

Unidad 8b. CARGAS CONCENTRADAS

Eduardo Totter
Construcciones Metálicas y de Madera I – Ingeniería Civil



UNCUYO
UNIVERSIDAD
NACIONAL DE CUYO



FACULTAD DE
INGENIERÍA

MOTIVACIÓN AL ESTUDIO DEL EFECTO DE CARGAS CONCENTRADAS EN ESTRUCTURAS DE ACERO

Ciertos componentes en estructuras de acero resultan **altamente susceptibles** a la aparición de efectos locales no deseados, debidos a la acción de **cargas concentradas**.

Estos efectos, en general se pueden manifestar como **grandes deformaciones localizadas** inaceptables para la estructura o bien como fenómenos de **inestabilidad local** que en algunos casos llevan al fallo global de la estructura.

El estudio de las cargas concentradas actuantes sobre una estructura de acero, y el **diseño** de soluciones pertinentes en cada caso, debe asegurar que:

No existan **efectos localizados** tanto de deformación como de inestabilidad en **alas** y **almas** de componentes estructurales sometidos a la acción de una o varias cargas concentradas.

GENERALIDADES

Una **carga concentrada** es aquella que aplicada sobre una pequeña longitud o área de un componente estructural, se puede suponer que actúa en un punto del mismo sin cometer un error apreciable.

CAPÍTULO K. CIRSOC 301

Capítulo K. Comentarios CIRSOC 301.

Estos capítulos contienen las Bases de proyecto y Especificaciones para la determinación de la **resistencia de diseño** en barras y elementos estructurales sometidos a la acción de **fuerzas concentradas simples** o **dobles** según el caso.

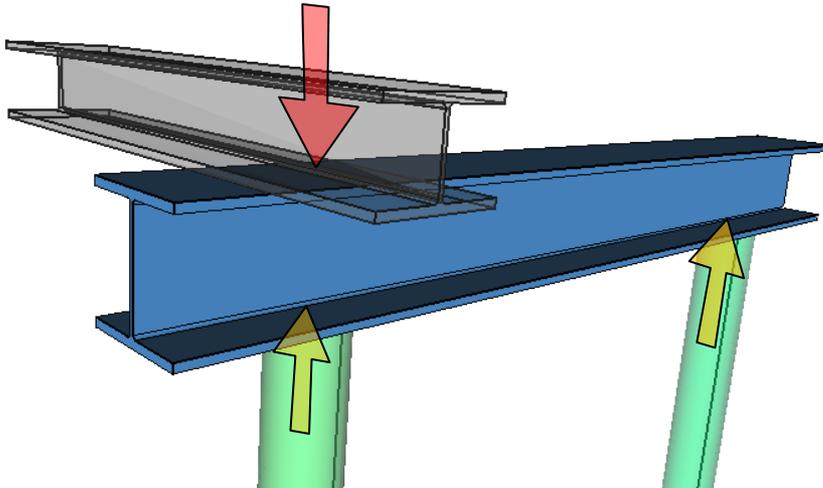


Figura 1. La acción de las fuerzas se produce sobre áreas pequeñas en relación a las dimensiones del perfil sobre las que actúa.

DEFINICIONES IMPORTANTES

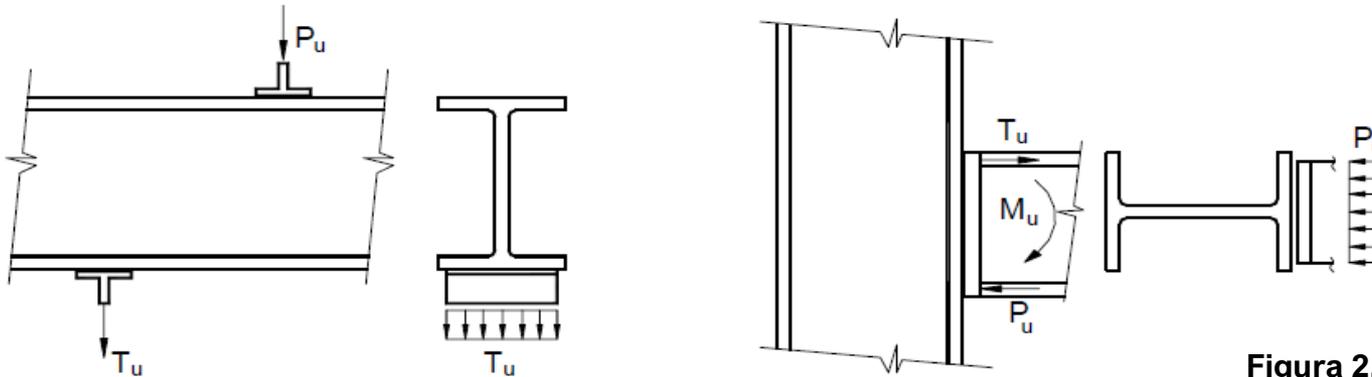
Fuerza concentrada simple : es una fuerza concentrada de tracción o compresión actuando sobre una cara del componente estructural considerado.

Ejemplo Fuerza concentrada simple de tracción: fuerza transferida al plano inferior de una viga por un componente estructural colgante.

Ejemplo Fuerza concentrada simple de compresión: fuerza sobre plano superior de una viga transferida por una viga transversal o cargas sobre plano inferior de una viga por efecto del apoyo de la misma sobre una columna.

Fuerzas concentradas dobles son las que forman una cupla actuando simultáneamente sobre el mismo lado de una barra. Una fuerza es de tracción y la otra es de compresión.

Ejemplo Fuerza concentrada doble: fuerzas transferidas a caras de columnas por una conexión resistente a momento de una viga.



Fuerza concentrada simple

Fuerzas concentradas dobles

Figura 2. Fuerzas concentradas simples y dobles. Fuente: CIRSOC 301

ESTADOS LÍMITES PARA LA CONSIDERACIÓN DEL EFECTO DE FUERZAS CONCENTRADAS

La **resistencia nominal** de alas y almas de componentes estructurales sometidos a la acción de cargas concentradas, se determinan de acuerdo a la verificación de los siguientes estados límites:

Flexión local del ala

Fluencia local del alma

Pandeo localizado del alma

Pandeo lateral del alma

Pandeo por compresión del alma

DISEÑO DE SECCIONES SOMETIDAS A FUERZAS CONCENTRADAS

El diseño de secciones transversales donde se aplican fuerzas concentradas requiere la ubicación de **rigidizadores transversales** y/o **chapas de refuerzo de alma** de acuerdo a:

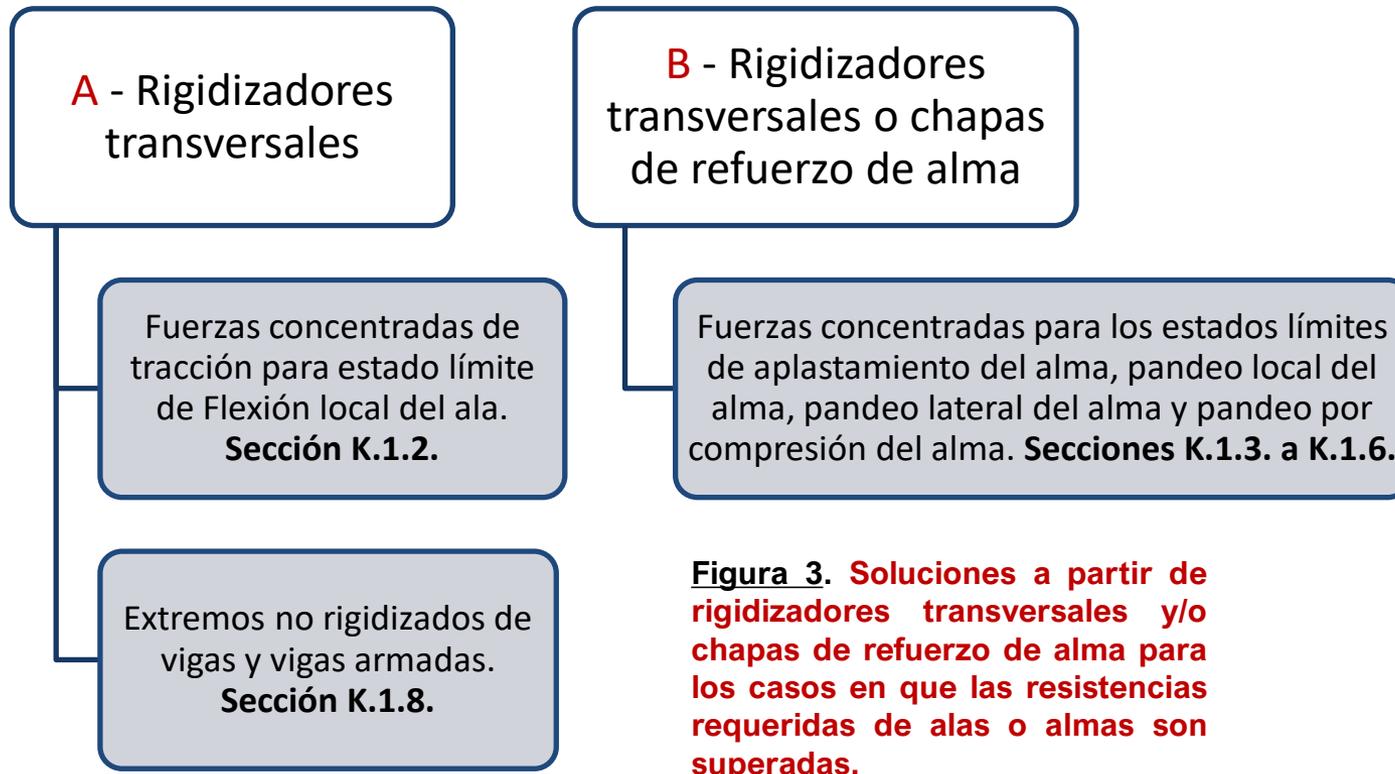
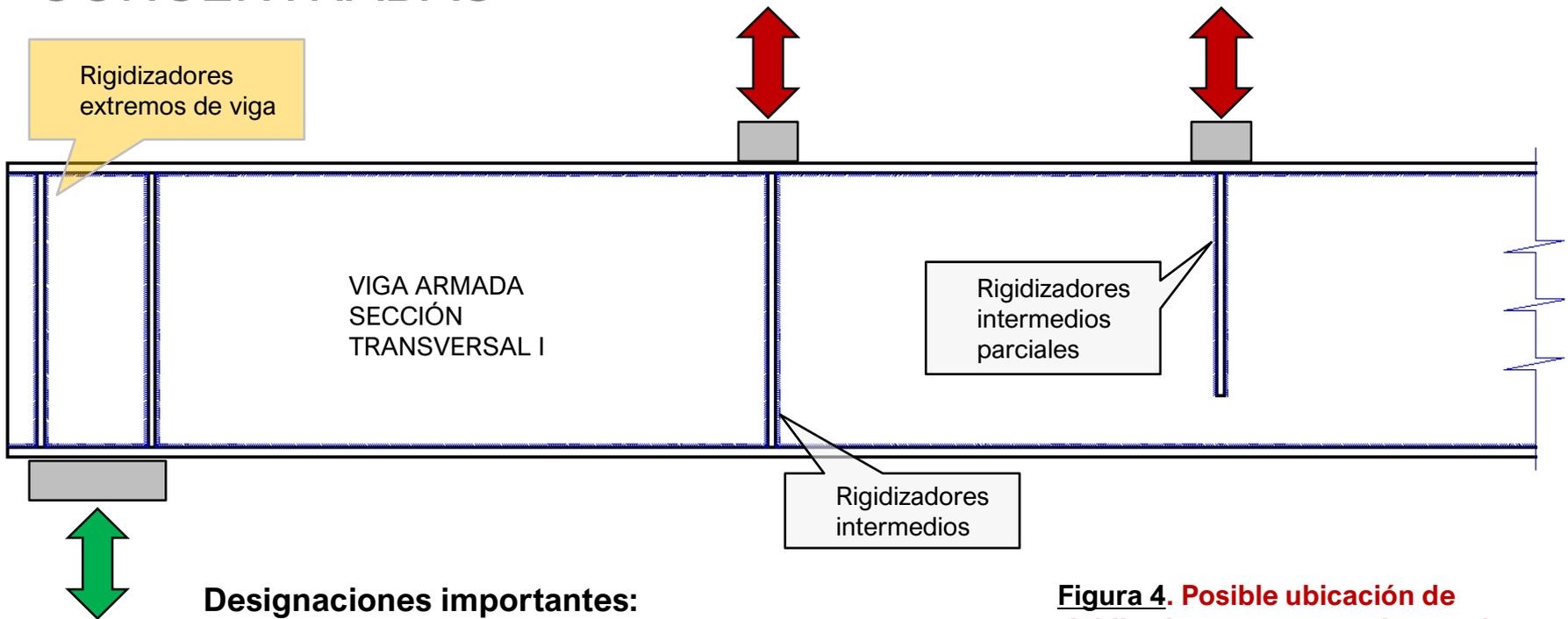


Figura 3. Soluciones a partir de rigidizadores transversales y/o chapas de refuerzo de alma para los casos en que las resistencias requeridas de alas o almas son superadas.

DISEÑO DE SECCIONES SOMETIDAS A FUERZAS CONCENTRADAS



Designaciones importantes:

- t_f, t_w : espesor de alas y alma
- f_yf, f_yw : tensión de fluencia material de alas y alma
- b_f : ancho de alas
- h_w : altura de alma

Figura 4. Posible ubicación de rigidizadores transversales en viga armada de acero sección transversal I

DISEÑO DE SECCIONES SOMETIDAS A FUERZAS CONCENTRADAS

VIGA ARMADA SECCIÓN TRANSVERSAL I

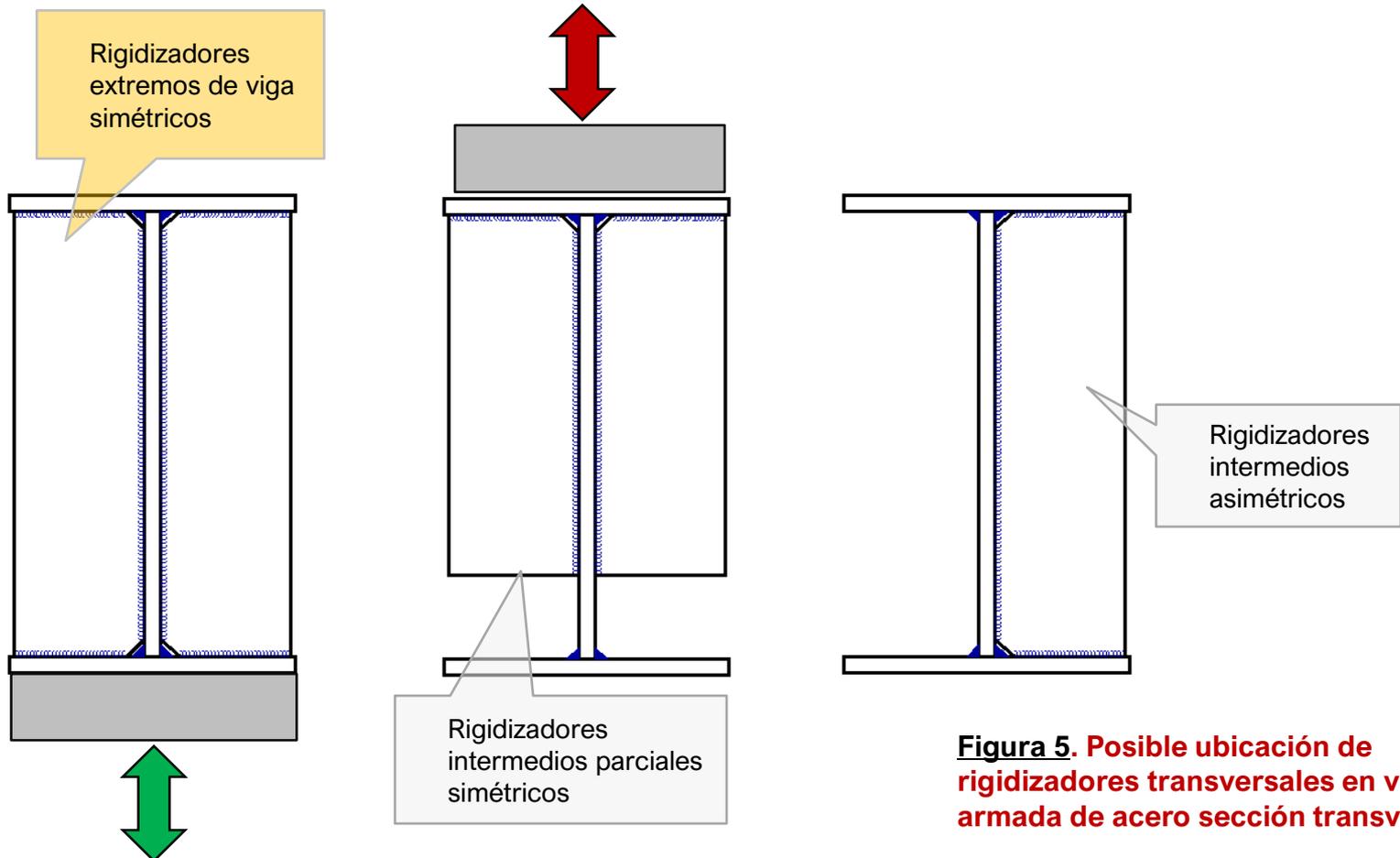
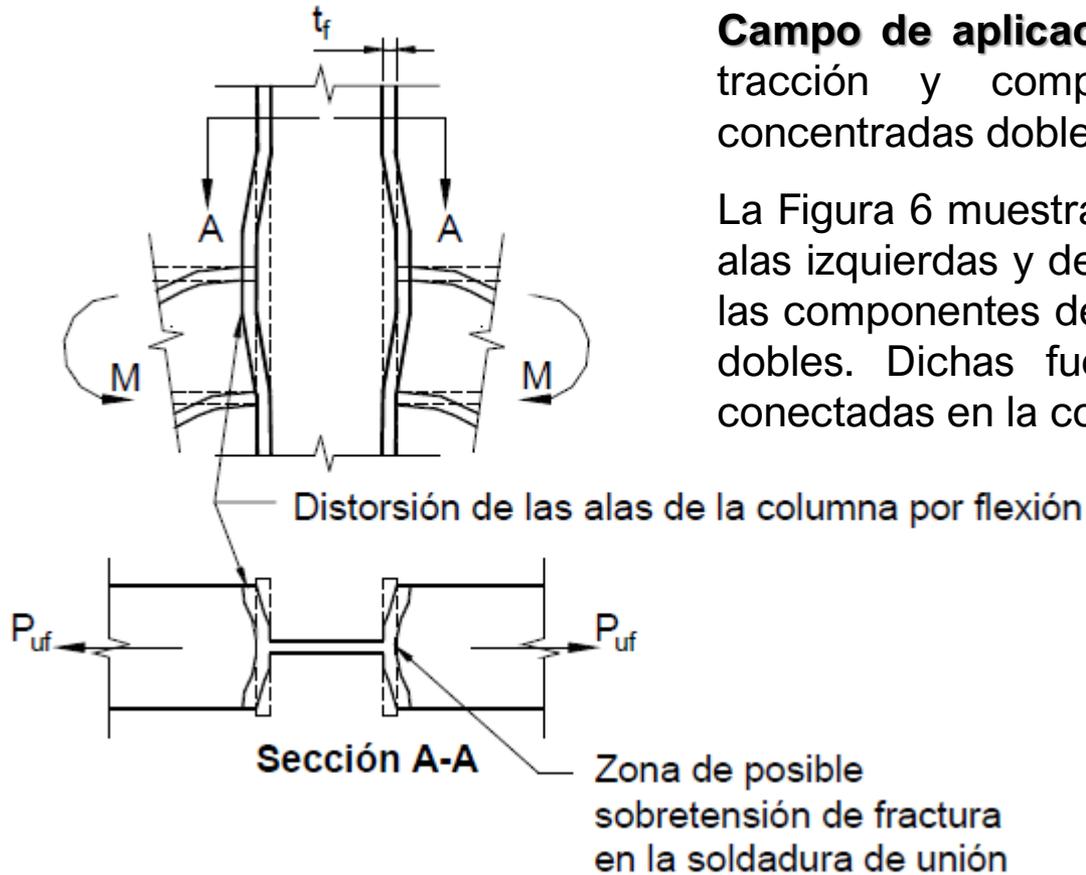


Figura 5. Posible ubicación de rigidizadores transversales en viga armada de acero sección transversal I

Estado Límite: FLEXIÓN LOCAL DEL ALA. Sección K1.2.



Campo de aplicación: fuerzas concentradas simples de tracción y componentes de tracción de fuerzas concentradas dobles.

La Figura 6 muestra el efecto de distorsión flexional de las alas izquierdas y derechas de una columna, por acción de las componentes de tracción de dos fuerzas concentradas dobles. Dichas fuerzas son generadas por dos vigas conectadas en la columna mencionada.

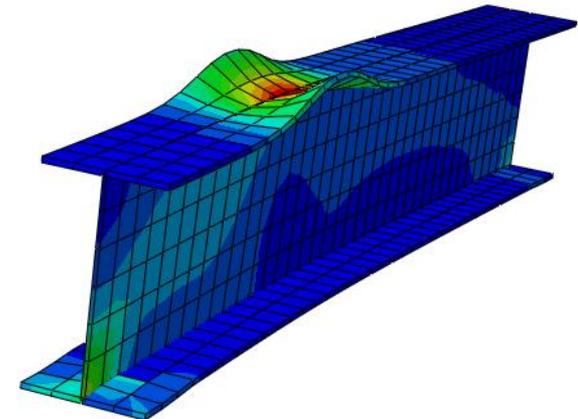


Figura 6. Flexión local del ala.
Fuente: Capítulo K, Comentarios CIRSOC 301

Figura 7. Simulación numérica de la flexión local de alas superiores un perfil W sometido a la acción de una fuerza concentrada simple de tracción.

Estado Límite: FLEXIÓN LOCAL DEL ALA. Sección K1.2.

Las fuerzas de tracción se aplican en general a partir de **placas de transferencia** transversales. Las alas deben poseer suficiente rigidez flexional para evitar deformaciones y las correspondientes **concentraciones de tensiones** en los cordones de soldadura.

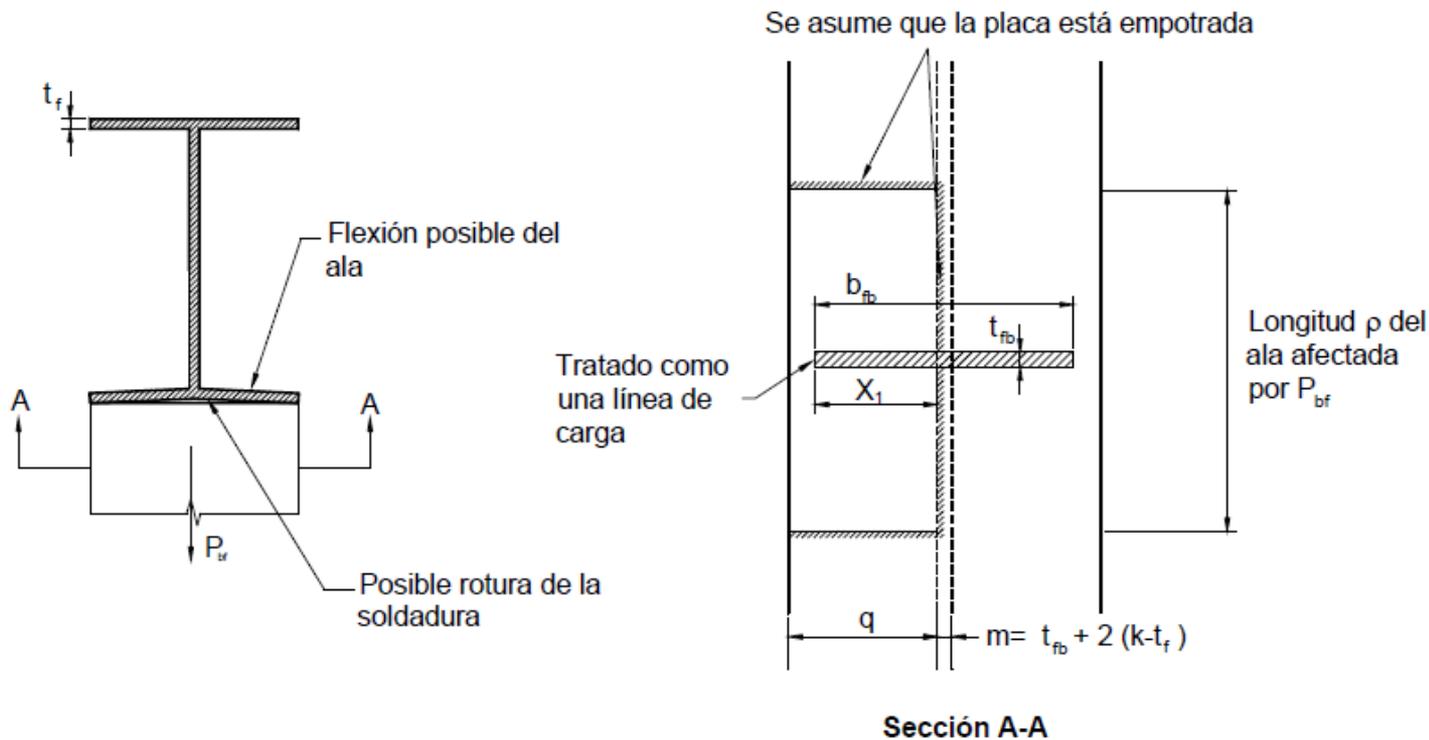


Figura 8. Flexión local del ala. Fuente: Capítulo K. Comentarios CIRSOC 301.

Estado Límite: **FLEXIÓN LOCAL DEL ALA.** Sección K1.2.

Estado límite	Aplicación	Ø	Resistencia nominal
Flexión local del ala (k.1.2.)	-Fuerzas concentradas simples de tracción. - Componente de tracción de una fuerza concentrada doble.	0.90	Para distancia de aplicación $> 10 t_f$: $R_n = 0.625 \cdot t_f^2 \cdot F_Y$ Para distancia de aplicación $\leq 10 t_f$: $R_n = 0.50 \cdot 0.625 \cdot t_f^2 \cdot F_Y$

Estado Límite: **FLEXIÓN LOCAL DEL ALA.** Sección K1.2.

Los rigidizadores transversales se extenderán desde el ala cargada hasta por lo menos la mitad de la altura del alma.

Los **rigidizadores transversales** se conectarán al ala cargada y la unión transmitirá la parte de la fuerza correspondiente al rigidizador.

La conexión de rigidizador y alma de la viga deberá dimensionarse para transmitir la parte de carga correspondiente al rigidizador del porcentaje de carga NO transmitido directamente al alma.

Se deben satisfacer las especificaciones de la **Sección K1.9.** en relación al diseño de rigidizadores.

Se entiende por distancia de aplicación a la existente entre la sección de aplicación de la carga y el extremo libre de la viga considerada.

Estado Límite: FLUENCIA LOCAL DEL ALMA. Sección K1.3.

Campo de aplicación: fuerzas concentradas simples y ambas componentes de fuerzas concentradas dobles.

La Figura 9 muestra distintas posibilidades de colocación de rigidizadores transversales en extremo de viga y secciones intermedias.

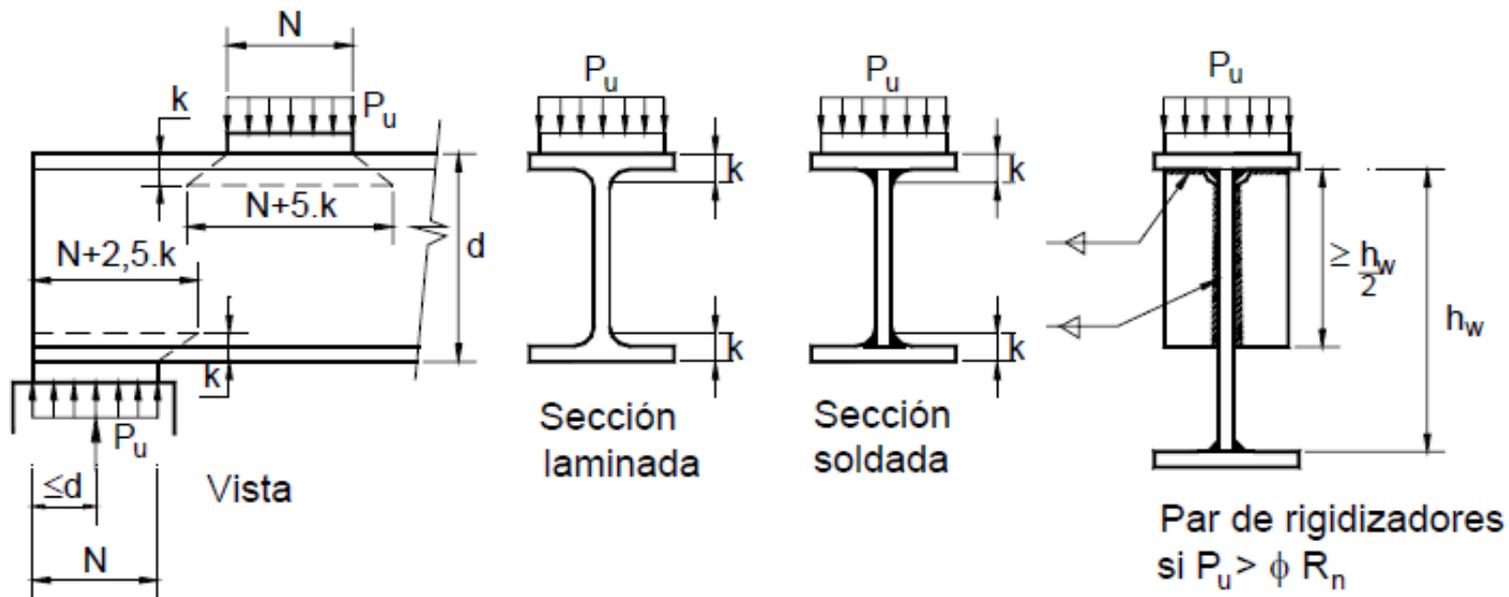


Figura 9. Fluencia local del alma. Fuente: Capítulo K. CIRSOC 301.

Estado Límite: **FLUENCIA LOCAL DEL ALMA.** Sección K1.3.

Resistencias requeridas

Fluencia local del alma (k.1.3.)	-Fuerzas concentradas simples -Fuerzas concentradas dobles para ambas componentes	1.00	Para distancia de aplicación $> d$: $Rn = (5 \cdot k + N) \cdot F_{yw} \cdot t_w \cdot (10)^{-1}$ Para distancia de aplicación $\leq d$: $Rn = (2.5 \cdot k + N) \cdot F_{yw} \cdot t_w \cdot (10)^{-1}$
-------------------------------------	--	------	---

Designaciones importantes:

N : longitud de aplicación de la carga concentrada. Ver Figura 9

k : distancia asociada a la transición entre alas y alma del perfil. Ver Figura 9.

Estado Límite: **FLUENCIA LOCAL DEL ALMA.** Sección K1.3.

Los **rigidizadores transversales** o **la chapa de refuerzo** se extenderán desde el ala cargada hasta por lo menos la mitad de la altura del alma.

Para fuerzas de compresión normales al ala los rigidizadores transversales serán soldados al ala cargada de manera de transmitir la parte de fuerza correspondiente al rigidizador.

La conexión de rigidizador y alma de la viga deberá dimensionarse para transmitir la parte de carga correspondiente al rigidizador del porcentaje de carga NO transmitido directamente al alma.

Se deben satisfacer las especificaciones de la **Sección K1.9.** en relación al diseño de rigidizadores.

Se deberán satisfacer las especificaciones de la **Sección 1.10.** para las **chapas de refuerzo de alma.**

Estado Límite: PANDEO LOCALIZADO DEL ALMA. Sección K1.4.

Campo de aplicación: fuerzas concentradas simples de compresión y componente de compresión de fuerzas concentradas dobles.

La Figura 10 permite apreciar el fenómeno de concentración de esfuerzos de compresión en la zona adyacente al área de aplicación de la carga. Dichos esfuerzos pueden provocar el **fenómeno de inestabilidad** localizado.

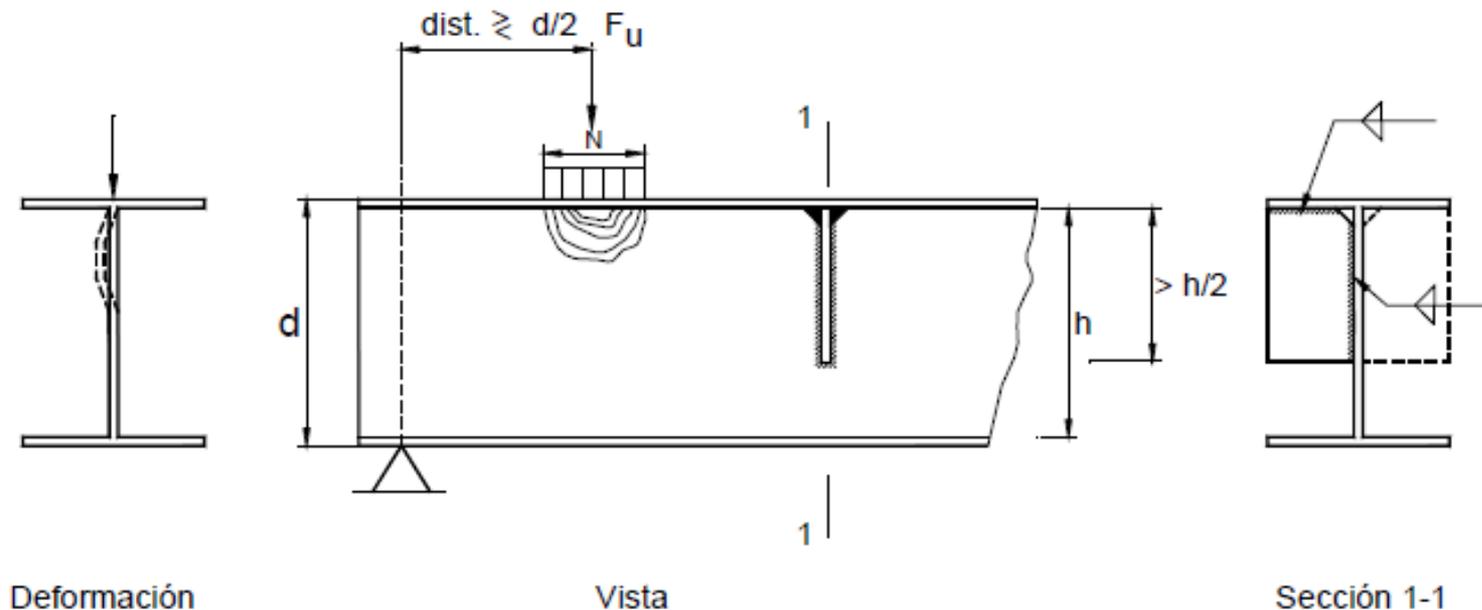


Figura 10. Pandeo localizado del alma. Fuente: Capítulo K. Comentarios CIRSOC 301.

Estado Límite: PANDEO LOCALIZADO DEL ALMA. Sección K1.3.

Resistencias requeridas

<p>Pandeo localizado del alma (k.1.4.)</p>	<p>-Fuerzas concentradas simples de compresión. - Componente de compresión de una fuerza concentrada doble</p>	<p>0.75</p>	<p>Para distancia de aplicación $\geq d/2$:</p> $Rn = 35.45 \cdot t_w^2 \cdot \left[1 + 3(N/d) \cdot (t_w/t_f)^{1.5} \right] \cdot \sqrt{F_{YW} \cdot t_f/t_w}$ <p>Para distancia de aplicación $< d/2$ y $N/d \leq 0.20$</p> $Rn = 17.86 \cdot t_w^2 \cdot \left[1 + 3(N/d) \cdot (t_w/t_f)^{1.5} \right] \cdot \sqrt{F_{YW} \cdot t_f/t_w}$ <p>Para distancia de aplicación $< d/2$ y $N/d > 0.20$</p> $Rn = 17.86 \cdot t_w^2 \cdot \left[1 + (4N/d - 0.2) \cdot (t_w/t_f)^{1.5} \right] \cdot \sqrt{F_{YW} \cdot t_f/t_w}$
--	---	-------------	--

Estado Límite: **PANDEO LOCALIZADO DEL ALMA.** Sección K1.4.

En la sección de aplicación se colocará un solo **rigidizador transversal**, un par de **rigidizadores transversales** o una **chapa de refuerzo de alma**.

Se extenderán desde el ala cargada hasta por lo menos la mitad de la altura del alma.

Los rigidizadores transversales serán soldados al ala cargada de manera de transmitir la parte de fuerza correspondiente al rigidizador.

La conexión de rigidizador y alma de la viga deberá dimensionarse para transmitir la parte de carga correspondiente al rigidizador del porcentaje de carga NO transmitido directamente al alma.

Se deben satisfacer las especificaciones de la **Sección K1.9.** en relación al diseño de rigidizadores.

Se deberán satisfacer las especificaciones de la **Sección 1.10.** para las **chapas de refuerzo de alma.**

Estado Límite: PANDEO LATERAL DEL ALMA. Sección K1.5.

Campo de aplicación: fuerzas concentradas simples de compresión para el caso de barras donde el movimiento lateral **RELATIVO** entre ala comprimida cargada y ala traccionada NO está restringido.

La Figura 11 muestra diversas posibilidades de movimiento relativo entre alas superiores e inferiores de acuerdo a la **posibilidad o no de giro** de las alas comprimidas. Dicha posibilidad de giro depende de las condiciones de estructuración seleccionadas por el diseñador.

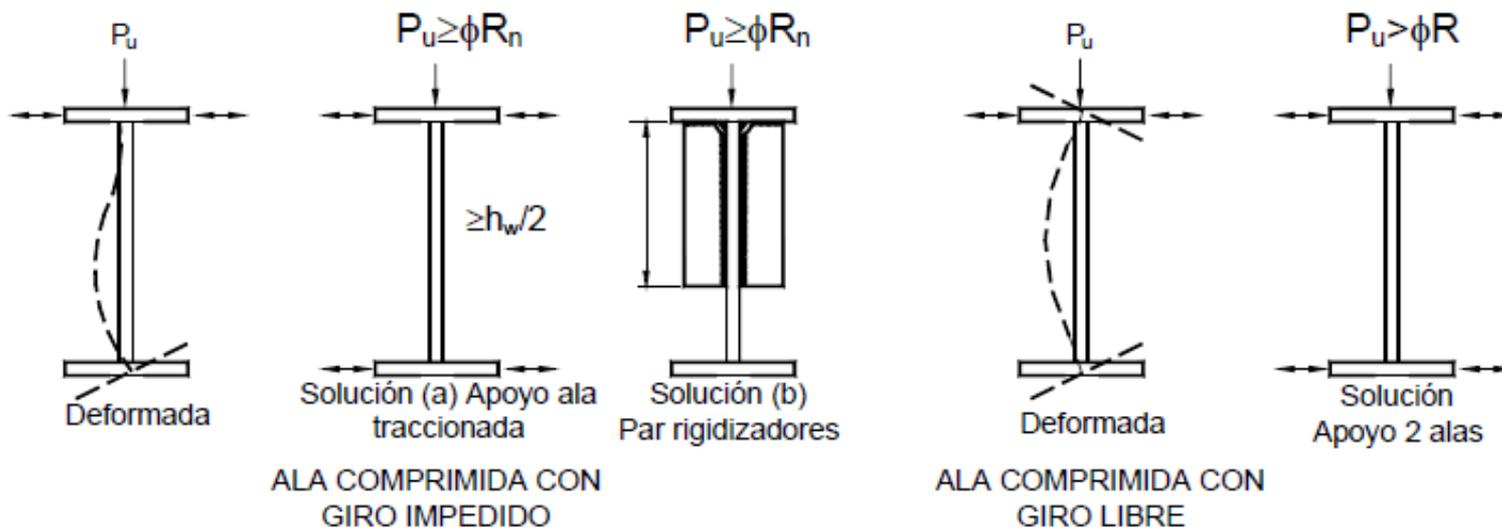


Figura 11. Pandeo localizado del alma. Fuente: Capítulo K. Comentarios CIRSOC 301.

Estado Límite: PANDEO LATERAL DEL ALMA. Sección K1.5.

La Figura 12 esquematiza el problema mostrando el desplazamiento **fuera del plano** de la estructura, en este caso de las alas inferiores, luego de producido el fenómeno de **inestabilidad** en la sección adyacente a la aplicación de las cargas concentradas de **compresión**.

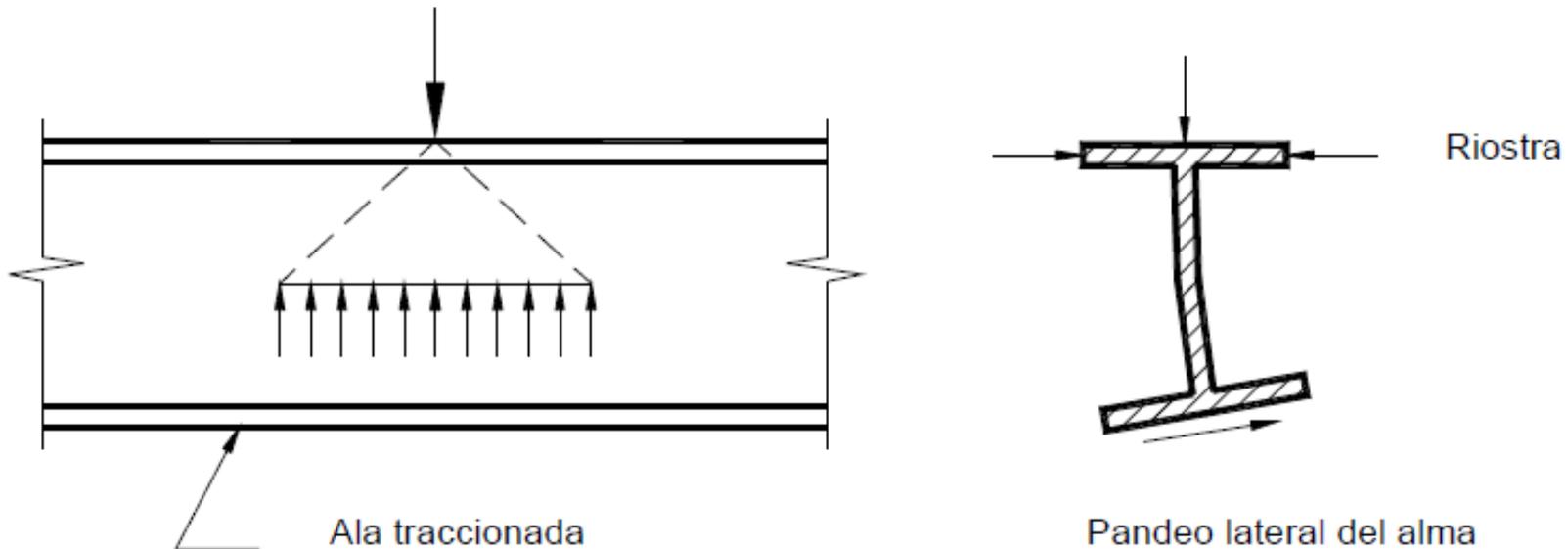


Figura 12. Pandeo lateral del alma. Fuente: Capítulo K. Comentarios CIRSOC 301.

Estado Límite: PANDEO LATERAL DEL ALMA. Sección K1.5.

<p>Pandeo lateral del alma (k.1.5.)</p>	<p>-Fuerzas concentradas simples de compresión donde el movimiento lateral relativo entre alas comprimidas y <u>traccionadas</u> no está restringido</p>	<p>0.85</p> <p>Para ala comprimida CON rotación restringida:</p> <p>Si $(h/t_w)/(L/b_f) \leq 2.30$</p> $R_n = \frac{C_r \cdot t_w^3 \cdot t_f}{h^2} \cdot \left[1 + 0.4 \cdot \left(\frac{h \div t_w}{L \div b_f} \right)^3 \right] \cdot (10)^{-1}$ <p>Si $(h/t_w)/(L/b_f) > 2.30$ NO es aplicable</p> <p>Para ala comprimida SIN rotación restringida:</p> <p>Si $(h/t_w)/(L/b_f) \leq 1.70$</p> $R_n = \frac{C_r \cdot t_w^3 \cdot t_f}{h^2} \cdot \left[0.4 \cdot \left(\frac{h \div t_w}{L \div b_f} \right)^3 \right] \cdot (10)^{-1}$ <p>Si $(h/t_w)/(L/b_f) > 1.70$ NO es aplicable</p> <p>Si $M_u < M_y$ $C_r = 6.62 \times 10^6$ Si $M_u \geq M_y$ $C_r = 3.31 \times 10^6$ $M_y =$ Momento elástico de la sección $L =$ long. Lateralmente no arriostrada mayor en cualquiera de las alas.</p>
---	--	---

Estado Límite: **PANDEO LATERAL DEL ALMA.** Sección K1.5.

Se dispondrá un par de **rigidizadores transversales** o **chapa de refuerzo** de alma en las secciones de aplicación de las fuerzas.

Como alternativa se deberá disponer un **apoyo lateral local** en el ala traccionada en la sección de aplicación de la fuerza.

Los rigidizadores transversales se extenderán desde el **ala cargada comprimida** hasta por lo menos la mitad de la altura del alma.

Los rigidizadores transversales serán soldados al ala cargada de manera de transmitir la parte de **fuerza** correspondiente al rigidizador.

La conexión de rigidizador y alma deberá dimensionarse para transmitir la parte de carga correspondiente al rigidizador del porcentaje de carga NO transmitido al alma.

Se deben satisfacer las especificaciones de la **Sección K1.9.** en relación al diseño de rigidizadores. Se deberán satisfacer las especificaciones de la **Sección 1.10.** para las **chapas de refuerzo de alma.**

Las **chapas de refuerzo** se deben dimensionar para absorber la totalidad de la fuerza concentrada aplicada

Estado Límite: PANDEO POR COMPRESIÓN DEL ALMA.

Sección K1.6.

Campo de aplicación: par de fuerzas concentradas simples de compresión o componentes de compresión de un par de fuerzas concentradas dobles actuando en ambas alas de una barra en la misma sección transversal.

La Figura 13 muestra diversas posibilidades de ocurrencia haciendo hincapié además de la importancia que posee la distancia al extremo libre de la viga de la sección transversal de aplicación de las cargas concentradas.

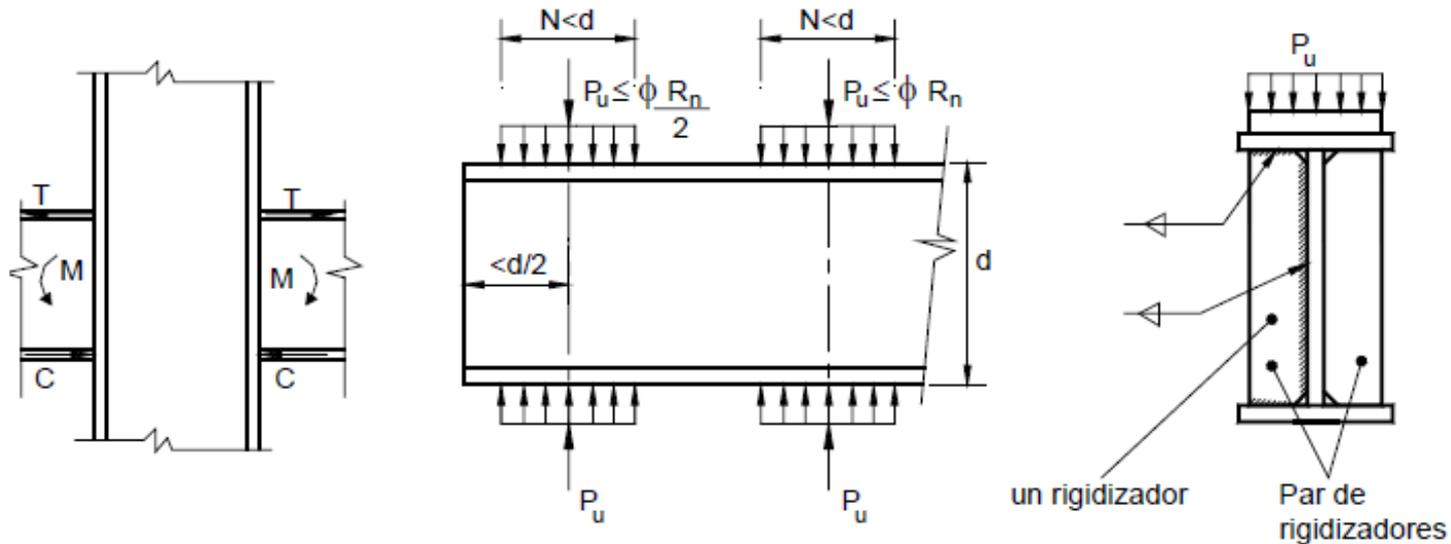


Figura 13. Pandeo por compresión del alma. Fuente: Capítulo K. CIRSOC 301.

Estado Límite: PANDEO POR COMPRESIÓN DEL ALMA.

Sección K1.6.

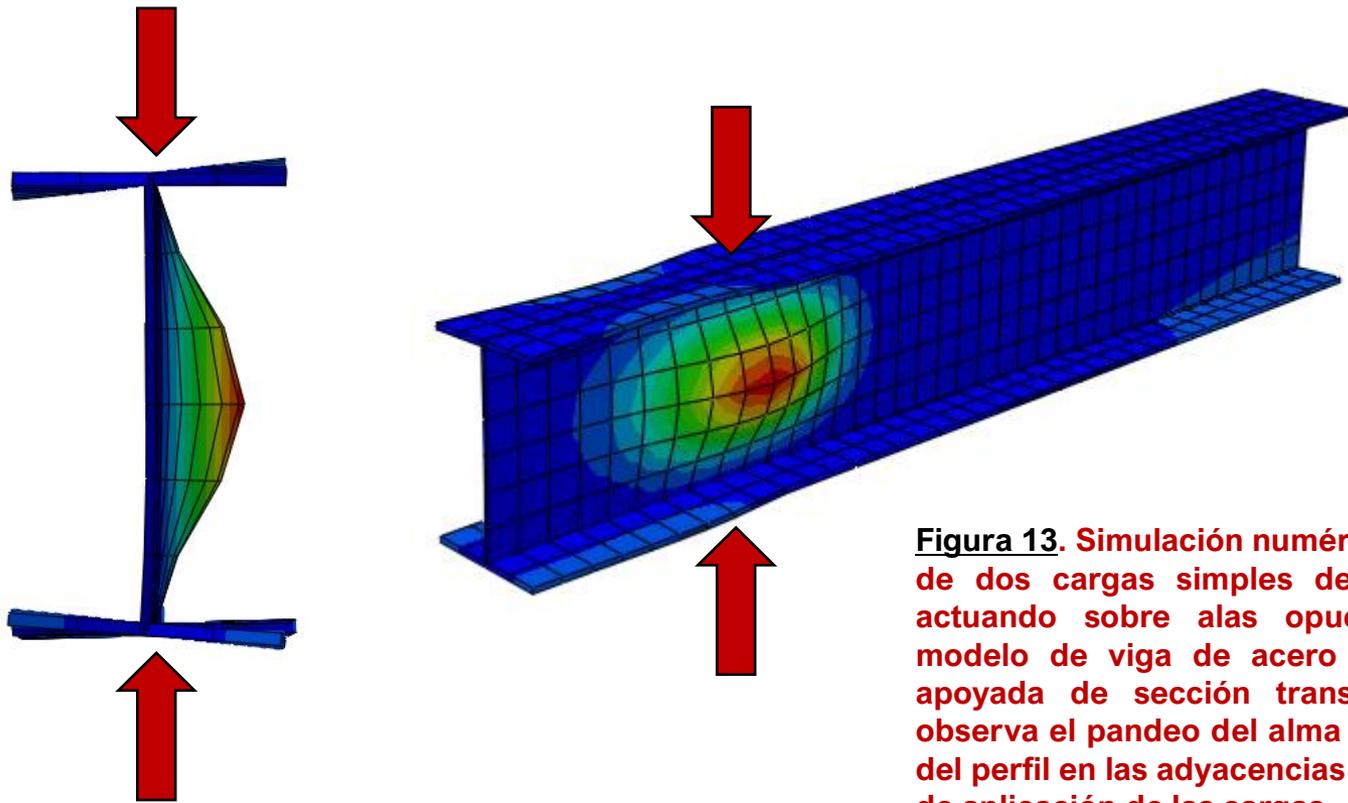


Figura 13. Simulación numérica del efecto de dos cargas simples de compresión actuando sobre alas opuestas de un modelo de viga de acero simplemente apoyada de sección transversal I. Se observa el pandeo del alma comprimida del perfil en las adyacencias de la sección de aplicación de las cargas.

Estado Límite: PANDEO POR COMPRESIÓN DEL ALMA.

Sección K1.6.

<p>Pandeo por compresión del alma (k.1.6.)</p>	<p>-Dos fuerzas concentradas simples de compresión</p> <p>- Componente de compresión de un par de fuerzas concentradas dobles actuando en la misma sección.</p>	<p>0.90</p>	<p>Para distancia de aplicación $> d/2$:</p> $R_n = \frac{1.076 \cdot t_w^3 \cdot \sqrt{F_{yw}}}{h}$ <p>Para distancia de aplicación $\leq d/2$:</p> $R_n = 0.50 \cdot \frac{1.076 \cdot t_w^3 \cdot \sqrt{F_{yw}}}{h}$
--	---	-------------	--

Estado Límite: **PANDEO LATERAL DEL ALMA.** Sección K1.5.

Se dispondrá un par de **rigidizadores transversales** en las secciones de aplicación de las fuerzas.

Los rigidizadores transversales serán soldados al ala cargada de manera de transmitir la parte de **fuerza** correspondiente al rigidizador.

La conexión de rigidizador y alma deberá dimensionarse para transmitir la parte de carga correspondiente al rigidizador del porcentaje de carga NO transmitido al alma.

Se deben satisfacer las especificaciones de la **Sección K1.9.** en relación al diseño de rigidizadores.

Se deberán satisfacer las especificaciones de la **Sección 1.10.** para las **chapas de refuerzo de alma.**

DISPOSICIONES GENERALES

K1.8. Extremos no rigidizados de vigas y vigas armadas.

Especificaciones sobre la colocación de rigidizadores extremos en vigas y vigas armadas que NO tengan restringida la rotación de la sección transversal alrededor de su eje longitudinal.

K1.9. Especificaciones adicionales para rigidizadores de fuerza (rigidizadores para fuerzas concentradas).

Se establecen diversas especificaciones:

Anchos mínimos de rigidizadores.

Espesores mínimos de rigidizadores.

Criterios de diseño y dimensionamiento de rigidizadores.

Criterios de diseño y dimensionamiento de conexiones soldadas de rigidizadores.

DISPOSICIONES GENERALES

K1.10. Especificaciones adicionales para chapas de refuerzo para fuerzas concentradas. .

Se establecen diversas especificaciones:

Espesores mínimos de chapas de refuerzo de alma.

Dimensiones geométricas de chapas de refuerzo de alma.

Criterios de diseño y dimensionamiento de conexiones soldadas de chapas de refuerzo de alma.

INVESTIGACIÓN

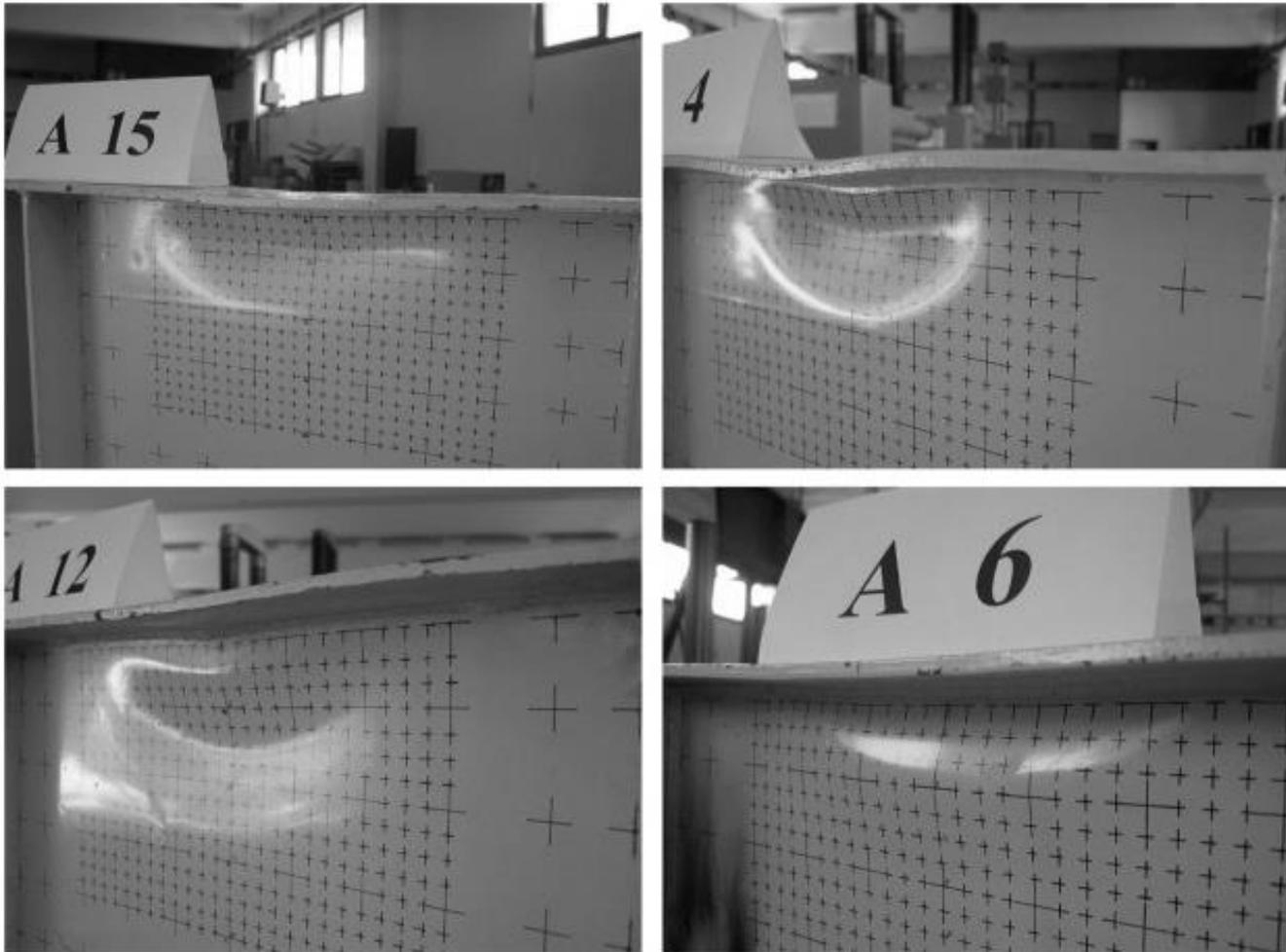


Figura 14. Diversos especímenes de ensayo en Laboratorio de Estructuras. Se observan los efectos localizados de cargas concentradas sobre estructuras de acero, [Markovic y Kovacevic, 2019].

Fuente: Markovic, N., Kovacevic, S., (2019). *Influence of Patch Load Length on Plate Girders*. Journal of Constructional Steel Research, Vol.157, pp. 207-228.

INVESTIGACIÓN

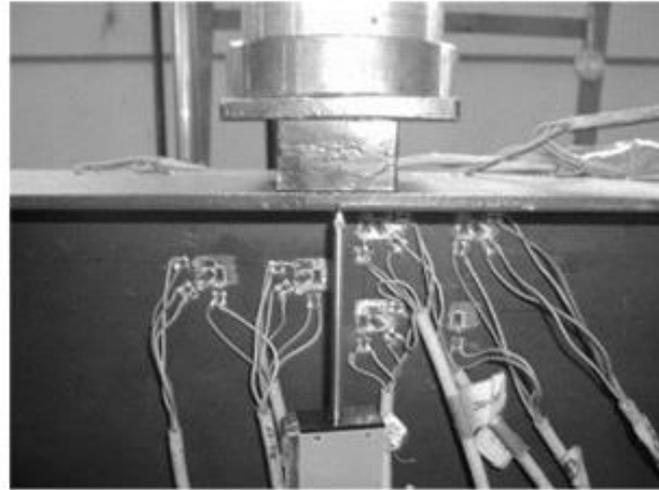
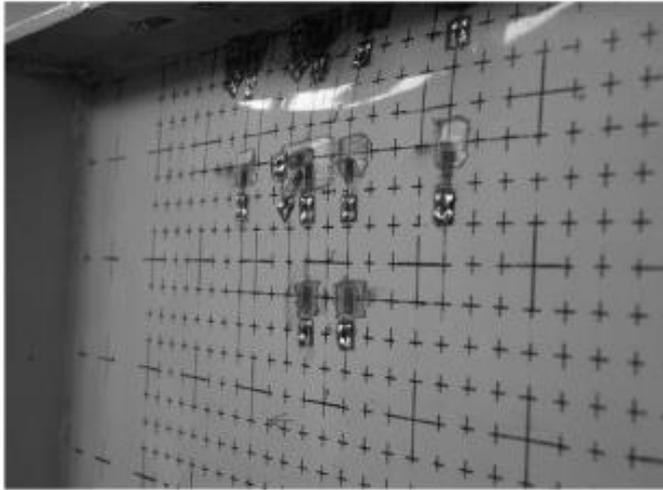
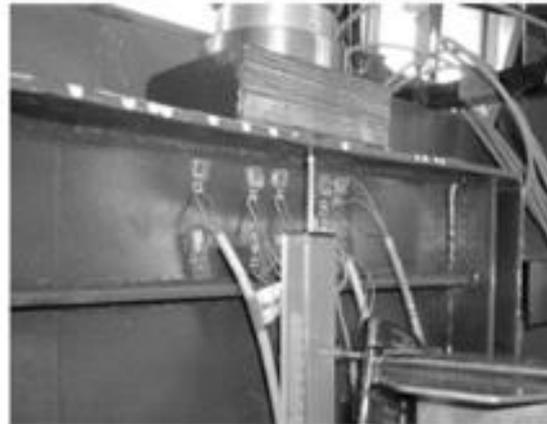
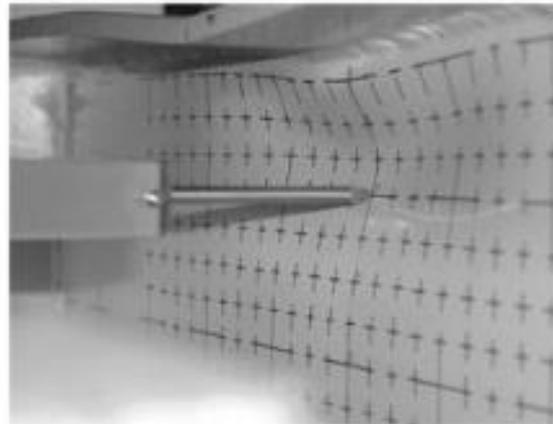


Figura 15. Diversos especímenes de ensayo en Laboratorio de Estructuras. Se observan los efectos localizados de cargas concentradas sobre estructuras de acero, y los diversos instrumentos de medición adicionados a la estructura. [Markovic y Kovacevic, 2019].



Fuente: Markovic, N., Kovacevic, S., (2019). *Influence of Patch Load Length on Plate Girders*. Journal of Constructional Steel Research, Vol.157, pp. 207-228.