

APLICACIÓN CIRSOC 301-EL

VIGAS ARMADAS DE ALMA ESBELTA

Fundamentos

Estados límites de Flexión y Corte

\*07/08/2007



**Figura 7.3** Travesaños armados que soportan el techo del hangar de United Airlines en San Francisco; consisten en un claro central con voladizos de 142 pies. (Cortesía del American Institute of Steel Construction.)

43,3m.

CIRSOC 301-EL: Prescripciones específicas y relacionadas:

- Capítulo B: REQUERIMIENTOS DE PROYECTO

- + B.1 y B.2: Área bruta y área neta

- + B.5: Pandeo local

- + B.6: Restricciones al giro de apoyos

- + B.8: Elementos simplemente apoyados

- + B.9: Empotramientos

- + B.10: Dimensionamiento de vigas y vigas armadas

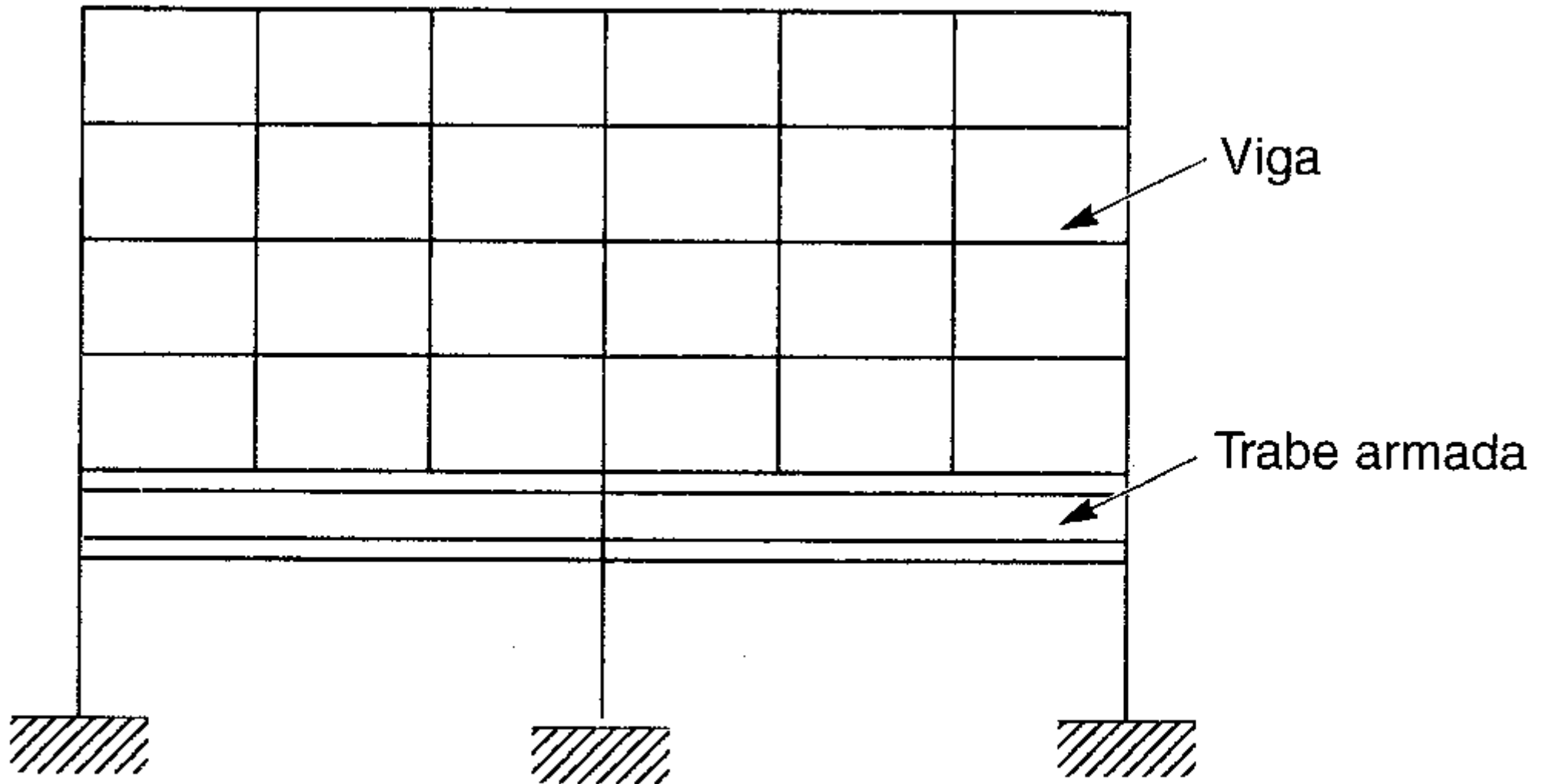
- Apéndice B: REQUERIMIENTOS DE PROYECTO

- + A-B.5: Pandeo local: clasificación, secciones con elementos esbeltos

.....

- .....
- Capítulo C: ANÁLISIS ESTRUCTURAL Y ESTABILIDAD
- **Capítulo F y Apéndice F: VIGAS Y OTRAS BARRAS EN FLEXIÓN**
- **Capítulo y Apéndice G: VIGAS DE ALMA ESBELTA**
- Capítulo H: ESFUERZOS COMBINADOS
- Capítulo K: FUERZAS CONCENTRADAS, ACUMULACIÓN DE AGUA Y FATIGA

VIGAS ARMADAS DE ALMA ESBELTA -  $h/t_w > \lambda_r$



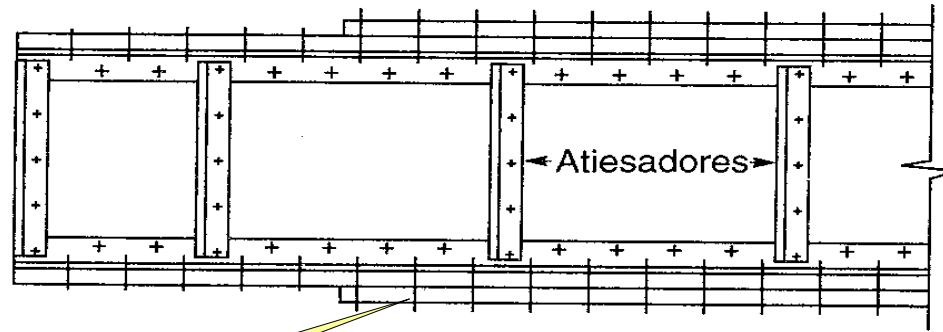
**Figura 7.1** Traves armadas en edificio.

# VIGAS ARMADAS DE ALMA ESBELTA - $h/t_w > \lambda_r$

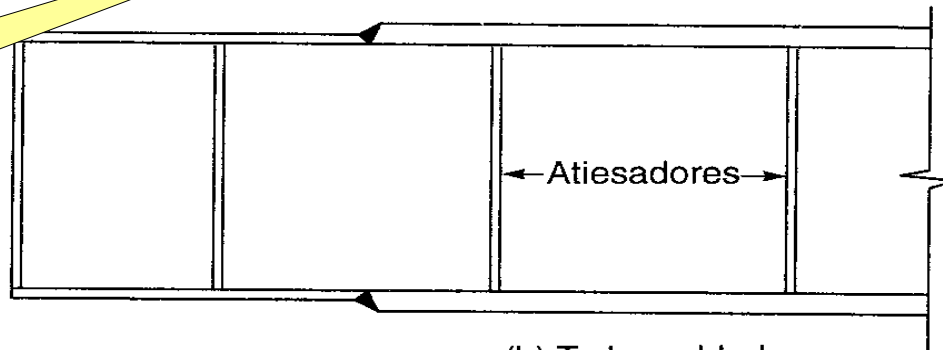
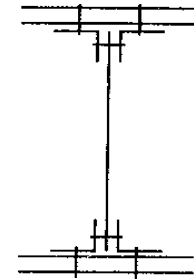
Formas típicas de vigas armadas y de alma esbelta

$$A_{pl} \leq 0,70 \cdot A_{fg}$$

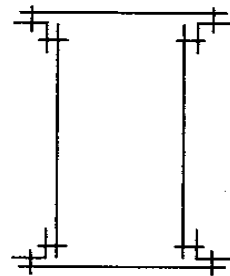
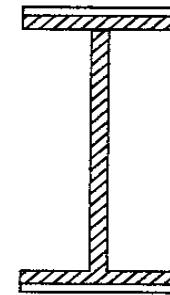
[B.10]



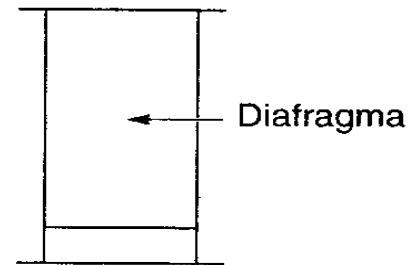
(a) Trabe atornillada



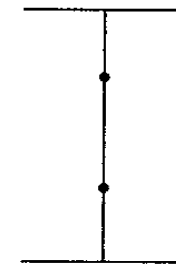
(b) Trabe soldada



(c) Trabe en cajón

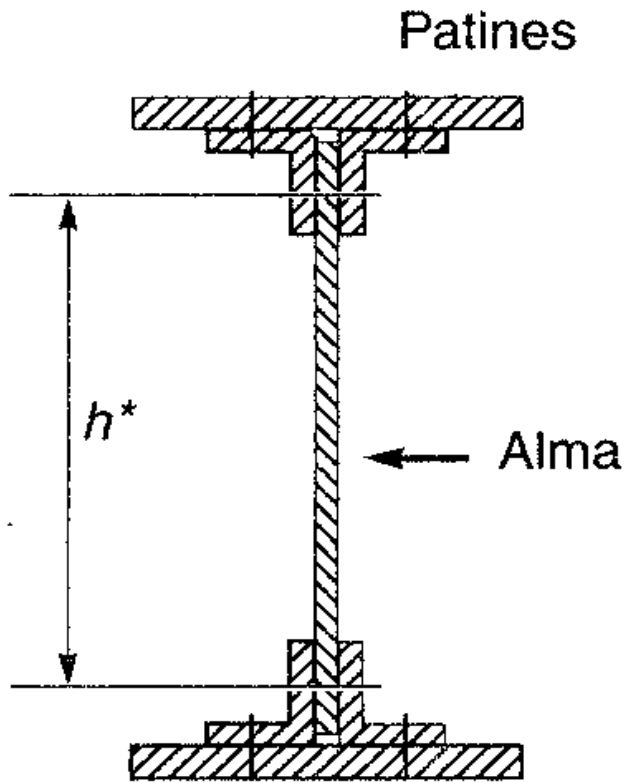


(d) Trabe en cajón soldada

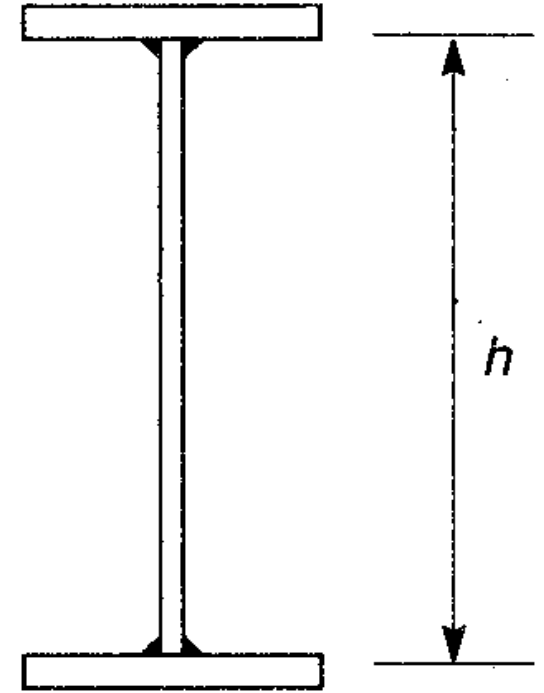
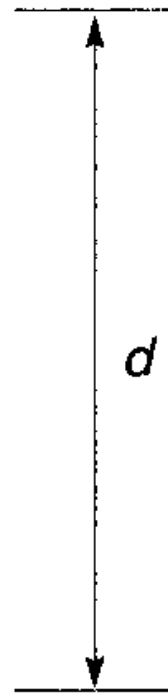


(e) Trabe compuesta con perfiles T

VIGAS ARMADAS DE ALMA ESBELTA -  $h/t_w > \lambda_r$   
ALTURA DEL ALMA



(a) Trabe atornillada



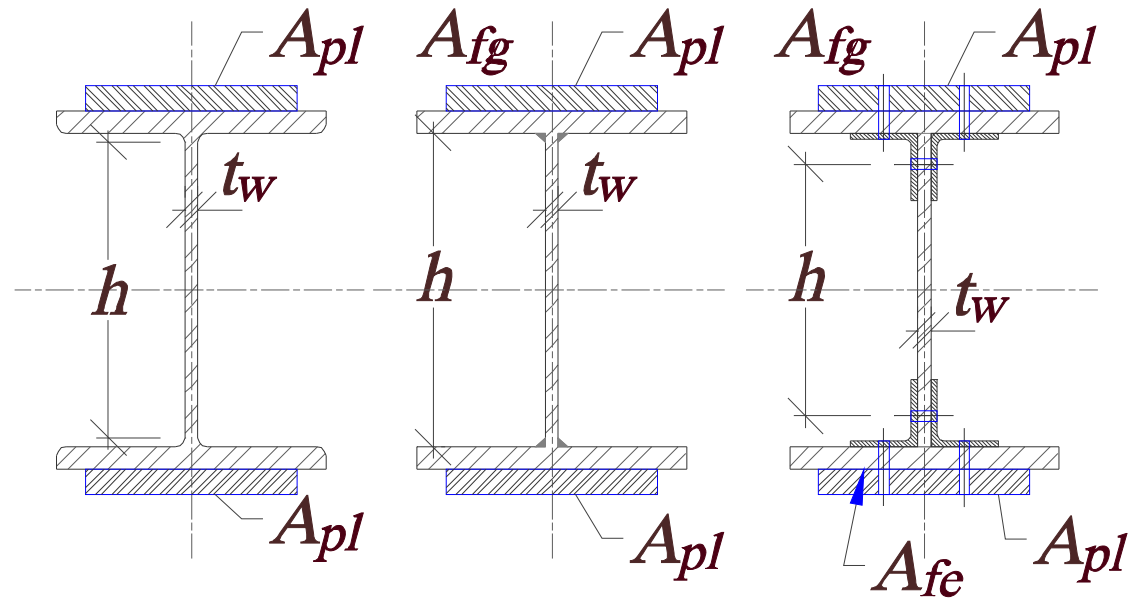
(b) Trabe soldada

$h^*$  como se muestra para usarse como altura libre en el cálculo de la razón del alma  $h/t$ , pero  $h$  = altura total del alma al calcular el esfuerzo cortante en el alma

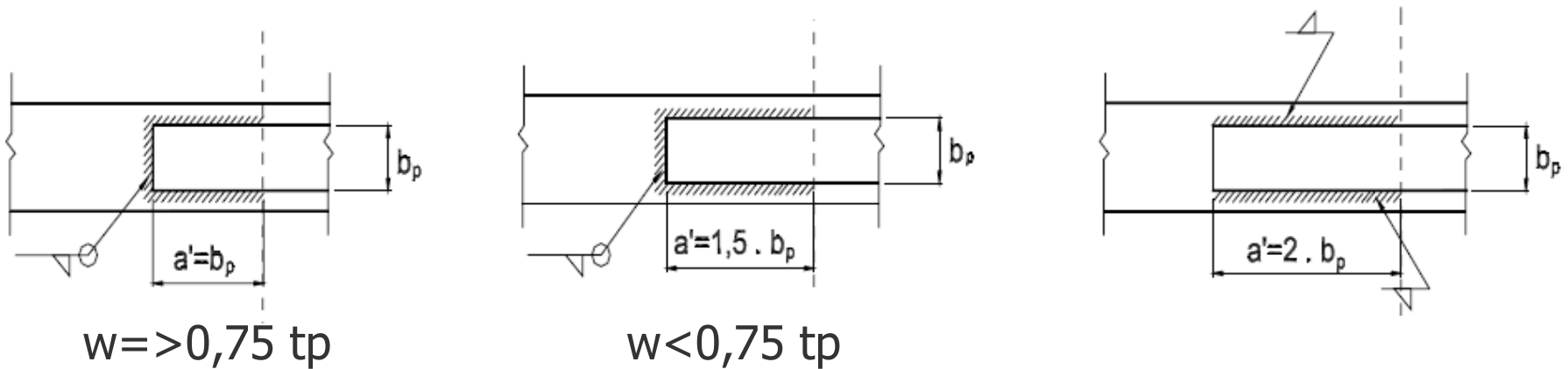
## CAPACIDAD DE PROYECTO o DISEÑO DE LA VIGA

- Platabandas [B.10]

- $A_{pl} \leq 0,70 \cdot A_{fg}$



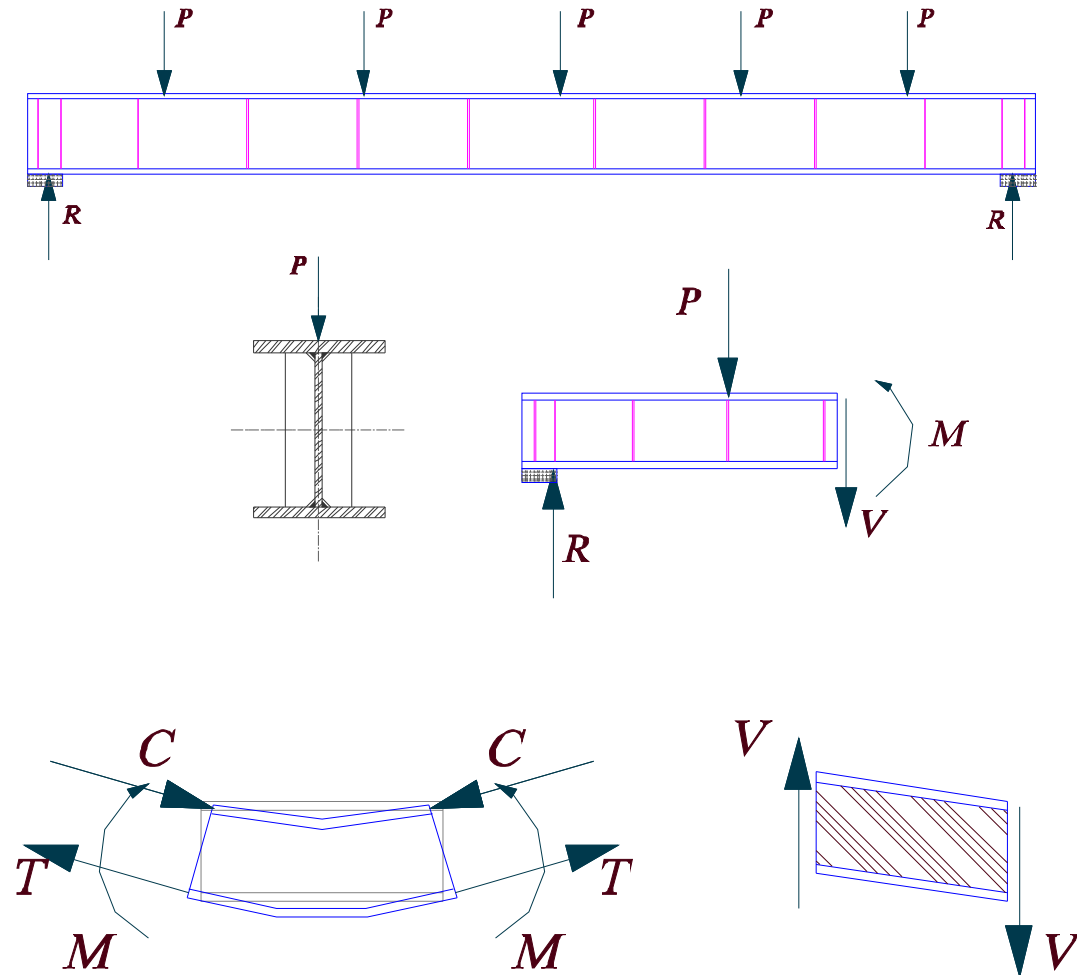
- Extensión más allá de la sección teórica necesaria [B.10]





# COMPORTAMIENTO DE LA VIGA DE ALMA ESBELTA

## Flexión simple



- ESTADOS LÍMITES DE VIGAS ARMADAS DE ALMA ESBELTA
  - ✓ Deformaciones en estado de servicio
  - ✓ Fluencia o rotura del cordón traccionado
  - ✓ Pandeo local del ala o cordón comprimido
  - ✓ ~~Pandeo local del alma~~
  - ✓ Pandeo lateral torsional de la barra
  - ✓ Abollamiento del alma por corte: ACCIÓN DE CAMPO A TRACCIÓN
  - ✓ Rigidizadores transversales
  - ✓ Interacción de flexión y corte

## CAPACIDAD DE PROYECTO o DISEÑO DE LA VIGA

### • CONDICIÓN DE RIGIDEZ o DEFORMACIONES

$$\Delta_{serv} \leq \Delta_{adm} \cong \frac{L}{n}$$

Carga uniforme, viga S.A.

n	$k_{\Delta}$
150	8
160	8
180	9
200	10
240	12
250	13
300	15
350	18
400	21
500	26
600	31
800	41

INERCIA NECESARIA  $I$  [cm<sup>4</sup>]  $M$  [kN m]  $L$  [m]

$$\Delta_{serv} = \chi \frac{M_{serv} L^2}{E \cdot I} \leq \frac{L}{n}$$

$$I \approx I_e \geq \chi \cdot n \frac{M_{serv} L}{E} = k_{\Delta} \cdot M_{serv} L$$

## CAPACIDAD DE PROYECTO o DISEÑO DE LA VIGA

### CONDICIÓN DE RIGIDEZ o DEFORMACIONES

Comportamiento del ala traccionada [B.10]

Si  $T_{du} \geq T_{dy}$

$$0,75 F_u \cdot A_{fn} \geq 0,90 F_y \cdot A_{fg} \quad (\text{B.10-1})$$

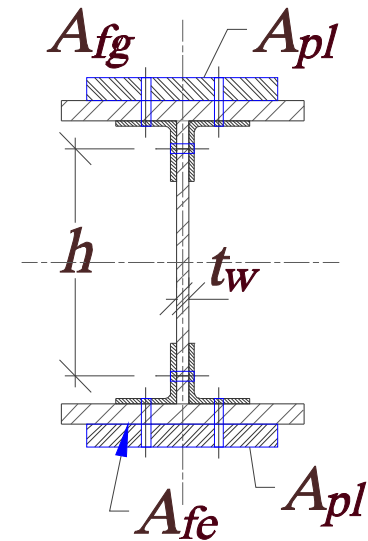
$$I = I_g$$

Si  $T_{du} < T_{dy}$

$$0,75 F_u \cdot A_{fn} < 0,90 F_y \cdot A_{fg} \quad (\text{B.10-2})$$

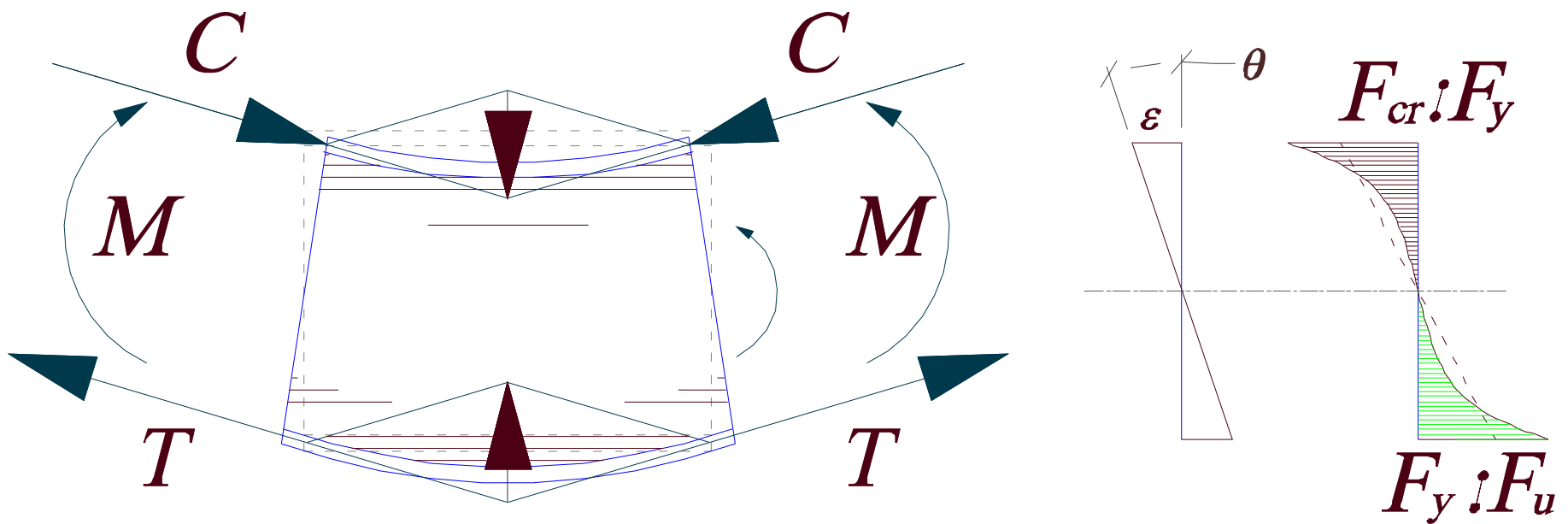
$$I = I_e$$

$$A_{fe} = \frac{5}{6} \frac{F_u}{F_y} A_{fn} \quad (\text{B.10-3})$$



## COMPORTAMIENTO DE LA VIGA DE ALMA ESBELTA

- Efecto de segundo orden en alma debido a los esfuerzos en alas



## COMPORTAMIENTO DE LA VIGA DE ALMA ESBELTA

- Efecto de segundo orden en alma debido a los esfuerzos en alas  
El alma queda comprimida verticalmente.  
El efecto se tiene en cuenta limitando la esbeltez de alma  $h/t_w$

(a) Para  $a/h \leq 1,5$

$$\frac{h}{t_w} \leq 11,7 \sqrt{\frac{E}{F_{yf}}} \quad (\text{A-G.1.1})$$

(b) Para  $a/h > 1,5$

$$\frac{h}{t_w} \leq \frac{0,48 E}{\sqrt{F_{yf} (F_{yf} + 114)}} \quad (\text{A-G.1.2})$$

Valores límites de  $h/t_w$

$F_{yf}$	$a/h \leq 1,5$	$a/h > 1,5$
200	372	387
220	355	358
240	339	333
300	304	275
360	277	235

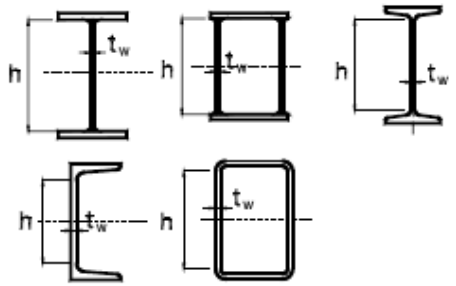
## COMPORTAMIENTO DE LA VIGA DE ALMA ESBELTA

- La viga armada es de alma esbelta si:  $h/t_w > \lambda_r$

$$\lambda_r = 5,70 \sqrt{\left(\frac{E}{F_y}\right)}$$

Valores  $\lambda_r$

$F_y$	$\lambda_r$
200	181
220	173
240	165
300	148
360	135

9	Almas comprimidas por flexión (i)		$h/t_w$	$3,06 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ (l)	$3,76 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ (e) (k)	$5,70 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$ (f)
---	--------------------------------------	--	---------	------------------------------------	--	---------------------------------

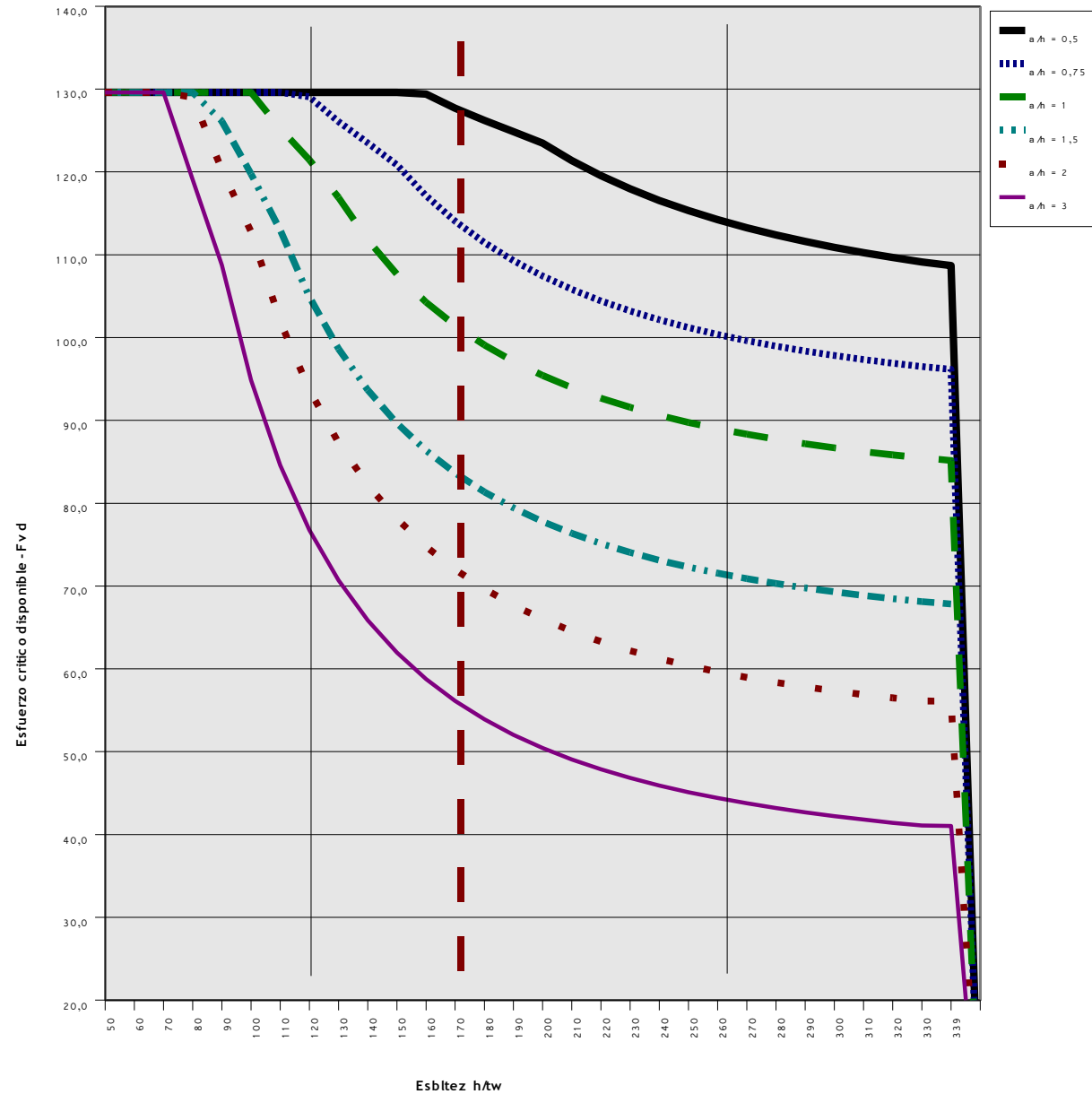
# COMPORTAMIENTO DE LA VIGA DE ALMA ESBELTA



La viga armada es de alma esbelta si:

$$h/t_w > \lambda_r$$

CAPACIDAD A CORTANTE CON ACCION DE CAMPO A TRACCION

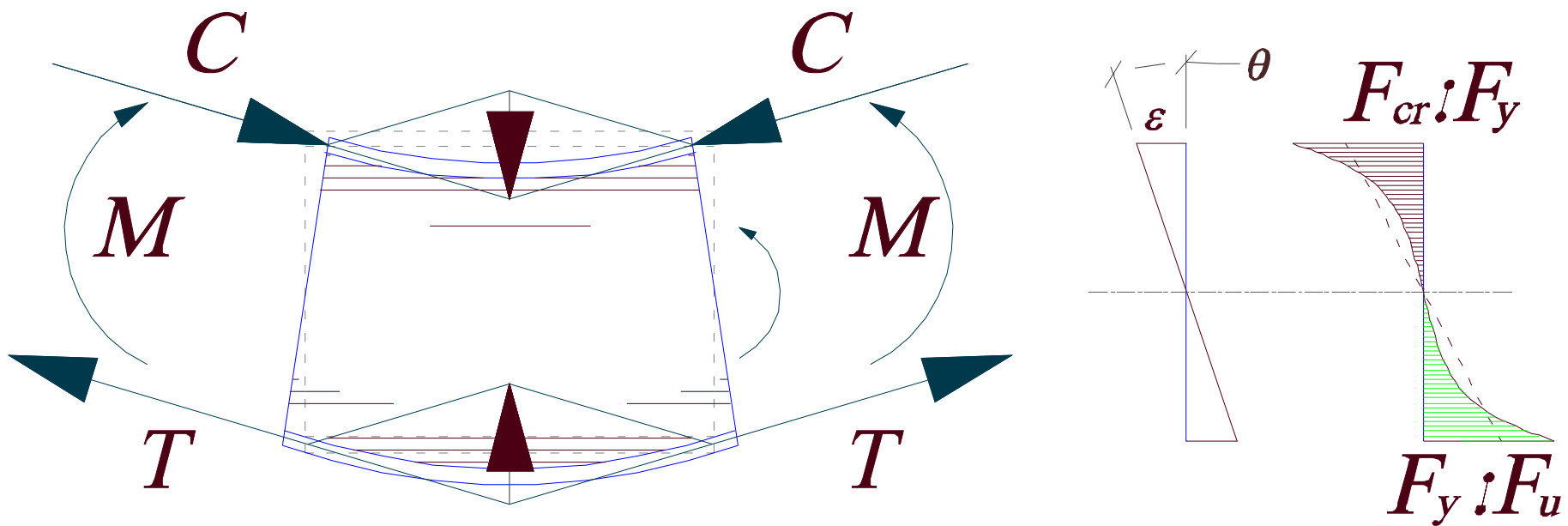




## COMPORTAMIENTO DE LA VIGA DE ALMA ESBELTA

- Esfuerzos en los patines

Debido al pandeo del alma, el esfuerzo en los patines se incrementa

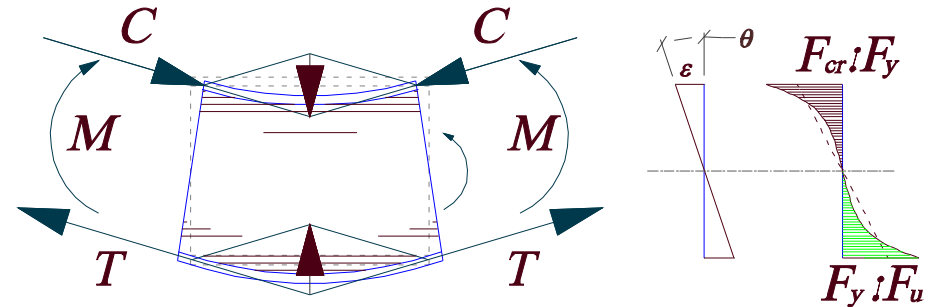


## CAPACIDAD DE LA SECCIÓN DE ALMA ESBELTA

### • Momento de diseño o de proyecto

$$M_u \leq \phi_b \cdot M_n$$

$$\phi_b = 0.90$$



(a) Para plastificación del ala traccionada:

$$M_n = R_e S_{xt} F_{yf} (10^{-3}) \quad (\text{A-G.2.1})$$

(b) Para pandeo del ala comprimida:

$$M_n = R_e R_{PG} S_{xc} F_{cr} (10^{-3}) \quad (\text{A-G.2.2})$$

## CAPACIDAD DE LA SECCIÓN DE ALMA ESBELTA

$$M_n = R_e S_{xt} F_{yf}$$

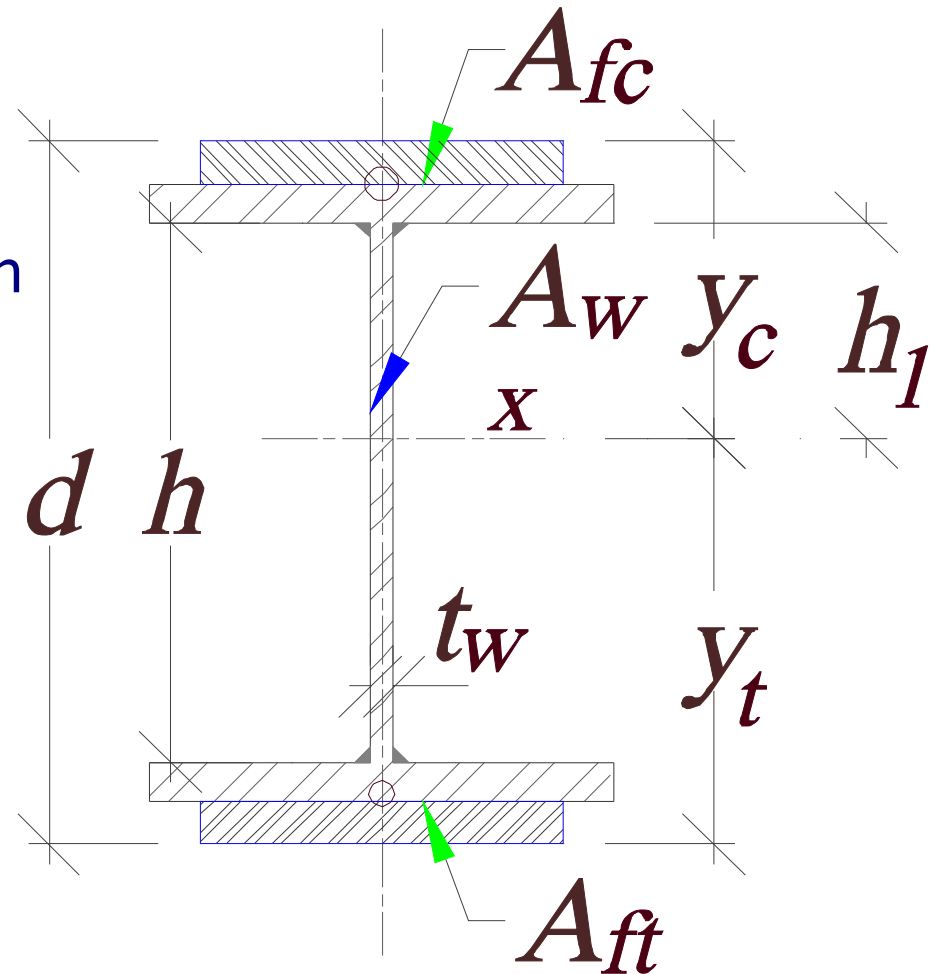
$$M_n = R_e R_{PG} S_{xc} F_{cr}$$

- Módulo resistente de la sección

$$I = \text{Mín}[I_g; I_e]$$

$$S_{xt} = I / y_t$$

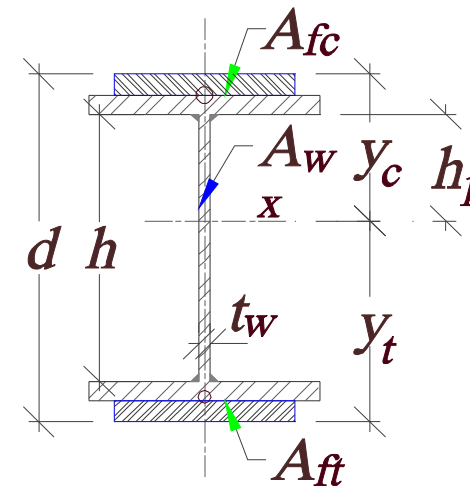
$$S_{xc} = I / y_c$$



## CAPACIDAD DE LA SECCIÓN DE ALMA ESBELTA

$$M_n = R_e S_{xt} F_{yf}$$

$$M_n = R_e R_{PG} S_{xc} F_{cr}$$



### ● Factor de viga armada híbrida

$R_e$  el factor de viga armada híbrida.

$$R_e = \frac{12 + a_r(3m - m^3)}{12 + 2a_r} \leq 1 \quad (R_e = 1 \text{ para vigas armadas no híbridas})$$

$a_r$  la relación entre el área del alma y el área del ala comprimida. ( $\leq 10$ ).

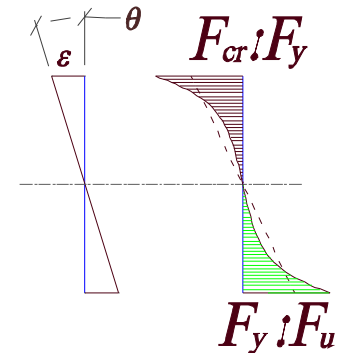
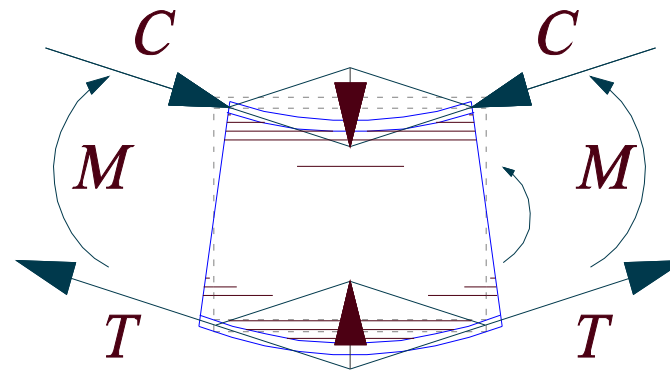
$m$  la relación entre la tensión de fluencia del alma y la tensión de fluencia del ala ó  $F_{cr}$ .

## CAPACIDAD DE LA SECCIÓN DE ALMA ESBELTA

$$M_n = R_e S_{xt} F_{yf}$$

$$M_n = R_e R_{PG} S_{xc} F_{cr}$$

- Factor de reducción que considera la redistribución de esfuerzo del alma abollada en el cordón comprimido



$$R_{PG} = 1 - \frac{a_r}{1200 + 300 a_r} \left( \frac{h_c}{t_w} - 5,70 \sqrt{\frac{E}{F_{cr}}} \right) \leq 1,0 \quad (\text{A-G.2.3})$$

- La tensión crítica es el menor valor resultante de PLT o de PLA

## CAPACIDAD DE LA SECCIÓN DE ALMA ESBELTA

- La tensión crítica  $F_{cr}$  es el menor valor resultante para PLT o PLA

Se aplica:

- Para  $\lambda \leq \lambda_p$ :

$$F_{cr} = F_{yf} \quad (\text{A-G.2.4})$$

- Para  $\lambda_p < \lambda \leq \lambda_r$ :

$$F_{cr} = C_b F_{yf} \left[ 1 - \frac{1}{2} \left( \frac{\lambda - \lambda_p}{\lambda_r - \lambda_p} \right) \right] \leq F_{yf} \quad (\text{A-G.2.5})$$

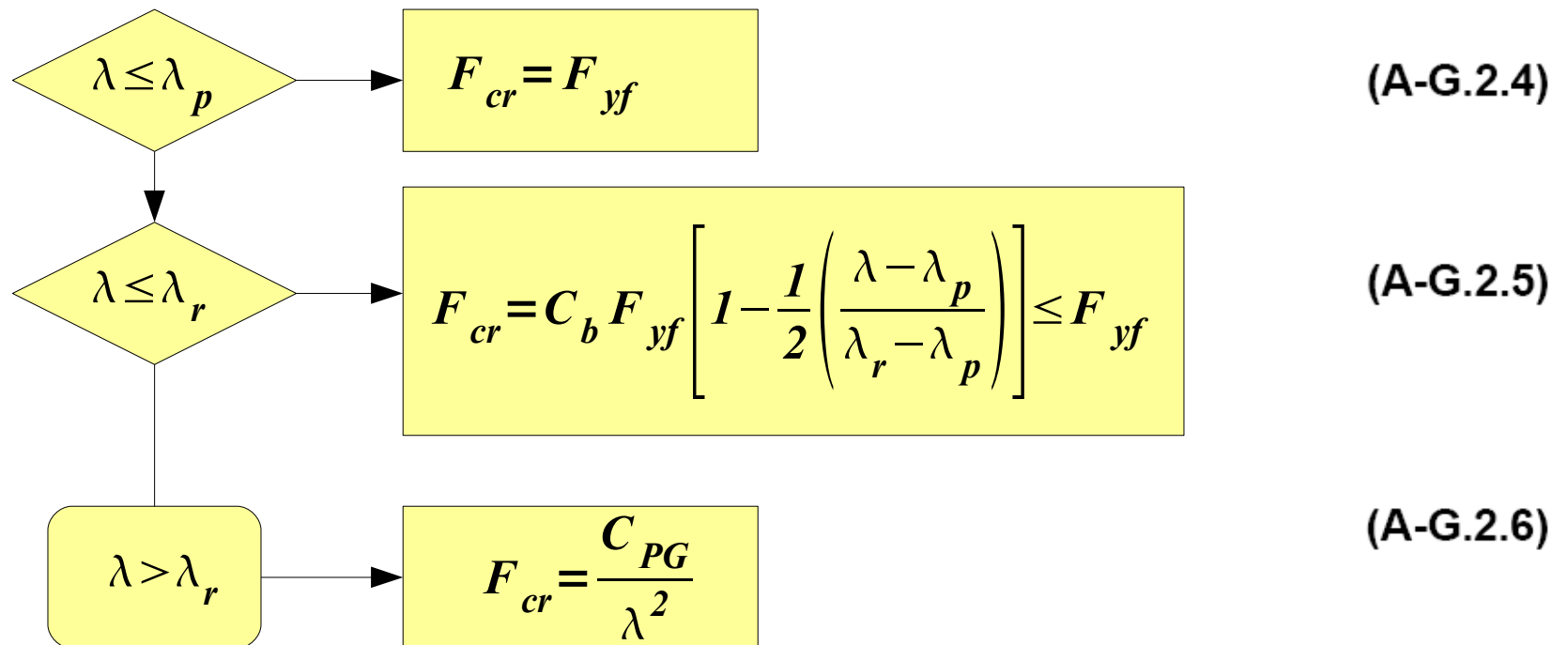
- Para  $\lambda > \lambda_r$ :

$$F_{cr} = \frac{C_{PG}}{\lambda^2} \quad (\text{A-G.2.6})$$

## CAPACIDAD DE LA SECCIÓN DE ALMA ESBELTA

- La tensión crítica  $F_{cr}$  es el menor valor resultante para PLT o PLA

En ambos casos se aplica:



## CAPACIDAD DE LA SECCIÓN DE ALMA ESBELTA

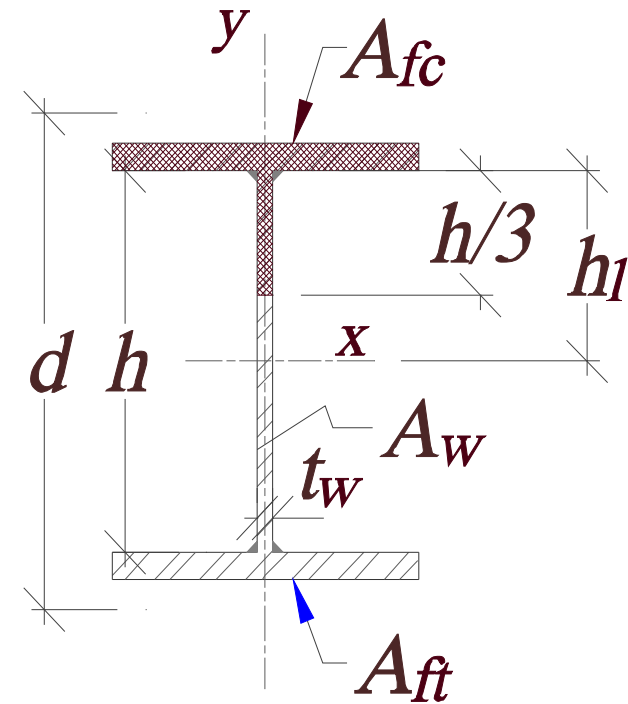
• Para PLT:

$$\lambda = \frac{L_b}{r_T} \quad (\text{A-G.2.7})$$

$$\lambda_p = 1,76 \sqrt{\frac{E}{F_{yf}}} \quad (\text{A-G.2.8})$$

$$\lambda_r = 4,44 \sqrt{\frac{E}{F_{yf}}} \quad (\text{A-G.2.9})$$

$$C_{PG} = 1970000 C_b \text{ (MPa)} \quad (\text{A-G.2.10})$$



$r_T$  radio de giro al eje  $y$ , del ala comprimida más 1/3 del alma



## CAPACIDAD DE LA SECCIÓN DE ALMA ESBELTA

• Para PLA:

$$\lambda = \frac{b_f}{2t_f} \quad (\text{A-G.2.11})$$

$$\lambda_p = 0,38 \sqrt{\frac{E}{F_{yf}}} \quad (\text{A-G.2.12})$$

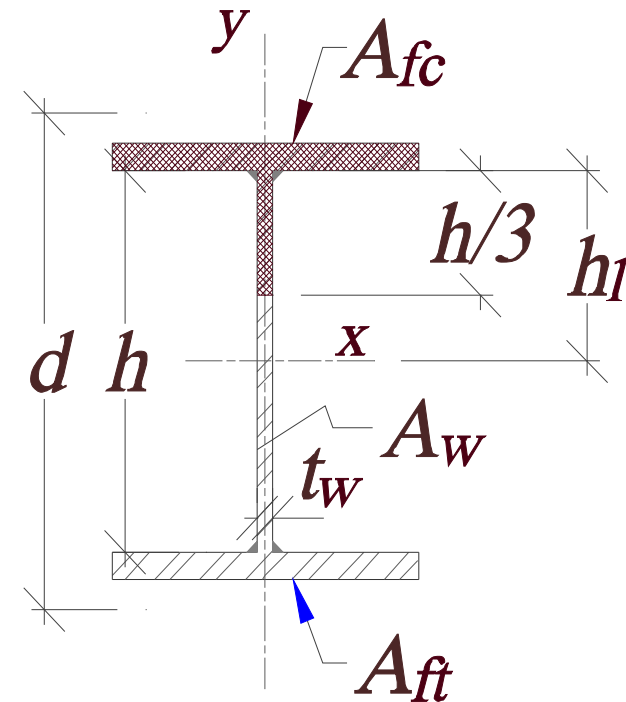
$$\lambda_r = 1,35 \sqrt{\frac{E}{F_{yf} / k_c}} \quad (\text{A-G.2.13})$$

$$C_{PG} = 180650 k_c \text{ (MPa)} \quad (\text{A-G.2.14})$$

$$C_b = 1$$

donde:

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



## CAPACIDAD DE LA SECCIÓN DE ALMA ESBELTA

• En resumen:

$$M_u \leq \phi_b \cdot M_n$$

$$\phi_b = 0.90$$

$$M_n = R_e S_{xt} F_{yf}$$

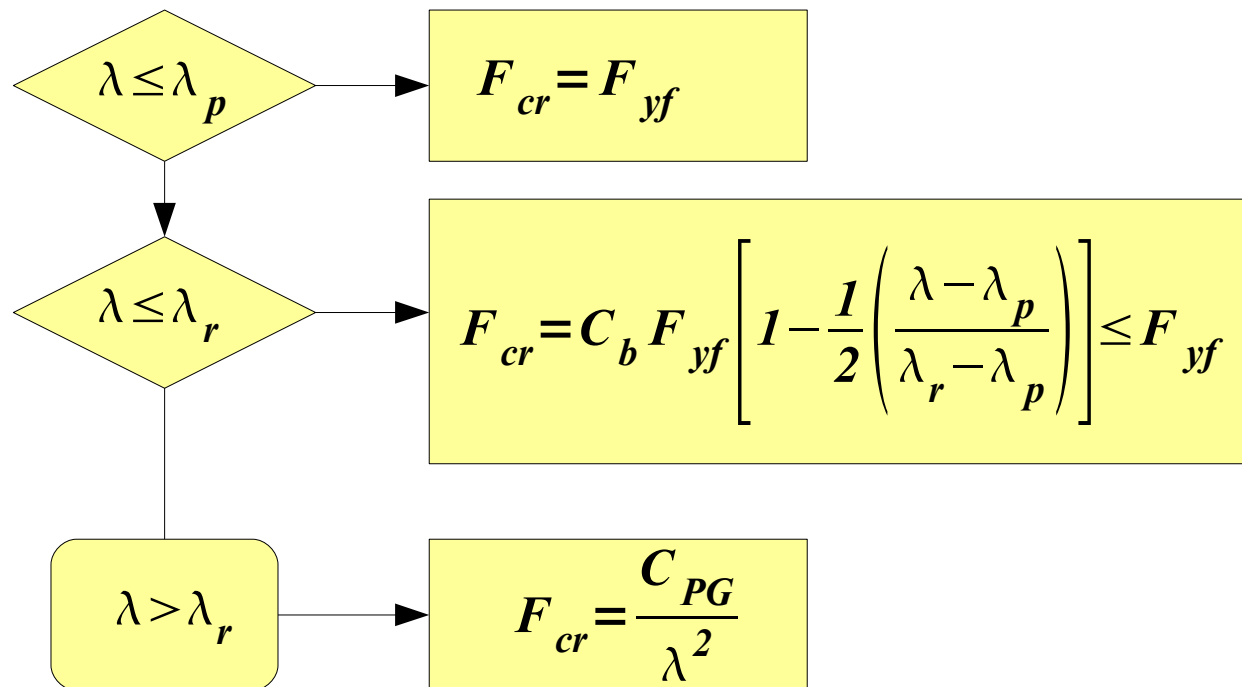
$$M_n = R_e R_{PG} S_{xc} F_{cr}$$

$$R_{PG} = 1 - \frac{a_r}{1200 + 300 a_r} \left( \frac{h_c}{t_w} - 5,70 \sqrt{\frac{E}{F_{cr}}} \right) \leq 1$$

$$F_{cr} = \text{Mín} [F_{cr}(PLT); F_{cr}(PLA)]$$

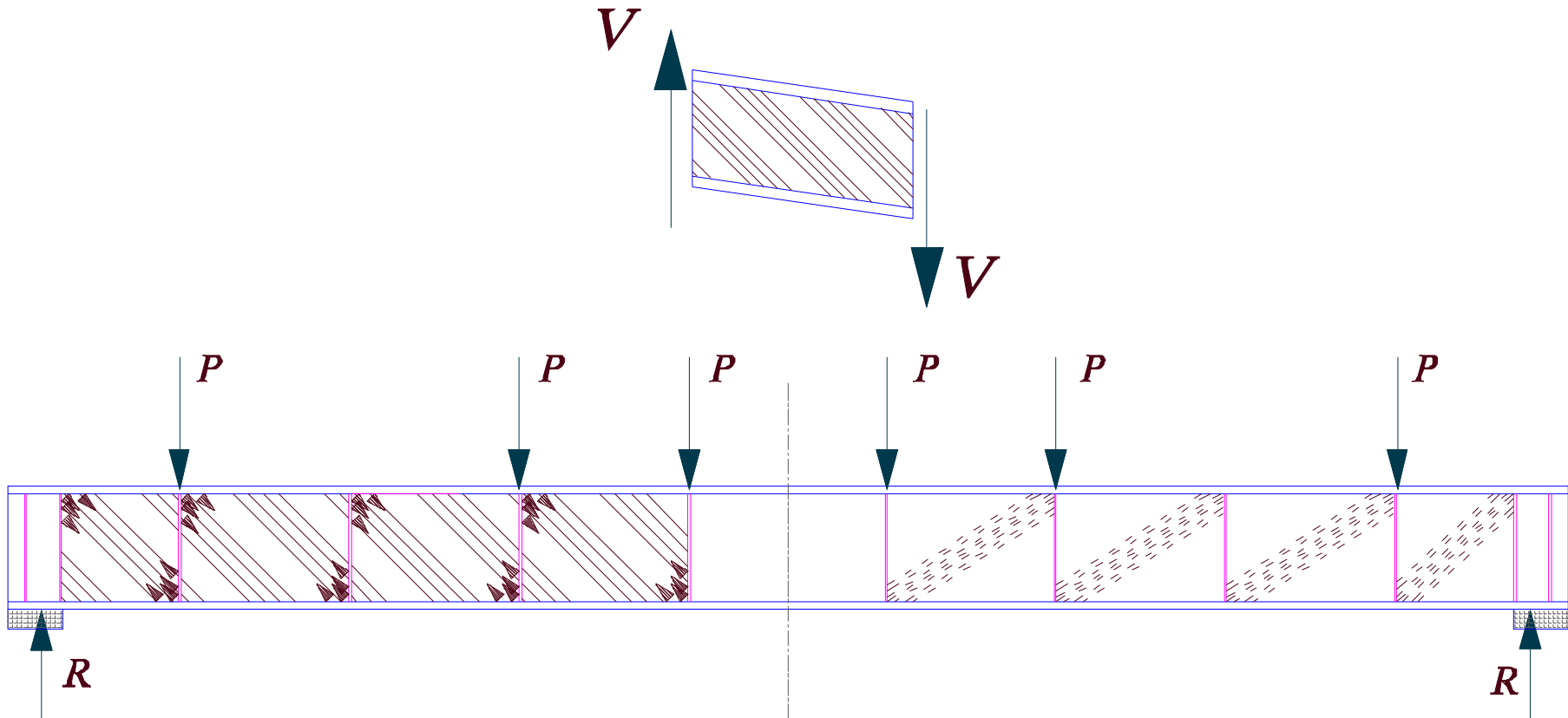
.....

# CAPACIDAD DE LA SECCIÓN DE ALMA ESBELTA



## COMPORTAMIENTO DE LA VIGA DE ALMA ESBELTA

- Esfuerzos en el alma
- Comportamiento post-crítico del alma: acción de campo a tracción

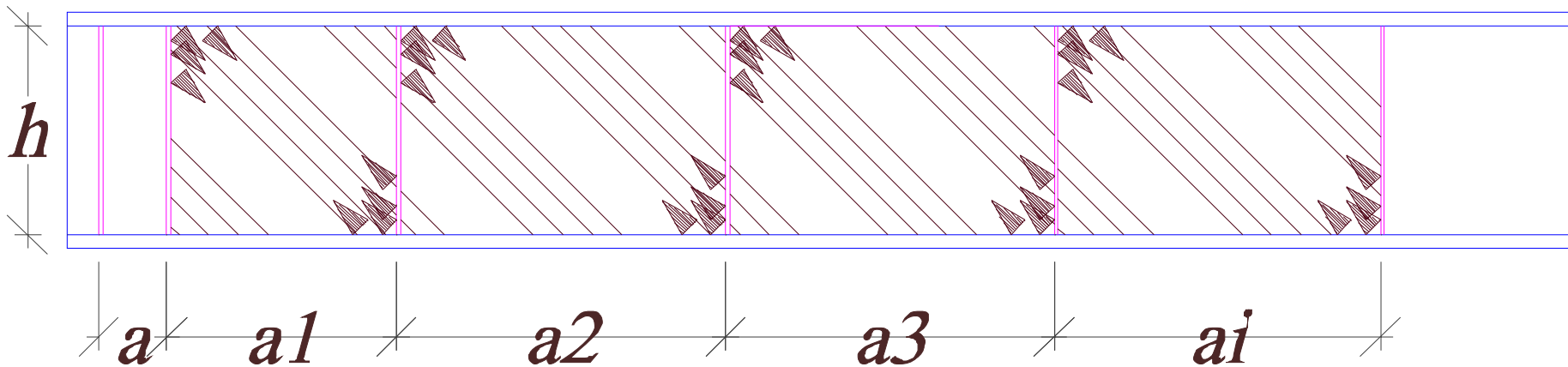


Alma abollada , sólo resiste tracción  
Rigidizadores se comprimen

Las fajas de alma son **TENSORES**  
Rigidizadores son **MONTANTES**

## COMPORTAMIENTO DE LA VIGA DE ALMA ESBELTA

- Se puede aplicar acción de campo a tracción en:
  - Todos los paneles internos de vigas armadas homogéneas
- No se puede aplicar;
  - En paneles extremos de vigas homogéneas
  - En cualquier panel de vigas híbridas
  - Vigas armadas de altura variable
  - Si  $a/h > 3$  o  $a/h > \left[ \frac{260}{(h/t_w)} \right]^2$



## CAPACIDAD DE PROYECTO o DISEÑO DE LA VIGA

- En CORTANTE con acción de campo a tracción

$$V_u \leq \phi_v \cdot V_n \quad \phi_v = 0.90$$

$V_n$  se determina de:

(a) Para  $\frac{h}{t_w} \leq 1,10 \sqrt{\frac{k_v E}{F_{yw}}}$   $V_n = 0,6 A_w F_{yw}$  (A-G.3.1)

(b) Para  $\frac{h}{t_w} > 1,10 \sqrt{\frac{k_v E}{F_{yw}}}$

$$V_n = 0,6 A_w F_{yw} \left( C_v + \frac{1 - C_v}{1,15 \sqrt{1 + (a/h)^2}} \right) \quad \text{(A-G.3.2)}$$

$$C_v = F_{vcrw} / F_{vyw}$$

## CAPACIDAD DE PROYECTO o DISEÑO DE LA VIGA

$$k_v = 5 + \frac{5}{(a/h)^2}$$

•  $C_v = F_{vcrw} / F_{vyw}$

(a) Para:  $1,10 \sqrt{\frac{k_v E}{F_{yw}}} \leq \frac{h}{t_w} \leq 1,37 \sqrt{\frac{k_v E}{F_{yw}}}$   $C_v = \frac{1,10 \sqrt{\frac{k_v E}{F_{yw}}}}{h/t_w}$  (A-G.3.5)

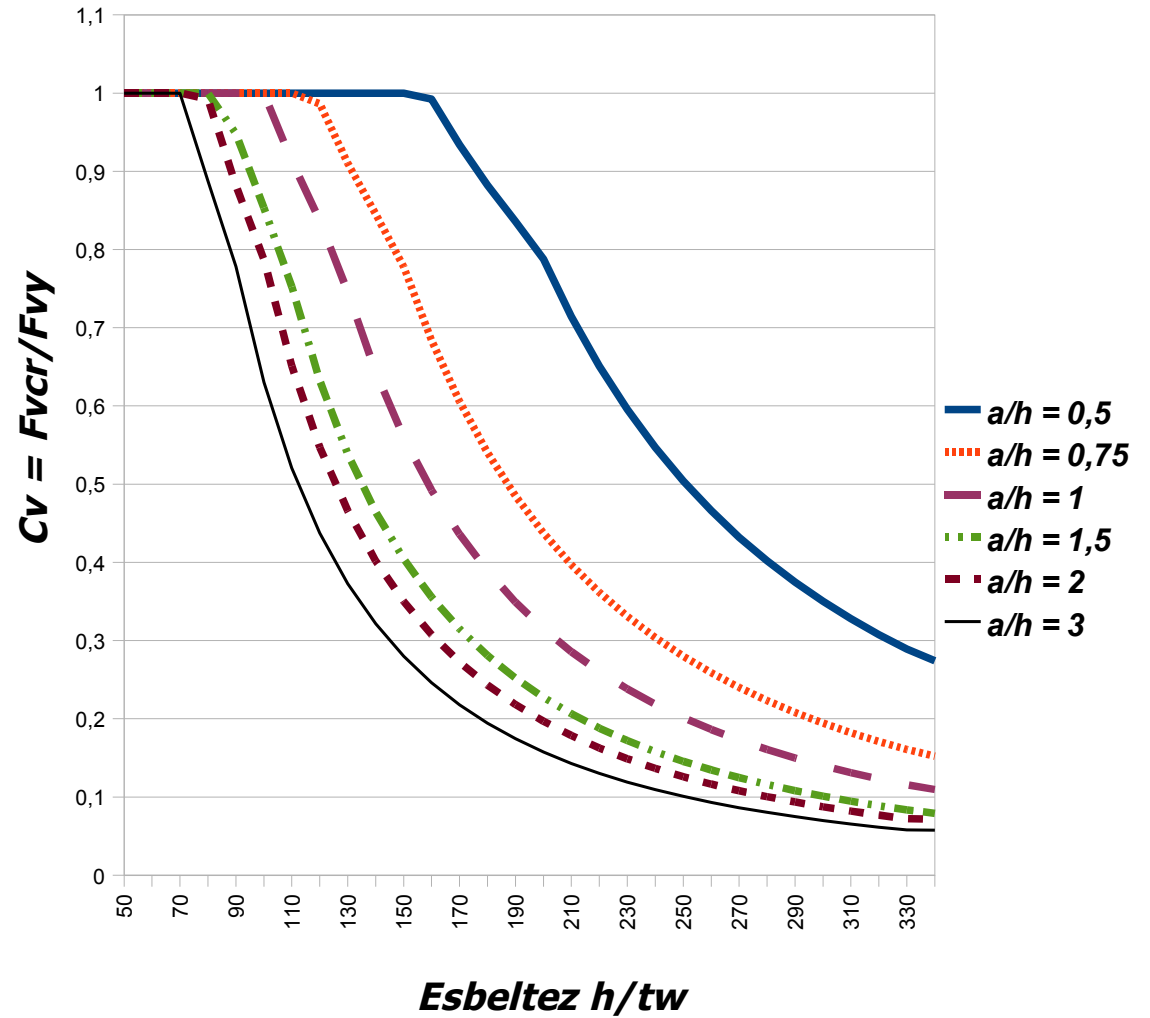
(b) Para :  $\frac{h}{t_w} > 1,37 \sqrt{\frac{k_v E}{F_{yw}}}$   $C_v = \frac{1,51 E k_v}{\left(\frac{h}{t_w}\right)^2 F_{yw}}$  (A-G.3.6)

Para  $\frac{h}{t_w} \leq 1,10 \sqrt{\frac{k_v E}{F_{yw}}}$   $C_v = 1$

# CAPACIDAD DE PROYECTO o DISEÑO DE LA VIGA

$$C_v = F_{vcrw} / F_{vyw}$$

## Relación Tensión crítica / Tensión fluencia

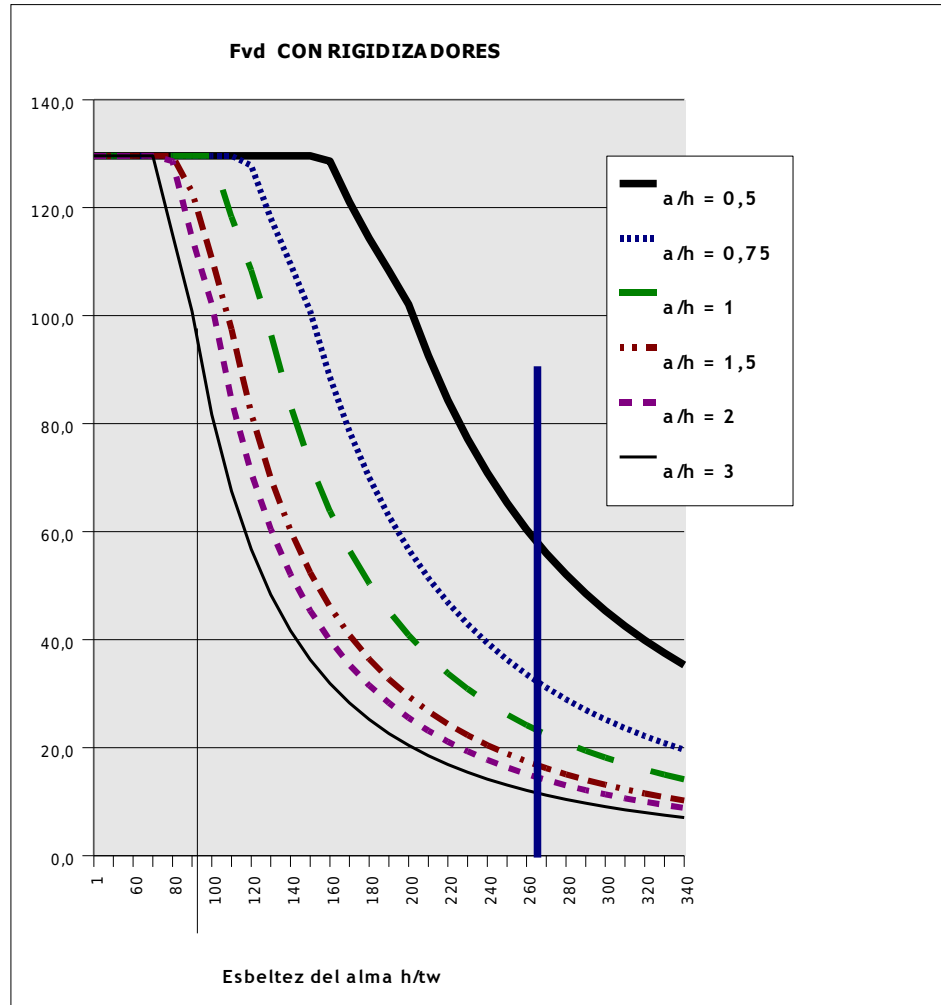




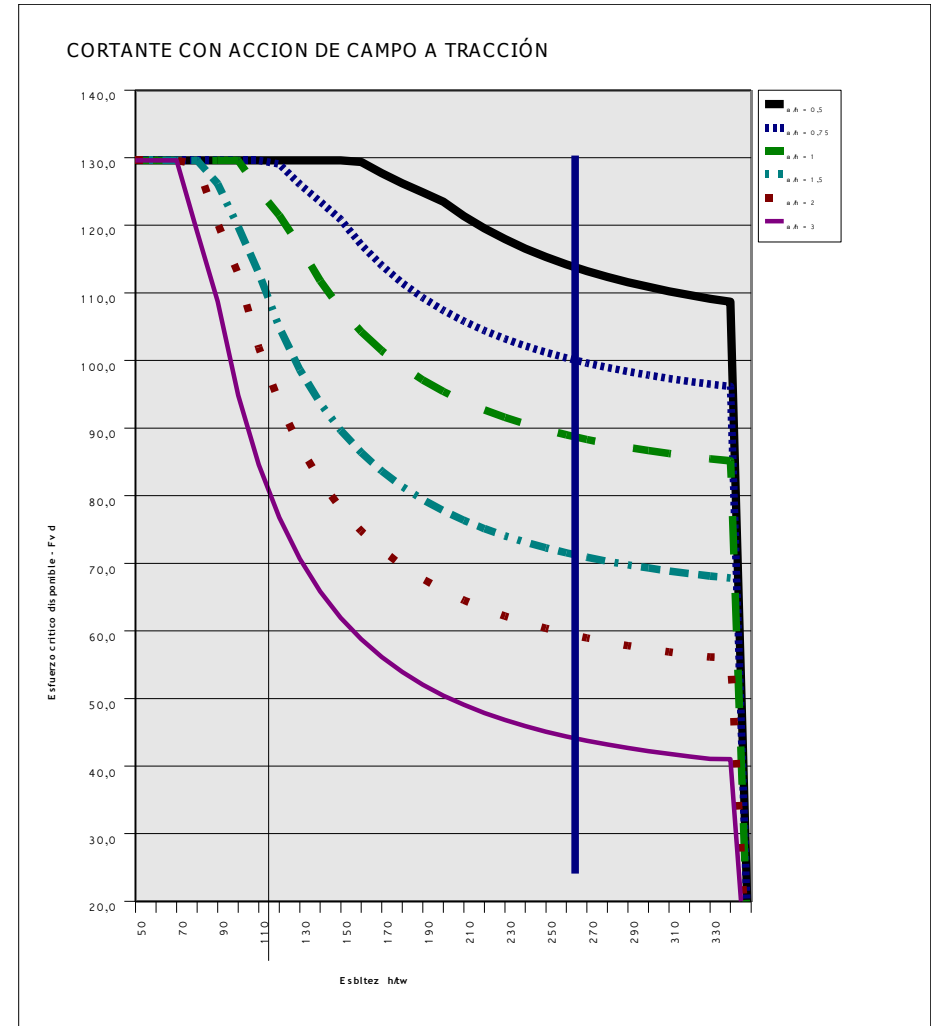
# CAPACIDAD DE PROYECTO o DISEÑO DE LA VIGA

● Esfuerzo de corte disponible

CON RIGIDIZADORES



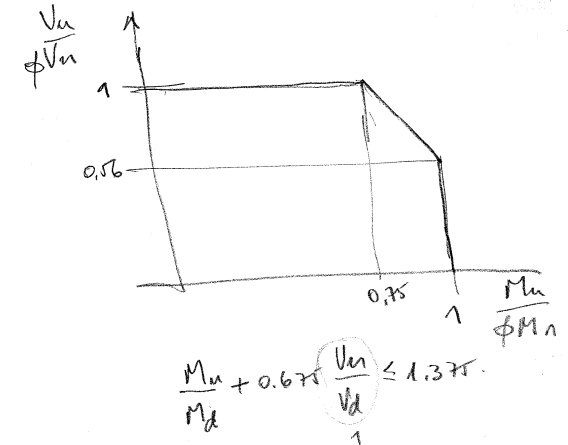
CON ACCIÓN DE CAMPO A TRACCIÓN



## RIGIDIZADORES DE ALMA

Para vigas armadas de alma esbelta, con acción de campo a tracción

### ● INTERACCIÓN DE FLEXIÓN Y CORTE



Cuando se verifique que:

$$0,6 \phi V_n \leq V_u \leq \phi V_n \quad (\phi = 0,90)$$

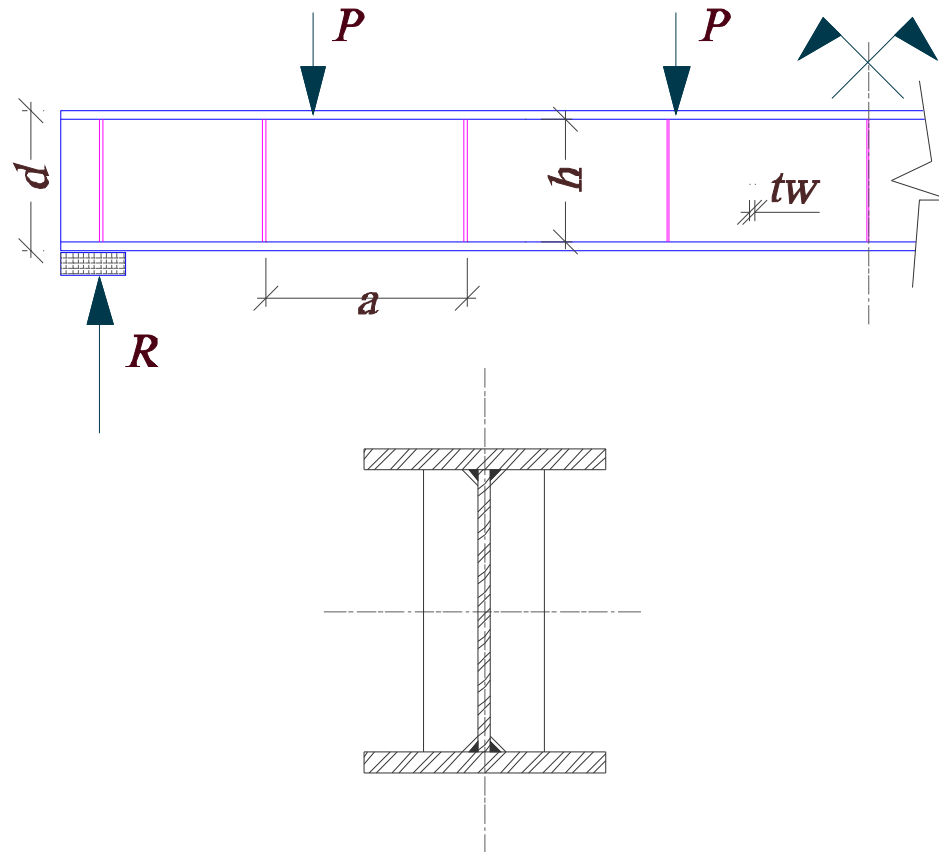
y

$$0,75 \phi M_n \leq M_u \leq \phi M_n \quad (\phi = 0,90)$$

las vigas armadas con almas proyectadas para desarrollar la acción del campo a tracción deberán satisfacer el siguiente criterio adicional de interacción entre flexión y corte:

$$\frac{M_u}{\phi M_n} + 0,625 \frac{V_u}{\phi V_n} \leq 1,375 \quad (\text{A-G.5.1})$$

# RIGIDIZADORES DE ALMA



## RIGIDIZADORES DE ALMA

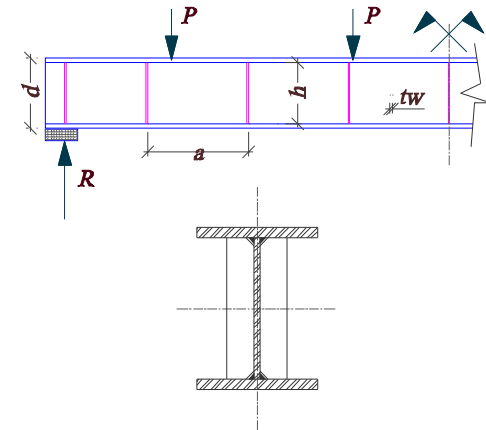
Para cualquier viga armada

- NO son necesarios si se cumple alguna de las siguientes condiciones:

$$\frac{h}{t_w} \leq 2,45 \sqrt{\frac{E}{F_{yw}}}$$

$$V_u \leq 0,6 \phi_v \cdot A_w \cdot F_{yw} \cdot C_v$$

$C_v$  determinado para  $k_v=5$



## RIGIDIZADORES DE ALMA

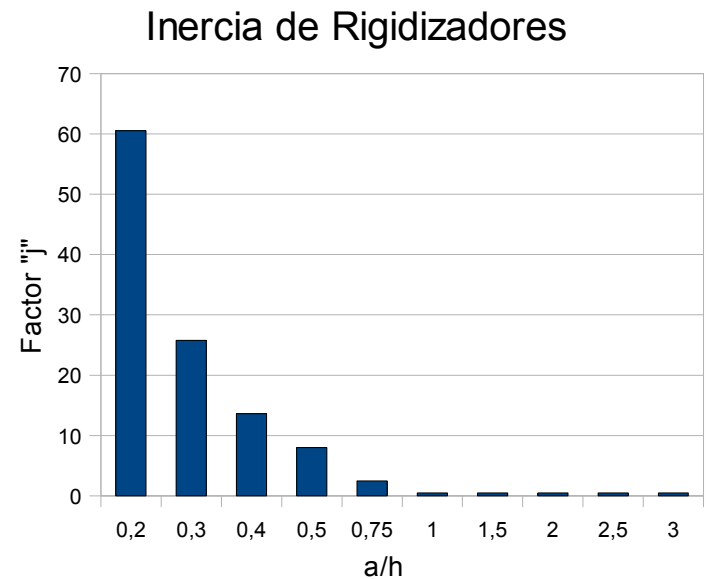
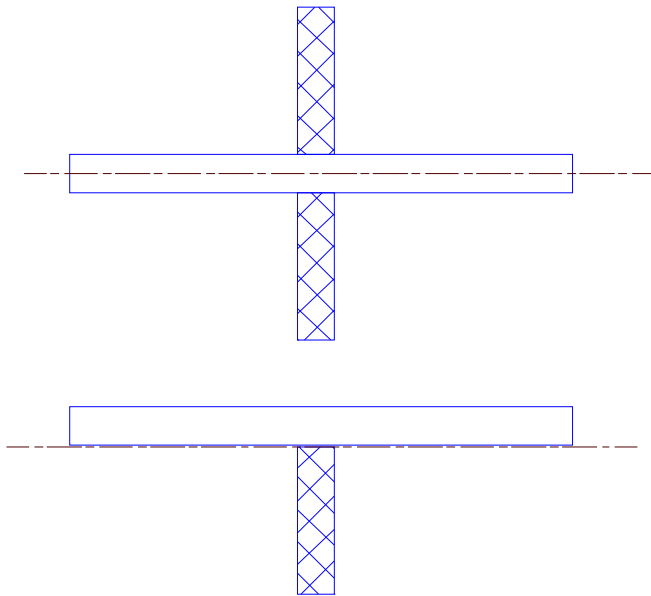
Para cualquier viga armada

- Capacidad a corte considerando pandeo de placa de alma (Apéndice A-F.2.3 )

El momento de inercia del rigidizador  $I_{st}$  será:

$$I_{st} \geq a \cdot t_w^3 \cdot j$$

$$j = \frac{2,5}{\left(\frac{a}{h}\right)^2} - 2 \geq 0,5$$

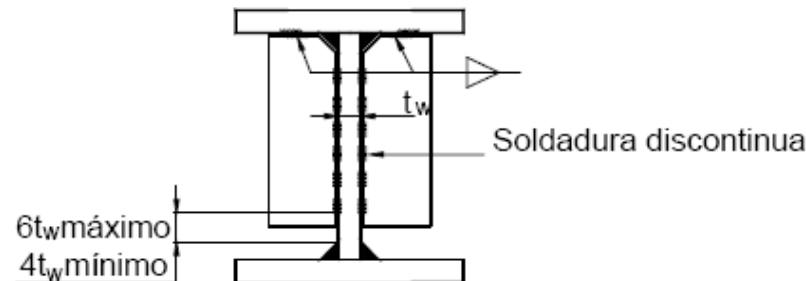


## RIGIDIZADORES DE ALMA

Para cualquier viga armada

### ■ Detalles para la ejecución y disposición de rigidizadores

Los **rigidizadores intermedios** podrán terminar a una cierta distancia del ala traccionada, siempre que no sea necesario transmitir a través de ellos cargas concentradas o reacciones de apoyo, en cuyo caso deberán unirse al ala traccionada. La **unión soldada que une el rigidizador con el alma** se deberá terminar a una distancia  $h_1$  del borde de la unión soldada de ala y alma, tal que  $4 t_w \leq h_1 \leq 6 t_w$ , siendo  $t_w$  el espesor del alma. (Ver la Figura A-F.2.1(b)).



(b)

**Unión soldada rigidizador-perfil**

## RIGIDIZADORES DE ALMA

Para cualquier viga armada

### ■ Detalles para la ejecución y disposición de rigidizadores

Cuando una barra de arriostramiento lateral esté unida a un rigidizador o a un par de rigidizadores, éstos deberán unirse al ala comprimida y la unión deberá transmitir el **1 %** de la ***fuerza total de compresión del ala***.

La ***separación máxima de los bulones*** que unen un rigidizador al alma de una viga armada será de **30 cm**.

Si la unión del rigidizador al alma se realiza con soldadura de filete discontinua, la distancia libre entre filetes será menor o igual que **16 veces** el espesor del alma ó **25 cm**.

Para cualquier viga laminada o armada







Continuaremos .....

**TRANSFERENCIA DE ACCIONES  
LOCALES – CARGAS PUNTUALES**