

Índice

1. Combinación de cargas	2
2. Elementos de unión	2
2.1. Uniones abulonadas	2
2.1.1. Área efectiva	3
2.1.2. Verificaciones	3
2.2. Chapa de unión	4
3. Compresión áxil	5
3.1. Pandeo local	5
3.1.1. Elementos no rigidizados Q_s	5
3.1.2. Elementos rigidizados Q_a	6
3.2. Columnas simples	7
3.2.1. Coeficiente k para sistemas desplazables	7
3.2.2. Uso de nomogramas	8
3.2.3. Cálculo de tensión crítica y verificación	8
3.3. Columnas armadas	8
3.3.1. Paso 1: obtención de M_s	10
3.3.2. Paso 2: determinación de carga última P_{u1}	10
3.3.3. Paso 3: determinación de resistencia de diseño P_d	11
3.3.4. Paso 4: verificación de diagonales	11
3.3.5. Paso 5: verificación de la presilla	12

1. Combinación de cargas

Para la combinación de cargas, lo primero que se recomienda es la transmisión de **estados base**, y a partir de los mismos, calcular los esfuerzos últimos. Las combinaciones utilizadas son las dadas en CIRSOC 301 **Art. A.4.2** como se muestra a continuación:

$$1,4 * (D)$$

$$1,2D + 1,6L$$

$$0,9D + 1,6W.$$

Por otro lado, para las cargas de servicio, utilizamos:

$$1 * D + 1 * W$$

$$1 * D + 1 * L$$

$$1 * D + 0,7 * (W + L).$$

2. Elementos de unión

Podemos estudiar dos tipos de uniones: **abulonadas** y **soldadas**. En nuestro caso, resolvimos principalmente ejercicios de uniones abulonadas. Vamos a considerar las uniones abulonadas.

2.1. Uniones abulonadas

Lo primero es distinguir los dos tipos de bulones:

- Bulones comunes calibrados. ($F_u = 370 \text{ MPa}, F_y 235 \text{ MPa}$)
- Bulones de alta resistencia. (*varia*)

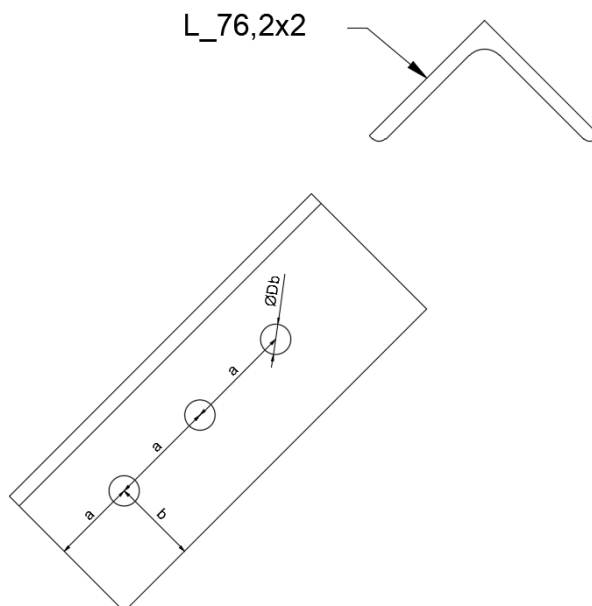


Figura 1: Perfil L

Lo primero que debemos hacer es encontrar los datos geométricos para resolver el problema. Tomando, por ejemplo, un perfil L76.2x2 como se ve en Figure 1 de tablas como la PentaKa, podemos obtener:

$$B = 76.2 \text{ mm} \quad (\text{Ancho})$$

$$A_b = 2.98 \text{ cm}^2 \quad (\text{Área bruta})$$

$$x_g = 2 \text{ mm.} \quad (\text{Centro de gravedad})$$

Lo primero que debemos es encontrar el área a utilizar. Distinguimos tres tipos de área: área bruta, área neta y área efectiva. El área neta A_n es el área bruta descontando los bulones, y el área efectiva A_e es el área teniendo en cuenta el efecto llamado *retraso de cortante*, debido a que no todos los elementos están directamente conectados.

2.1.1. Área efectiva

En nuestro caso tenemos elementos no directamente conectados, por lo tanto debemos encontrar el área efectiva. Esto se puede encontrar mediante la fórmula **B.3.1.** del CIRSOC 301. Esta es:

$$A_e = A_n * U.$$

Donde U es un factor que debe ser obtenido, y que depende de la distancia \bar{x} , que es la distancia entre el plano de la unión y el centro de la unión. Esto se puede ver en la **Figura B.3.1** del CIRSOC 301 (pág 69). En nuestro caso obtenemos \bar{x} como:

$$\bar{x} = B - x_g - b.$$

Donde b está representado en la Figure 1. Obtenido éste valor, podemos encontrar el factor de U como:

$$U = 1 - (\bar{x}/10) \leq 0,9.$$

Con esto, ya podemos encontrar el valor de A_e .

2.1.2. Verificaciones

Es necesario hacer tres verificaciones en este tipo de unión: a fluencia en la sección bruta, a rotura en la sección efectiva y a bloque de corte. Esto es de la siguiente forma:

Fluencia en sección bruta para este tipo de verificación se toma $\phi_t = 0,9$, y obtenemos la resistencia de diseño como:

$$P_d = P_n * \phi_t = \phi_t * F_y * A_g * (10^{-1}).$$

Rotura en sección efectiva se toma un $\phi_t = 0,75$, y de forma similar, tenemos:

$$P_d = P_n * \phi_t = \phi_t * F_u * A_e * (10^{-1}).$$

Bloque de corte para esto tomamos el Ejemplo 1 de CIRSOC 301 (pág 16 del PDF). Necesitamos encontrar las siguientes área:

- Área neta de corte A_{nv} .
- Área bruta de corte A_{gv} .
- Área neta a tracción A_{nt} .
- Área bruta a tracción A_{gt} .

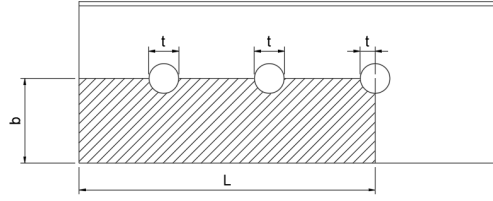


Figura 2: Bloque de corte.

Tomando como referencia lo dado en Figure 2, las áreas serían:

$$A_{gv} = L * e$$

$$A_{nv} = (L - 2,5 * t) * e$$

$$A_{gt} = b * e$$

$$A_{nt} = (b - 0,5 * t) * e.$$

Donde e es el espesor, y el 2.5 y 0.5 dependen de la cantidad de bulones.

Por último, utilizando la sección **J.4.3** del CIRSOC 301 (pág 170), vemos dos casos.

Caso A: cuando $F_u * A_{nt} * (10^{-1}) \geq 0,6 * F_u * A_{nv} * (10^{-1})$, entonces:

$$\phi * R_n = \phi * [0,6 * F_y * A_{gv} * F_u * A_{nt}] * (10^{-1}).$$

Caso B: cuando $F_u * A_{nt} * (10^{-1}) \leq 0,6 * F_u * A_{nv} * (10^{-1})$, entonces:

$$\phi * R_n = \phi * [0,6 * F_u * A_{nv} * F_u * A_{gt}] * (10^{-1}).$$

2.2. Chapa de unión

Es un elemento normalmente utilizado para unir perfiles y columnas. Generalmente se toma como referencia el bulón más alejado, y tomando dos líneas que salgan a 30° se obtiene la longitud L' , como se muestra en Figure 3.

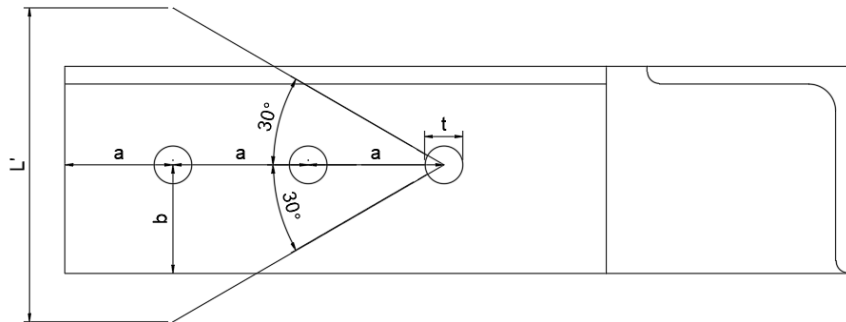


Figura 3: Esquema de chapa.

Obteniendo esta longitud, y conociendo el espesor de la chapa e' (normalmente $1/8''$), podemos obtener el área bruta y neta como:

$$A_g = e' * L'$$

$$A_n = A_g - t * e'.$$

Luego, de forma similar a lo hecho para una unión abulonada, debemos verificar la fluencia en la sección bruta y la rotura en la sección neta, pero no es necesario verificar bloque de corte.

3. Compresión áxil

Cuando evaluamos la compresión áxil, es crucial considerar el **pandeo**. Para esto nos valemos de la *teoría de Euler*, que tiene como hipótesis:

1. El material es isótropo, homogéneo y elástico.
2. La barra es perfectamente recta inicialmente y sección constante.
3. La fuerza de compresión actúa a lo largo del eje recto.
4. Los elementos de la barra son articulaciones perfectas sin fricción, por lo que el acortamiento no está restringido.
5. Las deformaciones son pequeñas.
6. Las únicas tensiones son debidas a fuerza áxil.

Vamos a considerar dos tipos de perfiles: barras simples y barras armadas.

3.1. Pandeo local

Para poder hacer esto consideramos la sección A-B.5 del Apéndice B del CIRSOC 301.

Lo primero que debemos encontrar es el factor **Q**, que es una corrección por **elementos esbeltos**. La misma es igual a:

$$Q = Q_s * Q_a.$$

Donde Q_s es el menor factor de reducción por pandeo local de los elementos comprimidos no rigidizados de la sección transversal, y Q_a es el factor de reducción por pandeo local de los elementos comprimidos rigidizados de la sección transversal.

Consideramos que si la sección solo tiene elementos no rigidizados, $Q_a = 1$, y si solo tiene elementos rigidizados, $Q_s = 1$.

3.1.1. Elementos no rigidizados Q_s

Para el cálculo de este tipo de elementos utilizamos lo visto en **A-B.5.3.(a)** Dependiendo del tipo de perfil, primero debemos verificar si tenemos elementos esbeltos. Entramos a la **Tabla B.5.1.** y elegimos el caso que tengamos. Luego, buscamos la *relación ancho/espesor* y λ_r . Entonces, si $\lambda_r \leq b/t$, **tenemos elementos esbeltos**, por lo que es necesario encontrar el valor de Q_s , que en caso contrario, será $Q_s = 1$.

En caso de encontrar que tenemos elementos esbeltos, determinamos un caso del **A-B.5.3.(a)** y obtenemos el valor.

Viga doble Te para este caso, en la tabla consideramos el **Caso 5**, donde vemos que:

$$\text{relación ancho/espesor} = b/t$$

$$\lambda_r = 0,64 * \sqrt{\frac{E}{F_y/k_c}}.$$

Donde el valor de k_c se obtiene como:

$$0,35 \leq k_c = \frac{4}{\sqrt{h/t_w}} \leq 0,763.$$

Verificamos que tenemos elementos esbeltos. Si los tenemos, utilizamos el caso C de **A-B.5.3.(a)**.

Cuando:

$$0,45 * \sqrt{E/F_y} \leq (b/t) \leq 0,91 \sqrt{E/F_y}$$

$$Q_s = 1,34 - 0,76 * (b/t) * \sqrt{F_y/E} \leq 1.$$

Cuando:

$$(b/t) \geq 0,91 * \sqrt{E/F_y}$$

$$Q_s = \frac{0,53 * E}{\left(F_y * \left(\frac{b}{t}\right)^2\right)} \leq 1.$$

3.1.2. Elementos rigidizados Q_a

Para el cálculo de éste coeficiente lo debemos hacer de forma *iterativa* pero primero realizamos la misma verificación que en el paso anterior. Desde la **Tabla B.5.1**, en la sección de elementos rigidizados, verificamos si tenemos elementos esbeltos. De tenerlos, lo primero que hacemos es obtener la esbeltez global. Conociendo el valor de k , tenemos:

$$\lambda = \frac{k * L}{r}$$

$$\lambda_c = \frac{\lambda}{\pi} * \sqrt{\frac{F_y}{E}}.$$

Luego, **proponemos un valor** de Q_a . Un buen valor es 0.8. Luego, obtenemos, ya habiendo determinado el valor de Q_s anteriormente. A partir de la sección **A-B.5.3.b**, dependiendo del tipo de sección, adoptamos un caso.

Con el valor propuesto, cuando:

$$\sqrt{Q} * \lambda_c \leq 1,5$$

$$F_{cr} = Q * \left(0,658^{Q * \lambda_c^2}\right) * F_y. \quad (\text{A-B.5.15})$$

Cuando:

$$\sqrt{Q} * \lambda_c \geq 1,5$$

$$F_{cr} = \left(0, \frac{877}{\lambda_c^2}\right) * F_y. \quad (\text{A-B.5.16})$$

Luego, adoptamos:

$$f = \phi_c * F_{cr} = 0,85 * F_{cr}.$$

Teniendo este valor, podemos elegir el caso (normalmente Caso B), de **A-B.5.3.(b)**, podemos obtener el valor de b_e , que es el ancho efectivo reducido. Entonces, el área efectiva reducida será:

$$A_{ef} = A_g - \Sigma(b - b_e) * t.$$

Y se verifica el valor de Q_a como:

$$Q_a = \frac{A_{ef}}{A_g}.$$

Si la diferencia no es importante, se adopta Q_a , en caso contrario, se debe iterar con un nuevo valor. Si se adopta el valor dado, se prosigue a verificar el valor de F_{cr} y R_d .

3.2. Columnas simples

Lo primero que se debe evaluar es el valor de la longitud de pandeo $k * L$. Esto depende principalmente del coeficiente k . El mismo dependerá de las condiciones de borde de la columna. Se puede hacer una primera aproximación con lo mostrado en Figure 4.





Valores de K para columnas						
La forma de pandeo se indica en línea de puntos	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
Valores teóricos de K	0,5	0,7	1,0	1,0	2,0	2,0
Valores recomendados de proyecto para condiciones reales	0,65	0,80	1,2	1,0	2,10	2,0
Condiciones de vínculo	 Rotación y Traslación impedida  Rotación libre y Traslación impedida  Rotación impedida y Traslación libre  Rotación libre y Traslación libre					

Figura 4: Figura 4-15 de CIRSOC 301.

En general, si tenemos **sistemas indesplazables**, se puede adoptar:

$$k = 1. \quad (\text{para sistemas indesplazables})$$

Para el caso de **sistemas desplazables** debemos calcular el mismo a partir de los nomogramas de 4.5 (B) (pág. 133 del PDF).

3.2.1. Coeficiente k para sistemas desplazables

Lo primero que se debe hacer es realizar la verificación para reducir por inelasticidad. Tomando la sección C-C.2 de los Comentarios del CIRSOC 301 (pag 81 del PDF), vemos que:

$$P_u/P_y \leq 1/3 \longrightarrow \beta = 1$$

En caso contrario, si $P_u/P_y > 1/3$, tenemos:

$$\beta = -7,38 * (P_u/P_y) * \log \left(\frac{P_u/P_y}{0,85} \right).$$

Donde P_u es la resistencia requerida de la columna en kN, y P_y la resistencia de fluencia de la columna.

3.2.2. Uso de nomogramas

Luego de encontrar el valor de β , debemos encontrar los valores de G_a y de G_b . En caso de que una de las articulaciones sea empotrada, entonces el valor de $G_i = 1$.

Los valores de G_i se obtienen como:

$$G = \frac{\Sigma(\beta * I_c / L_c)}{\Sigma(I_g / L_g)}.$$

Donde se consideran todas las barras rigidamente unidas al nudo y contenidas en el plano de pandeo de la columna considerada, I_c es el momento de inercia de la columna, L_c la longitud no arriostrada de la columna, I_g el momento de inercia de la viga y L_g la longitud no arriostrada de la viga.

Conociendo los dos valores, utilizamos la **Figura C-C.2.2** (pág 79 de Comentarios del CIRSOC 301), para obtener el valor de K.

3.2.3. Cálculo de tensión crítica y verificación

Luego de conocido el valor de K, debemos encontrar la tensión crítica. Primero, encontramos la mayor **esbeltez reducida**. Para esto, comparamos las **esbelteces geométricas** de la pieza en sentido X y en sentido Y.

Primero, consideramos la esbeltez geométrica *en dirección x y alrededor del eje y*:

$$\lambda_y = \frac{k * L}{r_y}.$$

Luego, la esbeltez geométrica *en dirección y y alrededor del eje x* será:

$$\lambda_x = \frac{k * L}{r_x}.$$

Adoptamos el valor máximo de λ_i , y obtenemos la esbeltez reducida como:

$$\lambda_c = \frac{\lambda}{\pi} * \sqrt{\frac{F_y}{E}}.$$

A partir de la sección **E.2** del CIRSOC 301 (pág 106), tenemos:

$$F_{cr} = (0,658^{\lambda_c^2}) * F_y \quad (\lambda_c \leq 1,5)$$

$$F_{cr} = \left(\frac{0,877}{\lambda_c^2} \right) * F_y \quad (\lambda_c \geq 1,5)$$

Conocida la tensión crítica F_{cr} , podemos obtener la resistencia nominal y la resistencia de diseño de una pieza como:

$$P_n = A_g * F_{cr} * (10^{-1})$$

$$P_d = \phi * P_n.$$

En este caso, $\phi = 0,85$, ya que es resistencia a la compresión.

3.3. Columnas armadas

Las columnas armadas están conformadas por varios perfiles y generalmente diagonales. En particular, consideramos las del Grupo 4, definidas en **A-E.4.2.1.** del CIRSOC 301 (pág 215).

En las mismas consideramos como carga última, tanto el valor de P_u como el de un momento M_s que comprime a uno de los cordones de perfiles. Entonces, lo primero es obtener el momento M_s .

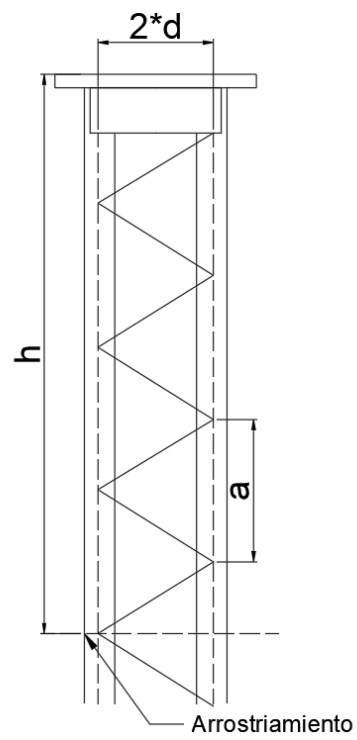


Figura 5: Vista de columna armada.

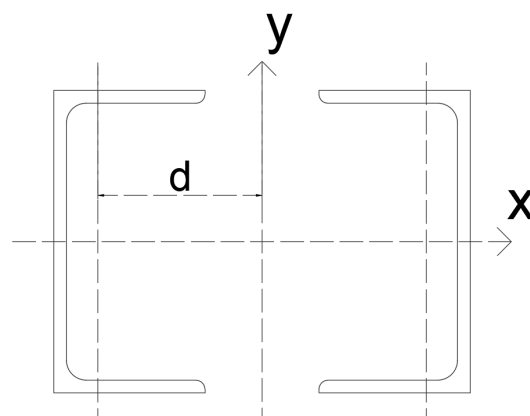


Figura 6: Sección de columna armada

3.3.1. Paso 1: obtención de M_s

Para obtener esto es necesario obtener la *esbeltez de la columna armada como una unidad* λ_o , a partir de la que podemos obtener su esbeltez modificada. Todo esto se hace con respecto al **eje libre**, que es aquel que no corta las barras. En el caso analizado será el eje Y.

Considerando una columna de un cordón de perfiles, con dos perfiles como se muestra en Figure 6, podemos obtener el radio de giro del cordón mediante el teorema de Stainer, y considerando la inercia *paralela* al eje libre, que en este caso sería Y.

Primero obtenemos la inercia, y luego el radio de giro como:

$$I_{py} = I_g + A_g * d^2$$

$$r_c = \sqrt{\frac{I_{py}}{A_g}}.$$

Por último, obtenemos el valor de λ_0 como:

$$\lambda_0 = \frac{k * L}{r_c}.$$

Luego, necesitamos obtener el valor de λ_1 , que es un valor auxiliar que se relaciona con la rigidez a corte de las vigas de celosía. Esta se determina según cuestiones de configuración de la celosía y geometría, y puede ser determinada mediante la **Figura A-E.4.2** del CIRSOC 301 (pág 217).

Determinados estos dos valores, obtenemos la esbeltez modificada λ_m como:

$$\lambda_m = \sqrt{\lambda_0^2 + \lambda_1^2}.$$

Con este valor podemos obtener P_{cm} :

$$P_{cm} = \frac{\pi^2 * E * A_g}{\lambda_m^2} * (10^{-1}).$$

También debemos considerar una excentricidad debido a una deformación inicial, que se obtiene como:

$$e_o = \frac{k * L}{500}, \text{ en cm.}$$

Entonces podemos obtener el momento M_s como:

$$M_s = \frac{P_u * e_o}{1 - P_u/P_{cm}} * (10^{-2}), \text{ en kNm.}$$

3.3.2. Paso 2: determinación de carga última P_{u1}

En este paso debemos considerar tanto las cargas últimas P_u , M_u y también el momento M_s . Esto lo hacemos como:

$$P_{u1} = \frac{P_u}{n} + \frac{M_s}{n_1 * h} * (10^2).$$

Siendo n el número de barras de la columna armada ($n=2$ ó $n=4$), y n_1 el número de barras del cordón considerado ($n_1 = 1$ ó $n_1 = 2$).

3.3.3. Paso 3: determinación de resistencia de diseño P_d

Esta determinación se hace con la siguiente ecuación:

$$P_d = \phi * F_{cr} * A_{g1} * (10^{-1}).$$

Donde el F_{cr} se determinara según ciertas condiciones. Primero debemos determinar que esbeltez geometrica debemos adoptar. En principio, consideramos dos:

1. *Esbeltez local*: es la esbeltez que se da entre en dirección del eje debil de cada perfil, pero que se encuentra arriostrado debido a las vigas de celosía.
2. *Esbeltez global*: es la esbeltez de la pieza en la dirección paralela al eje libre, y que normalmente se encuentra arriostrada.

Si consideramos la Figure 5, y considerando las esbelteces nombradas, tenemos:

$$\lambda_x = \frac{k * h}{r_x} \quad (\text{General})$$

$$\lambda_{c1} = \frac{L_1}{r_y}. \quad (\text{Local})$$

Esto es generalmente así, ya que se arriostra con celosía generalmente la dirección más débil, y se lo arriostra entre columnas en la otra dirección para reducir el valor de h , que es la distancia libre.

Adoptando el menor de ambos valores, tenemos:

$$\lambda = \frac{\lambda_x}{\pi} * \sqrt{\frac{f_y}{E}}.$$

Luego, con este valor calculamos el valor de F_{cr} :

$$F_{cr} = (0,658^{\lambda_c^2}) * F_y \quad (\lambda_c \leq 1,5)$$

$$F_{cr} = \left(\frac{0,877}{\lambda_c^2} \right) * F_y. \quad (\lambda_c \geq 1,5)$$

Conocida la tensión crítica F_{cr} , podemos obtener la resistencia nominal y la resistencia de diseño de una pieza como:

$$P_n = A_g * F_{cr} * (10^{-1})$$

$$P_d = \phi * P_n.$$

3.3.4. Paso 4: verificación de diagonales

Para este paso se considera la sección **A-E.4.2.1 (b)** del CIRSOC 301 (pág. 218). Lo primero es la determinación de β , que se hace como:

$$\beta = \frac{\pi}{400} * \left(\frac{1}{1 - P_u/P_{cm}} \right).$$

Entonces, encontramos el corte último V_{eu} , que se obtiene como:

$$V_{eu} = \beta * P_u + V_u.$$

Este esfuerzo debe ser proyectado a las diagonales, que se puede hacer mediante la siguiente formula:

$$D_u = \frac{V_{eu}}{2} * \frac{d}{h}.$$

Donde los valores de d y h son los determinados en la **Figura A-E.4.2.** del CIRSOC 301 (pág. 217).

Luego, verificamos la resistencia a compresión de la misma. Tomando el Caso 3 de la **Figura C.2.4** del CIRSOC 301 (pág. 92), y obteniendo el área del perfil de la diagonal y su radio de giro mínimo, obtenemos:

$$\lambda_{c(\text{diag})} = \frac{k * L_d}{r_{min}} * \frac{1}{\pi} * \sqrt{\frac{F_y}{E}}.$$

Luego, obtenemos la tensión crítica F_{cr} como ya se describió, y se determina el valor de P_d y se verifica lo siguiente:

$$P_d = 0,85 * F_{cr} * A_{g(\text{diag})} \geq D_u.$$

3.3.5. Paso 5: verificación de la presilla

Esta parte se hace según la sección **A-E.4.3.1** del CIRSOC 301 (pág 221), que dice que en los extremos de las barras armadas se deberán colocar *presillas*, que restringen que los extremos de las mismas se desvien. Las mismas deberán satisfacer la siguiente condición:

$$\frac{n_p * l_p}{h} \geq \frac{10 * I_1}{a}.$$

con h y a según la **Figura A-E.4.3** (pág), y donde I_1 es la inercia del cordón con respecto al eje paralelo al eje libre analizado, n_p , el número de planos de presillas y I_p el momento de inercia de una presilla.

De la ecuación podemos despejar lo siguiente:

$$I_p \geq \frac{10 * h * I_1}{a * n_p}.$$

De lo anterior, sabemos los valores de I_1 (normalmente I_y), h y de a . En principio, además podemos adoptar el número de presillas como 2 (una en la parte inferior, y otra en la parte superior), por lo que podemos determinar el valor de I_p .

Luego, debemos adoptar un espesor comercial de planchuela de acero, que puede ser considerado como 1/8." 0.635cm, que denominamos t . Entonces, despejamos:

$$I_p = \frac{b * h^3}{12}$$

$$h = \sqrt[3]{\frac{12 * I_p}{t}}.$$

Con este valor podemos adoptar una altura de precilla, con lo que queda terminado la verificación de una columna armada.