

# 6

Capítulo

---

## *Conexiones*

*Profesor: ALEJANDRO VERDUGO*

- 1.-
- 2.-
- 3.-

*Conexiones Apernadas*  
*Conexiones Soldadas*  
*Ejemplos*

**CAPITULO 6**  
*Conexiones Apernadas*

# Conexiones

## 1.- Conexiones Apernadas Tipo de Conector

| Tipo de conector                                       | Resistencia a la tracción |                     |
|--|---------------------------|---------------------|
|  | Factor de resistencia     | Resistencia nominal |
|  | $\phi$                    | Ton/cm <sup>2</sup> |
| Pernos corrientes A307                                 | <b>0.75</b>               | 3.15 (a)            |
| Pernos A325, hilo incluido en el plano de corte        |                           | 6.32 (d)            |
| Pernos A325, hilo excluido del plano de corte          |                           | 6.32 (d)            |
| Pernos A490, hilo incluido en el plano de corte        |                           | 7.93 (d)            |
| Pernos A490, hilo excluido del plano de corte          |                           | 7.93 (d)            |
| Elementos roscados, hilo incluido en el plano de corte |                           | 0.75 Fu (a,c)       |
| Elementos roscados, hilo excluido del plano de corte   |                           | 0.75 Fu (a,c)       |

| Tipo de conector                                       | Resistencia al corte en uniones de aplastamiento |                     |
|--|--|---------------------|
|  | Factor de resistencia                            | Resistencia nominal |
|  | $\phi$   | Ton/cm <sup>2</sup> |
| Pernos corrientes A307                                 | <b>0.75</b>                                      | 1.68 (b,e)          |
| Pernos A325, hilo incluido en el plano de corte        |  | 3.37 (e)            |
| Pernos A325, hilo excluido del plano de corte          |  | 4.21 (e)            |
| Pernos A490, hilo incluido en el plano de corte        |  | 4.21 (e)            |
| Pernos A490, hilo excluido del plano de corte          |  | 5.27 (e)            |
| Elementos roscados, hilo incluido en el plano de corte |  | 0.40 Fu             |
| Elementos roscados, hilo excluido del plano de corte   |  | 0.50 Fu (a,c)       |

- (a) Permitido solamente para carga estática  
 (b) Se permite el hilo incluido en el plano de corte  
 (c) La resistencia nominal a tracción de la porción roscada de un elemento forjado de mayor diámetro, basada en el área de la sección transversal de mayor diámetro, AD, deberá ser mayor que el área nominal del cuerpo de la barra antes de forjar, multiplicada por F<sub>y</sub>  
 (d) Para pernos A325 y A490 sometidos a fatigamiento por tracción, ver Apéndice K3.  
 (e) En empalmes de elementos en tracción, con conectores tipo aplastamiento dispuestos en una longitud mayor que 1300 mm, en la dirección de la fuerza, los valores tabulados deberán reducirse en 20%

## Tipos de Pernos en Corte:

### 1.- Pernos Tipo Aplastamiento

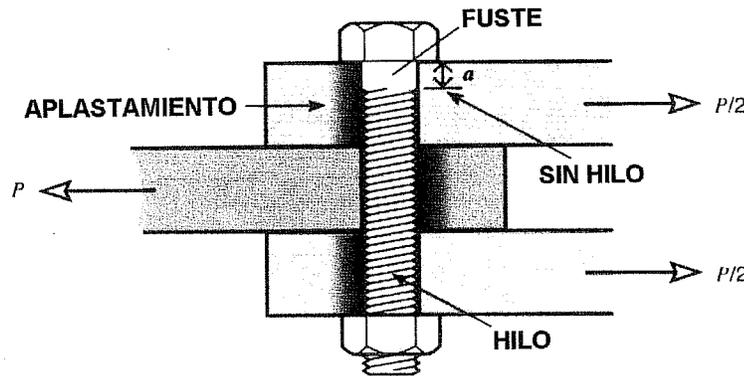
El esfuerzo se transmite mediante el contacto directo de las piezas conectadas y el perno. Se definen los PLANOS DE CIZALLE según el número de secciones de traspaso de cargas, así se tendrán conexiones de cizalle simple (1 plano de traspaso de carga) y uniones de cizalle múltiple.

La figura muestra el caso de una conexión de corte de cizalle doble.

### 2.- Pernos de deslizamiento Crítico (o tipo Fricción)

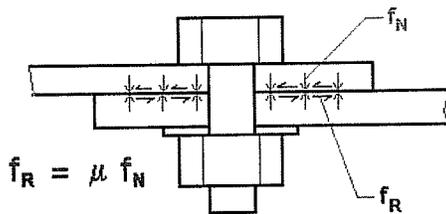
El esfuerzo se transmite mediante el roce entre las partes conectadas. Para incrementar el roce se pretensa el perno lográndose así un incremento de la presión de contacto, y por lo tanto del esfuerzo de roce.

#### Perno Tipo Aplastamiento Cizalle Doble



### Resistencia de Pernos Tipo Fricción

*Diseño para cargas mayoradas*



$$F = 1 - \frac{T_u}{1.13 T_b N_b}$$

Factor de reducción por tracción

Tracción mínima en el perno según especificación AISC

Número de planos de deslizamiento

$$\phi R_{sc} = \phi 1.13 \mu T_b N_s \times F$$

Factor de reducción  
depende del tipo de agujero

- 1.0 estandar
- 0.85 sobretamaño, ovalado corto
- 0.70 ovalado largo, transversal a la fuerza
- 0.60 ovalado largo, paralelo a la fuerza

Coefficiente de deslizamiento  
depende de la rugosidad de las superficies en contacto

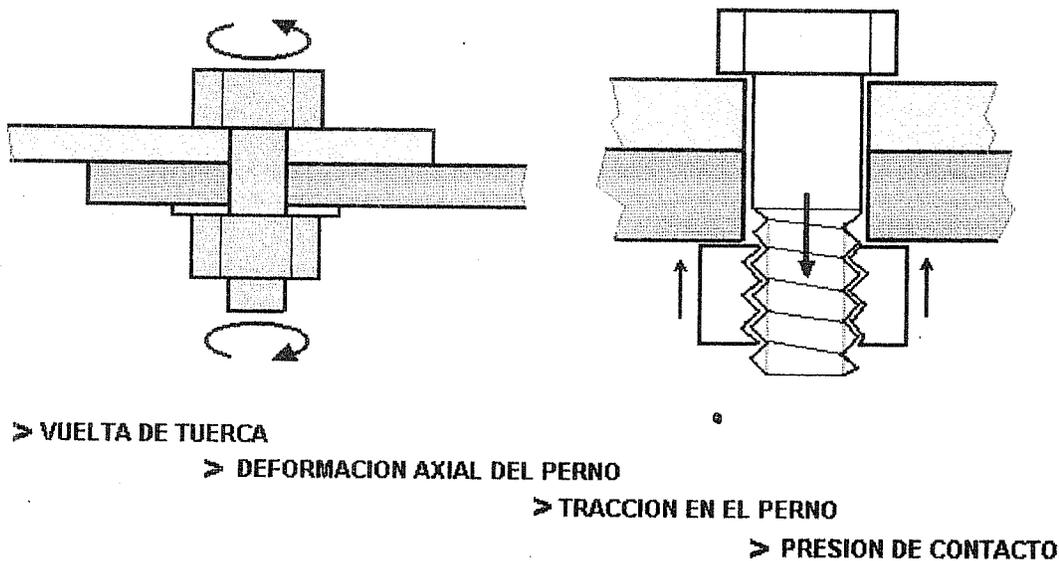
- Clase A 0.33
- Clase B 0.50
- Clase C 0.35

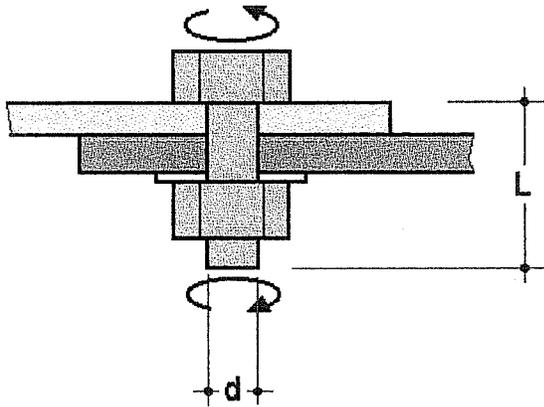
| TENSION MINIMA DE APRIETE DE PERNOS DE ALTA RESISTENCIA (TON)* |             |             |
|--|-------------|-------------|
| Diámetro, plg.   | PERNOS A325 | PERNOS A490 |
| 1/2  | 5.44        | 6.80        |
| 5/8  | 8.62        | 10.89       |
| 3/4  | 12.70       | 15.88       |
| 7/8  | 17.69       | 22.23       |
| 1  | 23.13       | 29.03       |
| 1 1/8  | 25.40       | 36.29       |
| 1 1/4  | 32.20       | 46.27       |
| 1 3/8  | 38.56       | 54.88       |
| 1 1/2  | 46.72       | 67.13       |

(\*) Equivalente al 70% de la resistencia mínima a tracción

## *Control de Apriete de Pernos*

### *1.- Método de la Vuelta de Tuerca*



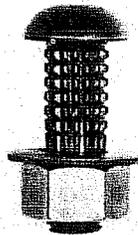


| ROTACION DE LA TUERCA A PARTIR DE LA CONDICION DE CONTACTO PLENO |   |
|--|---|
| Longitud del perno L   | Ambas caras normales al eje del perno (1) |
| $L < 4d$   | 1/3 vuelta                                |
| $4d < L < 8d$  | 1/2 vuelta                                |
| $8d < L < 305 \text{ mm}$  | 2/3 vuelta                                |
| (1) Para otras condiciones ver Norma ASTM                        |   |

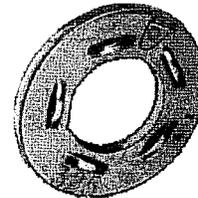
**Sistemas Alternativos de Control de Apriete de Pernos de Alta Resistencia**



*Perno con Fusible*



*Golilla indicadora de Tensión (DTI)*



## *Resistencia de Diseño de Pernos en Corte*

N : Tipo aplastamiento, hilo incluido en el plano de cizalle

X : Tipo aplastamiento, hilo excluido del plano de cizalle

SC : Tipo deslizamiento crítico (fricción)

STD : Agujero de tamaño estándar

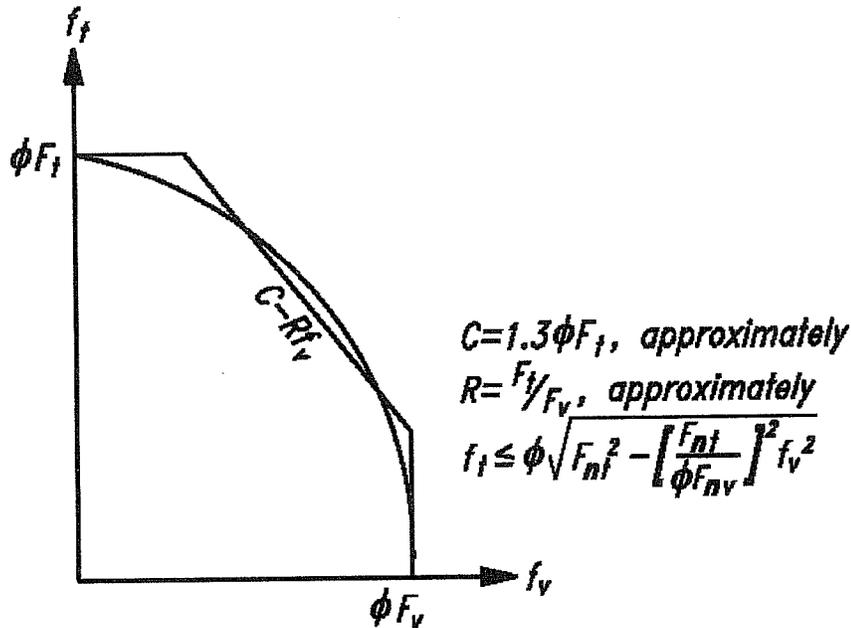
NSL : Agujero ovalado corto o largo, en la dirección normal a la fuerza

| RESISTENCIA DE DISEÑO DE PERNOS (TON) |                 |              |    |      |      |      |      |      |       |       |       |       |
|---------------------------------------|-----------------|--------------|----|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|
| Diámetro, plg.                        |                 |              |    | 1/2  | 5/8  | 3/4  | 7/8  | 1    | 1 1/8 | 1 1/4 | 1 3/8 | 1 1/2 |
| Sección nominal (cm <sup>2</sup> )    |                 |              |    | 1.27 | 1.98 | 2.85 | 3.88 | 5.07 | 6.41  | 7.92  | 9.56  | 11.4  |
| A307                                  | -               | STD, NS<br>L | \$ | 1.60 | 2.49 | 3.59 | 4.89 | 6.38 | 8.08  | 9.98  | 12.1  | 14.4  |
|                                       |                 |              | D  | 3.19 | 4.99 | 7.16 | 9.78 | 12.8 | 16.2  | 20.0  | 24.1  | 28.7  |
| A325                                  | N               | STD, NS<br>L | \$ | 3.20 | 5.00 | 7.20 | 9.81 | 12.8 | 16.2  | 20.0  | 24.2  | 28.8  |
|                                       |                 |              | D  | 6.40 | 10.0 | 14.4 | 19.6 | 25.6 | 32.4  | 40.0  | 48.4  | 57.6  |
|                                       | X               | STD, NS<br>L | \$ | 4.00 | 6.25 | 9.00 | 12.2 | 16.0 | 20.2  | 25.0  | 30.2  | 36.0  |
|                                       |                 |              | D  | 8.00 | 12.5 | 18.0 | 24.5 | 32.0 | 40.5  | 50.0  | 60.5  | 72.0  |
|                                       | SC - Clase<br>A | STD          | \$ | 2.03 | 3.21 | 4.74 | 6.60 | 8.63 | 9.47  | 12.0  | 14.4  | 17.4  |
|                                       |                 |              | D  | 4.06 | 6.43 | 9.47 | 13.2 | 17.3 | 18.9  | 24.0  | 28.8  | 34.8  |
| A490                                  | N               | STD, NS<br>L | \$ | 4.00 | 6.25 | 9.00 | 12.2 | 16.0 | 20.2  | 25.0  | 30.2  | 36.0  |
|                                       |                 |              | D  | 8.00 | 12.5 | 18.0 | 24.5 | 32.0 | 40.5  | 50.0  | 60.5  | 72.0  |
|                                       | X               | STD, NS<br>L | \$ | 5.01 | 7.82 | 11.3 | 15.3 | 20.0 | 25.3  | 31.3  | 37.9  | 45.1  |
|                                       |                 |              | D  | 10.0 | 15.6 | 22.5 | 30.7 | 40.1 | 50.7  | 62.6  | 75.7  | 90.1  |
|                                       | SC - Clase<br>A | STD          | \$ | 2.54 | 4.06 | 5.92 | 8.29 | 10.8 | 13.5  | 17.3  | 20.5  | 25.0  |
|                                       |                 |              | D  | 5.07 | 8.12 | 11.8 | 16.6 | 21.7 | 27.1  | 34.5  | 40.9  | 50.1  |

## Interacción y Corte

Pernos A325  $F_t = 8,21 - 2.5 f_v < 6,32 \text{ T/cm}^2$

Pernos A490  $F_t = 10,3 - 2.5 f_v < 7,93 \text{ T/cm}^2$



## Métodos de Análisis de Conexiones sometidas a Corte Excéntrico

La norma AISC no especifica un método para calcular las resistencias de conexiones sometidas a esfuerzos excéntricos.

### 1.- Método Clásico

El método clásico se basa en las siguientes hipótesis simplificatorias:

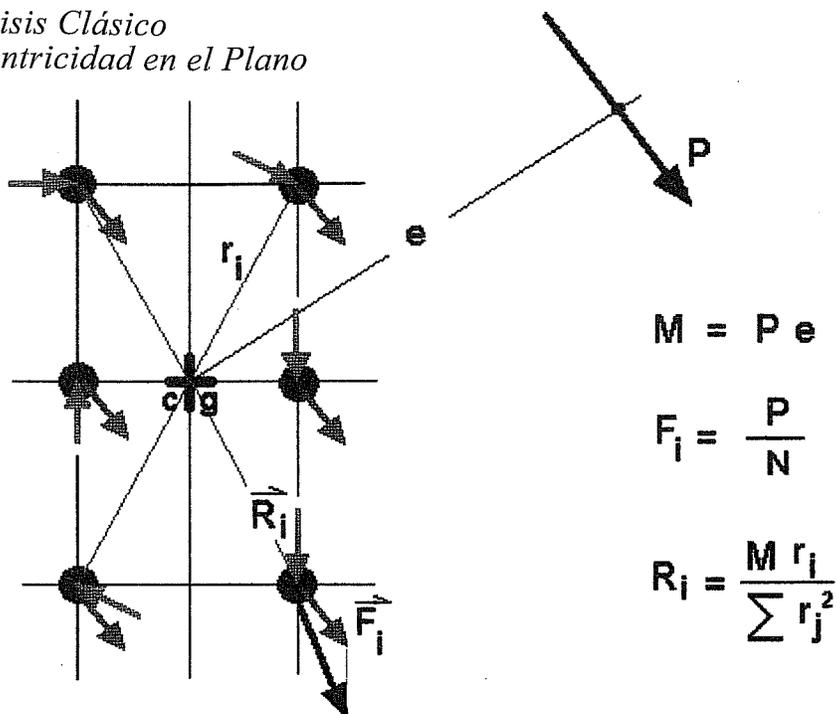
- Los elementos de conexión (perfiles, gussets, etc) con infinitamente rígidos.
- Los pernos son perfectamente elásticos

Este método es muy conservador

### 2.- Método de la Excentricidad Reducida

Análogo al método clásico pero se reduce la excentricidad de cálculo en función de la geometría de la conexión (nº de líneas de gramil)

Análisis Clásico  
Excentricidad en el Plano

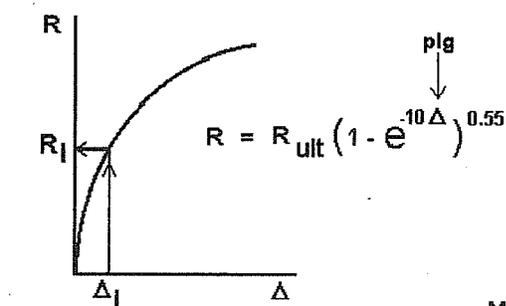


3.- Método de la Resistencia Ultima

Está basado en evidencia experimental. Considera la progresiva redistribución de esfuerzos entre los pernos al aumentar la intensidad de la carga.

Este método es menos conservador que el método clásico, y es el utilizado para generar las tablas de diseño de conexiones apernadas excéntricas que aparecen en el manual AISC y en el manual ICHA.

Centro Instantaneo de Rotación



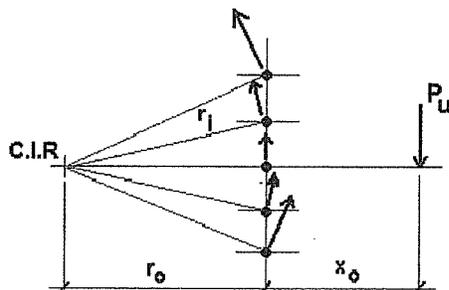
$R_{ult} = 74 \text{ kips} = 33.57 \text{ ton}$

$\Delta_{max} = 0.34 \text{ plg} = 0.86 \text{ cm}$

Calibrado para ASTM A325 3/4" tipo aplastamiento

Resultados pueden extenderse a pernos tipo fricción y A490

Mediante un proceso iterativo se determina la posición del C.I.R. de manera que se verifiquen simultáneamente las 3 ecs. de equilibrio



Para el perno (o pernos) más solicitado se cumple :

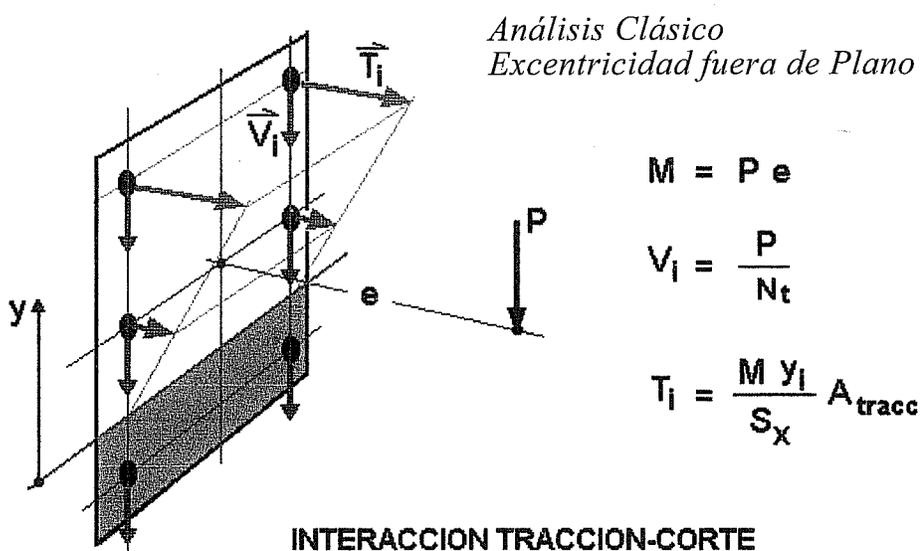
$\Delta_i \rightarrow R_i = \phi R_n \text{ (resist.de diseño)}$

Para el análisis de conexiones con corte excéntrico fuera del plano se utiliza preferentemente el método clásico, con las hipótesis ya indicadas.

Frecuentemente se considera el bloque de compresión por contacto en la zona inferior de la conexión. La posición del eje neutro se obtiene, en este caso, por aproximaciones sucesivas.

El esfuerzo de corte se distribuye de forma directa a los pernos. La tracción dependerá de la distancia del perno al eje neutro. Los pernos deberán ser, por lo tanto, diseñados con interacción Tracción-Corte.

Alternativamente se podrá considerar que la sección resistente a compresión está conformada solamente por los pernos situados bajo el eje neutro. Este análisis simplificado resulta ser más conservador.



## *Estados Límites*

Se enumeran a continuación los Estados Límite o Modos de falla que controlan el diseño resistente de conexiones apernadas:

### **1.- Falla por Corte en el Plano**

La resistencia depende directamente del número de pernos, del n° de planos de cizalle, del material del perno y su sección transversal.

### **2.- Falla por Tracción en el Perno**

La resistencia depende directamente del número de pernos, del n° de planos de cizalle, del material del perno y su sección transversal.

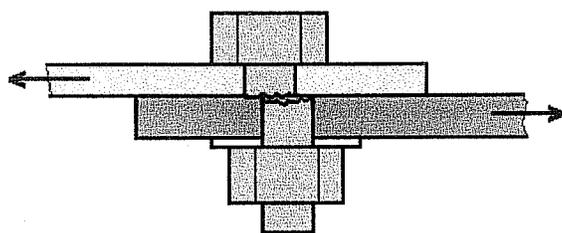
### 3.- Falla por Aplastamiento del Material Conectado

La resistencia depende directamente del material conectado, del diámetro del perno y del tamaño y forma del agujero. La falla se presenta como una deformación excesiva del agujero.

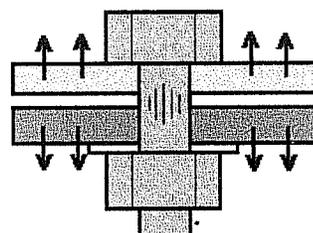
### 4.- Falla por Deslizamiento Crítico

Propia de conexiones tipo fricción. La resistencia depende básicamente de la presión de contacto entre las piezas y de la rugosidad de las caras en contacto. La falla se presenta como un deslizamiento relativo entre las partes conectadas.

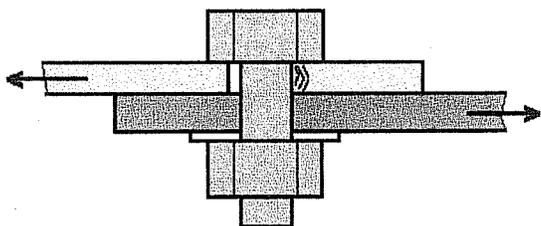
#### Estados Límites Conexiones Apernadas



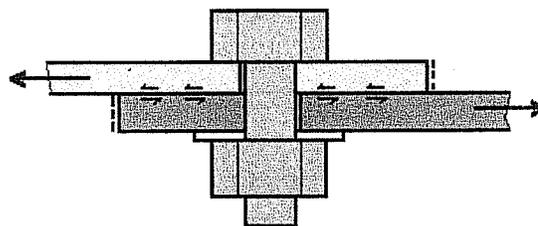
FALLA DEL PERNO  
POR CORTE



FALLA DEL PERNO  
POR TRACCION



APLASTAMIENTO DEL  
MATERIAL CONECTADO



DESLIZAMIENTO  
RELATIVO

### 5.- Falla por Arrancamiento del Bloque de Corte

Esta falla se manifiesta como el desgarramiento de una porción del elemento conectado. Para evaluar la resistencia se asume alternativamente que en los planos de falla se verifican tensiones de rotura y de fluencia, en tracción y corte, y viceversa.

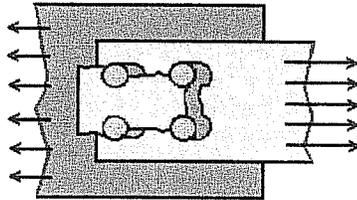
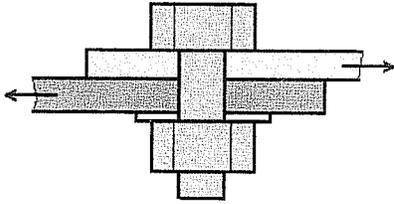
A modo local, este estado límite determina las distancias mínimas entre pernos, así como las distancias a los bordes.

La resistencia depende del material conectado y del patrón geométrico de los planos de falla.

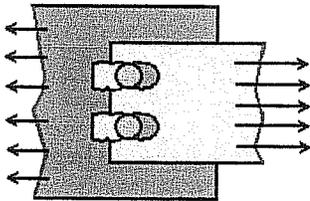
### 6.- Falla por Rotura en el Area Neta Efectiva

Corresponde a una rotura de la sección en tracción. La tensión de rotura se alcanza debido a la disminución de la sección transversal por los agujeros (area neta) y por la concentración de esfuerzos asociados a la geometría de la conexión, es decir, la trayectoria de transmisión de los esfuerzos entre los elementos conectados

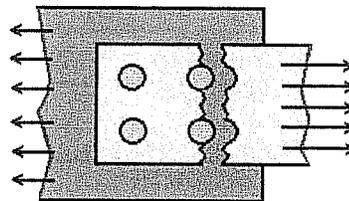
#### Estados Límites Conexiones Apernadas



ARRANQUE DE BLOQUE

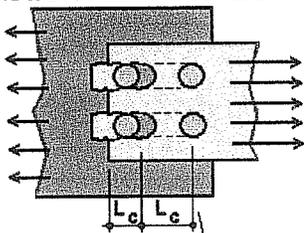


ARRANQUE DE BLOQUE  
DISTANCIA A LOS BORDES

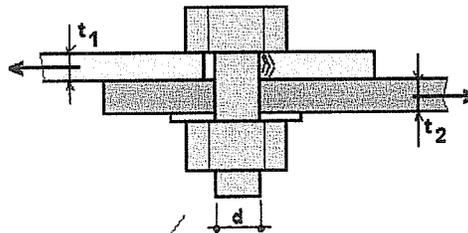


FRACTURA EN EL AREA  
NETA EFECTIVA

ARRANQUE DE BLOQUE  
DISTANCIA A LOS BORDES



APLASTAMIENTO DEL  
MATERIAL CONECTADO



Perforaciones estandar, sobretamaño y ovaladas en la dirección de la fuerza

$$\phi R_n = \phi 1.2 L_c t F_u < \phi 2.4 dt F_u$$

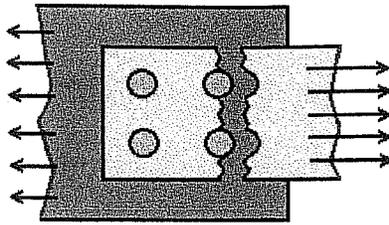
El control de la deformación en la perforación para cargas de servicio SI es un requisito de diseño

$$\phi R_n = \phi 1.5 L_c t F_u < \phi 3.0 dt F_u$$

El control de la deformación en la perforación para cargas de servicio NO es un requisito de diseño

Perforación ovalada larga en el sentido perpendicular a la carga

$$\phi R_n = \phi 1.0 L_c t F_u < \phi 2.0 dt F_u$$



**FRACTURA EN EL AREA  
 NETA EFECTIVA**

$$\phi P_n = 0.75 F_u A_e$$

$$A_e = U A_n$$

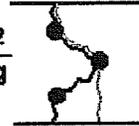
$$U = 1 - \frac{x}{L}$$

**A<sub>e</sub> = Area neta efectiva = sección por la cual se produce efectivamente la transmisión de esfuerzos**

**A<sub>n</sub> = Area neta = Area gruesa - perforaciones (patrón de fractura)**

**Fórmula de Cochrane  $\frac{s^2}{4g}$**

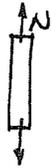
**U = Coeficiente de reducción (shear lag)**



$$d_{ef,perf} = d_{perno} + \frac{1''}{16} + \frac{1''}{16} = d_{perno} + \frac{1''}{8}$$

## Resistencia al Corte

### Condición de Falla en Tracción



$$\sigma = \frac{N}{A} = F_y \quad \text{FLUENCIA}$$

$$= F_u \quad \text{ROTURA}$$

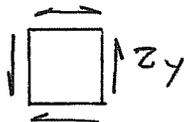
$$\sigma_{\text{VON MISES}} = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2}} \quad (\text{TENS. PRINCIPALES})$$

EN LA FALLA POR TRACCION PURA  $\sigma_1 = F_y$ ,  $\sigma_2 = \sigma_3 = 0$

$$\sigma_{\text{VM}} = \sqrt{\frac{2 \sigma_1^2}{2}} = \sigma_1 \rightarrow \begin{cases} \sigma_{\text{VM}} = F_y \\ \sigma_{\text{VM}} = F_u \end{cases}$$

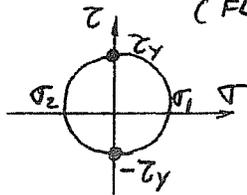
CRITERIO DE FALLA

### En un Estado de Corte Puro



$\tau_y$  = ESF. DE CORTE PARA EL QUE SE VERIFICA EL CRITERIO DE FALLA DE VON MISES (FLUENCIA)

$$\begin{aligned} \sigma_1 &= \tau_y \\ \sigma_2 &= -\tau_y \\ \sigma_3 &= 0 \end{aligned}$$

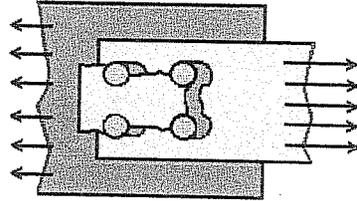


$$\sigma_{\text{VM}} = \sqrt{\frac{(2\tau_y)^2 + \tau_y^2 + \tau_y^2}{2}} = \sqrt{3} \tau_y$$

EN LA CONDICION DE FALLA  $\sigma_{\text{VM}} = \sqrt{3} \tau_y = F_y$

$$\rightarrow \begin{cases} \tau_y = F_y / \sqrt{3} \approx 0.60 F_y \\ \tau_u = F_u / \sqrt{3} \approx 0.60 F_u \end{cases}$$

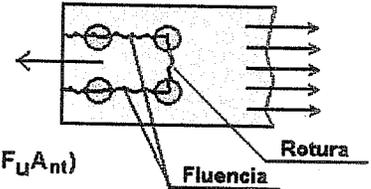
*Arranque de Bloque*



$A_{nv}$  = Area neta en corte  
 $A_{nt}$  = Area neta en tracción  
 $A_{gv}$  = Area gruesa en corte  
 $A_{gt}$  = Area gruesa en tracción

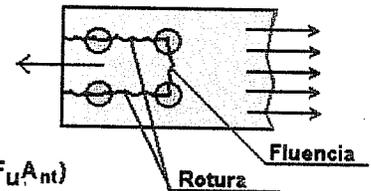
Si  $F_u A_{nt} \geq 0.6 F_u A_{nv}$

$$\phi R_n = 0.75 (0.6 F_y A_{gv} + F_u A_{nt}) < 0.75 (0.6 F_u A_{nv} + F_u A_{nt})$$



Si  $F_u A_{nt} < 0.6 F_u A_{nv}$

$$\phi R_n = 0.75 (0.6 F_u A_{nv} + F_y A_{gt}) < 0.75 (0.6 F_u A_{nv} + F_u A_{nt})$$

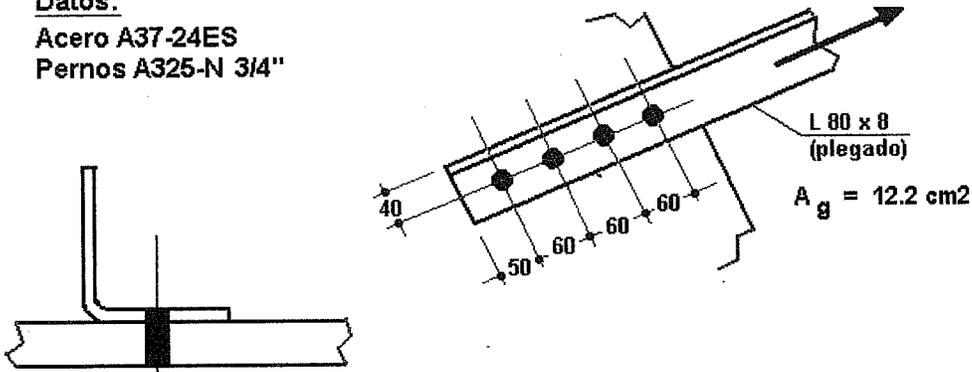


## Ejemplo

Determinar la resistencia a tracción de la conexión de la figura.

**Datos:**

Acero A37-24ES  
Pernos A325-N 3/4"

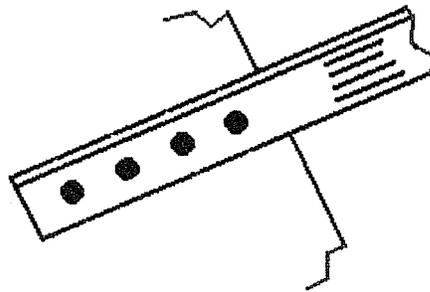


### 1., Fluencia en el Area Gruesa

$$\phi P_n = 0.90 F_y A_g$$

$$= 0.90 \times 2.4 \text{ t/cm}^2 \times 12.2 \text{ cm}^2$$

$\phi P_n = 26.35 \text{ ton}$



### 2.- Fractura en el Area Netas Efectiva

$$d_{ef} = 1.9 + \frac{0.3}{d_p} = 2.2 \text{ cm}$$

(1/8")

$$A_n = ((8 + 8 - 0.8) - 2.2) \times 0.8 = 10.4 \text{ cm}^2$$

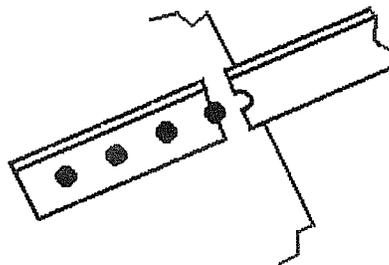
$$U = 1 - \frac{2.3}{18} = 0.87$$

$$A_e = U A_n = 0.87 \times 10.4 = 9.05 \text{ cm}^2$$

$$\phi P_n = 0.75 F_u A_e$$

$$= 0.75 \times 3.7 \times 9.05$$

$\phi P_n = 25.10 \text{ ton}$

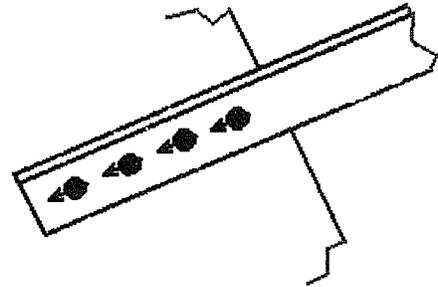


3. Resistencia al Corte de Pernos

$d = 3/4"$ , HILO INCLUIDO, CIZALLE SIMPLE

$$\phi R_n = 4 \times 7.2 \text{ t} \\ = 28.80$$

$$\phi R_n = 28.80 \text{ ton}$$

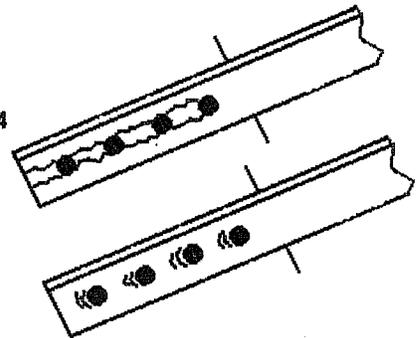


4. Resistencia al Aplastamiento

$$\phi R_n = \phi 1.2 L_c t F_u < \phi 2.4 dt F_u$$

$$0.75 \times 1.2 (5 + 6 \times 3) \times 0.8 \times 3.7 < 0.75 \times 2.4 \times 1.9 \times 0.8 \times 3.7 \times 4 \\ 61.27 \text{ t} < 40.49 \text{ t}$$

$$\phi R_n = 40.49 \text{ ton}$$

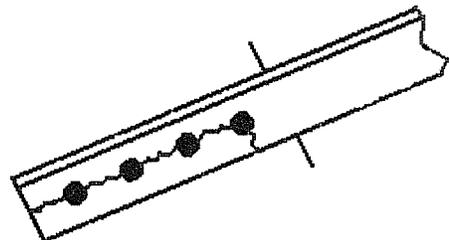


5. Arrancamiento Bloque de Corte

$$= \text{MAX} \left\{ \begin{array}{l} (0.6 F_y A_{vg} + F_u A_{nt}) \\ (0.6 F_u A_{ns} + F_y A_{gt}) \end{array} \right.$$

$$= \text{MAX} \left\{ \begin{array}{l} 0.75 \times (0.6 \times 2.4 \times 23.0 \times 0.8 + 3.7 \times (4.0 - 0.5 \times 2.2) \times 0.8) = 26.31 \text{ t} \\ 0.75 \times (0.6 \times 3.7 \times (23.0 - 3.5 \times 2.2) \times 0.8 + 2.4 \times 4.0) = 32.68 \text{ t} \end{array} \right.$$

$$\phi R_n = 32.68 \text{ ton}$$



| RESUMEN                           | $\phi$ P n |
|-----------------------------------|------------|
| FLUENCIA EN EL AREA GRUESA        | 26.35 ton  |
| FRACTURA EN EL AREA NETA EFECTIVA | 25.10 ton  |
| RESISTENCIA AL CORTE DE PERNOS    | 28.80 ton  |
| APLASTAMIENTO                     | 40.49 ton  |
| ARRANCAMIENTO BLOQUE DE CORTE     | 32.68 ton  |

## ***2.- Conexiones Soldadas***

### ***Alcances AISC - LRFD***

En general se deberá cumplir con lo indicado en la especificación AWS D1.1

American Welding Society

Excepto lo indicado en la norma AISC - LRFD, en especial lo relativo a:

- 1.- Empalmes de secciones pesadas (ASTM A6)
  - Puntos de concentración de tensiones (NOTCH)
  - Pre calentamiento
  - Remoción de placas de respaldo + pulido
  - Agujeros de acceso para soldar
  - Desgarramiento laminar
- 2.- Requisitos para soldadura de Filete
- 3.- Combinación de varios tipos de soldadura en una misma conexión
- 4.- Resistencia de diseño de soldaduras (Tabla)
- 5.- Detallamiento en planos

### Resistencia de Diseño de Conexiones Soldadas

$$\phi R_n = \min \left\{ \begin{array}{l} \phi F_{BM} A_{BM} \\ \phi F_W A_W \end{array} \right. \quad \text{TENSIONES}$$

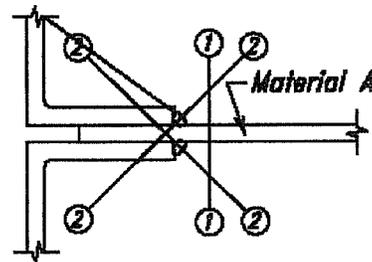
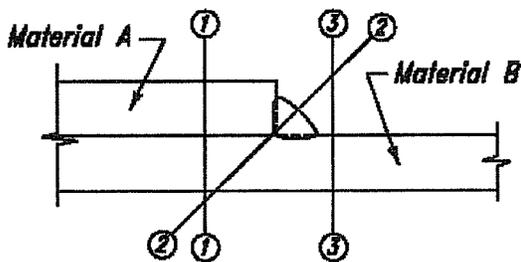
$F_{BM}$  = RESISTENCIA NOMINAL DEL METAL BASE

$A_{BM}$  = AREA DE LA SECCION TRANSVERSAL DEL METAL BASE

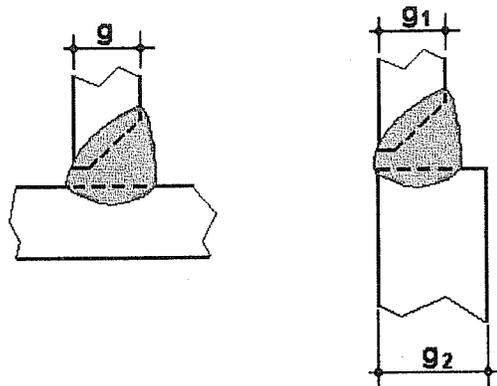
$F_W$  = RESISTENCIA NOMINAL DEL METAL DE APORTE  
(ELECTRODO)

$A_W$  = AREA EFECTIVA DEL CORDON DE SOLDADURA

$\phi$  = FACTOR DE RESISTENCIA

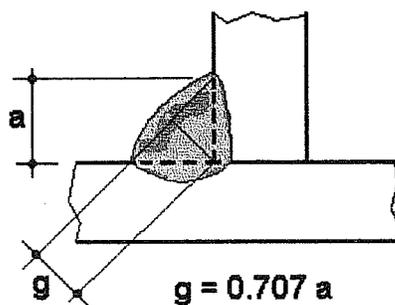


### Areas Efectivas en Soldaduras de Bisel Penetración Completa

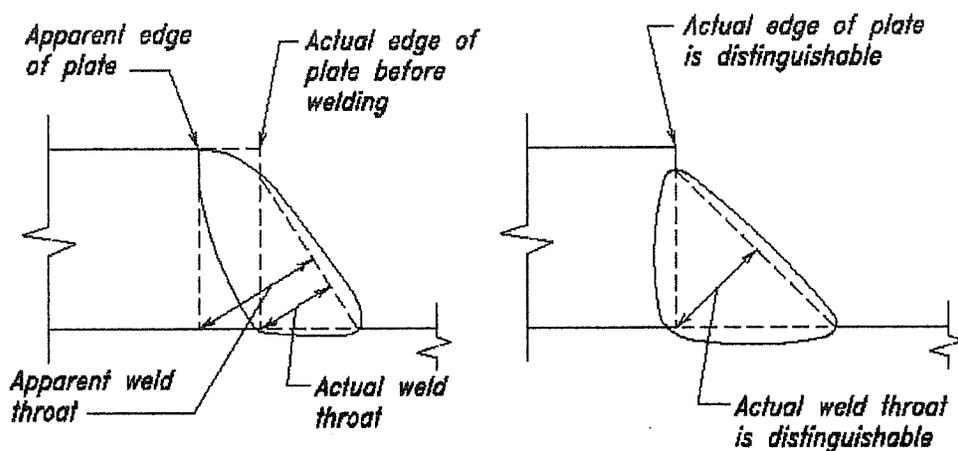


$$g = \text{MIN}(g_1, g_2)$$

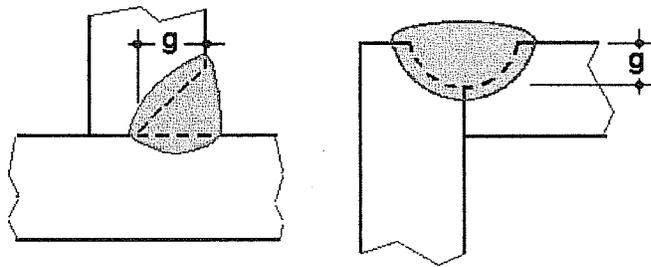
*Areas Efectivas en Soldaduras de Filete*



| TAMAÑO MINIMO DE FILETES (mm)                 |                   |
|---|-------------------|
| Espesor de la parte más gruesa conectada (mm) | Tamaño del filete |
| hasta 6                                       | 3                 |
| más de 6 menos de 13                          | 5                 |
| más de 13 menos de 19                         | 6                 |
| más de 19                                     | 8                 |

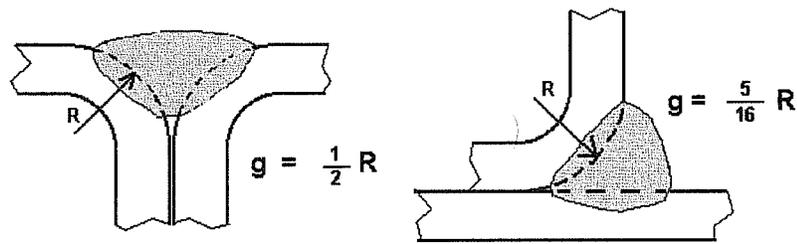


**Areas Efectivas en Soldaduras de Bisel**  
*Penetración Parcial*



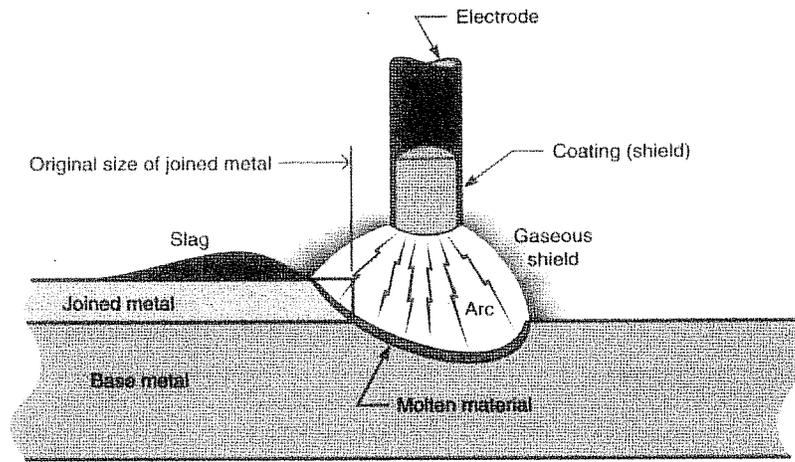
Area Efectiva = Longitud del cordón x garganta efectiva

**Areas Efectivas en Soldaduras de Relleno**



| Espesor de garganta mínimo para soldaduras de bisel de penetración parcial (mm) |                        |
|---|------------------------|
| Espesor de la parte más gruesa conectada (mm)                                   | Espesor de la garganta |
| hasta 6   | 3                      |
| más de 6 hasta 13   | 5                      |
| más de 13 hasta 19  | 6                      |
| más de 19 hasta 38  | 8                      |
| más de 38 hasta 57  | 10                     |
| más de 57 hasta 150   | 13                     |
| más de 150  | 16                     |

| PROCESOS DE SOLDADURA ELECTRICA - APLICACION ESTRUCTURAL |                        |                   |                      |                                     |
|--|------------------------|-------------------|----------------------|-------------------------------------|
| Denominación   |                        | Tipo              |                      | Atmósfera protectora                |
| SMAW   | Shielded Metal Arc     | Arco protegido    | MANUAL               | Gas del recubrimiento del electrodo |
| SAW  | Submerged Arc          | Arco sumergido    | AUTOM. , SEMI AUTOM. | Fundente (Flux)                     |
| GMAW   | Gas Shielded Metal Arc | Arco protegido    | AUTOM. , SEMI AUTOM. | Gas (Ar, CO2, He)                   |
| FCAW   | Flux Cored Arc         | Fundente interior | AUTOM. , SEMI AUTOM. | Fundente (Flux)                     |

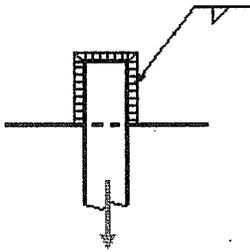


### *Denominación de Electrodo (AWS)*

| Clasificación electrodos SMAW |                                    |                    |                                   |   |                               |
|-------------------------------|------------------------------------|--------------------|-----------------------------------|---|-------------------------------|
| E                             | 70                                 | 1                  | 8                                 | - | A1                            |
| Electrodo                     | Resistencia mínima a tracción, Ksi | Código de posición | Características del recubrimiento |   | Composición química del metal |

| Clasificación electrodos GMAW |                         |                                    |                  |   |                               |                           |
|-------------------------------|-------------------------|------------------------------------|------------------|---|-------------------------------|---------------------------|
| E                             | R                       | 80                                 | S                | - | B2                            | L                         |
| Electrodo                     | Rod (varilla de aporte) | Resistencia mínima a tracción, Ksi | Electrodo sólido |   | Composición química del metal | Bajo Carbono (Low Carbon) |

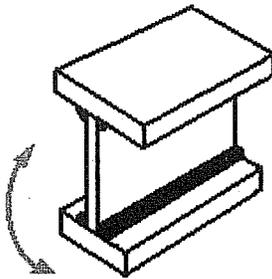
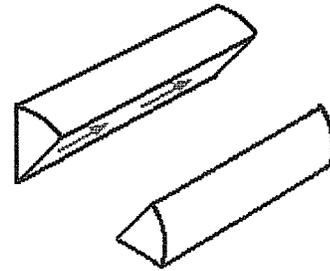
**Resistencia de Soldaduras**  
*Soldadura de Filete*



Corte en el Area Efectiva del filete

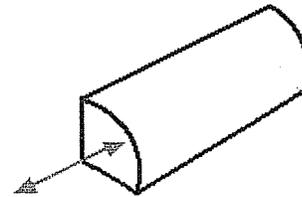
$$\phi F_w = 0.75 \times 0.60 F_{EXX}$$

Corte en el Metal Base según configuración de la conexión



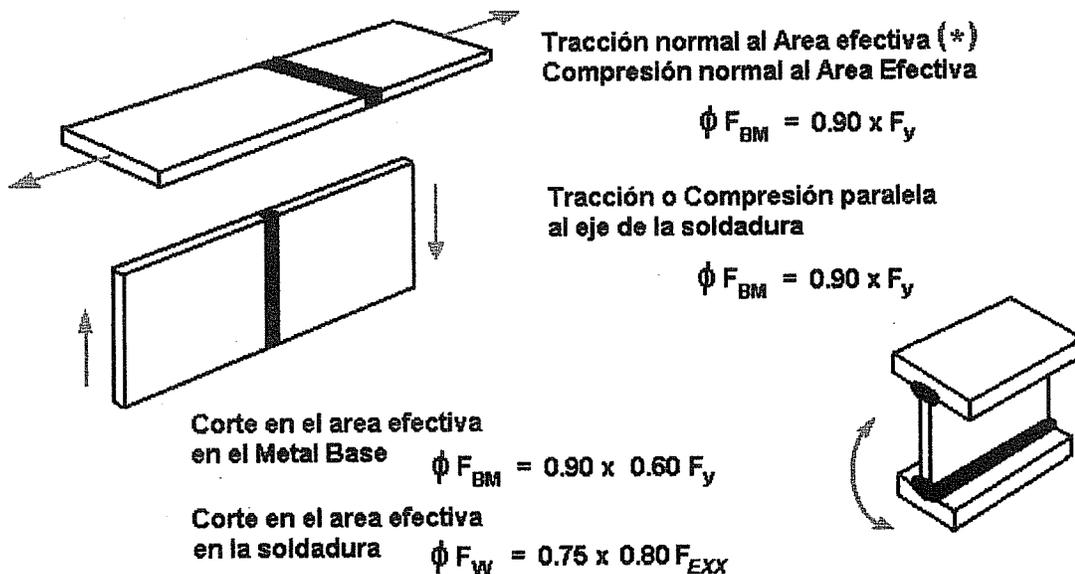
Tracción o Compresión paralela al eje del cordón

$$\phi F_{BM} = 0.90 \times F_y$$



| RESISTENCIA AL CORTE DE FILETES<br>(Ton/cm) |                 |       |
|---|-----------------|-------|
| Tamaño del Filete (mm)                      | $\Phi R_n$      |       |
|   | ELECTRODO (AWS) |       |
|   | E60XX           | E70XX |
| 3   | 0.402           | 0.469 |
| 5   | 0.670           | 0.782 |
| 6   | 0.804           | 0.938 |
| 8   | 1.072           | 1.251 |
| 10  | 1.340           | 1.563 |
| 12  | 1.608           | 1.876 |
| 16  | 2.144           | 2.501 |

**Resistencia de Soldaduras**  
*Soldadura de Penetración Completa*



Tracción normal al Area efectiva (\*)  
Compresión normal al Area Efectiva

$$\phi F_{BM} = 0.90 \times F_y$$

Tracción o Compresión paralela  
al eje de la soldadura

$$\phi F_{BM} = 0.90 \times F_y$$

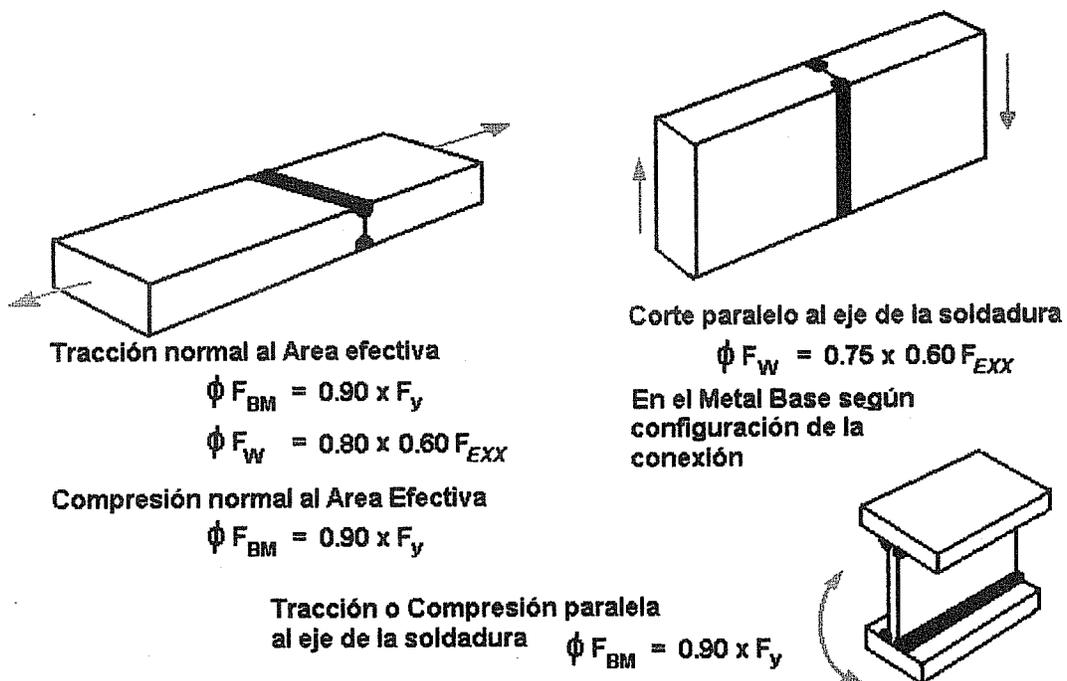
Corte en el area efectiva  
en el Metal Base

$$\phi F_{BM} = 0.90 \times 0.60 F_y$$

Corte en el area efectiva  
en la soldadura

$$\phi F_w = 0.75 \times 0.80 F_{EXX}$$

**Resistencia de Soldaduras**  
*Soldadura de Penetración Parcial*



Tracción normal al Area efectiva

$$\phi F_{BM} = 0.90 \times F_y$$

$$\phi F_w = 0.80 \times 0.60 F_{EXX}$$

Compresión normal al Area Efectiva

$$\phi F_{BM} = 0.90 \times F_y$$

Tracción o Compresión paralela  
al eje de la soldadura

$$\phi F_{BM} = 0.90 \times F_y$$

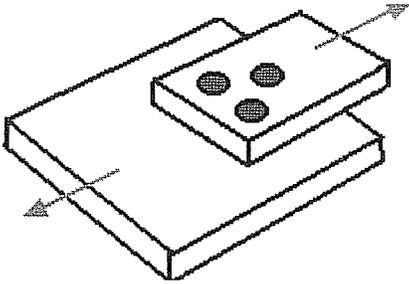
Corte paralelo al eje de la soldadura

$$\phi F_w = 0.75 \times 0.60 F_{EXX}$$

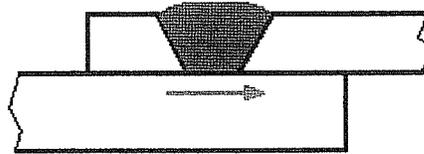
En el Metal Base según  
configuración de la  
conexión

**Resistencia de Soldaduras**  
*Soldadura de Tapón o Ranura*

Corte paralelo a las superficies conectadas en el Area Efectiva  
 $\phi F_W = 0.75 \times 0.60 F_{EXX}$



Corte en el Metal Base según configuración de la conexión



**Método Clásico de Análisis**

$L = \sum L_i$   
 $f_{vx} = \frac{P_x}{L}$   
 $f_{vy} = \frac{P_y}{L}$   
 $f_m = \frac{M r}{I_p}$        $I_p = I_x + I_y$

$$f_{\text{diseño}} \left[ \frac{\tau}{\text{cm}} \right] = \sqrt{(f_{vx} + f_{mx})^2 + (f_{vy} + f_{my})^2}$$

Se asume un ancho unitario del cordón de soldadura

**Método de Resistencia Última**  
**Centro Instantáneo de Rotación**

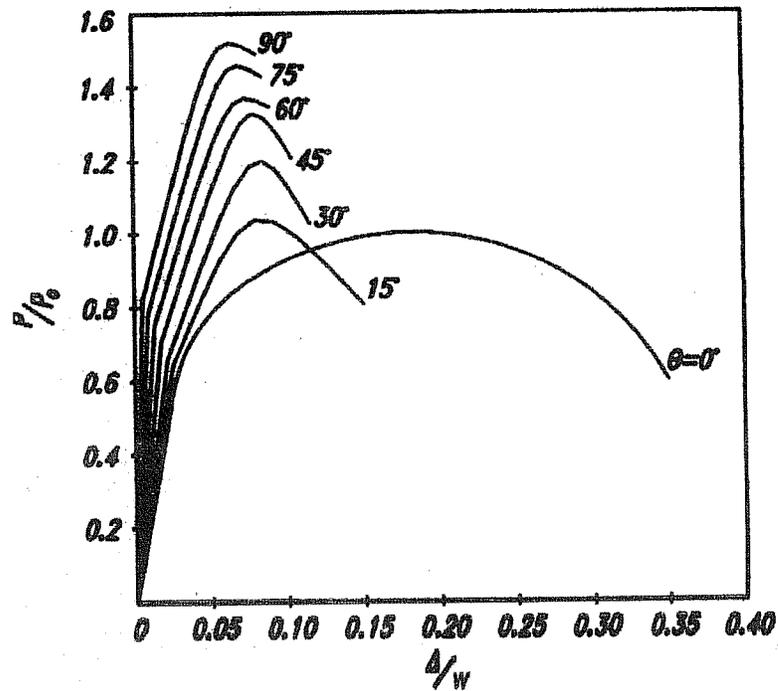
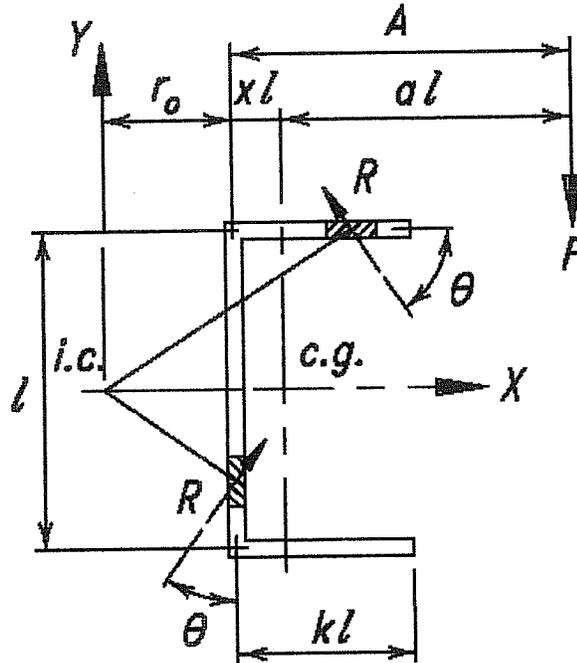
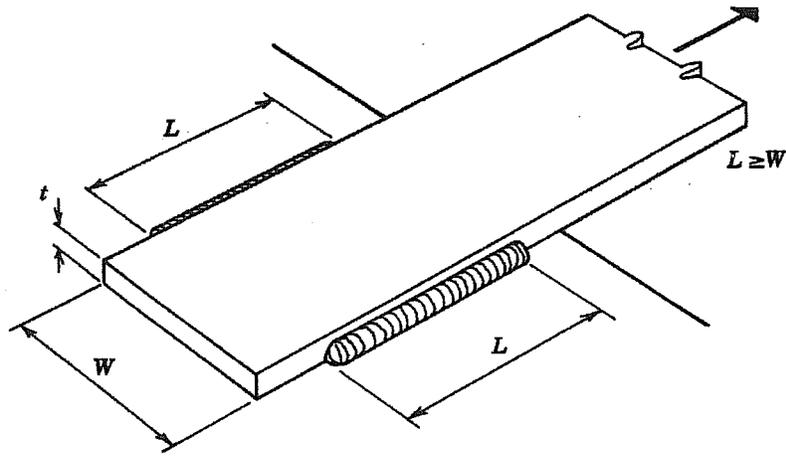


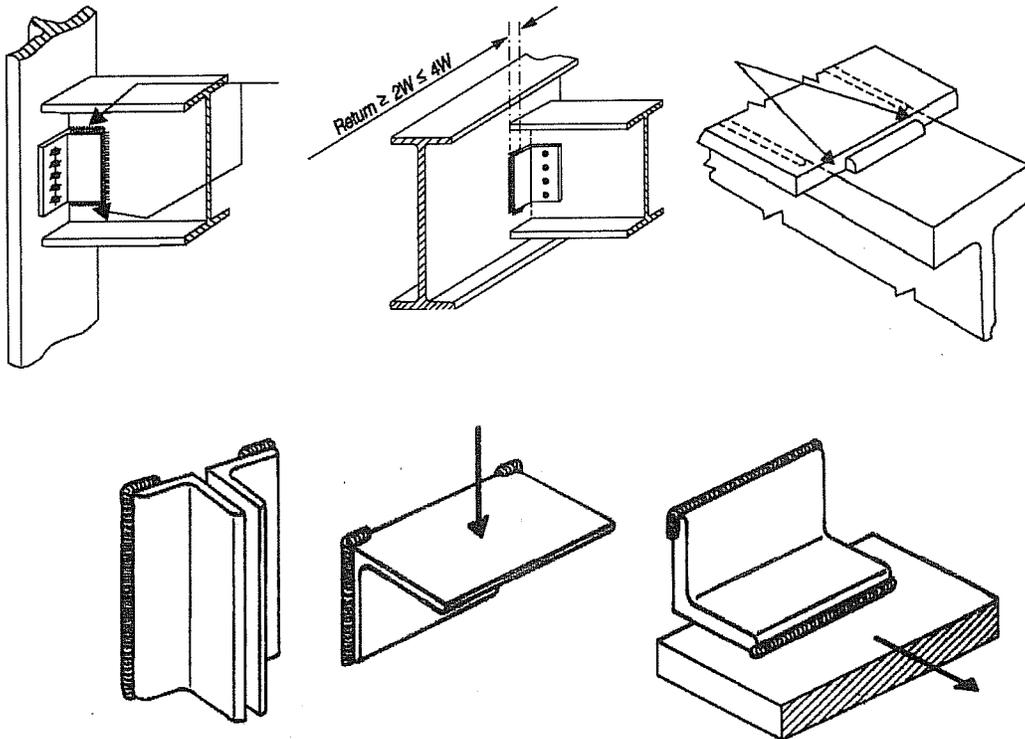
Fig. C-A-J2.2. Load deformation relationship.

LRFD Specification for Structural Steel Buildings, December 27, 1999  
 AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION

*Areas Netas Efectivas*

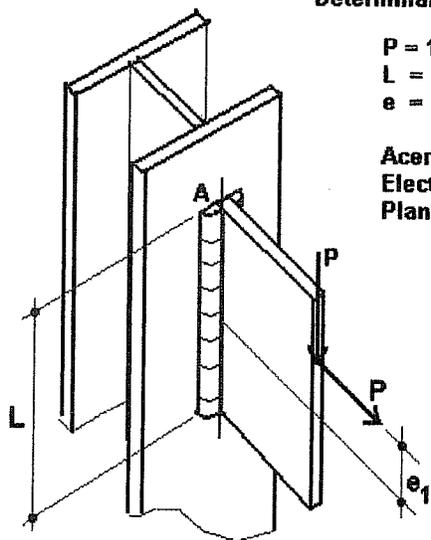


|                 |                |                       |
|-----------------|----------------|-----------------------|
| $A_{neta}$      | = $A_{gruesa}$ |                       |
| $A_{efectiva}$  | = $A_e$        | = $U \times A_{neta}$ |
| $L > 2w$        |                | $U = 1.0$             |
| $2w > L > 1.5w$ |                | $U = 0.87$            |
| $1.5w > L > w$  |                | $U = 0.75$            |



*Detalles de soldaduras - Control de concentración de tensiones (NOTCH)*

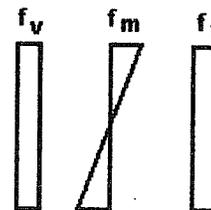
**Ejemplo**



Determinar tamaño del filete

$P = 13.5 \text{ ton}$   
 $L = 40 \text{ cm}$   
 $e = 15 \text{ cm}$

Acero A36  
Electrodo E7018  
Plancha  $400 \times 300 \times 12$



$$f_v = \frac{P}{2L} = \frac{13.5}{2 \times 40} = 0.169 \text{ t/cm}$$

$$f_t = \frac{P}{2L} = 0.169 \text{ t/cm}$$

$$M = P e_1 + P e_2 = 13.5 \times 15 + 13.5 \times 30 = 607.5 \text{ tcm}$$

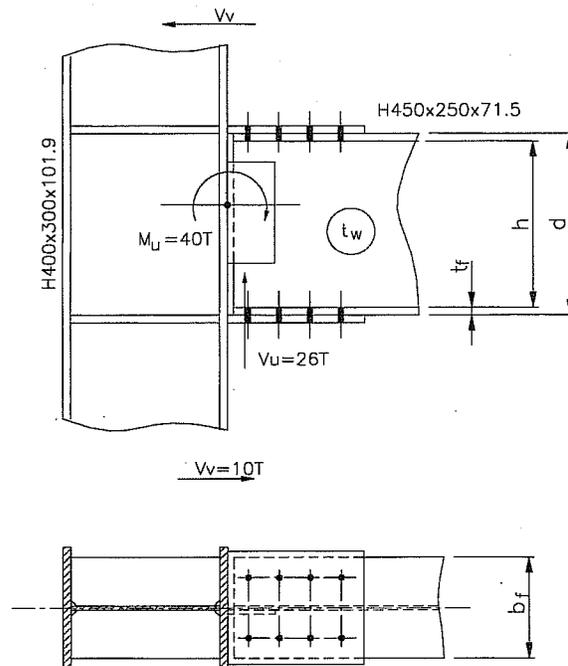
$$f_m^A = \frac{M L/2}{I} = \frac{607.5 \times 20}{2 \times 40^3 / 12} = 1.139 \text{ t/cm}$$

$$f_{dis} = \sqrt{(f_t + f_m)^2 + f_v^2} = 1.319 \text{ t/cm}$$

FILETE 10 mm  $\phi R_n = 1.563 \text{ t/cm}$  O.K.

### 3.- Ejemplos

Diseñar una unión de momento con pernos de alta resistencia, PAR, entre una viga H450x250x71,5 y una columna H400x300x101,9. Acero de viga y columna: A572 Gr. 50. Acero de elementos de conexión: A36. PAR calidad A325. Diseñar inicialmente para las resistencias requeridas por el cálculo:  $M_u = 40 \text{ Tm}$ ,  $V_u = 26 \text{ T}$ , y luego analizar la ductilidad de la solución alcanzada.



| Perfil         | d<br>mm | bf<br>mm | tf<br>mm | hw<br>mm | tw<br>mm | Z <sub>x</sub><br>mm <sup>3</sup> |
|----------------|---------|----------|----------|----------|----------|-----------------------------------|
| H450x250x71,5  | 450     | 250      | 14       | 422      | 5        | 1,78X10 <sup>8</sup>              |
| H400x300x101,9 | 400     | 300      | 18       | 364      | 6        | 2,26X10 <sup>6</sup>              |

Acero A572 Gr. 50:  $F_u = 65 \text{ ksi} = 448 \text{ N/mm}^2$   
 $F_y = 50 \text{ ksi} = 345 \text{ N/mm}^2$

Acero A36:  $F_u = 58 \text{ ksi} = 400 \text{ N/mm}^2$   
 $F_y = 36 \text{ ksi} = 248 \text{ N/mm}^2$

Solución

#### a) Resistencia de la viga en flexión y corte

a.1) La sección H 450x250x71,5 es compacta.

$$Z_{req} = \frac{M_u}{0,9F_y} = \frac{39,24 \times 10^7 \text{ Nmm}}{0,9 \times 345} = 1,264 \times 10^6 \text{ mm}^3$$

Supóngase dos corridas de pernos A325 de 7/8" de diámetro, en agujeros estándar:

Area bruta del ala:

$$A_{fg} = b_f \times t_f = 250 \times 14 = 3500 \text{ mm}^2$$

Area neta del ala:

$$A_{fn} = A_{fg} - 2(d + 2)t_f = 3500 - 2(24 + 2) \times 14 = 2772 \text{ mm}^2 \quad (\text{sección 5.2})$$

$$0,75 F_u A_{fn} = 0,75 \times 448 \times 2772 = 931.392 \text{ N} = 95 \text{ T} \quad (\text{sección 5.10.1})$$

$$0,9 F_y A_{fg} = 0,9 \times 345 \times 3500 = 1.086.750 \text{ N} = 110,78 \text{ T} \quad (\text{sección 5.10.1})$$

O sea, según la sección 5.10.1 de esta Especificación, las propiedades del elemento en flexión deben basarse en el área efectiva del ala en tracción  $A_{fe}$ :

$$A_{fe} = \frac{5 F_u}{6 F_y} A_{fn} = \frac{5}{6} \times \frac{448}{345} \times 2772 = 3000 \text{ mm}^2 \quad (\text{fórmula 5.10-3})$$

Esto significa una reducción del 14,3% respecto del área bruta del ala traccionada; con lo que el módulo plástico efectivo sería:

$$Z_{ef} \approx Z_x - 2 \left( 0,143 A_{fg} \times \frac{d}{2} \right) = 1,75 \times 10^6 - 2 \times 0,143 \times 3500 \times \frac{450}{2}$$

$$Z_{ef} \approx 1,525 \times 10^6 \text{ mm}^3 > 1,264 \times 10^6 \text{ mm}^3 \quad \text{OK}$$

a.2) Resistencia al corte:

$$V_u = 26 \text{ T}$$

$$\frac{h}{t_w} = \frac{422}{5} = 84,4$$

$$2,45 \sqrt{E / F_y} = 59 < 84,4 \quad (\text{tabla 5.5.1})$$

$$3,07 \sqrt{E / F_y} = 73,91$$

$$V_n = A_w \left[ \frac{4,52E}{(h/t_w)^2} \right] = 450 \times 5 \left[ \frac{4,52 \times 2 \times 10^5}{(84,4)^2} \right] = 285539 \text{ N} \quad (\text{fórmula 9.3-3})$$

$$\phi V_n = 0,9 \times 285539 = 256985 \text{ N} = 26,2 \text{ T} > 26$$

La viga podría no tener atiesadores de alma.

**a) Conexión de corte del alma**

Supóngase que se hace de acero A36. Tratar placa de 250x90x10.

b.1) Capacidad en corte de pernos A325 de 7/8" de diámetro, con hilos incluidos en el plano de corte en cizalle simple.

$$\begin{aligned} A_g &= 388 \text{ mm}^2 \\ \phi &= 0,75 \\ F_u &= 330 \text{ MPa} \quad (\text{tabla 13.3.2}) \\ \phi R_n &= 96030 = 9,8 \text{ T} \end{aligned}$$

$$\text{N}^\circ \text{ de pernos: } 26/9,8 = 2,65 \qquad 3 \text{ pernos } 7/8$$

b.2) Capacidad de aplastamiento del alma (A572 Gr. 50)

$$R_n = 1,2 L_c t F_u < 2,4 d t F_u \qquad (\text{fórmula 13.3-5})$$

Distancia entre agujeros: Usar 75 mm (ver figura en d.7.1)

$$\begin{aligned} \text{Diámetro del perno: } d &= 7/8'' = 22 \text{ mm} \\ \text{Diámetro del agujero: } D &= 22+2 = 24 \text{ mm} \\ L_c &= 75 - 24 = 51 \text{ mm} \\ R_n &= 1,2 \times 51 \times 5 \times 448 = 137088 > 2,4 \times 22 \times 5 \times 448 = 118272 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{o sea } \phi R_n &= 0,75 \times 118272 = 88704 \text{ N} = 9,04 \text{ T por perno. Con 3 pernos se tendría } \phi R_n \\ &= 27,12 \text{ T} > 26. \qquad \text{OK} \end{aligned}$$

b.3) Capacidad de aplastamiento de la placa de corte (A36):

$$\begin{aligned} \text{pernos interiores:} \\ R_n &= 2,4 d t F_u = 2,4 \times 22 \times 10 \times 400 = 211.200 \text{ N} = 21,5 \text{ T} \qquad (\text{fórmula 13.3-5}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Perno extremo:} \\ L_c &= 50 - 24/2 = 38 \text{ mm.} \\ R_n &= 1,2 \times 38 \times 10 \times 400 = 182400 \text{ N} = 18,6 \text{ T} \\ R_n &= 2 \times 21,5 + 18,6 = 61,6 \text{ T} \end{aligned}$$

b.4) Fluencia al corte de la placa:

$$\begin{aligned} \phi R_n &= 0,9 (0,6 F_y A_g) \qquad (\text{fórmula 9.3-1}) \\ &= 0,9 \times 0,6 \times 248 \times 250 \times 10 = 334.800 \text{ N} \\ &= 34,13 \text{ T} > 26 \text{ T} \qquad \text{OK} \end{aligned}$$

b.5) Ruptura al corte de la placa:

$$\begin{aligned} \phi R_n &= 0,75 (0,6 F_u A_{nv}) \qquad (\text{acápite 13.4.1}) \\ &= 0,75 \times 0,6 \times 400 \times (250 - 3 \times 26) \times 10 \\ &= 309.600 \text{ N} \\ &= 31,55 \text{ T} > 26 \qquad \text{OK} \end{aligned}$$

- b.6) Ruptura de bloque por cizalle en la placa: Ver figura al final del acápite d.7.1

$$A_{nv} = [(75+75+50)-2,5 \times 26] \times 10 = 1350 \text{ mm}^2$$

$$A_{nt} = \left( 40 - \frac{24 + 2}{2} \right) 10 = 270 \text{ mm}^2$$

$$0,6F_u A_{nv} = 0,6 \times 400 \times 1350 = 324.000 \text{ N}$$

$$F_u A_{nt} = 400 \times 270 = 108.000 \text{ N}$$

$$F_u A_{nt} < 0,6 F_u A_{nv}$$

$$\phi R_n = 0,75(0,6 F_u A_{nv} + F_y A_{gt}) \quad (\text{fórmula 13.4.4})$$

$$\phi R_n = 0,75(324.000 + 248 \times 40 \times 10) = 317.400 \text{ N}$$

$$\phi R_n = 32,35 \text{ T} > 26 \quad \text{OK}$$

- b.7) Verificación de la capacidad global de la placa. Para que no haya pandeo de la placa de corte en el Manual AISC, LRFD, segunda edición, pág. 9-148, se recomienda:

$$t_{\text{placa}} \geq L/64 = 250/64 = 3,9 \text{ mm} \quad \text{OK}$$

Simultáneamente, para que la placa tenga ductilidad al giro se recomienda:

$$t_{\text{placa}} \leq \frac{d_b}{2} + 1,5 = 22/2 + 1,5 = 12,5 \text{ mm} \quad \text{OK}$$

También se recomienda que el tamaño de la soldadura de filete a cada lado de la placa sea a lo menos  $\frac{3}{4}$  del espesor de la placa, con electrodos serie E70 y acero A36. Esto asegura que sea la placa la que fluya, y no la soldadura. O sea:  $s=7,5\text{mm}$ . En el presente caso la existencia de las placas que conectan las alas liberan a la placa de corte del momento proveniente de la excentricidad de la carga, que sí debe considerarse en las uniones de simple apoyo. El procedimiento normal es sólo controlar el corte en la placa, como en los acápites b.4) a b.6) anteriores, y en la soldadura.

Soldaduras:  $s = 7,5 \text{ mm}$ , electrodos E70

$$F_w = 70 \text{ ksi} = 480 \text{ MPa}$$

$$\phi R_n = 2\phi \times 0,6F_w \times \frac{s}{\sqrt{2}} \times l$$

$$\phi R_n = 2 \times 0,75 \times 0,6 \times 480 \times \frac{7,5}{1,4142} \times 250 = 572.756 \text{ N}$$

$$\phi R_n = 58,4T > 26T$$

OK

**c) Diseño de las placas de conexión de las alas**

Tratar placas 280x16, calidad A36.

c.1) Cálculo de la fuerza en las placas:

$$P_{uf} = \frac{M_u}{d} = \frac{40}{0,45} = 88,9T$$

c.2) Número de pernos A325,  $\phi 7/8''$  requeridos:

$$N = \frac{P_{uf}}{9,8} = \frac{88,9}{9,8} = 9,07T \quad \text{10 pernos}$$

Usar 10 pernos A325,  $\phi 7/8''$  distanciados a 75 mm.

c.3) Aplastamiento:

En el ala de la viga (A572 Gr. 50)

$$\begin{aligned} \text{Por perno: } \phi R_n &= 1,2 L_c t F_u = 1,2 (75-24) \times 14 \times 448 = 383846N \quad (\text{fórmula 13.3.4}) \\ \phi R_n &= 2,4 d t F_u = 2,4 \times 22 \times 14 \times 448 = 331.161N = 33,75T. \end{aligned}$$

En la placa de conexión (A36):

$$\begin{aligned} \text{Por perno: } \phi R_n &= 1,2 L_c t F_u = 1,2 (75-24) \times 16 \times 400 = 391.680N \\ \phi R_n &= 2,4 d t F_u = 2,4 \times 22 \times 16 \times 400 = 337.920N = 34,45T \end{aligned}$$

$\therefore$  Controla el corte en los pernos.

c.4) Fluencia en las placas de conexión:

$$\begin{aligned} \phi R_n &= \phi F_y A_g && (\text{fórmula 7.1-1}) \\ &= 0,9 \times 248 \times 280 \times 16 = 999.936N \\ &= 101,9 T > 88,9 T && \text{OK} \end{aligned}$$

c.5) Rotura de las placas de conexión:

$$\begin{aligned} \phi R_n &= \phi F_u A_e && (\text{fórmula 7.1-2}) \\ \phi R_n &= 0,75 \times 400 \times [280 - 2(24+2)] \times 16 = 1.094.400N \\ &= 111,56 T > 88,9 T \end{aligned}$$

- c.6) Rotura de bloque de las placas de conexión: (Ver figura en d.7.1)

$$\begin{aligned} \text{Placas: } A_{nv} &= (4 \times 75 + 40 - 4,5 \times 26) \times 2 \times 16 = 7136 \text{ mm}^2 \\ A_{nt} &= (140 - 26) \times 16 = 1824 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \therefore \phi R_n &= [0,6 F_u A_{nv} + F_y A_{gt}] && \text{(fórmula 13.4.3)} \\ &= 0,75 [0,6 \times 400 \times 7136 + 248 \times 140 \times 16] = 1,701 \times 10^6 \text{ N} \\ \phi R_n &= 173,4 \text{ T} > 88,9 \text{ T} \end{aligned}$$

- c.7) Soldadura a las alas de la columna:

Verificar soldadura de filete:

$$\begin{aligned} \phi R_n &= \phi F_w A_w && \text{(sección 13.2.4)} \\ \phi &= 0,75 ; F_w = 0,6 F_{EXX} \\ \text{Electrodo E60: } F_{EXX} &= 415 \\ A_w &= 280 \text{ s/} \end{aligned}$$

$$\phi R_n = 88,9 \text{ T} = 2 \times 0,75 \times 0,6 \times 415 \times \frac{s}{\sqrt{2}} \times 280 \times \frac{1}{9,81 \times 10^3}$$

$$s = 10,2 \text{ mm}$$

Con dos filetes de 11 mm se tendría la resistencia de cálculo requerida. Sin embargo, resulta más conveniente una soldadura de tope de penetración completa, con biseles y hecha en taller.

- c.8) Verificación de la placa de conexión comprimida.

El largo comprendido entre la columna y la primera corrida de pernos es 50 mm. Se puede aceptar  $K = 0,65$ .

$$r = \sqrt{\frac{bt^3}{12bt}} = \frac{t}{\sqrt{12}} = \frac{16}{\sqrt{12}} = 4,62 \quad \therefore \frac{Kl}{r} = 7,036$$

$$\lambda_c = \frac{Kl}{r\pi} \sqrt{\frac{F_y}{E}} = \frac{7,036}{\pi} \sqrt{\frac{248}{200.000}} = 0,079$$

$$\phi_c F_{cr} = 0,85 \times (0,685^{\lambda_c^2}) F_y = 210,3 \text{ MPa} \quad \text{(fórmula 8.2-2)}$$

$$\begin{aligned} \phi R_n &= \phi_c F_{cr} \times A = 210,3 \times 16 \times 280 = 942.144 \text{ N} \\ &= 96 \text{ T} > 88,9 \text{ T} \end{aligned}$$

OK

**d) Verificación de la columna**

d.1) Capacidad a la flexión de las alas de la columna:

$$\phi R_n = \phi(6,25 t_f^2 F_y) \quad (\text{fórmula 14.1-1})$$

$$\begin{aligned} \phi R_n &= 0,90(6,25 \times 18^2 \times 345) = 698.625 N \\ &= 71,2 T < 88,9 T \end{aligned}$$

Se requieren atiesadores para las alas, capaces de tomar la diferencia de  $88,9 - 71,2 = 17,7$  Tons.

d.2) Fluencia local de corte en el alma:

$$\phi R_n = (5k+N) F_y t_w \quad (\text{fórmula 14.1-2})$$

$$\begin{aligned} \phi &= 1,0 \\ k &= t_f + s = 18 + 6 = 24 \text{ mm} \\ N &= 16 \text{ mm} \\ t_w &= 6 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi R_n &= 1,0 \times (5 \times 24 + 16) \times 345 \times 6 = 281.520 N \\ &= 28,70 T < 88,9 T \end{aligned}$$

Se requieren atiesadores de alma capaces de tomar la diferencia de  $88,9 - 28,70 T = 60,20 T$ .

d.3) Aplastamiento del alma:

$$\phi R_n = \phi \times 0,80 t_w^2 \left[ 1 + 3 \left( \frac{N}{d} \right) \left( \frac{t_w}{t_f} \right)^{1,5} \right] \sqrt{E F_y \left( \frac{t_f}{t_w} \right)} \quad (\text{fórmula 14.1-4})$$

$$\phi R_n = 0,75 \times 0,80 \times 6^2 \left[ 1 + 3 \left( \frac{14}{400} \right) \left( \frac{6}{18} \right)^{1,5} \right] \sqrt{200.000 \times 345 \times \left( \frac{18}{6} \right)}$$

$$\phi R_n = 317.047 N = 32,3 T < 88,9 T$$

d.4) Pandeo lateral del alma:

El acápite 14.1.5 se aplica a casos en que las cargas son simples; es decir cuando no provienen de pares de fuerzas provenientes de un momento aplicado. Por lo tanto, en este ejemplo, no es aplicable.

d.5) Pandeo de compresión del alma:

El acápite 14.1.6 se aplica cuando hay pares de fuerzas aplicadas a ambos lados de la columna, que dejan el alma de la columna sometida a un esfuerzo predominante de compresión. En este ejemplo no es aplicable.

d.6) Diseño de los atiesadores:

Los atiesadores se diseñan para la mayor diferencia entre la fuerza aplicada  $P_{uf}=88,9T$  y las resistencias de diseño  $R_n$  calculadas antes. Es decir, la fuerza en los dos atiesadores debe ser:

$$R_{u,st} = P_{uf} - R_{n,min} = 88,9 - 28,70 = 60,20 T$$

y el área requerida con acero A572 Gr. 50 es:

$$A_{st} = \frac{R_{u,st}}{\phi F_{y,st}} = \frac{60,20 \times 10^3 \times 9,81}{0,9 \times 345} = 1902 mm^2$$

El ancho mínimo de cada atiesador, según acápite 14.1.9 de la Especificación, debe ser:

$$b_{min} + \frac{t_w}{2} > \frac{b_f}{3}$$

$$b_{min} > \frac{280}{3} - \frac{6}{2} = 90,33 mm$$

Espesor mínimo:

$$t_{min} = \frac{t_f}{2} \leq b_{min} \times \frac{\sqrt{F_y}}{250}$$

$$t_{min} = \frac{16}{2} \leq 90,33 \times \frac{\sqrt{345}}{250} = 6,7 mm$$

O sea, el espesor mínimo es 8 mm.

Ensayar atiesadores de 110x10 mm.

$$A = 2 \times 110 \times 10 = 2200 mm^2 > 1902 mm^2$$

$$R_{u,st} = 2200 \times 0,9 \times 345 = 683.100 N = 69,6 T$$

OK

d.7) Verificación de la zona panel:

En la columna hay un corte  $V_u$  de 10 Tons.

d.7.1) En primera instancia verificaremos el nudo como si se tratara de un marco no sismorresistente:

$$R_u = \frac{M}{d} - 10 = 88,9 - 10 = 78,9T \quad (\text{fórmula 14.1-9})$$

$$R_v = 0,60F_y d_c t_w = 0,6 \times 345 \times 400 \times 6 = 496.800N = 50,6T \quad (\text{fórmula 14.1-10})$$

$$\phi R_v = 0,75 \times 50,6 = 37,95T < 78,9$$

Es decir tendría que disponerse planchas adosadas de refuerzo, o atiesadores diagonales, capaces de tomar  $78,9 - 37,95 = 40,95T$ .

Habiéndose dispuesto atiesadores de continuidad, las planchas adosadas deben verificarse con las fórmulas 9.3-4 a 9.3-6. Si se agrega una plancha de 8 mm:

$$h/t_w = 364/8 = 45,50$$

$$k_v = 5 + 5/(a/h)$$

$$a/h = 450/364 = 1,236$$

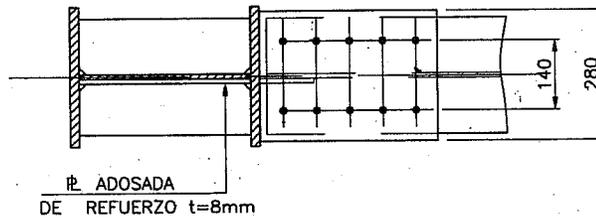
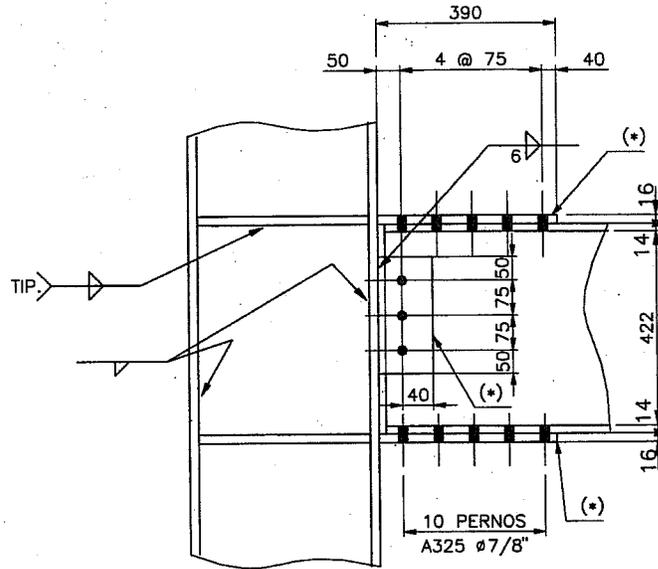
$$k_v = 8,27$$

$$1,1\sqrt{Ek_v / F_y} = 1,1\sqrt{8,27 \times 2 \times 10^5 / 345} = 76,16 > 45,50$$

$$R_v = 0,6 F_{yw} A_w = 0,6 \times 345 \times 400 \times 8 = 662.400N$$

$$\phi R_v = 0,75 \times 662.400 = 496.800N = 50,64 T > 40,95 T \quad \text{OK}$$

Debe notarse que la existencia de planchas adosadas de refuerzo permitiría reducir el área requerida de los atiesadores, lo que no se ha hecho en este ejemplo.



d.7.2) Si el marco es sismorresistente, la verificación debe hacerse con el momento plástico de la viga,  $ZF_y$ , o con  $0,8 ZF_u$  de las placas de conexión, el que sea menor.

$$M_p = Z_{ef} F_y = 1,525 \times 10^6 \times 345 = 526,13 \times 10^6 \text{ Nm} = 53,63 \text{ Tm PP (fórmula 14.1-9)}$$

$$M_p = 0,8 \times 16(280 - 2 \times 26) \times (450 + 16/2) \times 400 = 534,4 \times 10^6 \text{ Nmm} = 54,5 \text{ Tm}$$

O sea:  $M_p = 53,63 \text{ Tm}$

Representa un 34% de incremento respecto del valor de cálculo. Suponemos que el corte en la columna aumentará proporcionalmente.

$$R_u = \frac{53,63}{0,45} - 1,34 \times 10 = 105,8T$$

$$R_v = 0,6 F_y d_c t_p \left[ 1 + \frac{3 b_{cf} t_{cf}^2}{d_b d_c t_p} \right]$$

(fórmula 14.1-13)

Tratar con una plancha adosada de 10 mm con soldadura de tapón al alma, para que trabajen en forma conjunta:  $t_p = 16$  mm.

$$\dot{R}_v = 0,6 \times 345 \times 400 \times 16 \left[ 1 + \frac{3 \times 300 \times 18^2}{450 \times 400 \times 16} \right] = 1,459 \times 10^6 N$$

$$\phi R_v = 0,75 \times 1,459 \times 10^6 = 1,094 \times 10^6 N = 111,5 T > 105,8 T \quad \text{OK}$$

La plancha adosada debe soldarse a las alas, alma y atiesadores de la columna del modo como se indica en el acápite 14.1.10 de la Especificación.

La zona panel reforzada con planchas adosadas y atiesadores resulta de capacidad adecuada. Sin embargo, ni el alma de la columna ni la plancha adosada consideradas separadamente, cumplen con la relación siguiente, aplicable a marcos sismorresistentes:

$$t > (d_z + w_z)/90 \quad (\text{sección 14.1.7.1d})$$

en que  $t$  es el espesor del alma y  $d_z$  y  $w_z$  son el alto y el ancho de la zona panel.

$$t > \frac{364 + 456}{90} = 9,1 \text{ mm}$$

En tal caso, o se usa soldadura de tapón entre ambas, de modo que trabajen en forma conjunta como se indicó en el párrafo d.7.2, o se dispone de planchas de refuerzo que cumplan la relación y que tomen por sí mismas, sin la colaboración del alma, el corte especificado para la zona panel del marco sismorresistente (en este caso 105,8T, según d.7.2).

En los marcos sismorresistentes no sólo la zona panel debe verificarse para condiciones especiales, sino todos los otros elementos o miembros llamados a proporcionar ductilidad a la estructura. En este caso, por ejemplo, también las placas de conexión de las alas, los atiesadores de alma, la placa de corte, los pernos y soldaduras deben permitir que la viga alcance su momento plástico o el momento sísmico probable real. El diseño debe hacer que prevalezcan los modos de falla de mayor ductilidad.



