

Jornada sobre cálculo de nudos con programas informáticos

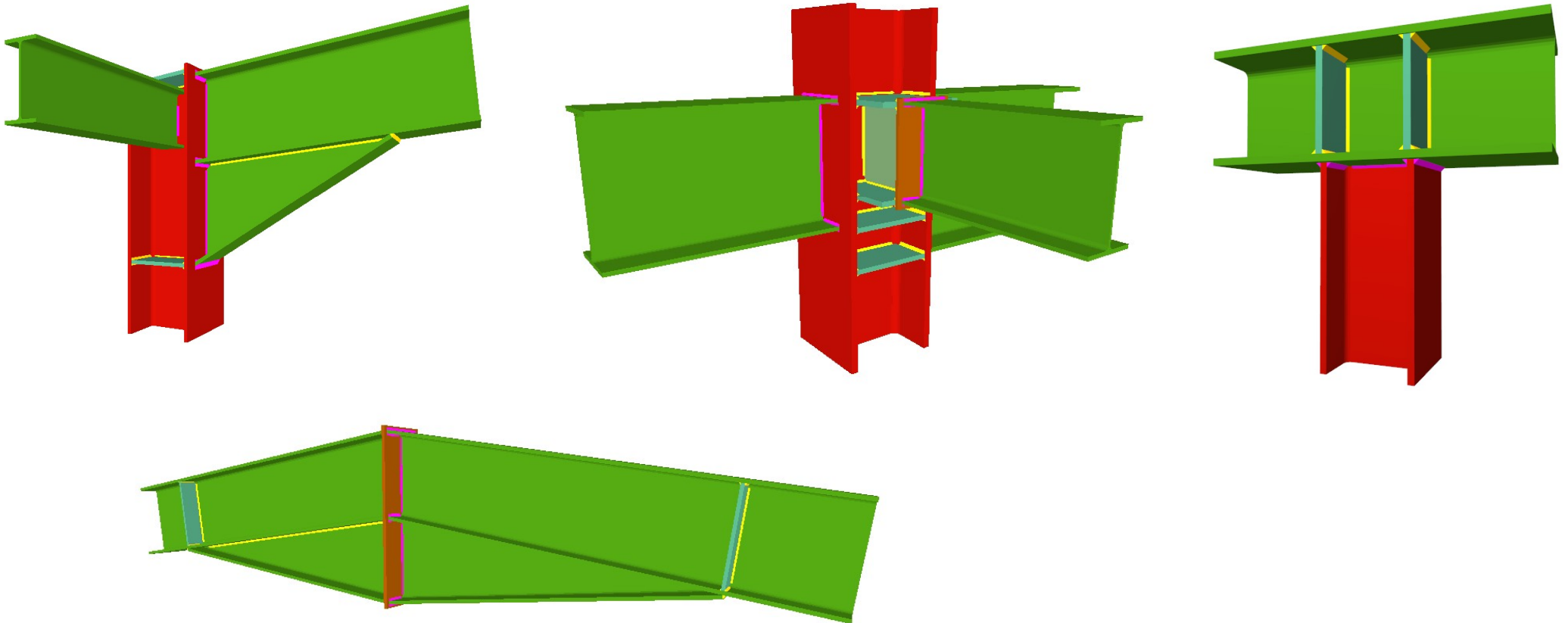


# Diseño de uniones atornilladas y placas de anclaje

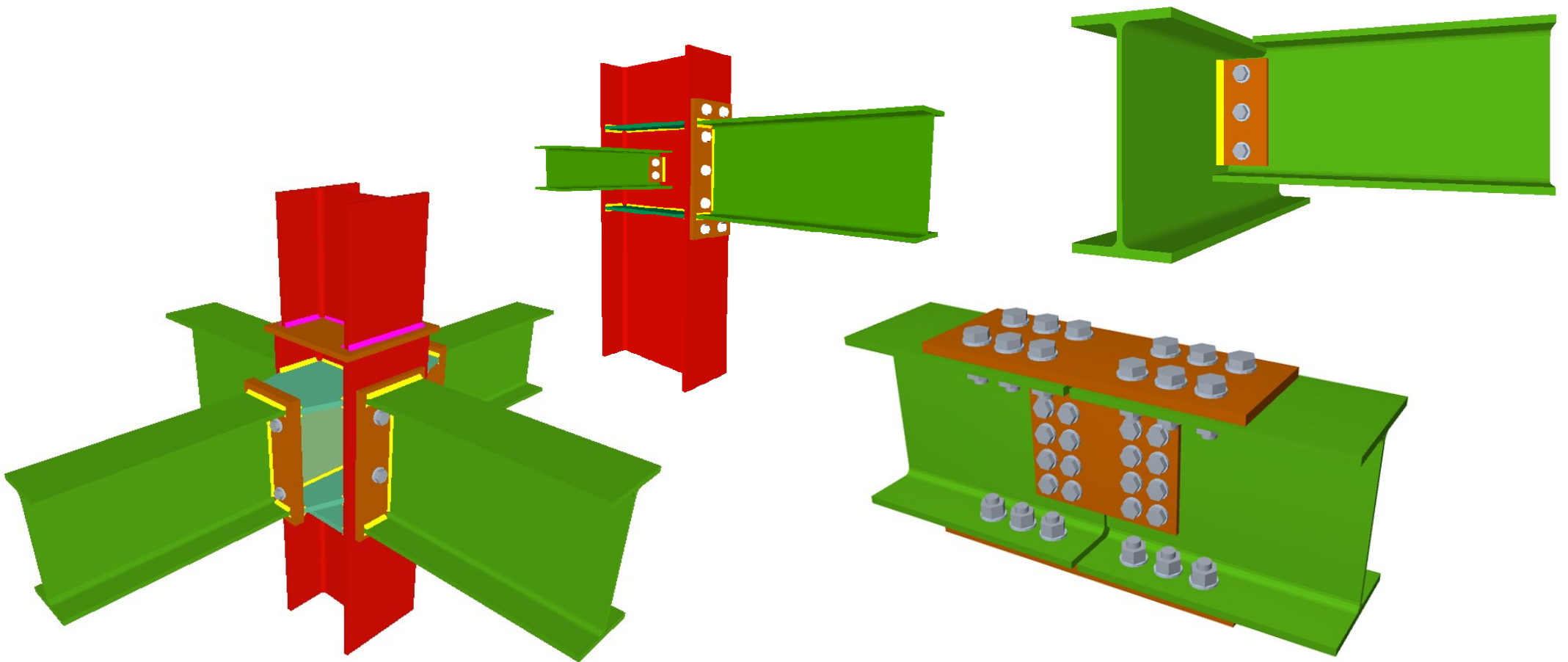
Pablo Gómez



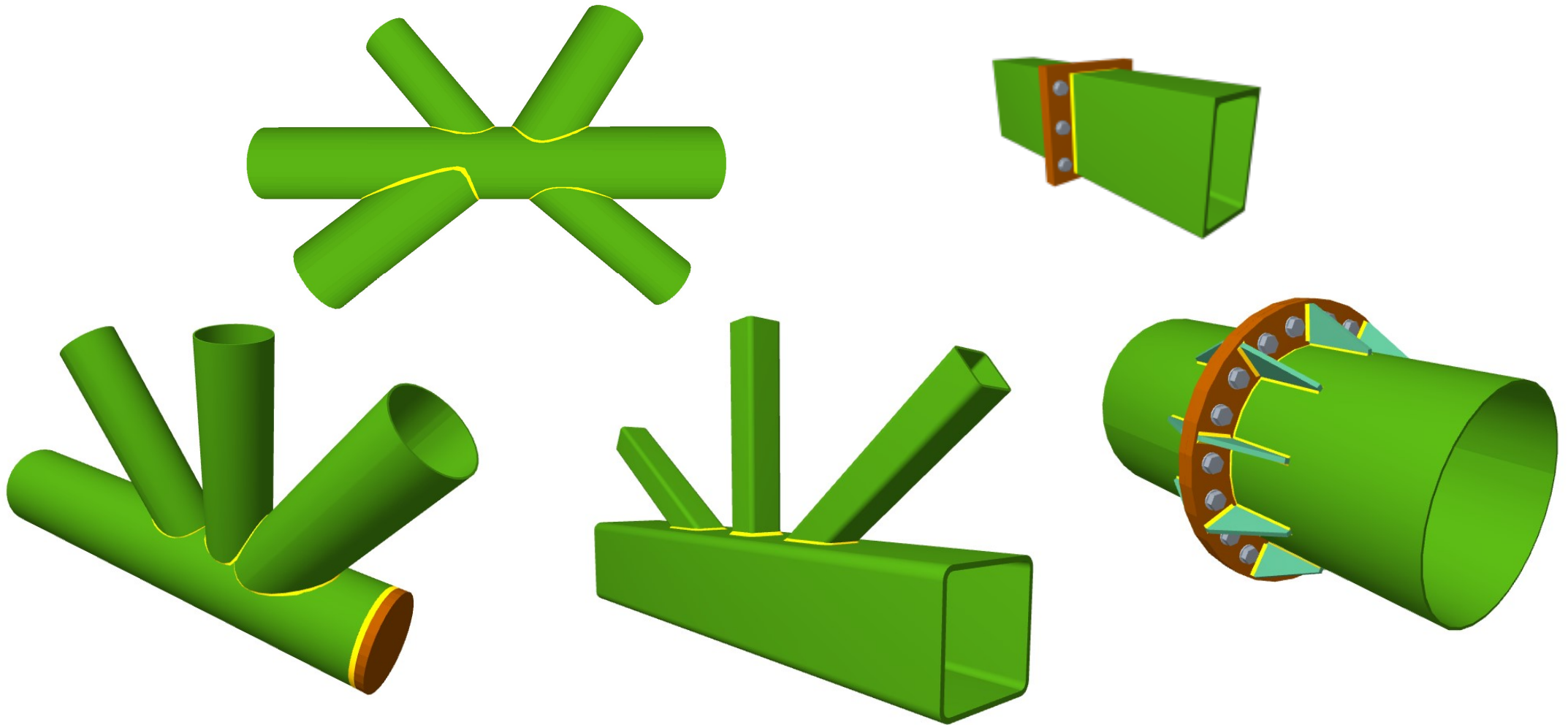
## Uniones soldadas de perfiles laminados y armados en doble T



## Uniones atornilladas de perfiles laminados y armados en doble T



## Uniones de celosías planas con perfiles tubulares



EN 1993-1-8:2005

- 66 -

AENOR

Componente		Referencia a las reglas de aplicación		
		Resistencia de cálculo	Coefficiente de rigidez	Capacidad de rotación
Flexión		6.2.6.5	6.3.2	6.4.2
Tracción		6.2.6.6	6.3.2	6.4.2
Compresión		3.6	6.3.2	6.4.2

AENOR

- 65 -

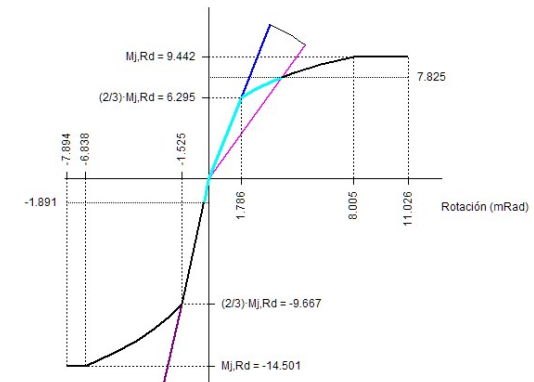
EN 1993-1-8:2005

## 6.1.3 Componentes básicos de una unión

- (1) La curva característica momento-rotación de cálculo de una unión deberá depender de las propiedades de sus componentes básicos, que deberán identificarse en el punto (2) del apartado 6.1.3.
- (2) Los componentes básicos de la unión deberán ser los indicados en la tabla 6.1.3, a menos que se indique otra referencia en las reglas de aplicación que deberán emplearse para la evaluación de la unión.
- (3) Ciertos componentes de la unión pueden reforzarse por diferentes métodos de refuerzo.
- (4) Las relaciones entre las propiedades de los componentes de la unión deberán ser las indicadas en la tabla 6.1.3, a menos que se indique otra referencia en las reglas de aplicación que deberán emplearse para la evaluación de la unión.

Componente	
1	Ala del pilar en corte
2	Ala del pilar en compresión transversal
3	Ala del pilar en tracción transversal
4	Ala del pilar en flexión

- Las uniones se calculan como un conjunto de componentes básicos (EC3, EAE, CTE)
- Uniones empotradas – Chapa frontal
- Uniones articuladas – Chapa lateral
- Tornillos pretensados o no pretensados
- Dimensionamiento automático
- Cálculo de la rigidez rotacional



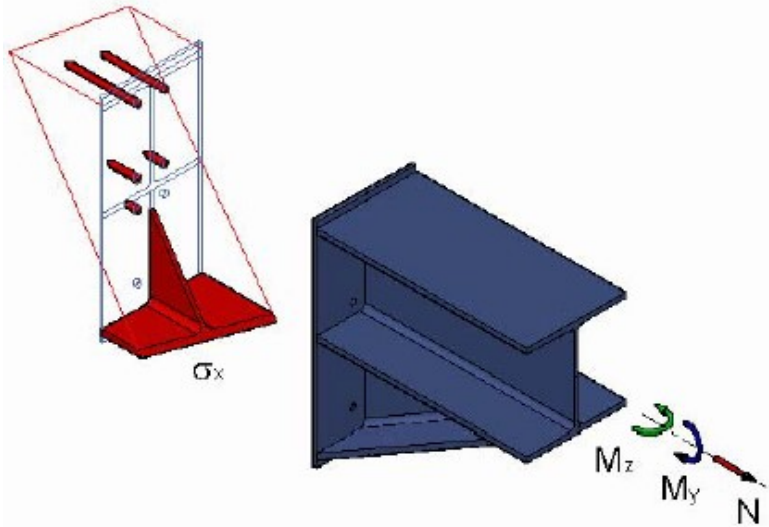
## Comprobaciones realizadas - TORNILLOS

### Distribución de esfuerzos

#### Esfuerzo axial y momentos flectores

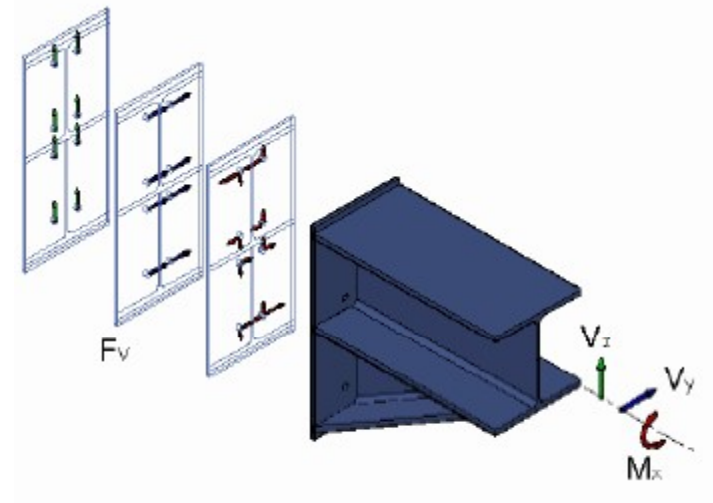
Distribución elasto-plástica a partir de  $N$ ,  $M_y$  y  $M_z$

Tracciones en tornillos amplificadas (esfuerzos de palanca)



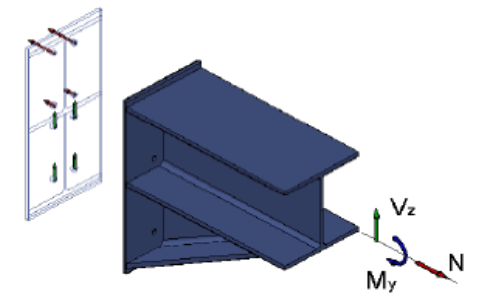
#### Esfuerzos cortantes y momento torsor

Distribución elástica



#### Caso particular

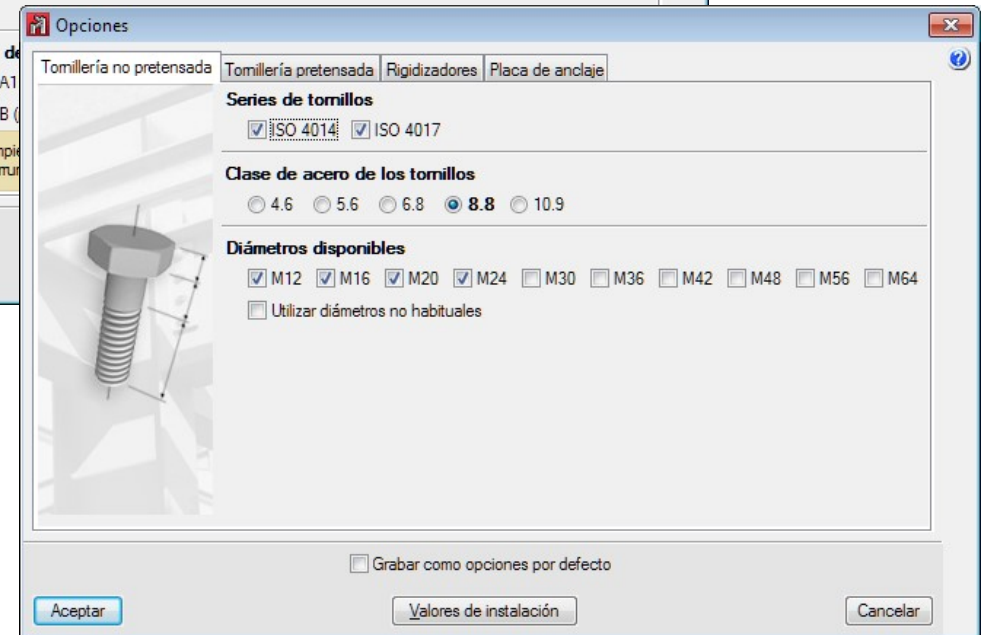
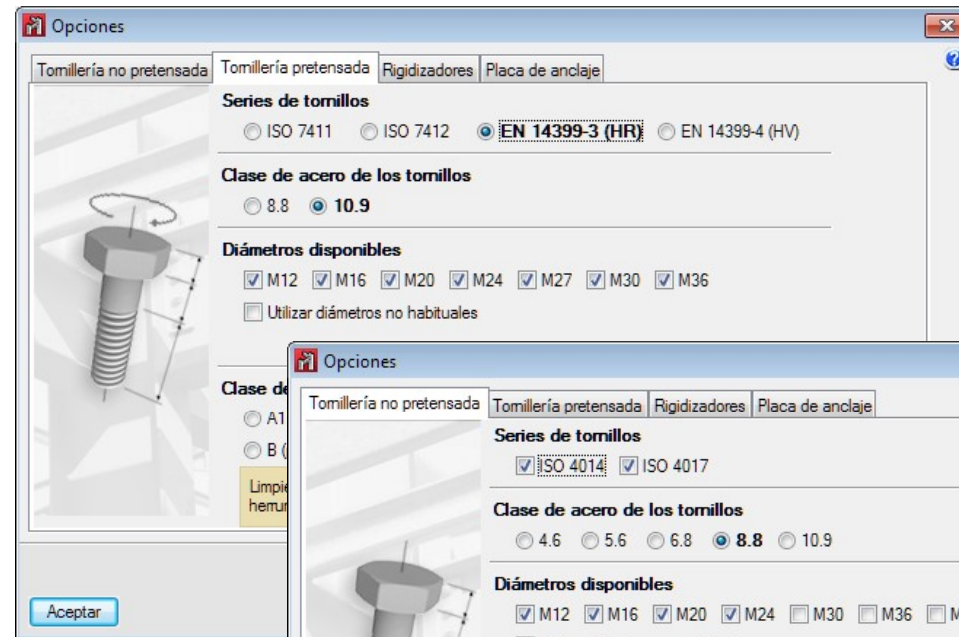
Cuando solo hay esfuerzos en el plano XZ, el cortante  $V_z$  se distribuyen entre los tornillos no traccionados (en función de la relación entre tornillos traccionados y no traccionados)



## Comprobaciones realizadas - TORNILLOS

### TORNILLOS

- Disposición, separaciones mínimas y máximas
- Resistencia a cortante y aplastamiento
- Resistencia a tracción
- Interacción tracción-cortante
- Resistencia a punzonamiento

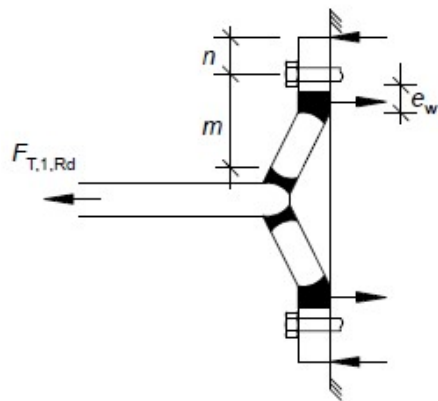
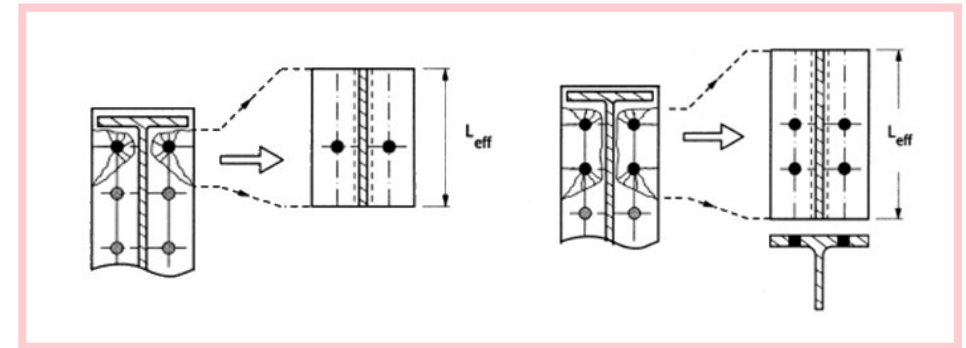




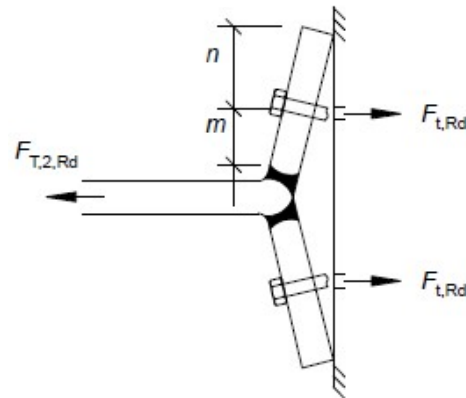
## Comprobaciones realizadas - CHAPA FRONTAL

### Casquillo en T equivalente

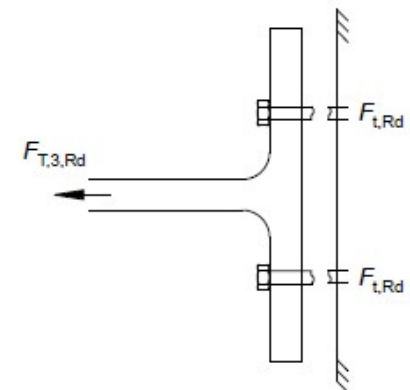
\*se comprueba en el la chapa frontal y en el ala del pilar



**Modo 1:** Plastificación completa de la chapa frontal o del ala.



**Modo 2:** Fallo de los tornillos con plastificación de la chapa frontal o del ala.

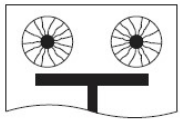
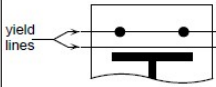
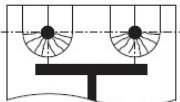
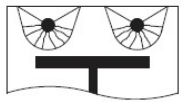
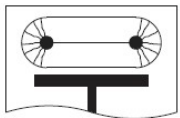
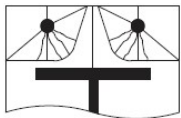
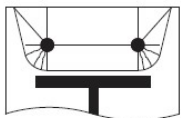


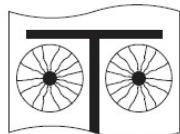
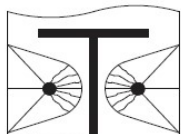
**Modo 3:** Fallo de los tornillos a tracción.

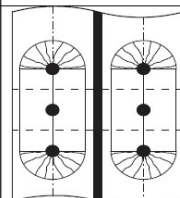
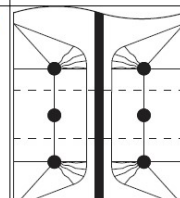
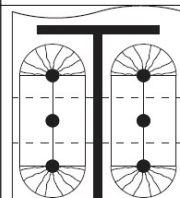
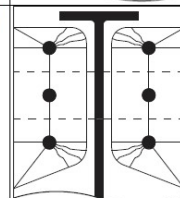


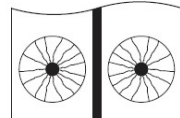
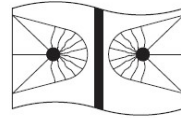
# Comprobaciones realizadas - CHAPA FRONTAL

## Casquillo en T equivalente – Patrones de rotura

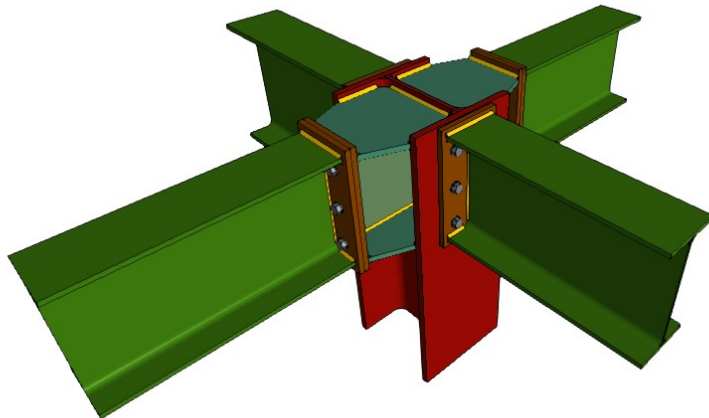
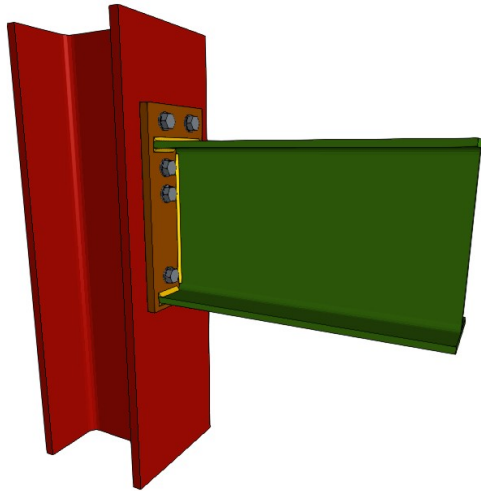
	Circular yielding $\ell_{\text{eff,cp}} = 2\pi m_x$		Double curvature $\ell_{\text{eff,nc}} = \frac{b_p}{2}$
	Individual end yielding $\ell_{\text{eff,cp}} = \pi m_x + 2e_x$		Individual end yielding $\ell_{\text{eff,nc}} = 4m_x + 1.25e_x$
	Circular group yielding $\ell_{\text{eff,cp}} = \pi m_x + w$		Corner yielding $\ell_{\text{eff,nc}} = 2m_x + 0.625e_x + e$
			Group end yielding $\ell_{\text{eff,nc}} = 2m_x + 0.625e_x + \frac{w}{2}$

Circular patterns		Non-circular patterns	
	Circular yielding $\ell_{\text{eff,cp}} = 2\pi m$		Side yielding near beam flange or a stiffener $\ell_{\text{eff,nc}} = \alpha m$

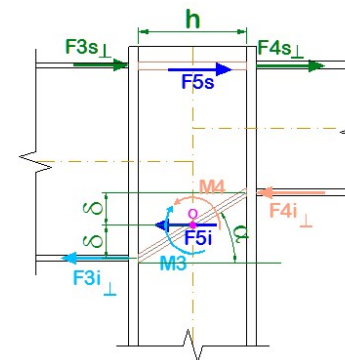
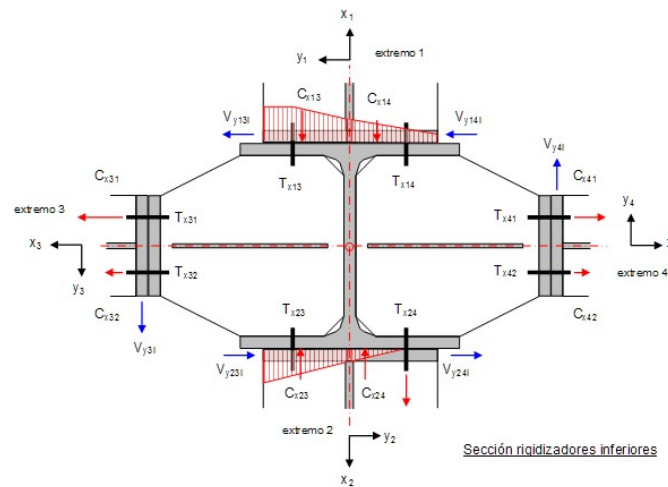
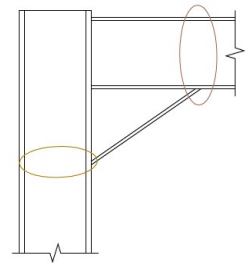
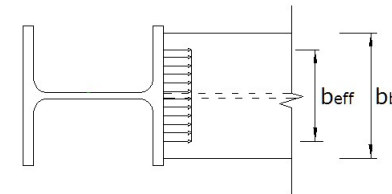
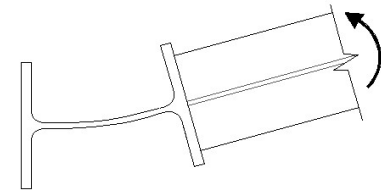
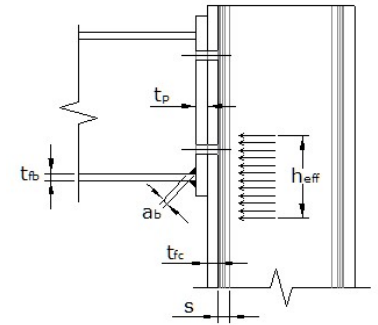
Circular patterns		Non-circular patterns	
	Group of three rows in a clear length $\ell_{\text{eff,cp}} = \pi m + p + 2p + \pi m + p = 2\pi m + 4p$		Group of three rows in a clear length $\ell_{\text{eff,nc}} = 2m + 0.625e + 0.5p + p + 2m + 0.625e + 0.5p = 4m + 1.25e + 2p$
	Group of three rows adjacent to a stiffener/flange $\ell_{\text{eff,cp}} = \pi m + p + 2p + \pi m + p = 2\pi m + 4p$		Group of three rows adjacent to a stiffener/flange $\ell_{\text{eff,nc}} = \alpha m - (2m + 0.625e) + 0.5p + p + 2m + 0.625e + 0.5p = \alpha m + 2p$

	Circular yielding $\ell_{\text{eff}} = 2\pi m$		Side yielding $\ell_{\text{eff}} = 4m + 1.25e$
---	---	---	---

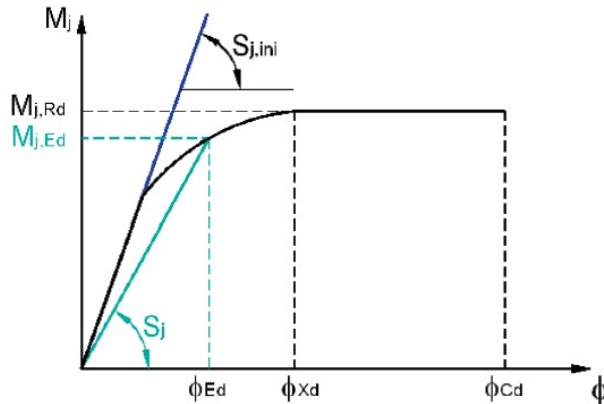
## Comprobaciones realizadas – PILAR / VIGA



- Alma del pilar a cortante
- Alma del pilar en compresión transversal
- Ala del pilar en tracción transversal
- Ala del pilar en flexión
- Chapa frontal en flexión
- Ala y alma de la viga en compresión
- Alma y ala de la viga en tracción
- Flexión transversal del alma del pilar
- Resistencia del alma a cargas concentradas
- Anchura eficaz del ala de la viga
- Tensión de Von Mises en rigidizadores



## Comprobaciones realizadas – RIGIDEZ ROTACIONAL



### Diagrama momento-rotación

$M_{j,Rd}$ : Momento resistente

$$M_{j,Rd} = \sum (F_{tr,Rd,i} d_i)$$

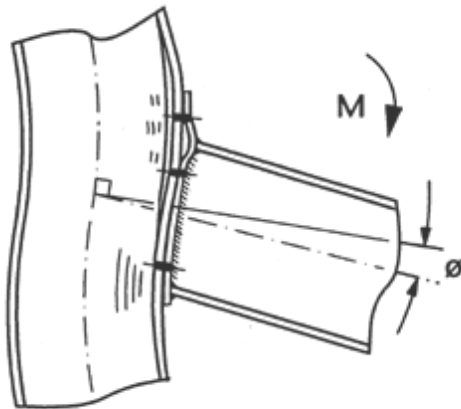
$S_j$ : Rigidez rotacional para el flector actuante  $M_{j,Ed}$

$S_{j,ini}$ : Rigidez rotacional inicial

$\phi_{Cd}$ : Capacidad de rotación

$$S_{j,ini} \text{ si } M_{Ed} \leq 2/3 M_{Rd}$$

$$S_{j,ini} / \eta \text{ si } M_{Ed} \leq M_{Rd}$$



### Rigidez inicial

$$S_{j,ini} = \frac{E \cdot z_{eq}^2}{\frac{1}{k_{eq}} + \frac{1}{k_1}}$$

$z_{eq}$ : brazo mecánico equivalente

$$z_{eq} = \frac{\sum k_{eff,r} h_r^2}{\sum_r k_{eff,r} h_r}$$

$k_{eq}$ : coeficiente de rigidez equivalente

$$k_{eq} = \frac{\sum_r k_{eff,r} h_r}{z_{eq}}$$

$h_r$ : distancia entre la fila  $r$  y el centro de compresiones (se considera el ala comprimida)

$k_{eff,r}$ : coeficiente de rigidez de la fila  $r$

$$k_{eff,r} = \frac{1}{\sum_i \frac{1}{k_{i,r}}}$$

$k_{i,r}$ : coeficientes de rigidez de los componentes básicos

Comprobaciones realizadas – **RIGIDEZ ROTACIONAL**

## Coeficientes de rigidez de los componentes básicos (deformables)

a) Rigidez del alma del pilar a cortante:

$$k_{wy} = 0,38 \frac{A_{vc}}{\beta z} = k1$$

Si el alma del pilar se encuentra rigidizada con rigidizadores oblicuos  $k_{wy} = \infty$ 

b) Rigidez del alma del pilar a tracción:

$$k_{wt} = 0,7 \frac{h_{ef} t_{wc}}{d_c}$$

Si el alma del pilar se encuentra rigidizada  $k_{wt} = \infty$ 

c) Rigidez del alma del pilar a compresión:

$$k_{wc} = 0,7 \frac{h_{ef} t_{wc}}{d_c}$$

Si el alma del pilar se encuentra rigidizada  $k_{wc} = \infty$ 

d) Rigidez del ala del pilar a flexión, correspondiente a una fila de tornillos:

$$k_f = 0,9 \frac{b_{ef} t_{fc}^3}{m^3}$$

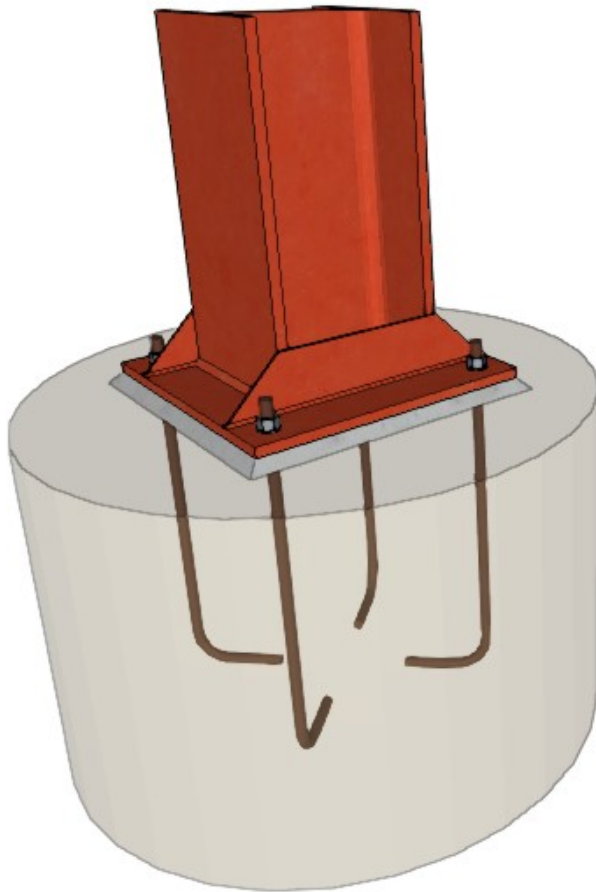
e) Rigidez de la chapa frontal a flexión, correspondiente a una fila de tornillos:

$$k_p = 0,9 \frac{b_{ef,p} t_p^3}{m^3}$$

f) Rigidez de una fila de tornillos a tracción:

$$k_b = 1,6 \frac{A_s}{L_b}$$

## PLACAS DE ANCLAJE



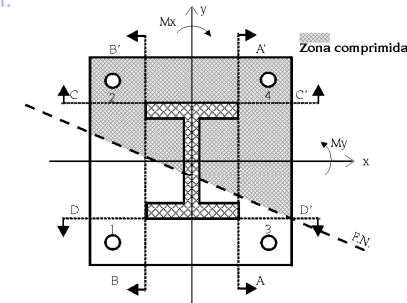
### Comprobaciones de geometría

- Separaciones mínimas (entre pernos, pernos-borde)
- Esbeltez de los rigidizadores

### Comprobaciones de resistencia

#### Comprobaciones sobre el hormigón

Se comprueba que la tensión de compresión en la interfaz placa de anclaje-hormigón es menor a la tensión admisible del hormigón según la naturaleza de cada combinación.



#### Resistencia del material del perno

El esfuerzo axial de cada perno, se calcula a partir de la ley de deformaciones obtenida al evaluar la resistencia del hormigón.

- Tracción en vástago de perno
- Tensión de Von Mises en vástago de pernos

#### Anclaje perno en hormigón

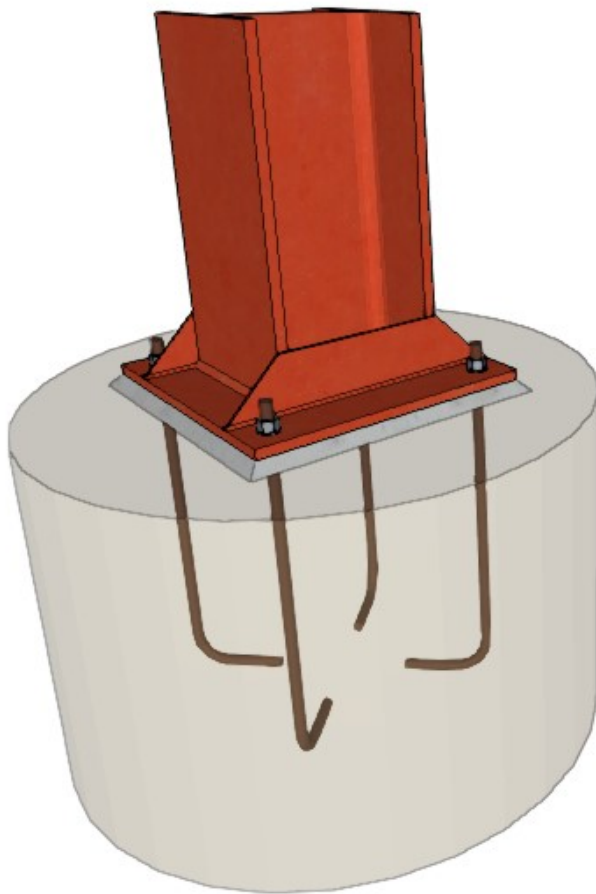
- Tracción
- Cortante
- Tracción + cortante

$$T_{Rd} = \gamma L_{anc} \pi \phi f_{bd} \quad Q_{Rd} = TQ \cdot T_{Rd} \quad TQ=0.7$$

#### Aplastamiento perno en placa

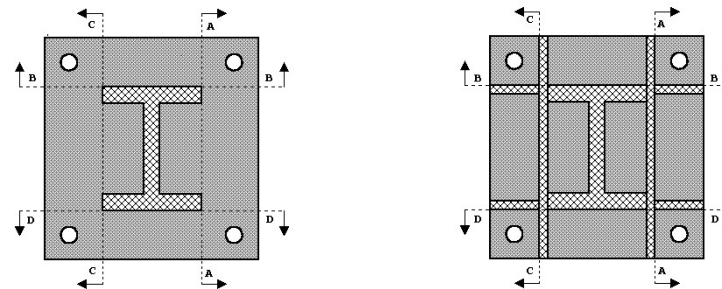
$$Q_{Ed,perno} \leq \gamma f_{y,placa} A_{contacto}$$

## PLACAS DE ANCLAJE



### Comprobaciones de resistencia

#### Tensión de Von Mises en secciones globales

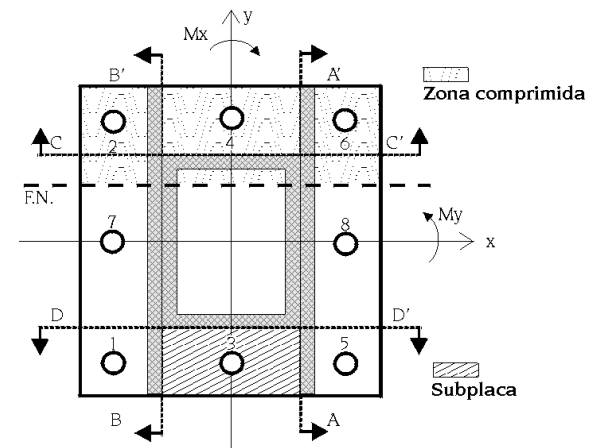


#### Flecha global equivalente

Comprobación se realiza para ver si la hipótesis fundamental de placa rígida es válida

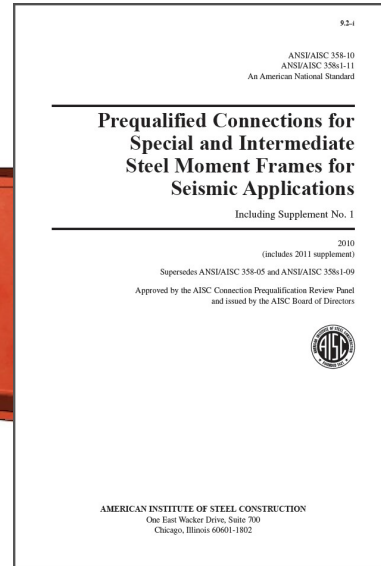
#### Tensión de Von Mises local

Esta comprobación se realiza únicamente en las placas que contienen pernos trabajando a tracción.





# UNIONES PRECALIFICADAS – NORMA AMERICANA ANSI/AISC 358-10



9.2-19

## CHAPTER 6

### BOLTED UNSTIFFENED AND STIFFENED EXTENDED END-PLATE MOMENT CONNECTIONS

**6.1. GENERAL**

Bolted end-plate connections are made by welding the beam to an end-plate and bolting the end-plate to a column flange. The three end-plate configurations shown in Figure 6.1 are covered in this section and are prequalified under the AISC *Seismic Provisions* within the limitations of this Standard.

The behavior of this type of connection can be controlled by a number of different limit states including flexural yielding of the beam section, flexural yielding of the end-plates, yielding of the column panel zone, tension rupture of the end-plate bolts, shear rupture of the end-plate bolts, or rupture of various welded joints. The design criteria provide sufficient strength in the elements of the connections to ensure that the inelastic deformation of the connection is achieved by beam yielding.

**6.2. SYSTEMS**

Extended end-plate moment connections are prequalified for use in special moment frame (SMF) and intermediate moment frame (IMF) systems.

**Exception:** Extended end-plate moment connections in SMF systems with *concrete structural slabs* are prequalified only if:

(1) In addition to the limitations of Section 6.3, the nominal beam depth is not less than 24 in. (610 mm);

(a) (b) (c)

Fig. 6.1. Extended end-plate configurations: (a) four-bolt unstiffened, 4E; (b) four-bolt stiffened, 4ES; (c) eight-bolt stiffened, 8ES.

*Prequalified Connections for Special and Intermediate Steel Moment Frames for Seismic Applications, 2010, incl. Supplement No. 1*  
AMERICAN INSTITUTE OF STEEL CONSTRUCTION

TABLE 6.6 Summary of Eight-Bolt Extended Column Flange Yield Line Mechanism Parameter	
Unstiffened Column Flange Geometry and Yield Line Pattern	Stiffened Column Flange Geometry and Yield Line Pattern
Unstiffened Column Flange	$Y_c = \frac{b_{cf}}{2} \left[ h_1 \left( \frac{1}{s} \right) + h_4 \left( \frac{1}{s} \right) \right] + \frac{2}{g} \left[ h_1 \left( p_0 + \frac{c}{s} + s \right) + h_2 \left( \frac{p_0}{2} + \frac{c}{4} \right) + h_3 \left( \frac{p_0}{2} + \frac{c}{2} \right) + h_4 (s) \right] + \frac{g}{2}$ $s = \frac{1}{2} \sqrt{b_{cf} g}$
Stiffened Column Flange	$Y_c = \frac{b_{cf}}{2} \left[ h_1 \left( \frac{1}{s} \right) + h_2 \left( \frac{1}{p_{so}} \right) + h_3 \left( \frac{1}{p_{so}} \right) + h_4 \left( \frac{1}{s} \right) \right] + \frac{2}{g} \left[ h_1 \left( s + \frac{p_0}{4} \right) + h_2 \left( p_{so} + \frac{3p_0}{4} \right) + h_3 \left( p_{so} + \frac{p_0}{4} \right) + h_4 \left( s + \frac{3p_0}{4} \right) + p_{so}^2 \right] + g$ $s = \frac{1}{2} \sqrt{b_{cf} g} \quad \text{Note: If } p_{so} > s, \text{ use } p_{so} = s.$



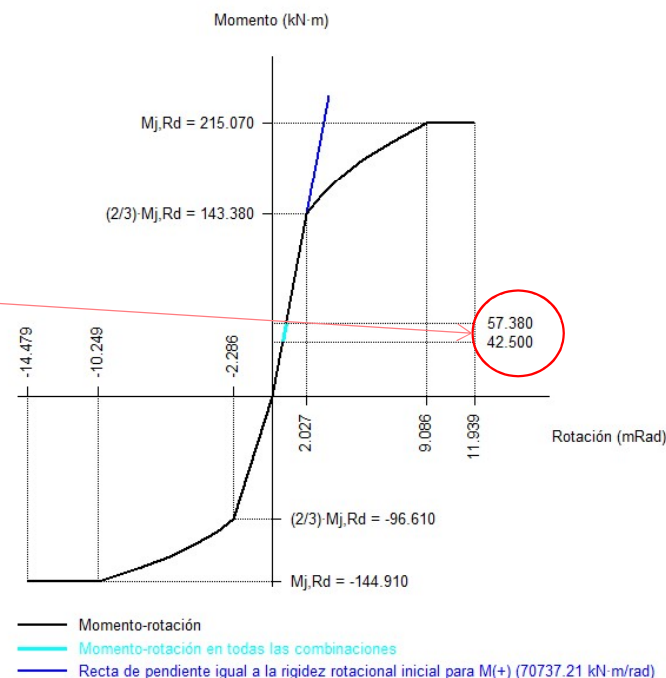
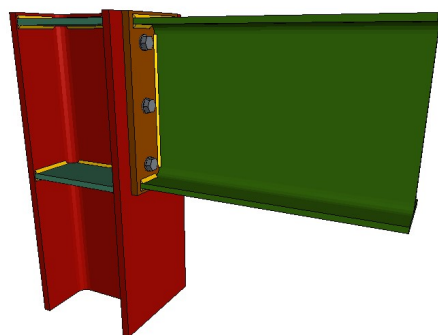
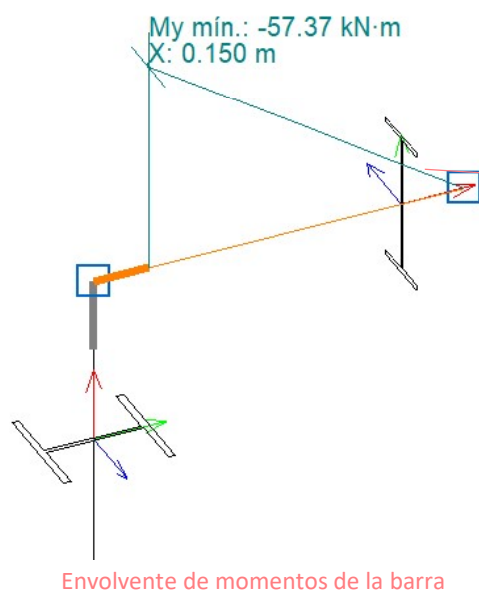
En respuesta a alguna de las cuestiones planteadas:

## Diseño de uniones atornilladas y placas de anclaje

El momento solicitante para determinar la rigidez rotacional es el momento actuante, sin tener en cuenta el momento mínimo exigido en la norma (para EAE artículo 56.1).

¿Cómo puede comprobarlo?

Dada la unión mostrada a continuación, los valores de los momentos mostrados en el diagrama momento-rotación corresponden con los mostrados en la envolvente de momentos de la barra. La unión está formada por un pilar HEB300 y viga IPE400, calculada con la norma EAE. El momento mínimo según norma para el diseño de esa unión sería  $0.5 \cdot W_e \cdot f_y \approx 140.5 \text{ kN}\cdot\text{m}$ .



## En respuesta a alguna de las cuestiones planteadas:

## Diseño de uniones atornilladas y placas de anclaje

### Placas de anclaje

#### Anclaje perno en hormigón

- Tracción

$$T_a = \gamma_{anc} \cdot L_{anc} \cdot \pi \cdot \phi \cdot f_{bd}$$

donde,

$\phi$ : es el diámetro nominal del perno.

$L_{anc}$ : longitud de anclaje del perno (todos los pernos tienen la misma).

$\gamma_{anc}$ : es un factor corrector que depende de la terminación del perno, y puede tomar los valores siguientes:

- 1.0 si el perno se ancla en prolongación recta.
- 1.3 si termina en patilla o gancho normalizado.

$f_{bd}$ : es el valor de cálculo de la tensión máxima de adherencia entre hormigón y acero en kg/cm<sup>2</sup>. Suponiendo que los pernos están en condiciones de buena adherencia, el Código Modelo CEB-FIP, da los siguientes valores:

$$f_{bd}(\text{kg/cm}^2) = 0.77 \cdot \sqrt{f_{ck}(\text{kg/cm}^2)} \quad \text{Para barras lisas.}$$

$$f_{bd}(\text{kg/cm}^2) = 0.69 \cdot \sqrt[3]{f_{ck}^2(\text{kg/cm}^2)} \quad \text{Para barras corrugadas.}$$

El usuario deberá verificar, puesto que el programa no las tiene en cuenta la proximidad de pernos al borde de la cimentación.

-Cortante

$$Q_a = \alpha \cdot T_a$$

En el libro Programa de cálculo de pernos y placas de anclajes viene justificado en el apartado 3.4.2. Cálculo del cortante admisible de un perno aislado

#### 3.4.2. Cálculo del cortante admisible de un perno aislado

Cuando se somete a un perno a esfuerzo cortante, se produce en el extremo del vástago próximo a la placa, una concentración de tensiones que puede dar lugar a la rotura del hormigón, según la superficie indicada en la figura 22. La cuna que se forma, transmite al hormigón el cortante  $Q$  reaccionando con un empuje hacia afuera sobre la placa, la cual produce una tracción  $T_q$  en el perno, que será proporcional a  $Q$ , es decir,  $Q = \alpha \cdot T_q$ . Por lo tanto, el cortante admisible  $Q_A$  será:

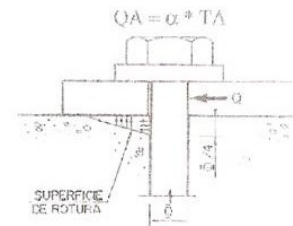


Figura 22

Según el informe State of the Art Report on Steel Embedments:

$\alpha=0.7$  si el perno está embebido directamente en hormigón.

$\alpha=0.50$  si está embebido en mortero sin retracción de resistencia característica superior a la del hormigón en el que se aloja.

- Tracción + cortante

$$\frac{T}{T_a} + \frac{Q}{Q_a} \leq 1$$