálculo muy elaborados. Existe otro método el cuál es aprobado por la mayoría de los reglamentos de diseño, el cuál es conocido como amplificación de momento, que resulta de calcular el momento flexionante máximo producido por las cargas de flexión por medio de un análisis sencillo de primer orden, para luego multiplicar este valor por un factor de amplificación de momento que implícitamente considerará al momento secundario.

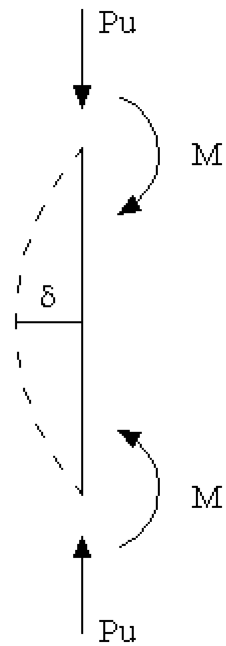

Figura 7-1 Viga columna sujeta a flexo compresión

Como se puede apreciar en la figura **Figura 7-1**, el momento M que genera la flexión en este elemento, se verá incrementado por un segundo momento $\delta \cdot P_u$. Usando los factores de amplificación de momento, se estimará el efecto producido por $\delta \cdot P_u$. De la misma manera, así como se debe considerar el factor de amplificación de momento de una columna arriostrada contra ladeo (es decir, debido a la deflexión del miembro), de la misma forma se debe considerar un factor que considere el efecto de desplazamiento lateral cuando el miembro no es parte de un marco arriostrado. En este caso se genera un momento secundario cuyo máximo valor es $P_u \cdot \Delta$. Esto se ilustra en la **Figura 7.2**.

Los factores B_1 y B_2 servirán entonces para aproximar estos dos tipos de momentos; por lo tanto, el momento de diseño M_u se definirá como:

$$M_u = B_1 \cdot M_{nt} + B_2 \cdot M_{tl} \qquad (7.11)$$

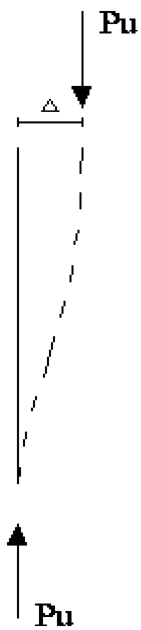

Figura 7-2 Consideración de desplazamiento lateral

donde:

M_{nt} .- Momento máximo resultante de un análisis de primer orden donde el marco se supone arriostrado de manera que no puede ladearse (nt se refiere a no traslación).

M_{tl} .- Momento máximo causado por desplazamiento lateral que puede ser causado por cargas laterales o por cargas de gravedad no balanceadas y será cero si el marco se encuentra arriostrado (tl se refiere a traslación lateral).

B_1 .- Factor de amplificación para momentos que ocurren en el miembro cuando este se encuentra arriostrado contra el desplazamiento lateral.

B_2 .- Factor de amplificación para los momentos que se deben al desplazamiento lateral.

El momento máximo que se presenta en una viga columna depende de la distribución del momento flexionante a lo largo del miembro. Esta variación se considera con el factor (C_m), el cuál se incluye en la expresión donde se define B_1. Este término (C_m) solo se aplica a la condición arriostrada.

El propósito de C_m consiste en cambiar o reducir el momento amplificado cuando la variación de los momentos en la columna es tal que B_1 resulta demasiado grande. En caso de contar con una columna flexionada con curvatura doble, el valor de C_m se rige por dos casos.

El primer caso se presenta cuando no existen cargas transversales actuando sobre el miembro no arriostrado, y se define como:

$$C_m = 0.6 - 0.4 \cdot \left(\frac{M_1}{M_2} \right) \tag{7.13}$$

donde:

M_1 .- Es el momento de extremo menor en valor absoluto.

M_2.- Es el momento de extremo mayor en valor absoluto

La razón es positiva para miembros flexionados en curvatura doble, mientras que es negativa para miembros flexionados en curvatura simple. La curvatura doble se presenta cuando ambos momentos presentan la misma tendencia de giro (ya sea anti horario u horario).

En caso de que se estudien miembros cargados transversalmente, C_m será 0.85 para miembros con extremos restringidos y 1.0 para miembros con extremos no restringidos (articulados). B_1 se definirá como:

$$B_1 = \frac{C_m}{1 - \left(\frac{P_u}{P_{e1}} \right)} \tag{7.13}$$

donde a su vez:

$$P_{e1} = \frac{A_g \cdot F_y}{\lambda_c^{\,2}} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot A_g}{\left(\frac{K \cdot L}{r} \right)^2} \tag{7.14}$$

Para el caso de estudio de miembros no contra-venteados, donde los extremos tienen libertad de trasladarse, se considera C_m igual a 1, puesto que aunque se tenga reducción en los momentos considerados, esta es tan pequeña que puede despreciarse.

El factor B_2 para los momentos por desplazamiento lateral se define como:

$$B_2 = \frac{1}{1-\left(\frac{\sum P_u}{\sum P_{e2}}\right)} \tag{7.15}$$

o también como:

$$B_2 = \frac{1}{1-\sum P_u \cdot \left(\frac{\Delta_{oh}}{\sum H \cdot L}\right)} \tag{7.16}$$

donde:

$\sum P_u$.- Sumatoria de carga factorizadas sobre todas las columnas del piso a considerar.

Δ_{oh} .- Desplazamiento lateral del piso a considerar.

$\sum H$.- Sumatoria de todas las fuerzas horizontales que ocasionan Δoh.

$\sum P_{e2}$.- Sumatoria de las cargas de Euler para todas las columnas en el piso.

L .- Altura del piso.

Para poder diseñar una viga-columna y debido al gran número de variables, el procedimiento se basa en la realización de una serie de tanteos. Se selecciona un perfil y se revisa que este cumpla la fórmula de interacción gobernante.