

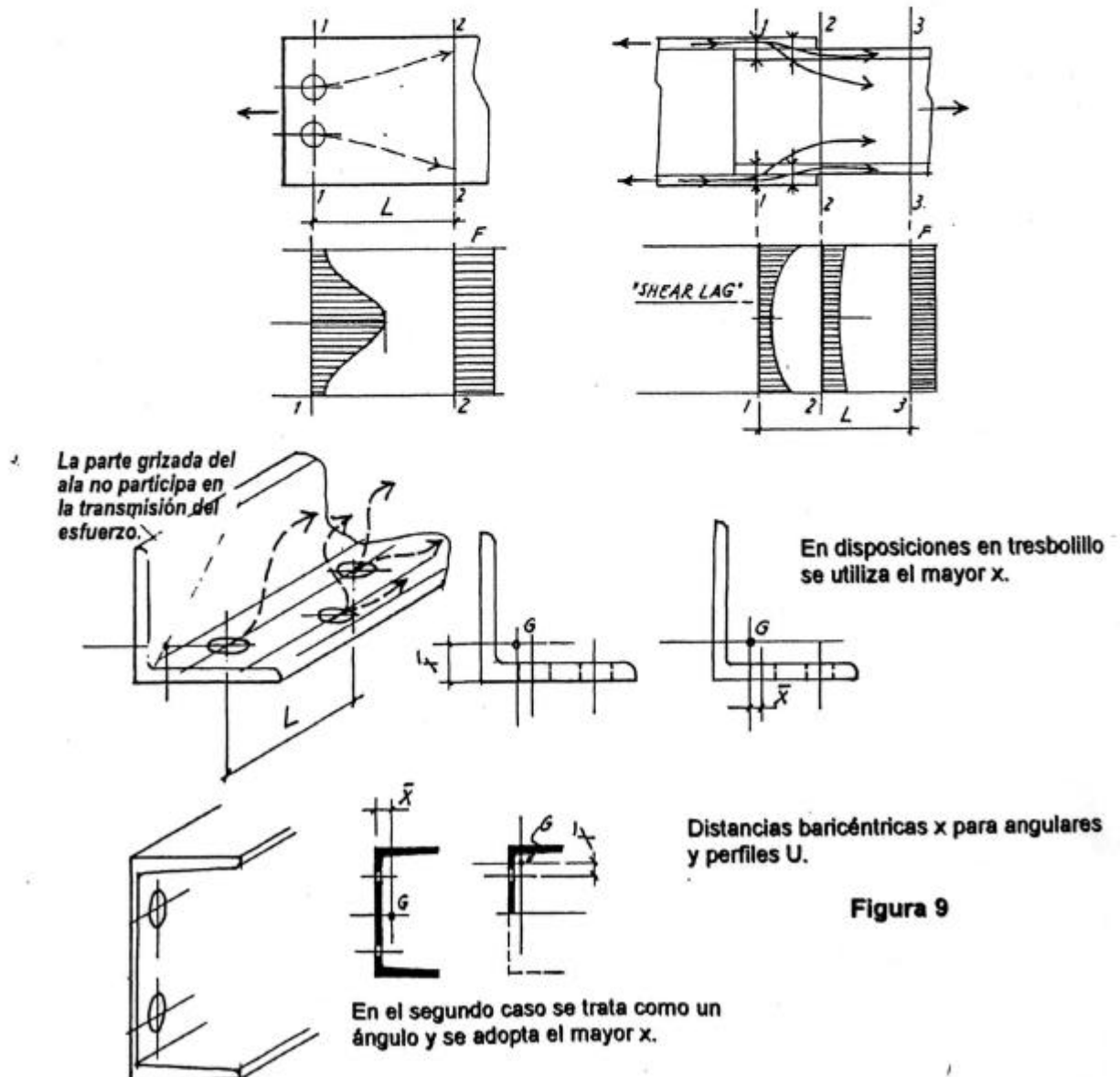
AREAS NETAS EFECTIVAS

Sección efectiva (A_e)

En los extremos de la barra, donde se introducen los esfuerzos, existirá un aprovechamiento pleno de la sección neta en la medida en que en la vinculación intervengan todos los componentes de la sección (alas, alma, etc.). Decimos, en este caso, que la sección es totalmente efectiva y por lo tanto:

$$A_e = A_n$$

Si la unión se realiza vinculando *solamente* algunas partes de la sección (por ejemplo: sólo a través de las alas o sólo a través del alma) - en donde se ubican los medios de unión (tornillos, soldaduras, etc.) - la misma perderá eficiencia en la transmisión del esfuerzo. Por otra parte, en la zona de aplicación del esfuerzo, las tensiones sufrirán un cierto atraso o demora (*shear lag*) hasta alcanzar, en una sección relativamente alejada L , un régimen de distribución uniforme de las tensiones normales. En efecto, en las proximidades de la unión los estados de tensión son de complejo análisis y la distribución de tensiones dependerá del diseño de la unión y del tipo de medio de unión utilizado (bulones, cordones de soldadura, etc.). La longitud de la unión, en la cual la distribución de tensiones no es uniforme, está fuertemente influenciada por la existencia de tensiones tangenciales (Estado plano de tensiones).



Un perfil angular unido en una sola de sus alas, es un ejemplo de esta situación, ya que en este caso, el esfuerzo de tracción no se distribuye uniformemente sobre el área neta. Bajo estas circunstancias, la sección de cálculo ya no será más la sección neta A_n , sino una *sección efectiva* A_e , dada por:

$$A_e = U \cdot A_n$$

en la que U es un *factor de reducción* (Munse y Chesson) que trata de tener en cuenta, en una forma simple, la distribución no uniforme de tensiones determinada por el tipo de unión.

La Especificación da distintos valores de U para diversos tipos o disposición de uniones y medios de unión. No obstante, U puede calcularse, en forma aproximada, mediante la siguiente expresión:

$$U = 1 - \frac{\bar{x}}{L} \leq 0.9 \quad (\text{Para uniones abulonadas})$$

en la cual: \bar{x} : es la distancia del baricentro de la barra al plano de contacto de la unión o bien la distancia de la primera fila de bulones al baricentro, se adopta la mayor. (Ver Figura 5).

L : es la longitud de la unión (por ejemplo la distancia entre el primer y último bulón) en la dirección del esfuerzo.

Se ha encontrado que una medida de la efectividad de un miembro, como el caso de un ángulo conectado por sólo uno de sus lados, es la distancia \bar{x} entre el plano de la unión y el baricentro de la sección. Cuanto menor sea el valor \bar{x} , mayor será el área efectiva.

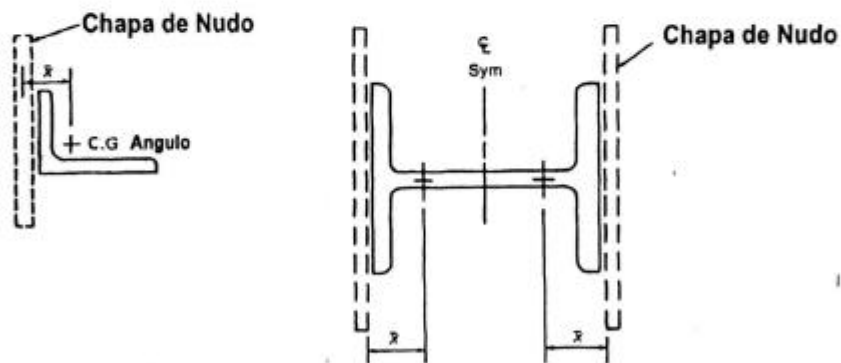


Figura 10 . Excentricidad x en barras sujetas a chapas nodales (Kulak, Fisher y Struik)

El fenómeno que produce la pérdida de eficiencia en una unión se conoce, como ya dijimos, como "retraso de corte" o "corte diferido" (*Shear lag*).

Los valores de U dados en el Artículo B.3. de la norma LRFD, son los que se indican a continuación. Pueden ser utilizados valores mayores siempre que los mismos, puedan justificarse mediante ensayos o mediante algún criterio racional.

VALORES DE U

1) Para uniones con Tornillos y Remaches

Si la carga se transmite por medio de tornillos o remaches a través de algunos, pero no de todos los elementos del miembro $A_e = U \cdot A_n$ y el coeficiente U vale:

- a) Para perfiles W , M ó S con anchos de ala no menores que dos tercios de sus alturas y tes estructurales cortadas de esos perfiles, siempre que la unión sea por las alas. Las uniones deben tener no menos de tres conectores por fila en la dirección de la fuerza
 $U = 0,90$
- b) Para los perfiles W , M ó S que no cumplan las condiciones de a), tes estructurales cortadas de ellos y para otros perfiles, incluyendo secciones armadas. Las uniones deberán tener no menos de tres conectores por fila en la dirección de la fuerza
 $U = 0,85$
- c) Todos los miembros con uniones atornilladas o abulonadas con sólo dos conectores por fila en la dirección de la fuerza
 $U = 0,75$

2) Uniones Soldadas

- a) Si la carga se transmite por medio de soldadura a través de algunos, pero no de todos los elementos de un miembro a tracción, el área neta efectiva debe determinarse como $A_e = U \cdot A_g$, siendo U el mismo que para uniones con tornillos o remaches.
- b) Si una carga de tracción se transmite por medio de soldaduras transversales a algunos, pero no a todos los elementos de secciones W , M ó S y tes estructurales cortadas de esos perfiles, A_e será el área de los elementos directamente conectados.
- c) Cuando la carga es transmitida a una chapa mediante soldadura longitudinal a lo largo de ambos bordes de la chapa, la longitud l de la soldadura no debe ser menor que el ancho de la chapa y el área neta efectiva de la chapa se calculará:

$$A_e = U \cdot A_g$$

siendo:

$$U = 1 \quad \text{Cuando } l > 2.w$$

$$U = 0,87 \quad \text{Cuando } 2.w > l > 1,5.w$$

$$U = 0,75 \quad \text{Cuando } 1,5.w > l > w$$

w el ancho de la chapa

l es la longitud de la soldadura

Ejemplo:

Determinar el factor de reducción U para el cálculo del área neta efectiva, para un perfil $W 14 \times 82$ unido a chapas en sus dos alas (Figura 11). Hay tres bulones a lo largo de cada línea de unión.

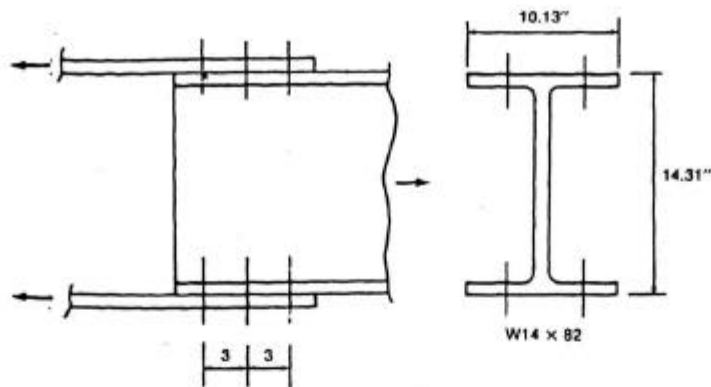


Figura 11

Esta sección puede ser tratada como dos secciones T como en la Figura 10. Cada mitad del perfil W corresponde a un $W T 7 \times 14$, obteniéndose del Manual de AISC que $\bar{x} = 1,39 \text{ plg}$.

Resulta

$$U = 1 - \frac{\bar{x}}{l} = 1 - \frac{1,39}{6} = 0,77$$

Si se hubieran usado 4 tornillos en línea seria:

$$U = 1 - \frac{\bar{x}}{l} = 1 - \frac{1,39}{9} = 0,85$$

BLOQUE DE CORTE

Otro estado límite, además de los mencionados, establecido por la Especificación, es el que se refiere a la *resistencia ofrecida por el bloque de corte*.

Este estado límite está definido por la posibilidad de que se produzca el desgarramiento de un segmento del extremo de la barra traccionada, siguiendo líneas de rotura coincidentes con los ejes de los agujeros o con líneas paralelas a los cordones de soldadura ubicadas en el vértice inferior de los filetes (Ver Figura 12).

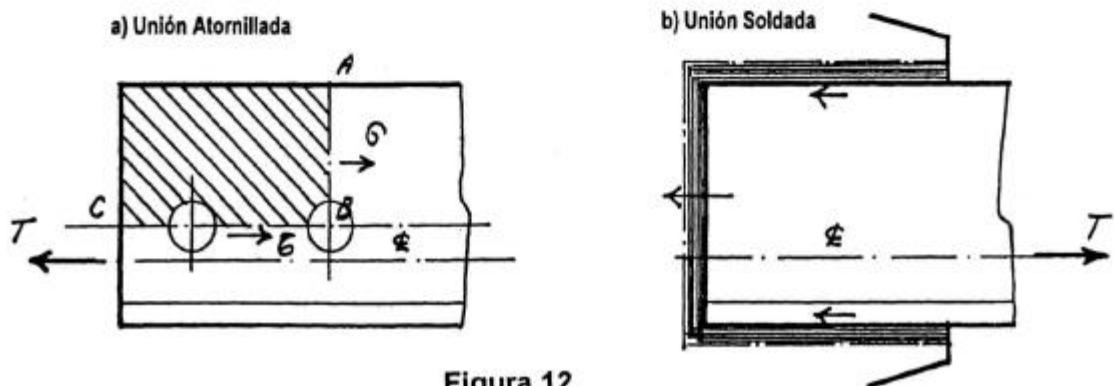


Figura 12

En la figura se puede observar, como se ha demostrado mediante ensayos, que puede provocarse el desprendimiento del área rayada cuando se produce una combinación desfavorable entre las tensiones normales contenidas en la cara transversal AB, perpendicular al esfuerzo, y las tensiones tangenciales contenidas en la cara BC paralelas a la aplicación del esfuerzo.

El estado límite estará determinado por las dimensiones relativas de cada una de estas caras y por lo tanto, por sus capacidades de deformación. Cuando una de las caras alcance la tensión de rotura sobre la sección neta correspondiente, la otra habrá alcanzado la tensión de fluencia sobre la sección bruta y viceversa.

La AISC Specification de 1978 adoptaba un modelo analítico que sumaba la resistencia a la tracción en el área neta y la resistencia de rotura al corte en el área neta para calcular la resistencia del "bloque de corte". La resistencia a la rotura por corte es $0,6 F_U$. La línea de falla queda definida por la línea que une los centros de los agujeros.

Basándose en ensayos recientes, la LRFD ha adoptado un modelo más conservador para calcular esta resistencia (Ver Figura 13).

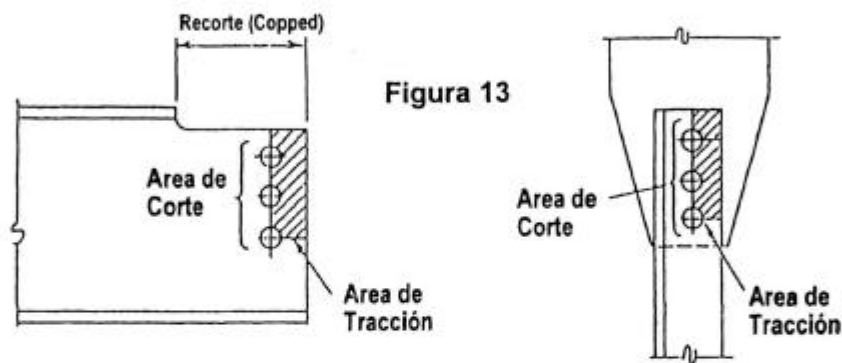


Figura 13

En el modelo de la norma de 1978 se sumaba la resistencia a la rotura en dos planos perpendiculares, lo cual implica que a esta sollicitación se llega en ambos planos simultáneamente. Si la rotura ocurre primero en un plano, se pierde su capacidad para tomar esfuerzos y la carga total debe ser soportada por el plano perpendicular.

Los ensayos han demostrado, que es más razonable sumar la tensión de fluencia en un plano y la resistencia a la rotura en el plano perpendicular.

De esta forma, pueden ser calculadas dos resistencias del "bloque de corte":

- la resistencia a la rotura F_U en el área neta traccionada, combinada con la fluencia por corte $0,6 F_y$ en el área bruta del plano sometido a corte.
- la fluencia F_y en el área bruta traccionada combinada con la resistencia a la rotura por corte $0,6 F_U$ en el área neta sometida a corte.

$$\phi [F_U A_{nt} + 0,6 F_y A_{gv}]$$

$$\phi [F_y A_{gt} + 0,6 F_U A_{ns}]$$

$$\phi = 0,75$$

A_{nt} : el área neta solicitada a tracción

A_{gv} : el área bruta solicitada a corte

A_{gt} : el área bruta solicitada a tracción

A_{nv} : el área neta solicitada a corte

Estas expresiones son consistentes con la filosofía adoptada para la verificación de miembros traccionados, en donde se utiliza el área bruta para el estado límite de fluencia y el área neta es usada para la rotura.

La ecuación que controla la resistencia es aquella que provee el mayor esfuerzo. En el caso de la Figura 14a. resulta evidente que el mayor esfuerzo resulta de aplicar la segunda de las expresiones, y en la figura 14b. la primera.

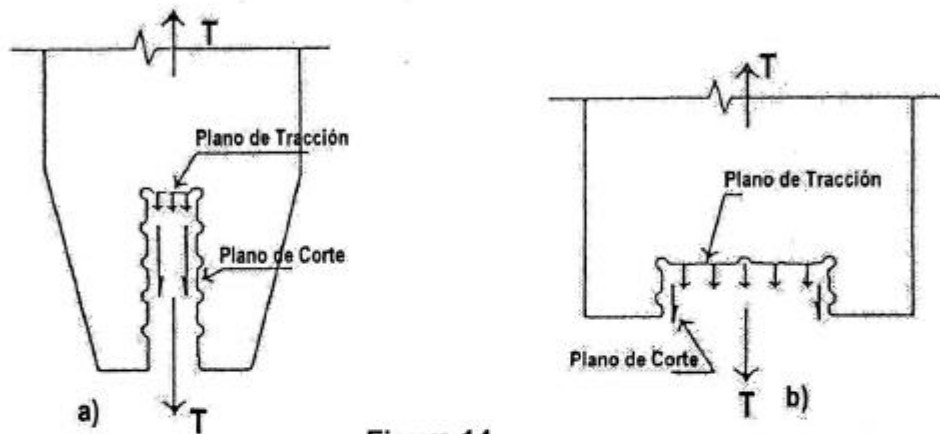


Figura 14

Ejemplo:

Determinar la capacidad portante del ángulo $L 4 \times 4 \times 1/4$ unido a la chapa de nudo. Material A 36. Bulones $d = 7/8$ plg, agujeros estandar.

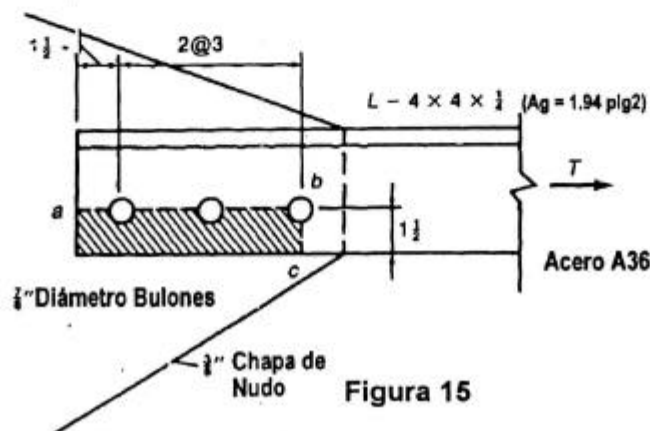


Figura 15

a) Verificación de fluencia

$$\phi T_n = \phi_t F_y A_g = 0,90 (36) (1,94) = 62,9 \text{ kips}$$

b) Verificación de rotura

$$\phi T_n = \phi F_u A_e = 0,75 (58) 1,43 = 62,5 \text{ kips}$$

$$A_n = 1,94 - \left(\frac{7}{8} + \frac{1}{8} \right) \frac{1}{4} = 1,69 \text{ plg}^2$$

$$A_e = U A_n = 0,85 \times 1,69 = 1,43$$

c) Verificación de falla por "bloque de corte"

Se deben investigar los 2 casos siguientes:

1. Rotura por tracción y fluencia por corte

$$\phi [F_u A_{nt} + 0,6 F_y A_{vg}]$$

$$A_{nt} = \left[1,5'' - \left(\frac{7''}{8} + \frac{2''}{16} \right) \cdot \frac{1}{2} \right] \times 0,25'' = 0,25 \text{ plg}^2$$

$$A_{vg} = (6'' + 1,5'') \times 0,25'' = 1,875 \text{ plg}^2$$

$$0,75 [58 \times 0,25 + 0,6 \times 36 \times 1,875] = 41,25 \text{ kips}$$

2. Fluencia por tracción y rotura por corte

$$\phi [F_y A_{tg} + 0,6 F_u A_{ns}]$$

$$A_{tg} = 1,5'' + 0,25'' = 1,75 \text{ plg}^2$$

$$A_{ns} = \left\{ 7,5'' - \left[\left(\frac{7''}{8} + \frac{1''}{16} \right) \times 0,25'' \right] \right\} \cdot 0,25 = 1,29 \text{ plg}^2$$

$$0,75 [36 \times 1,75 + 0,6 \times 58 \times 1,29] = 43,8 \text{ kips}$$

La mayor de estas dos define la resistencia por "bloque de corte" (43,8 kips). Este valor es menor que los calculados en a) y b) y por lo tanto coincide con el estado límite de la barra.

En algunos casos no resulta claro qué secciones deben considerarse para el cálculo del bloque de corte (figura 16). En la parte a) de la figura se supone primero que el desgarramiento del alma ocurrirá a lo largo de la línea quebrada a.b.c.d.e.f. Una línea alternativa es la a.b.d.e.f que se muestra en (b).

Si se supone que la carga se distribuye en manera uniforme entre los 5 tornillos, en el caso b) la sección desgarrada está solicitada con $4/5P$. Para calcular el ancho de los planos de tracción puede usarse la expresión $s^2/4g$ explicada anteriormente.

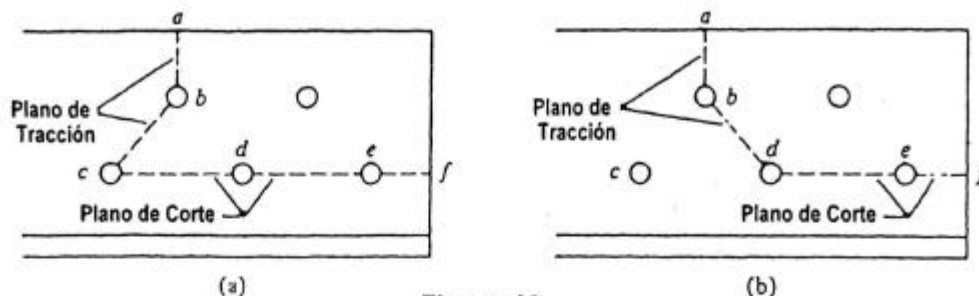


Figura 16

FACTORES DE RESISTENCIA

El cálculo de los factores de resistencia para un elemento estructural sometido a tracción, fue realizado por AISC de acuerdo a los pasos siguientes :

- 1- Elección de una fórmula o un algoritmo para la resistencia nominal del elemento. En tracción se analizan el estado límite de fluencia ($R_n = A_g \cdot F_y$) y el estado límite de rotura ($R_n = A_t \cdot F_u$)
- 2- Se calcula el valor medio y el coeficiente de variación de la resistencia utilizando las expresiones del paso anterior y la información disponible sobre las propiedades mecánicas del material y los resultados de ensayos.

La resistencia media R_m para el estado límite de fluencia es:

$$R_m = (A_g)_m \cdot (F_{Sy})_m \left(\frac{\text{ensayos}}{\text{predicción}} \right)_m$$

y el coeficiente de variación de la resistencia

$$V_R = \sqrt{V_M^2 + V_F^2 + V_P^2}$$

en donde:

V_M representa la variación en la determinación de la resistencia o en el módulo de elasticidad del material y puede obtenerse de ensayos.

V_F representa las diferencias entre el miembro de cálculo ideal y el real en la estructura. Estas variaciones en la fabricación involucran las variaciones en las propiedades geométricas producidas por el laminado, tolerancias de fabricación y de soldadura, distorsiones iniciales, efectos producidos por el montaje, etc.

V_P representa las variaciones debidas a las incertidumbres en las hipótesis utilizadas al determinar la resistencia a partir de los modelos de cálculo. Esta

pueden ser debidas al uso de aproximaciones en lugar de fórmulas exactas y de hipótesis tales como elasticidad perfecta, plasticidad perfecta, homogeneidad, etc. Se puede estimar comparando las predicciones de cálculo con los resultados de ensayos o con teorías de cálculo exactas.

El área bruta $(A_g)_m$ es la nominal (para perfiles se obtiene de tablas) y por lo tanto $(A_g)_m = 1 \cdot A_g = A_g$. Su variación es el coeficiente V_F que puede ser supuesto como $V_F = 0,05$ para un buen control de tolerancias.

El símbolo $(F_{Sy})_m$ representa la tensión de fluencia estática del acero. De los ensayos surge que el valor medio y el coeficiente de variación de la tensión de fluencia estática son $(F_{Sy})_m = 1,05 \cdot F_y$ y $V_{F_{Sy}} = V_M = 0,10$.

Determinando el valor medio de la relación (ensayos/ predicción) y su variación V_p para tracción se obtienen

$$R_m = k \cdot F_y \cdot A_g \quad \text{y} \quad V_R$$

- 3- El factor de resistencia se calcula como

$$\phi = \exp(-\alpha \beta V_R) \frac{R_m}{R_n}$$

siendo:

$$\alpha = 0,55 \text{ una constante numérica}$$

$$\beta = 3$$

$$k \cdot R_m / R_n = k$$

Aplicando esta expresión la norma establece

$$\phi = 0,90 \text{ para fluencia en tracción y}$$

$$\phi = 0,75 \text{ para rotura en tracción.}$$

COMPARACION ENTRE LRFD Y ASD PARA MIEMBROS TRACCIONADOS

La comparación de la seguridad obtenida para miembros traccionados calculando por ambos métodos, puede ser indicativa de los resultados obtenidos en general, ya que esta comparación se hace mucho más difícil para otras solicitaciones debido a que la resistencia nominal R_n no es necesariamente la misma en ambos métodos.

Para miembros traccionados, calculados para la combinación de acciones que involucra a la carga permanente y a la sobrecarga, solamente, se debe cumplir, como límite que:

$$1,2.D + 1,6.L = 0,9.R_n$$

para el estado límite de fluencia ó

$$1,33D + 1,78.L = 0,9.R_n \quad (\text{LRFD})$$

En tensiones admisibles (ASD) el coeficiente de seguridad para tracción es $\gamma = 1,67$ y puede escribirse:

$$\frac{\phi.R_n}{\gamma} \geq \sum Q_i \quad \text{y si } \frac{\gamma}{\phi} = 1,67$$

$$\frac{.R_n}{1,67} \geq \sum Q = D + L \quad \text{o}$$

$$1,67.D + 1,67.L = R_n \quad (\text{ASD})$$

Dividiendo:

$$\frac{\text{LRFD}}{\text{ASD}} = \frac{1,33.D + 1,78.L}{1,67.D + 1,67.L} = \frac{0,8 + 1,07.(L/D)}{1 + (L/D)}$$

Cuando $L/D = 0$ o muy cercano la combinación para la LRFD es:

$$1,4.D = 0,90.R_n$$

$$1,56.D = R_n \quad \text{LRFD}$$

Dividiendo, en este caso

$$\frac{\text{LRFD}}{\text{ASD}} = \frac{1,56.D}{1,67.D + 1,67.L} = \frac{0,93}{1 + (L/D)}$$

Ambas relaciones se han dibujado en la Figura 17 de la página siguiente.

De la figura surge que en el cálculo de elementos traccionados no existen diferencias en los resultados obtenidos por ambos métodos cuando la relación L/D es aproximadamente 3. Cuando la relación L/D decrece (predomina la carga permanente) será más económico utilizar el LRFD. Cuando L/D crece (predomina la sobrecarga), ASD resulta ligeramente más económico.

Estas relaciones pueden variar en magnitud para miembros con otros tipos de solicitaciones, ya que como queda dicho, en algunos casos ambas normas adoptan distintas hipótesis límites para calcular la resistencia nominal R_n y también puede haber variaciones para otras combinaciones de cargas distintas a las consideradas.

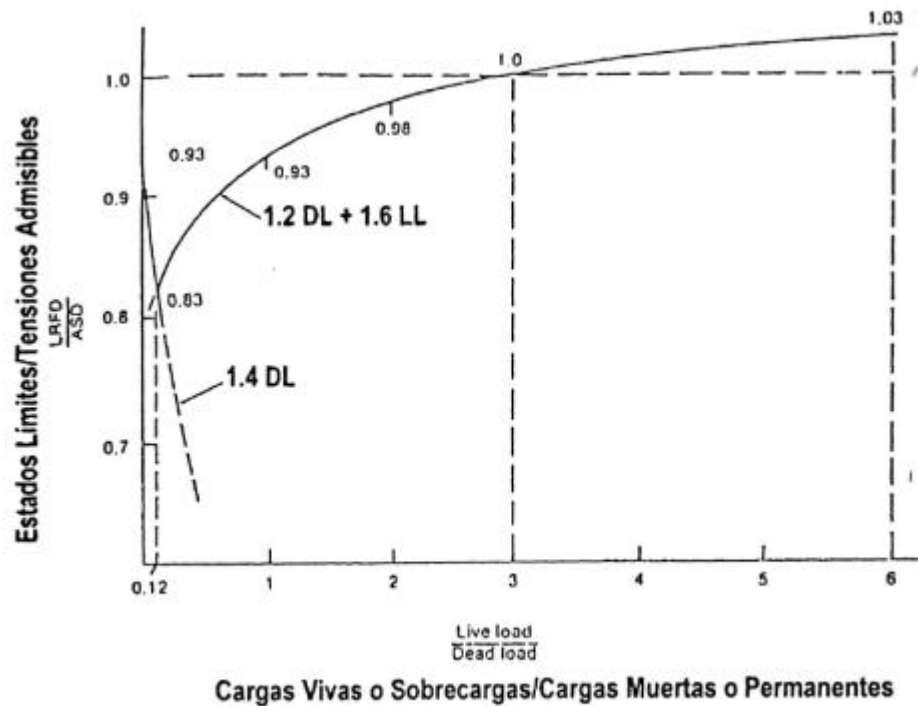


Figura 17

BIBLIOGRAFIA

1. Manual of Steel Construction- Load and Resistance Factor Design.- First Edition AISC.
2. Journal of the Structural Division- Vol 104 N.ST9- Set 1978.
3. Steel Structures, Design and Behavior - Charles G Salmon y John E. Johnson. Third Edition.
4. Diseño de Estructuras de Acero. Método LRFD- Mc Cormac
5. Factores de Carga y Resistencia. Introducción al Método según el "Load and Resistance Factor Design"- Eduardo Juárez Allen y Gustavo E. Darin -CIRSOC.