



Máster en Ingeniería Industrial

Diseño de Estructuras

Tipos de estructuras industriales

Introducción

Celosías planas

Pórticos planos

Naves industriales

Edificios de plantas



DISEÑO DE ESTRUCTURAS – TIPOS DE ESTRUCTURAS INDUSTRIALES

Copyright © 2018 por Juan Tomás Celigüeta y tecnun (Universidad de Navarra).

Este documento está licenciado bajo la licencia Creative Commons Reconocimiento – NoComercial - CompartirIgual 3.0 España (CC BY-NC-SA 3.0 ES).

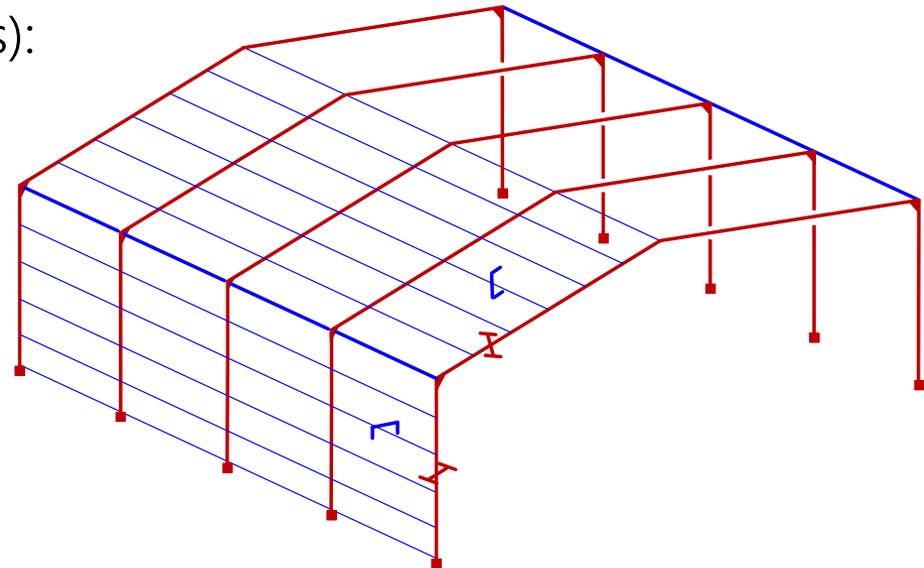
Puede consultar las condiciones de dicha licencia en <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/es/>.



Introducción al Diseño de Estructuras

Introducción (1)

- Estructura **reticular**: conjunto de elementos sólidos, enlazados entre sí en forma de retícula en el espacio, destinados a soportar la acción de una serie de acciones exteriores.
 - Elementos reticulares: **barras** de material agrupado alrededor de una línea.
 - Dimensión transversal pequeña frente a su longitud ($h < \frac{L}{10}$)
 - Directriz recta (salvo arcos curvos)
 - Barras articuladas, o vigas empotradas entre sí.
 - Uniones entre elementos (ideales):
 - Rígidas (empotramiento)
 - Articuladas
 - Semirígidas
 - Apoyos:
 - Articulados y/o rígidos



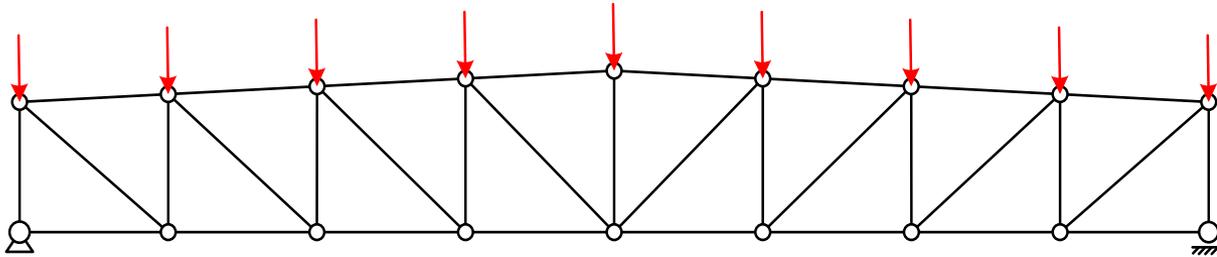
Introducción (2)

- Acciones:
 - Pesos, acciones atmosféricas, cargas de uso
 - Fuerzas de pretensión, errores de montaje
 - Fuerzas de inercia (seísmos)
- Suposiciones habituales:
 - Pequeñas deformaciones: estados inicial y deformado coinciden
 - Comportamiento del material simplificado (elástico lineal). Diseño: plástico ideal
- Objetivo:

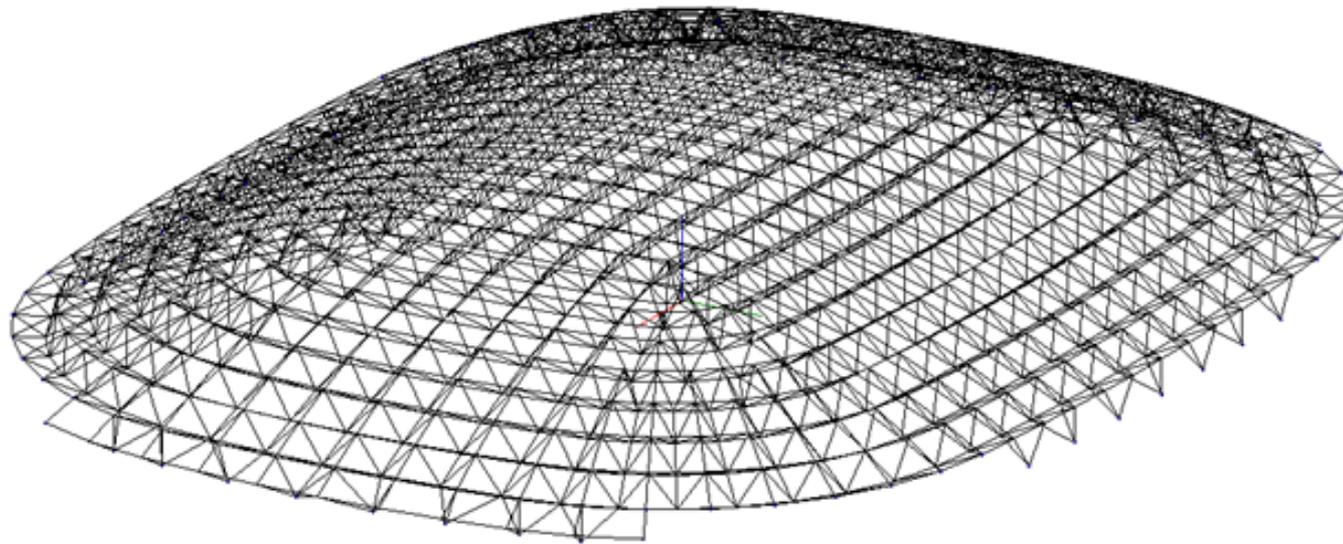
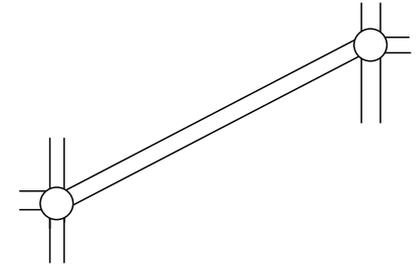
Determinar la disposición, dimensiones y materiales de las barras de la estructura para que ésta sea capaz de resistir las acciones exteriores, sin que se alcance ningún estado límite que le impida cumplir con su funcionalidad:

 - Equilibrio
 - Agotamiento de la resistencia del material
 - Estabilidad (pandeo)
 - Deformaciones, vibraciones...

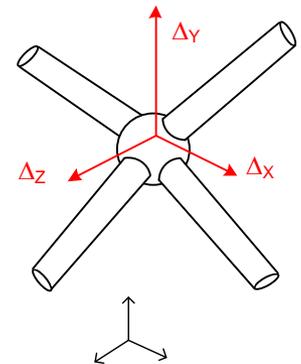
Tipos de estructuras



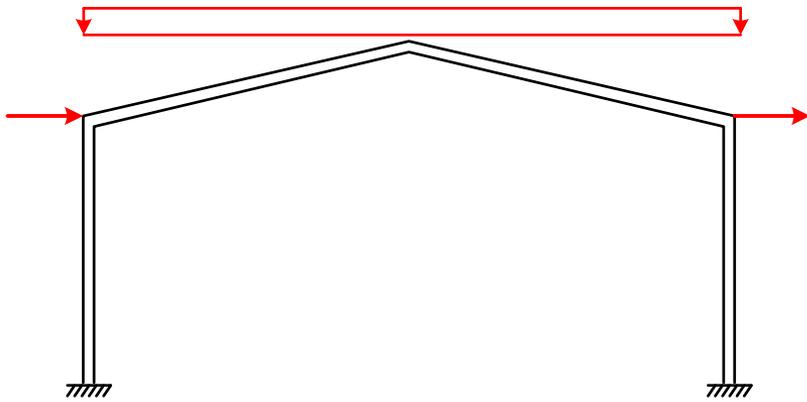
Celosía plana



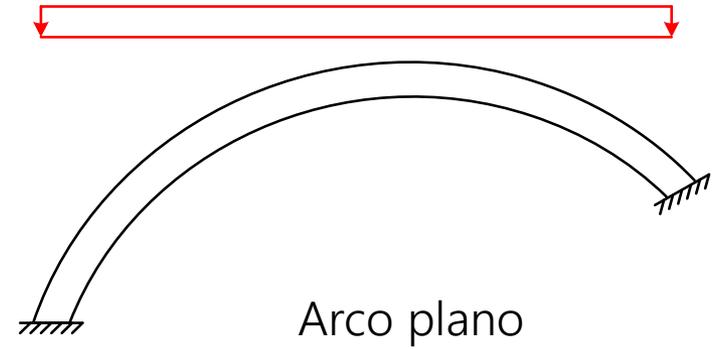
Celosía espacial



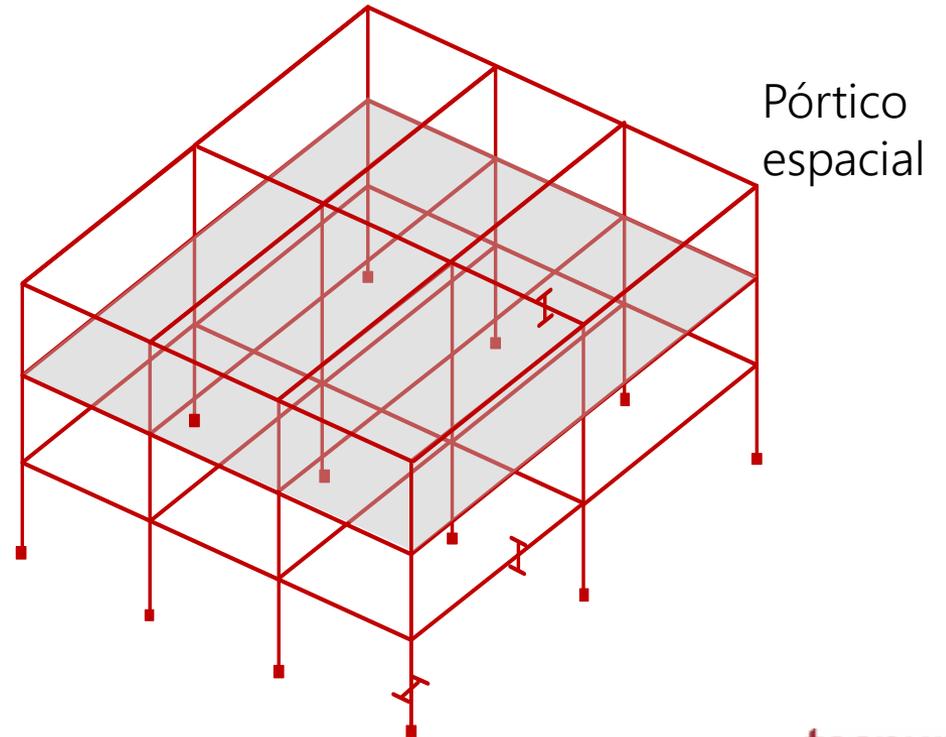
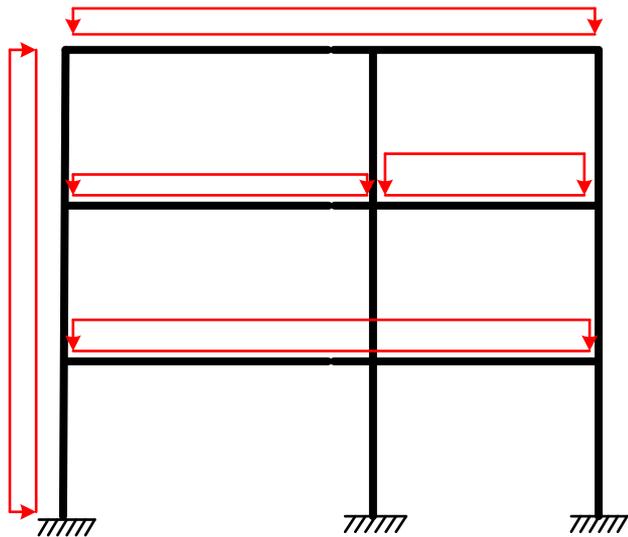
Tipos de estructuras



Pórticos planos



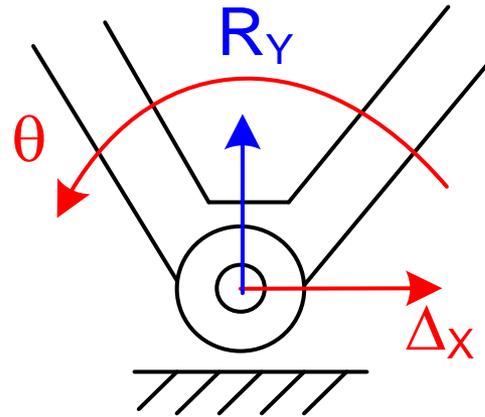
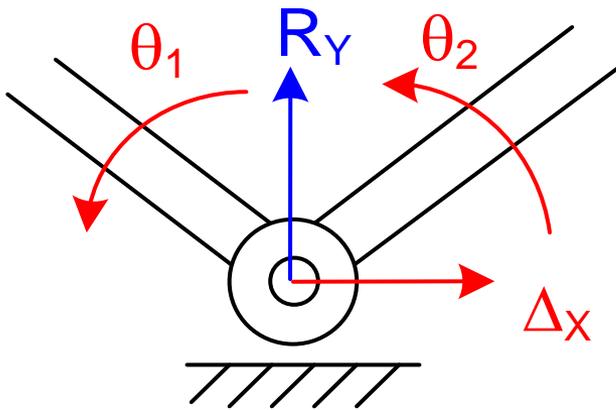
Arco plano



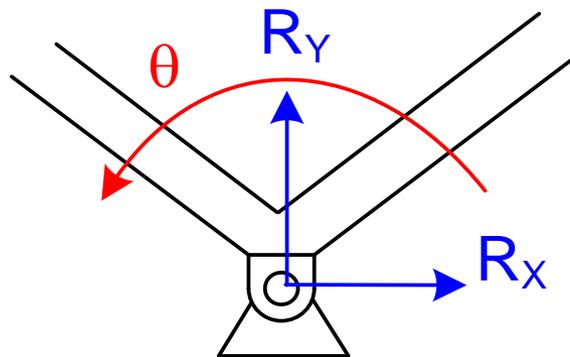
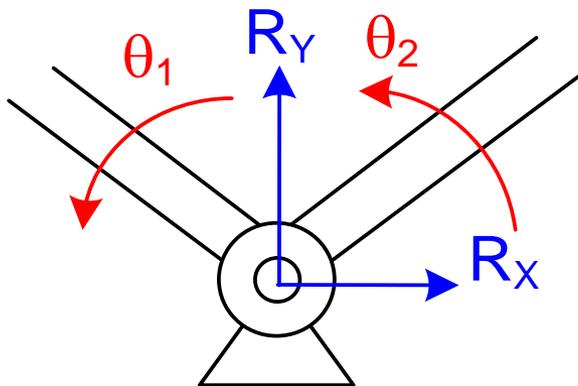
Pórtico espacial

Apoyos

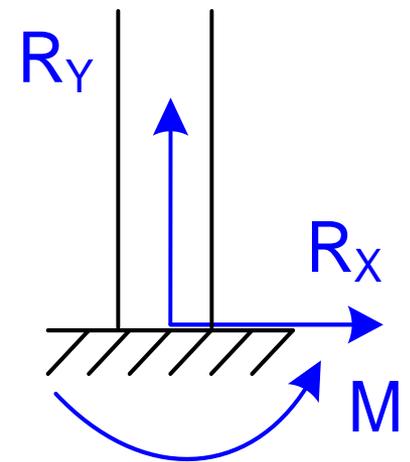
Deslizantes



Articulados



Empotrado



Estabilidad exterior de las estructuras planas

Balance entre reacciones en los apoyos (r) y ecuaciones de la estática del conjunto (3)

A	$r < 3$	→	Inestable
B	$r = 3$	→	Inestable, isostática, hiperestática
C	$r > 3$		

A es condición suficiente para la inestabilidad. B, C no son suficientes

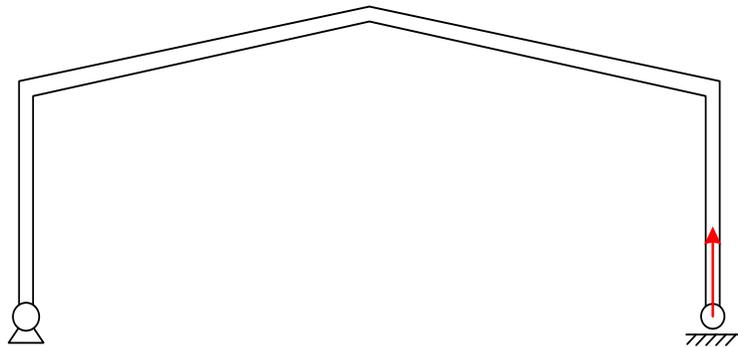
Además de cumplirse B o C, la disposición de las reacciones debe evitar toda inestabilidad, para asegurar que es condición suficiente

Es posible cumplir B ($r=3$), y ser a la vez inestable e hiperestática: p. e. si las 3 reacciones se cortan en un punto.

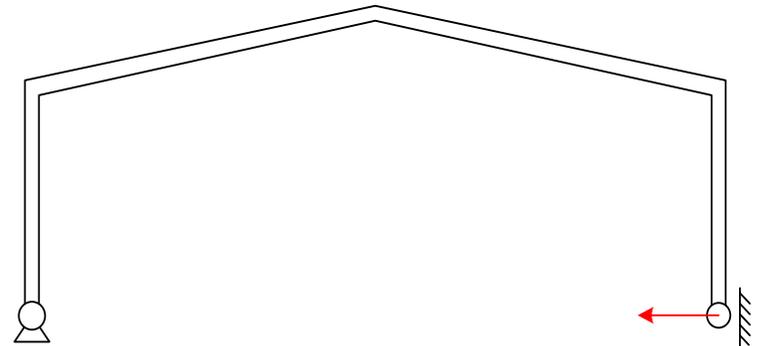
El análisis debe hacerse **conjuntamente con la estabilidad interior**

El análisis de estabilidad es independiente de las cargas actuantes

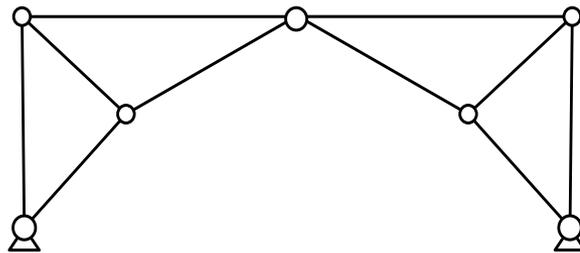
Estabilidad exterior de las estructuras planas



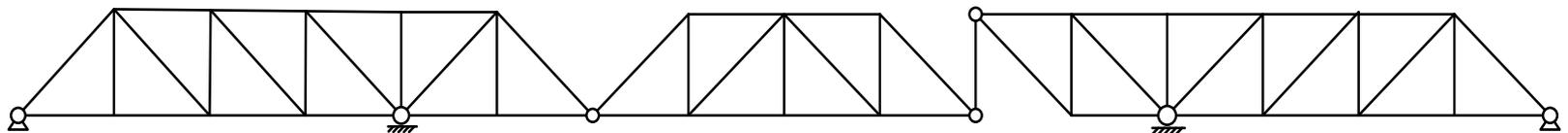
$r=3$ Estable. Isostática



$r=3$ Inestable

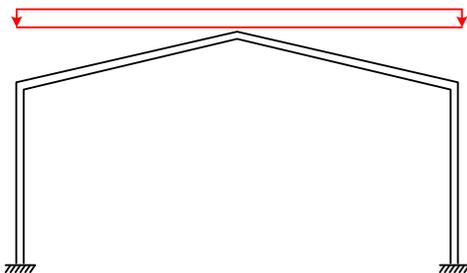
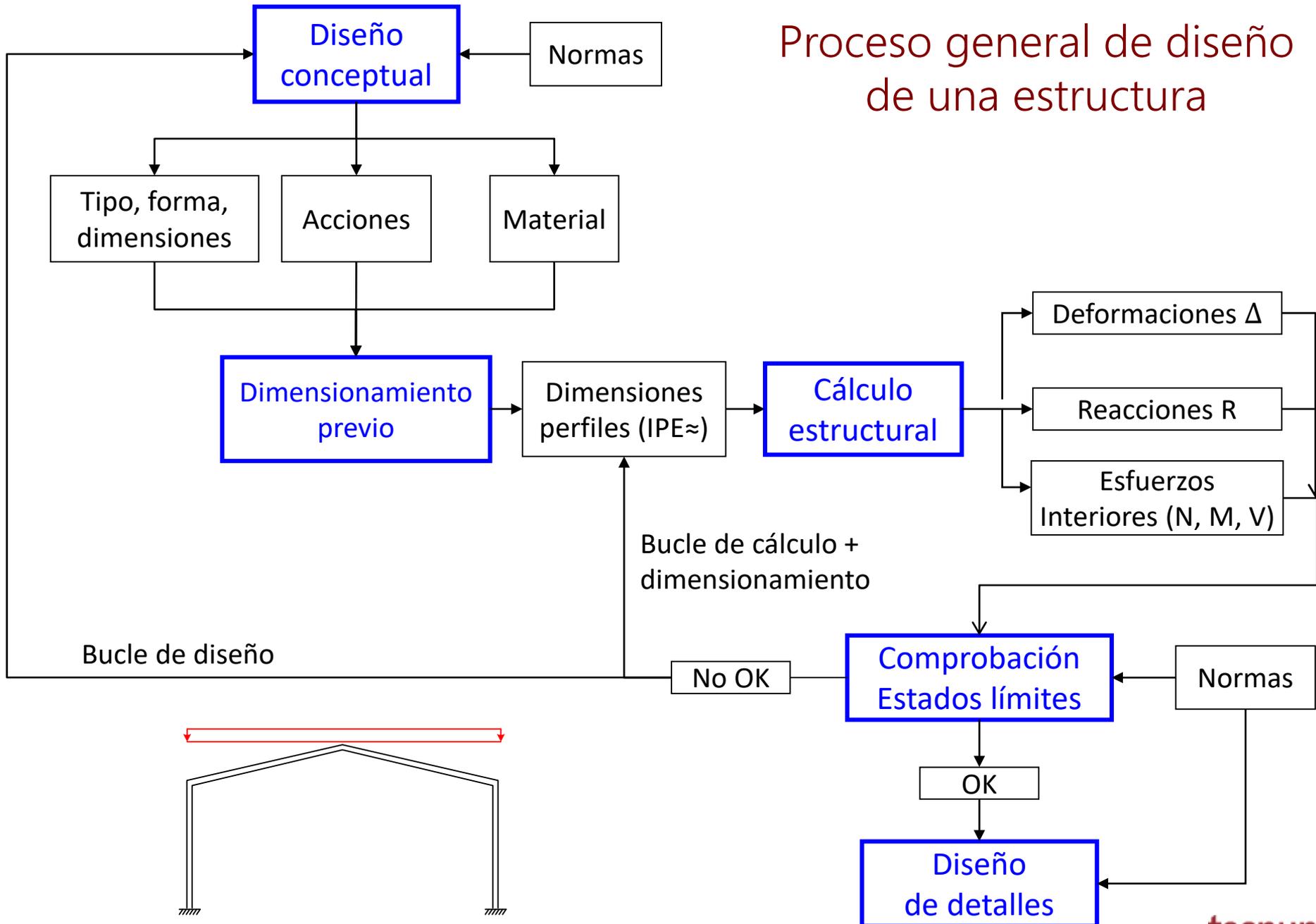


$r=4$ Estable. Isostática



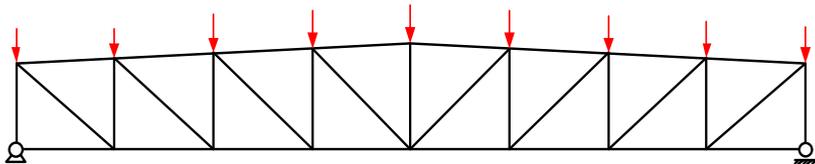
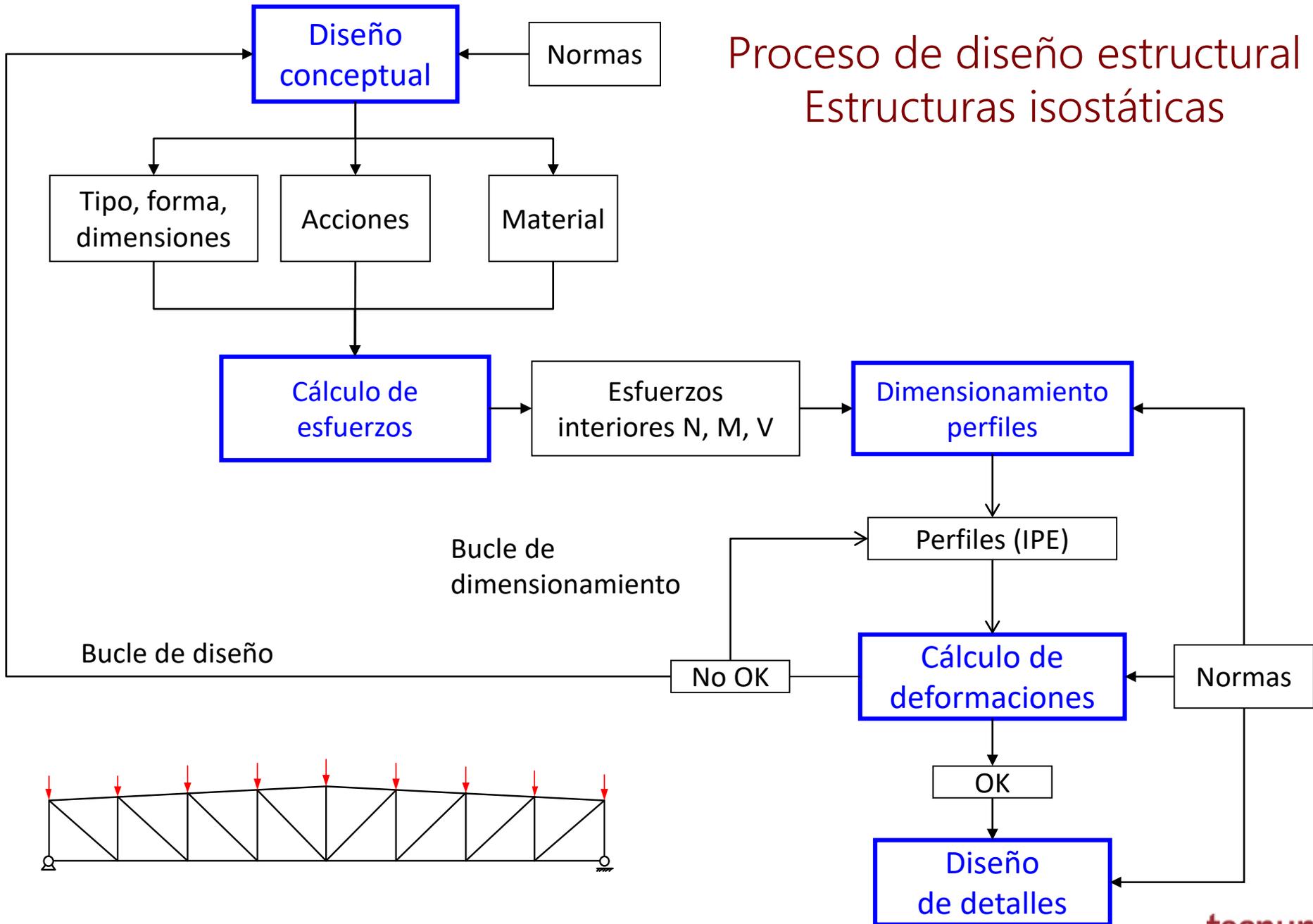
$r=6$ Estable. Isostática

Proceso general de diseño de una estructura

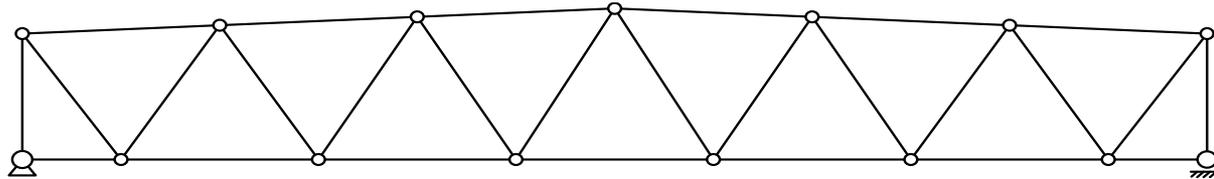


Proceso de diseño estructural

Estructuras isostáticas



Celosías planas



Celosía plana. Definición

Modelo idealizado de una estructura reticular, formada por **barras rectas** de canto despreciable frente a su longitud.

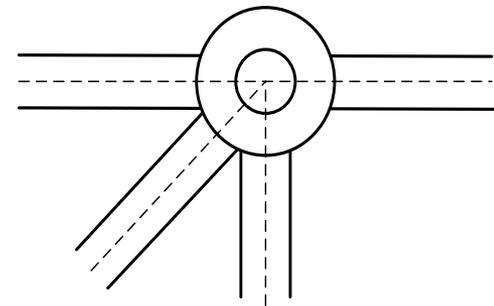
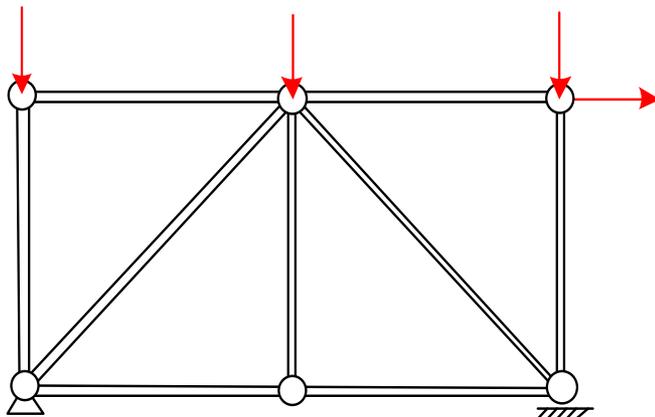
Barras unidas en sus extremos mediante **articulaciones ideales**: sólo se transmiten fuerzas, no se transmite momento.

Eje centroidal de todas las barras contenido en un mismo plano (XY)

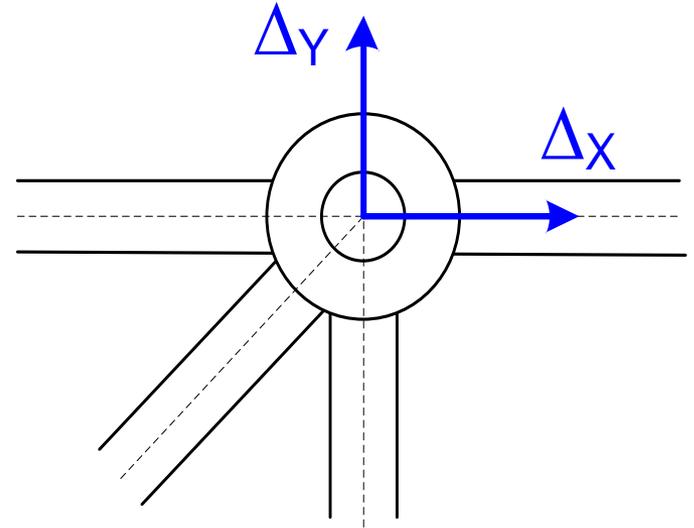
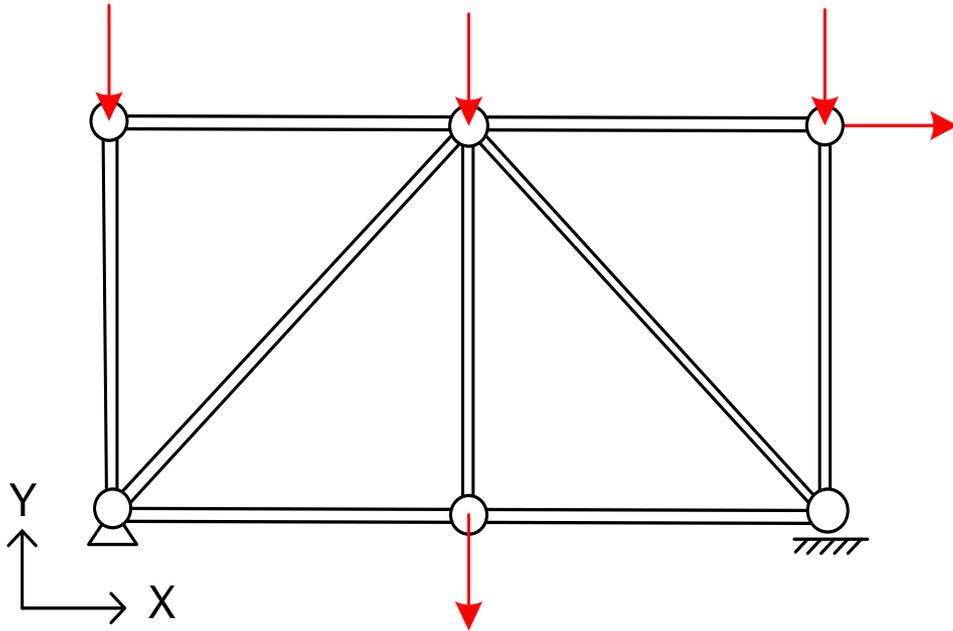
Ejes de las barras pasan por el centro de las dos articulaciones extremas.

Fuerzas aplicadas **en los nudos**, contenidas en el plano de la estructura (F_x , F_y).

Fuerzas no en los nudos: se estudian de forma independiente, para cada barra y se superponen a las fuerzas en los nudos.



Celosía plana. Comportamiento



Las barras sólo tienen esfuerzo axial (si sólo hay fuerzas aplicadas en los nudos): se deduce del equilibrio de fuerzas de cada barra

Deformación de los nudos: desplazamientos X e Y.

Un giro θ_z distinto en cada barra: no interesan en las celosías

Estática de la barra articulada plana (1)

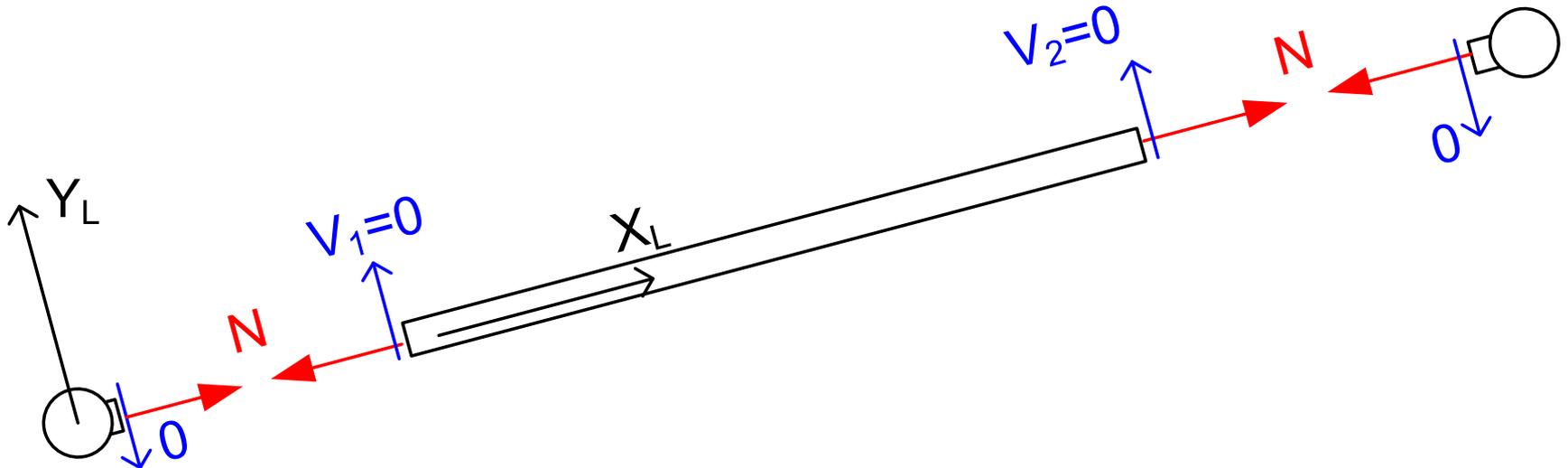
Barra sin fuerzas aplicadas sobre ella:

$$\Sigma F_{Y_L} = 0 \quad \Sigma M_P = 0 \quad \rightarrow \quad V_1 = 0 \quad V_2 = 0 \quad \text{Cortantes nulos}$$

$$\Sigma F_{X_L} = 0 \quad \rightarrow \quad N_1 = N_2 \equiv N \quad \text{Axial desconocido}$$

Esfuerzo axial N uniforme en la barra
La barra no proporciona el valor de N

Tensión: $\sigma = \frac{N}{A}$



Estática de la barra articulada plana (2)

Barra con fuerzas aplicadas sobre ella:

$$\Sigma F_{YL} = 0 \quad \Sigma M_P = 0 \quad \rightarrow \quad \text{Cortantes} \quad V_1 \neq 0 \quad V_2 \neq 0$$

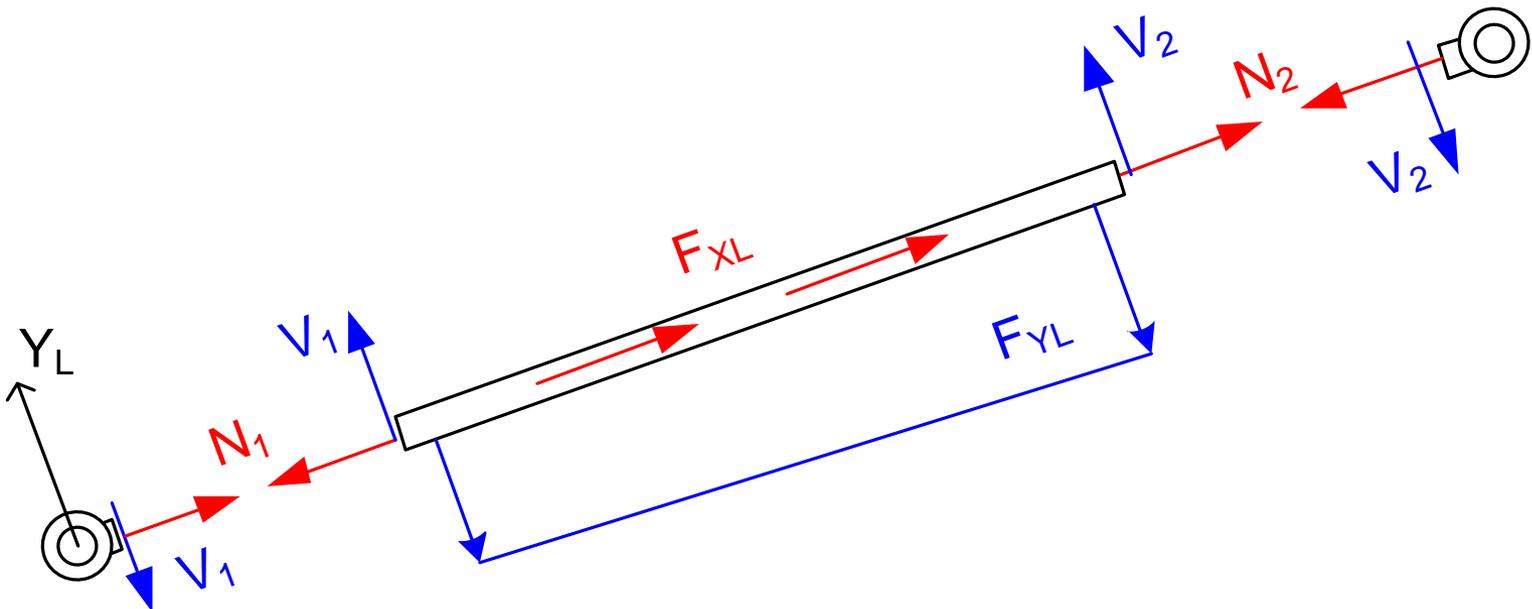
Cortantes conocidos, no nulos, función de las fuerzas exteriores.

La barra **proporciona** los valores de M y V en su interior

$$\Sigma F_{XL} = 0 \quad \rightarrow \quad N_2 + F_{XL} = N_1$$

Esfuerzos axiales pueden ser diferentes si hay fuerzas exteriores en X

La barra **no proporciona** los axiales, sólo su diferencia



Celosías planas. Estabilidad

Balance de fuerzas incógnitas y ecuaciones de la estática

Fuerzas incógnitas:

Esfuerzo axial N en cada barra (b)

Reacciones en los apoyos (r)

Ecuaciones de la estática: 2 en cada nudo ($2n$)

A	$b + r < 2n$	→	Inestable
B	$b + r = 2n$	→	Inestable, isostática o hiperestática
C	$b + r > 2n$		

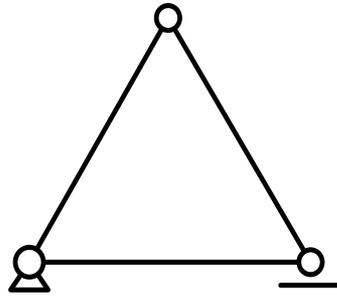
A es condición suficiente para la inestabilidad. B, C no son suficientes

Además de cumplirse B o C, la disposición de las barras debe evitar toda inestabilidad, para asegurar que es condición suficiente

Es posible cumplir B ($b + r = 2n$), y ser a la vez inestable e hiperestática

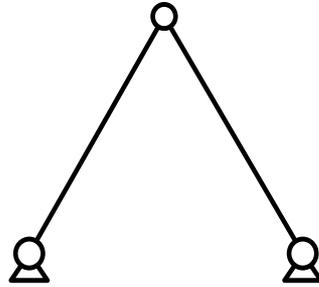
El análisis debe hacerse considerando la disposición de las barras

Celosías planas. Estabilidad



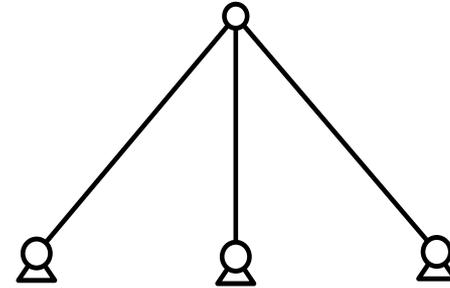
$b=3$ $r=3$ $n=3$

Isostática



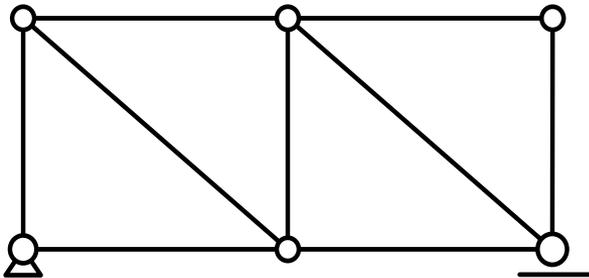
$b=2$ $r=4$ $n=3$

Isostática



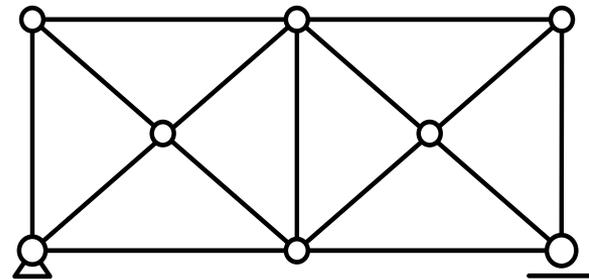
$b=3$ $r=6$ $n=4$

Hiperestática $h=1$



$b=9$ $r=3$ $n=6$

Isostática

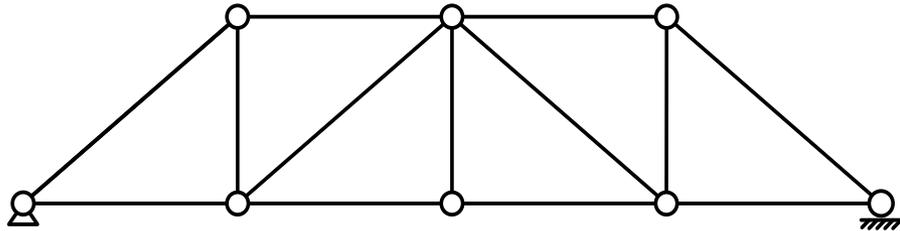


$b=15$ $r=3$ $n=8$

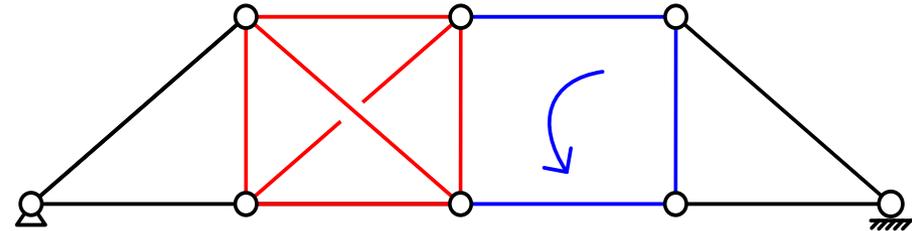
Hiperestática $h=2$

Celosías planas. Estabilidad

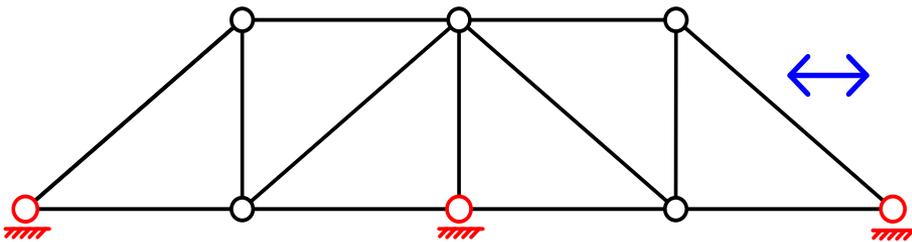
Las cuatro cumplen: $b=13$ $r=3$ $n=8$ $b+r=2n$



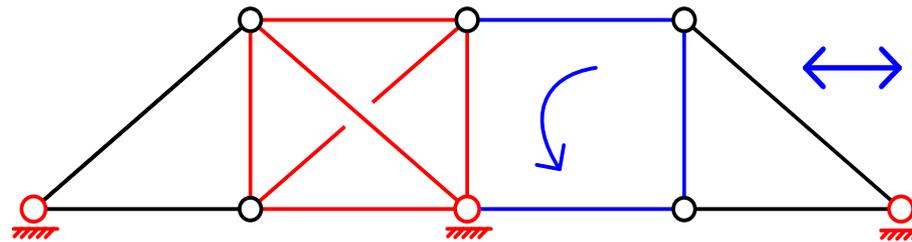
Isostática. Estable



Hiperestática int. + Inestable int.



Hiperestática ext. + Inestable ext.



Hiperestática + Inestable (int. y ext.)

Celosías simples

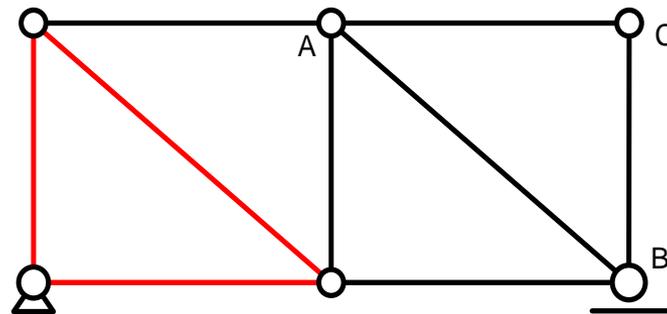
Mosaico de triángulos adosados unos a otros:

A. Partiendo de un triángulo, ir añadiendo nuevos triángulos adosados a él:

Se añaden cada vez dos nuevas barras y un nuevo nudo

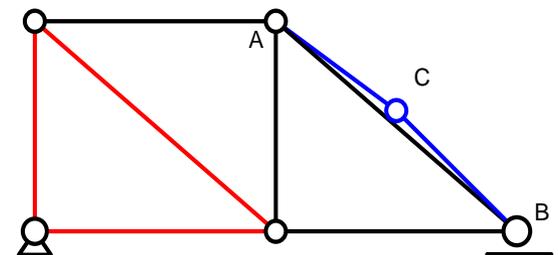
B. Sustentación con 3 reacciones

Cumplen siempre $b+r=2n$ y son **isostáticas y estables**



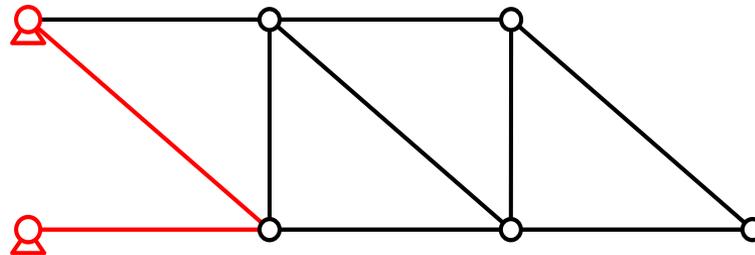
El nudo **añadido no puede estar alineado** con los dos nudos de apoyo, pues entonces la zona añadida es inestable

El triángulo añadido debe tener **área > 0**



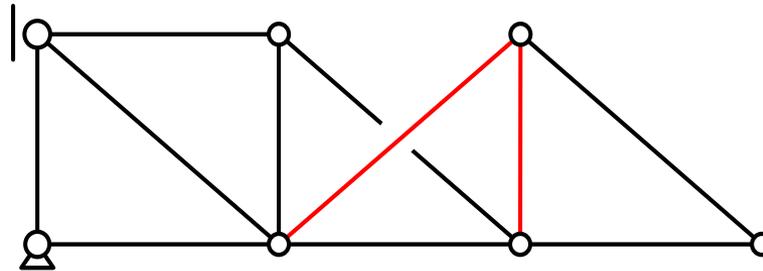
Celosías simples

Triángulo de partida pueden ser dos barras unidas al suelo:
Un lado se sustituye por el suelo. Sustentación con 4 reacciones



$$b=10 \quad r=4 \quad n=7$$

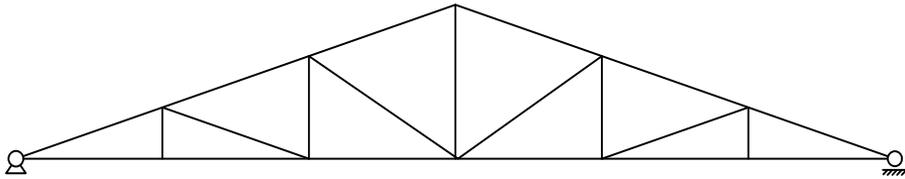
Las barras añadidas pueden cruzar (sin unirse) a las existentes



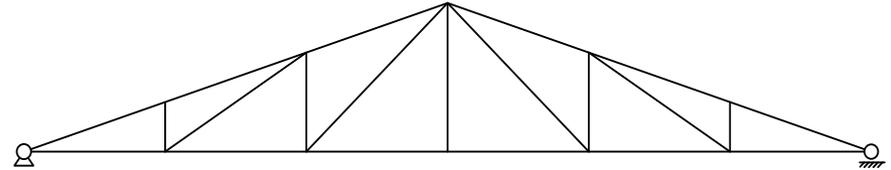
$$b=11 \quad r=3 \quad n=7$$

Celosías simples. A dos aguas

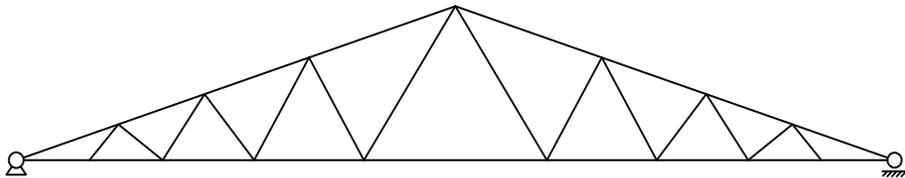
Inglesa (Pratt a dos aguas)



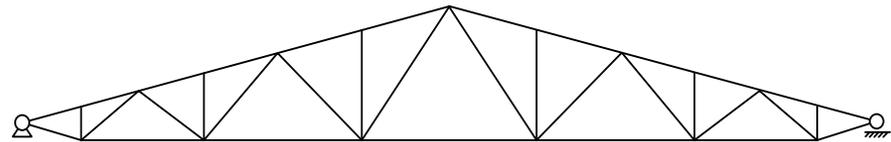
Belga (Howe a dos aguas)



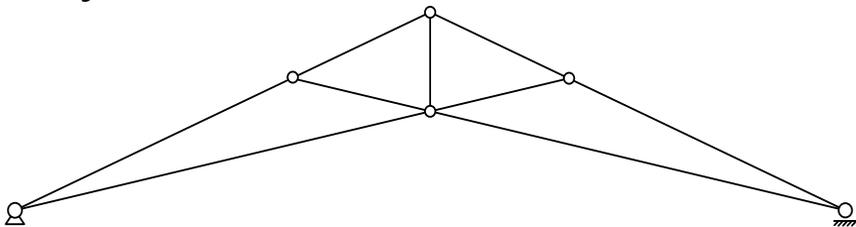
Warren a dos aguas



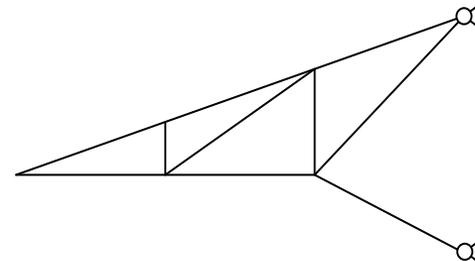
Warren a dos aguas con montantes



Tijera

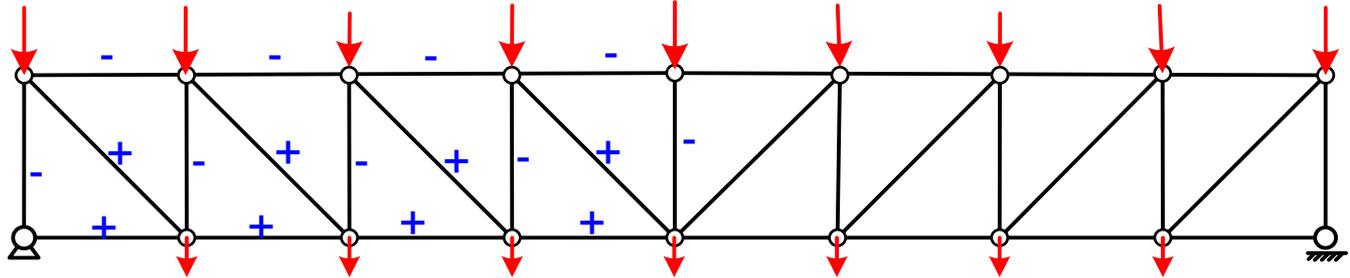


Voladizo



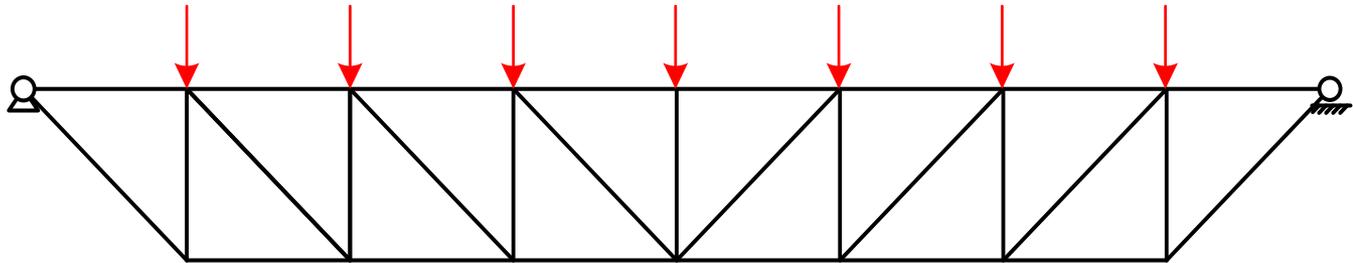
Celosías simples. Rectangulares

Pratt

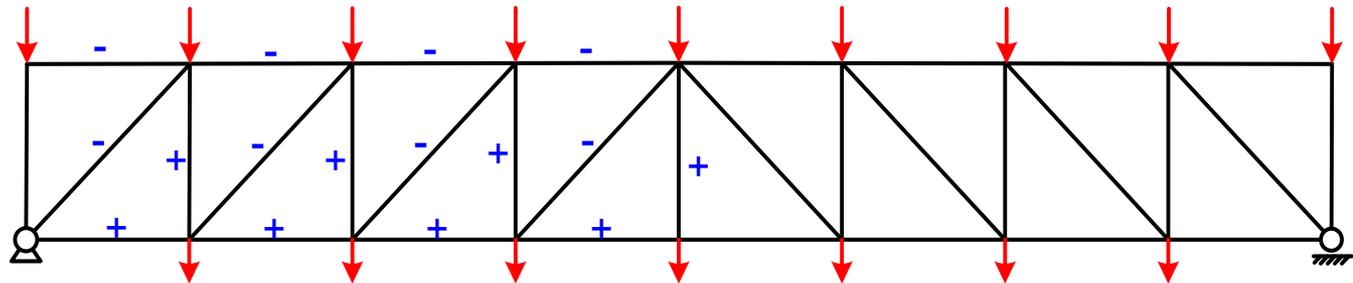


Barras diagonales (largas) a tracción con cargas hacia abajo

Pratt inferior



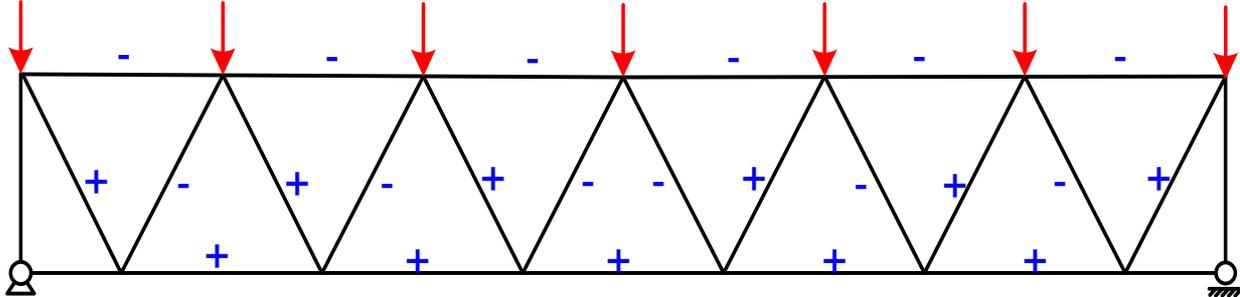
Howe



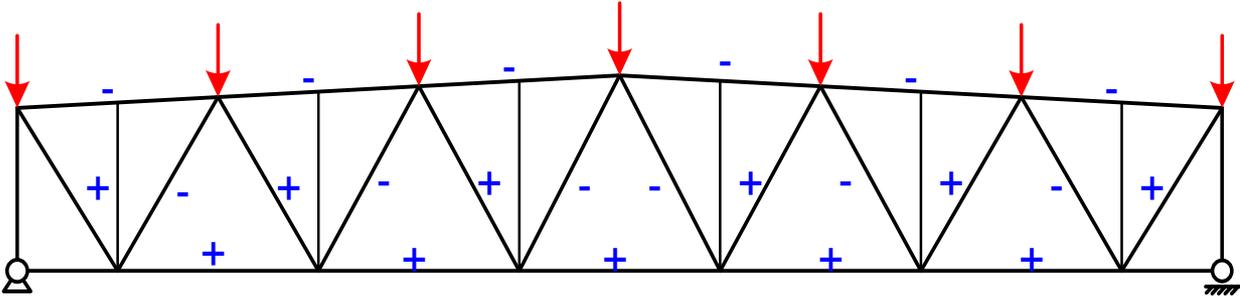
Barras diagonales (largas) a compresión con cargas hacia abajo Usada con cargas dominantes hacia arriba

Celosías simples. Rectangulares

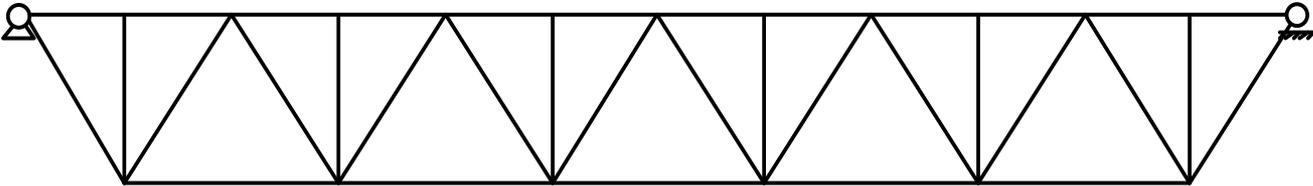
Warren



Warren con montantes

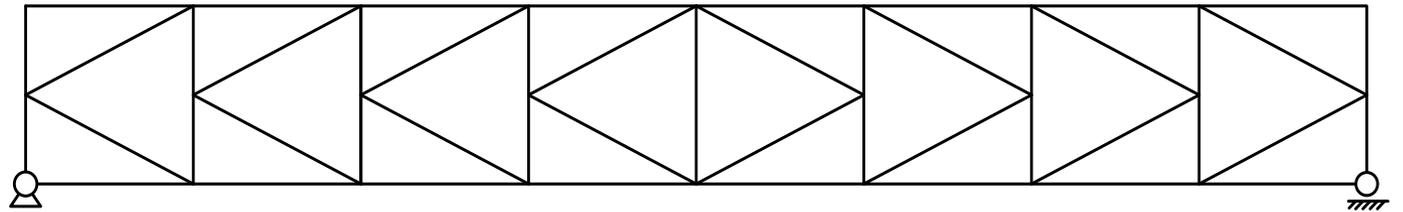


Warren inferior con montantes

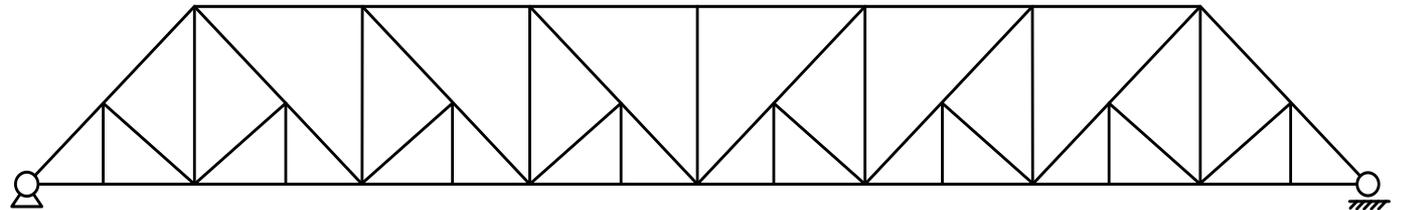


Celosías simples. Rectangulares

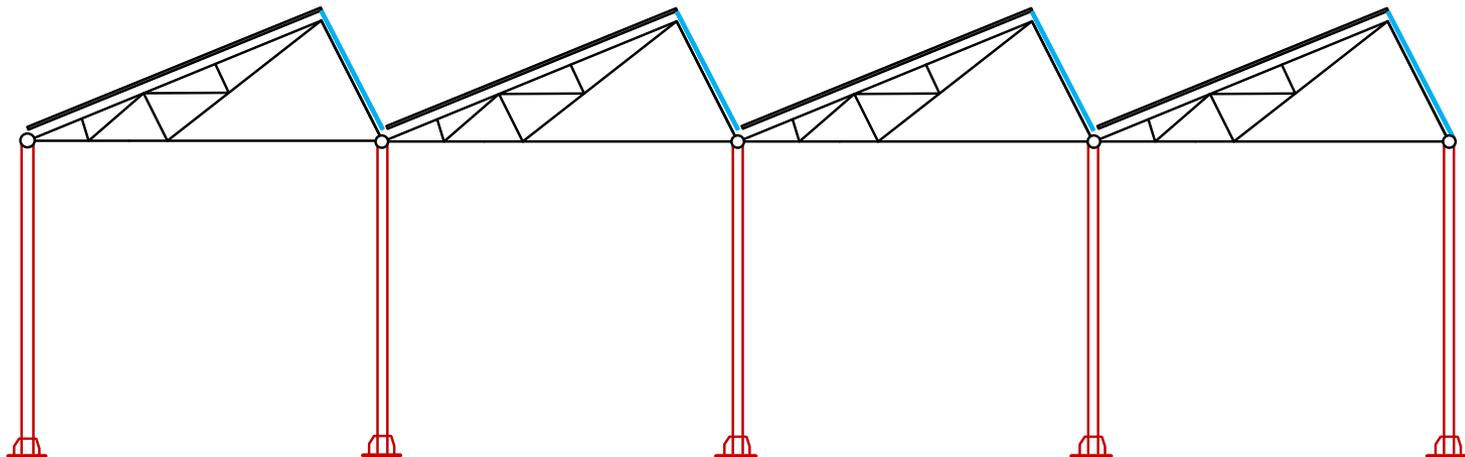
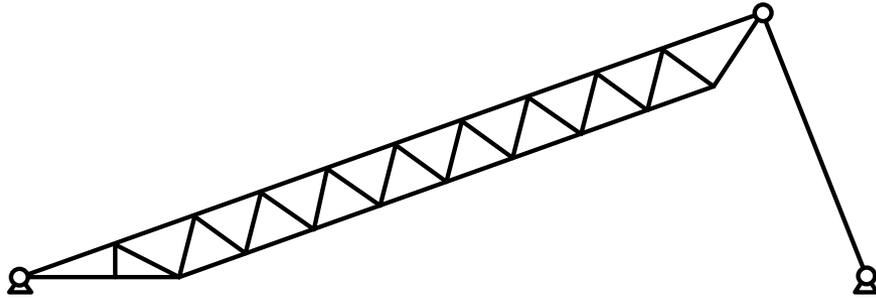
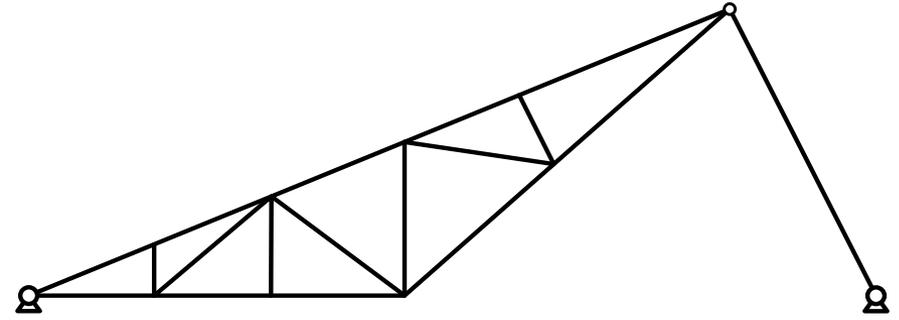
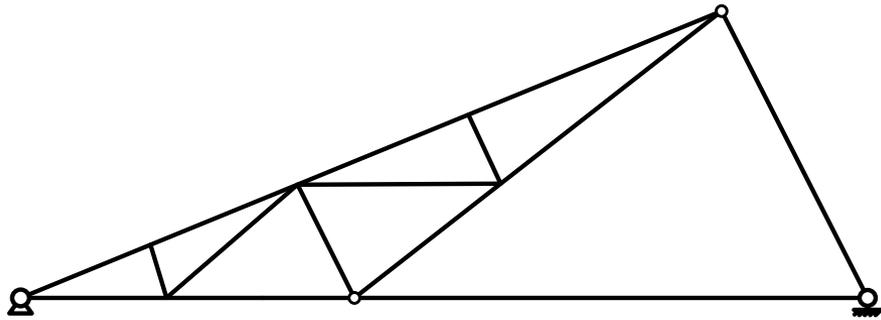
Cercha K



Baltimore

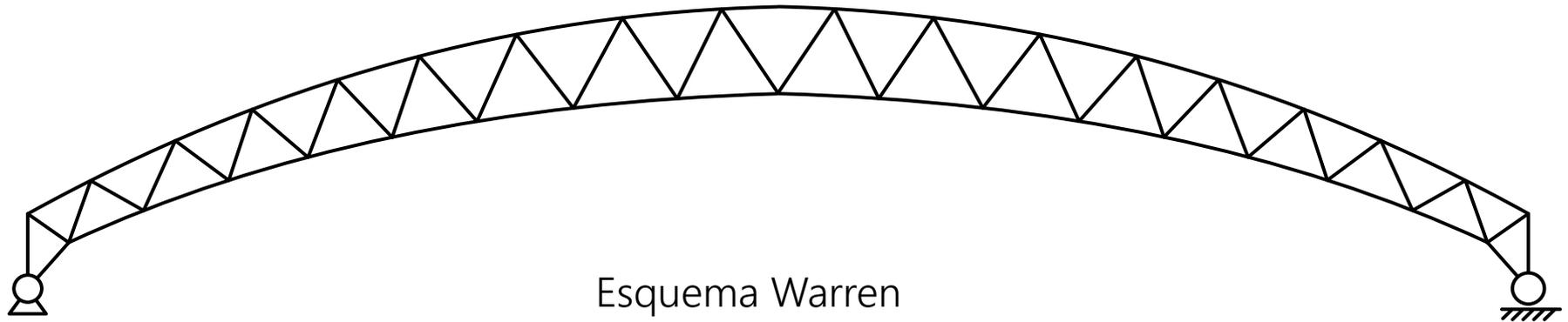


Celosías simples. Dientes de sierra



Celosía simple - Arco

Grandes luces



Celosías simples. Torre

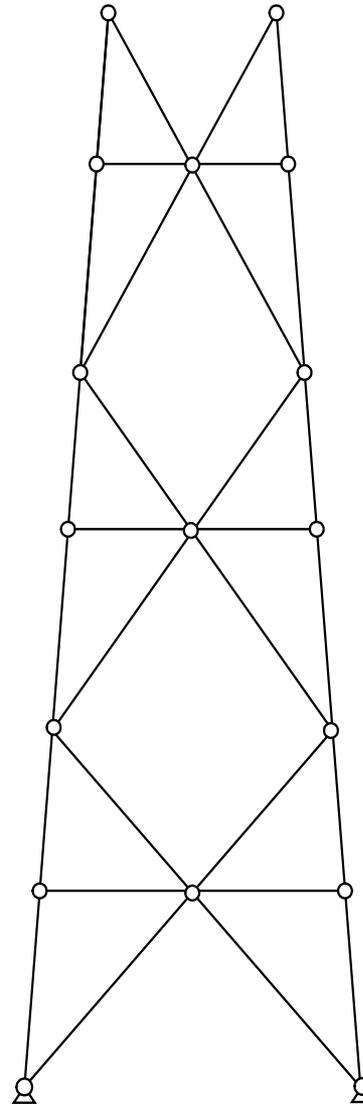
$$b=30$$

$$r=4$$

$$n=17$$

Isostática si todos los nudos son articulados

En realidad muchos nudos están empotrados (cordones exteriores)



Celosías compuestas

Unión de varias celosías simples mediante vínculos adecuados

Vínculo: fuerza de unión entre dos celosías simples

Tipos de vínculos:

una barra (un vínculo= N_b), o un nudo común (2 vínculos= R_X, R_Y)

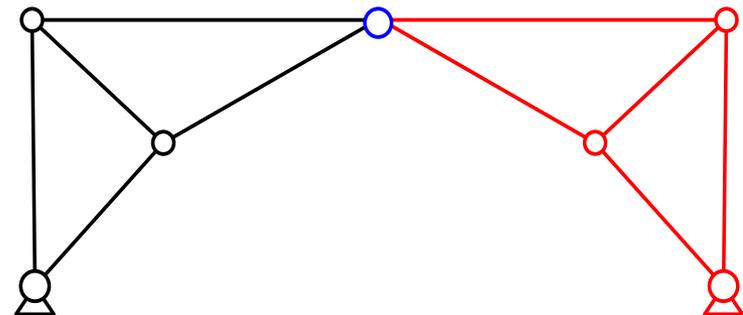
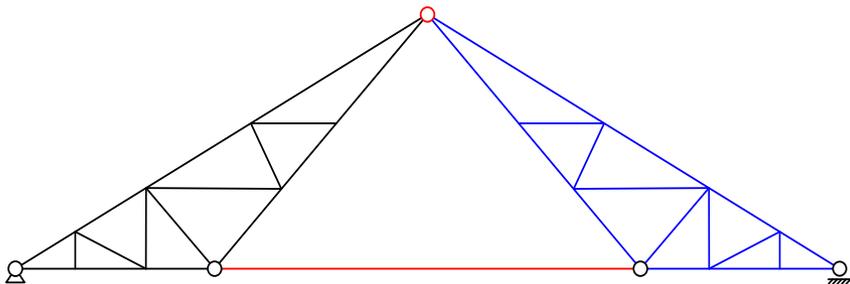
Fuerzas de conexión en los vínculos entre las celosías simples: v

Reacciones: r

Incógnitas en la unión entre celosías simples: $v + r$

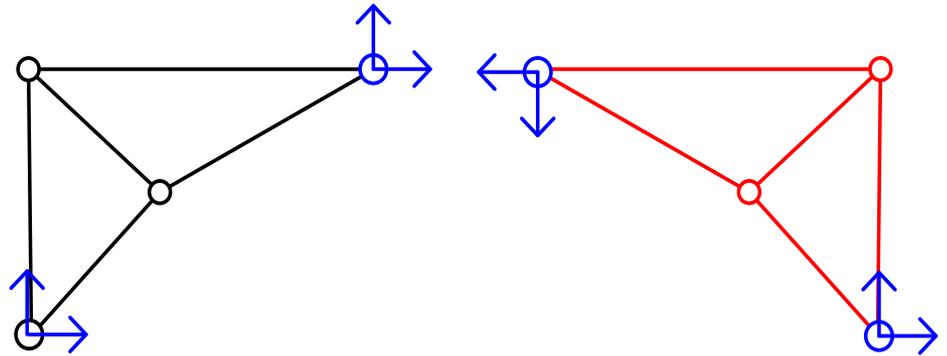
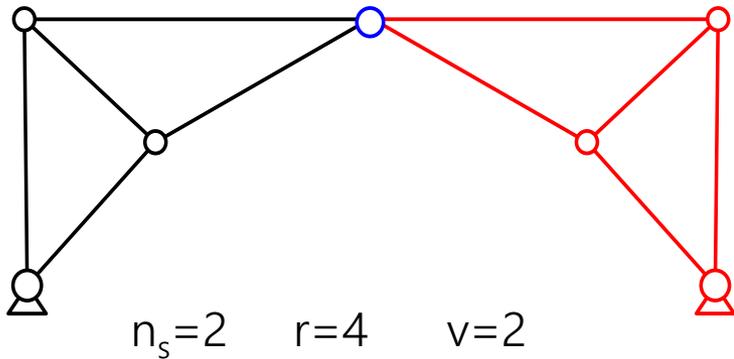
Ecuaciones de equilibrio entre las n_s celosías simples: $3 n_s$

Si cumplen $v + r = 3 n_s$ son isostáticas y estables



Celosías compuestas

$$v + r = 3 n_s \quad \Rightarrow \quad \text{isostáticas y estables}$$



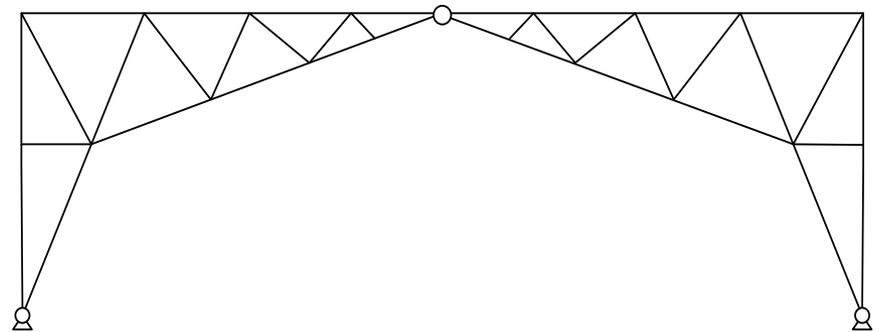
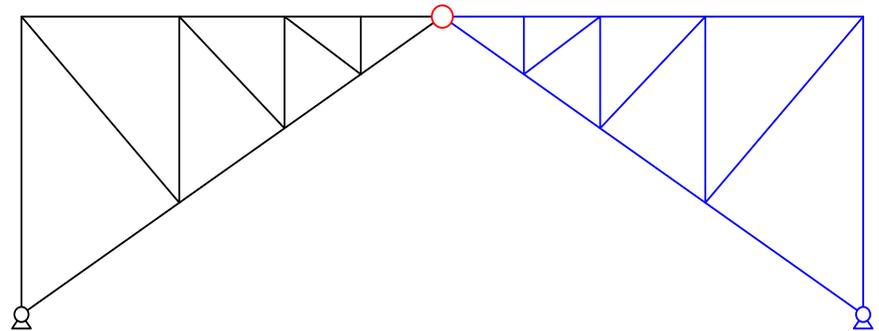
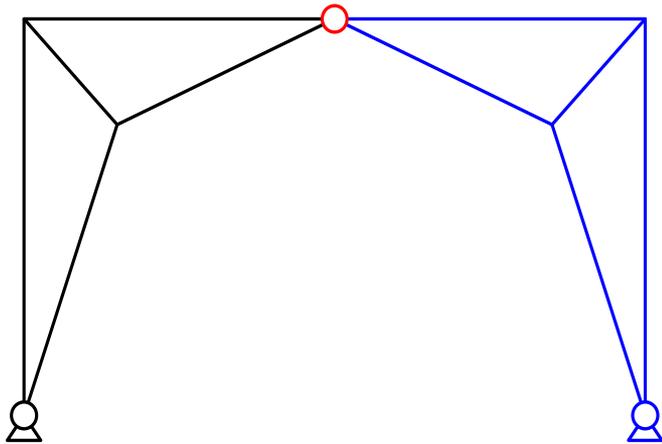
Las $(3 n_s)$ ecuaciones permiten hallar las v fuerzas en los vínculos y las r reacciones

Los vínculos deben ser independientes (no cortarse) para poder resolver las ecuaciones

Celosías compuestas (2 simples)

Dos celosías simples unidas mediante 3 articulaciones

$$n_s = 2 \quad r = 4 \quad v = 2$$

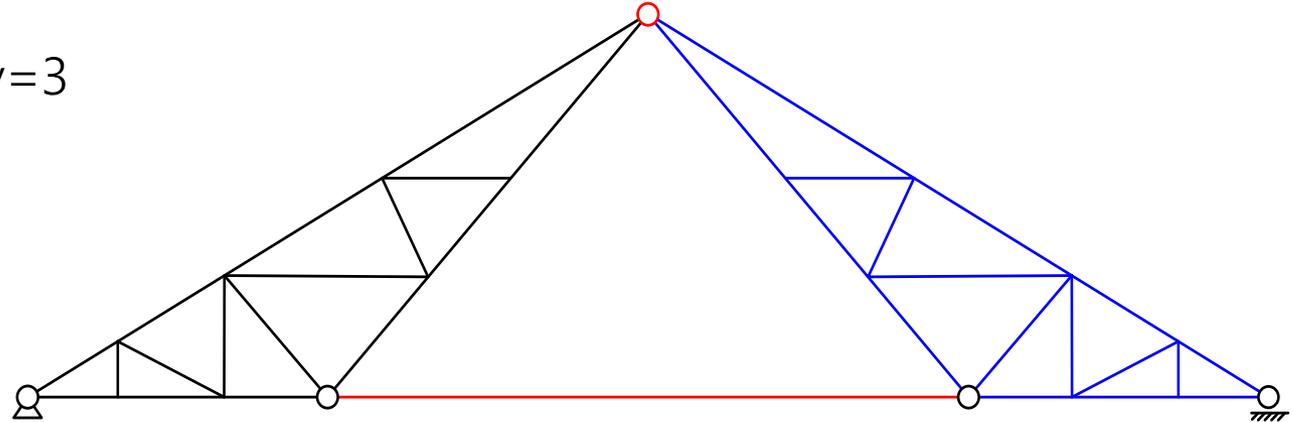


Celosías compuestas (2 simples)

Dos celosías simples con 3 vínculos

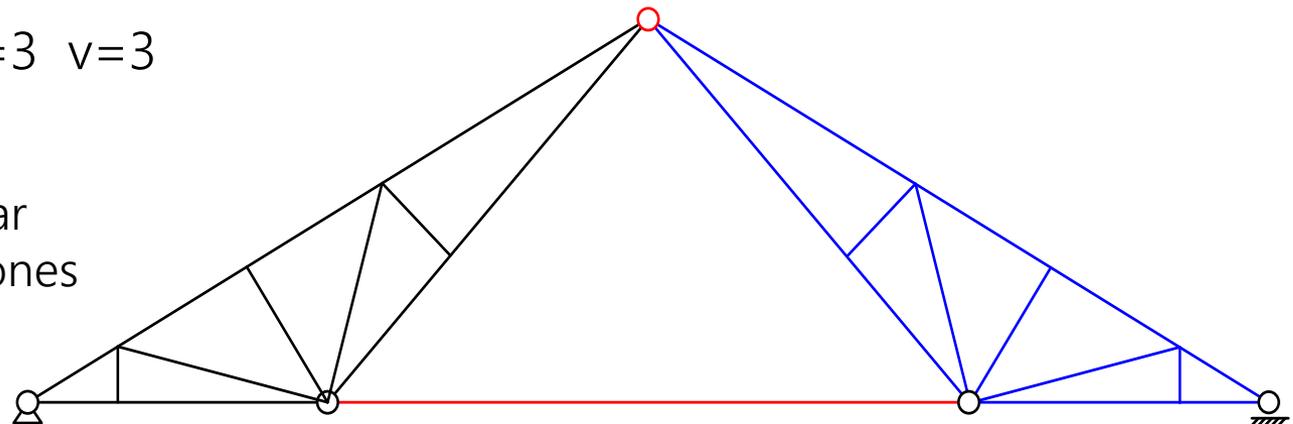
Fink $n_s=2$ $r=3$ $v=3$

$b=35$ $r=3$ $n=19$



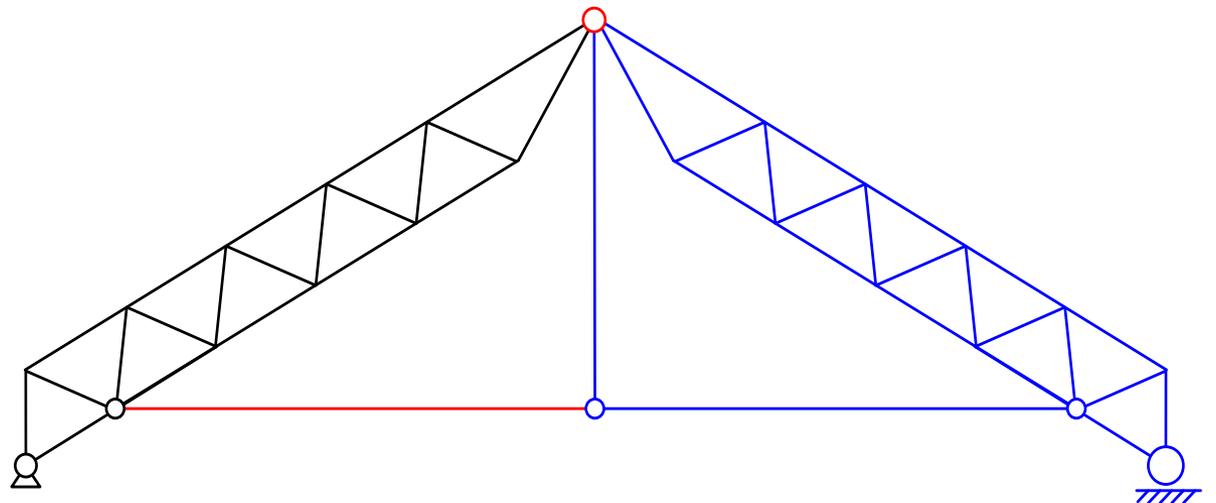
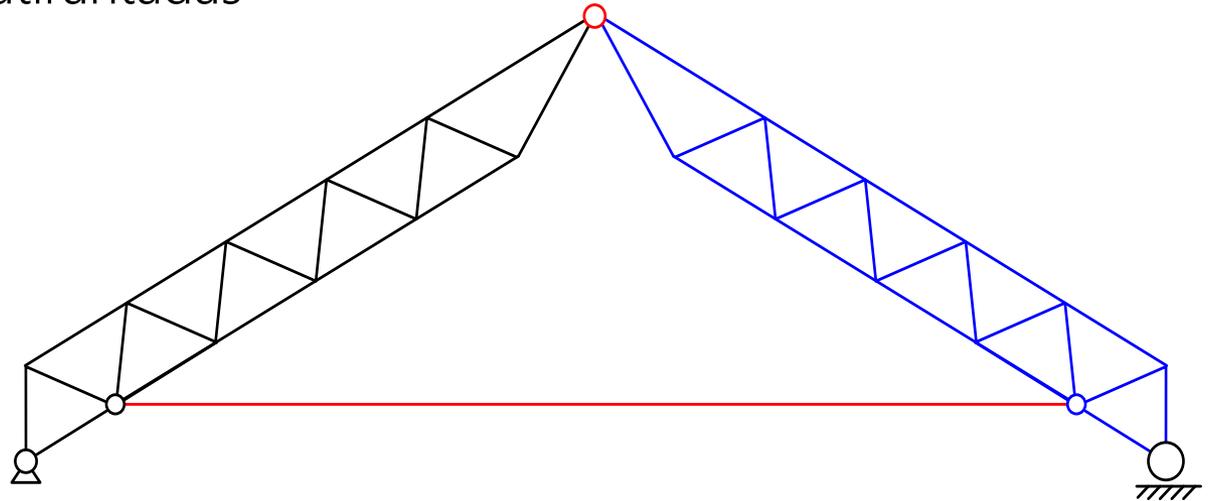
Polonceau $n_s=2$ $r=3$ $v=3$

No se pueden calcular
a partir de las reacciones



Celosías compuestas (2 simples)

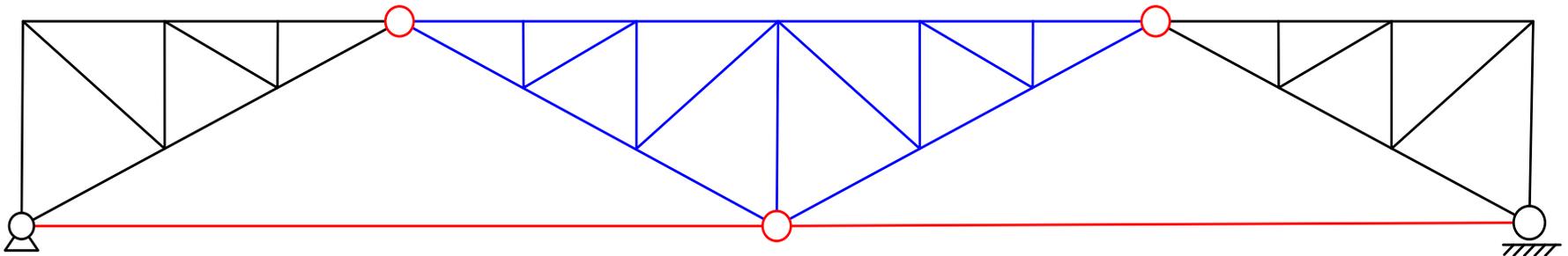
Dos celosías simples atirantadas
 $n_s=2$ $r=3$ $v=3$



Celosías compuestas. Múltiples

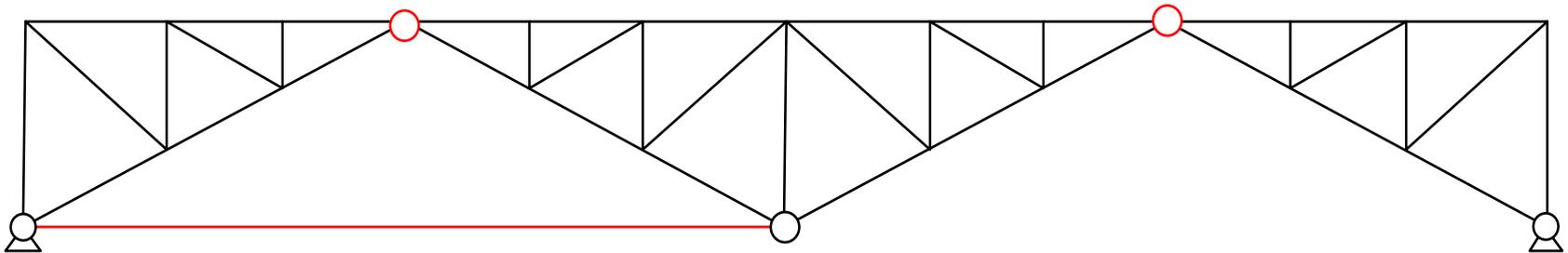
$$n_s=3 \quad r=3 \quad v=6$$

$$b=45 \quad r=3 \quad n=24$$



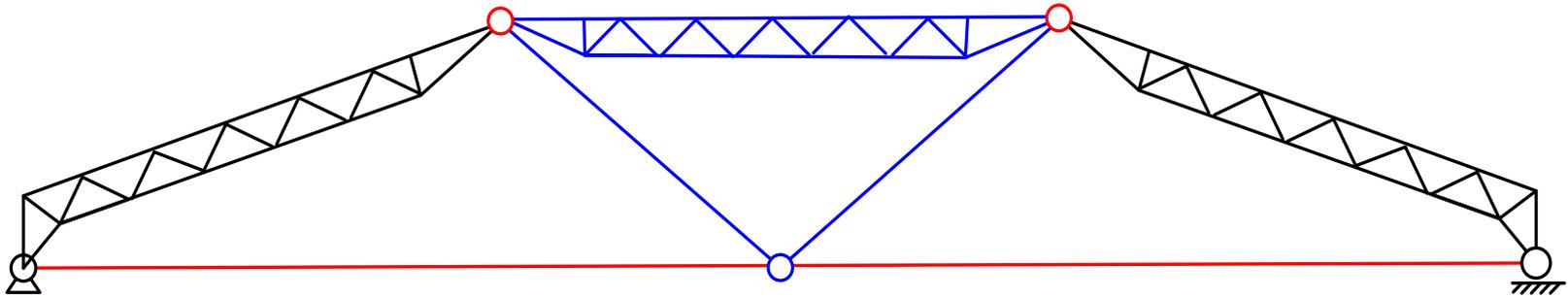
$$n_s=3 \quad r=4 \quad v=5$$

$$b=44 \quad r=4 \quad n=24$$

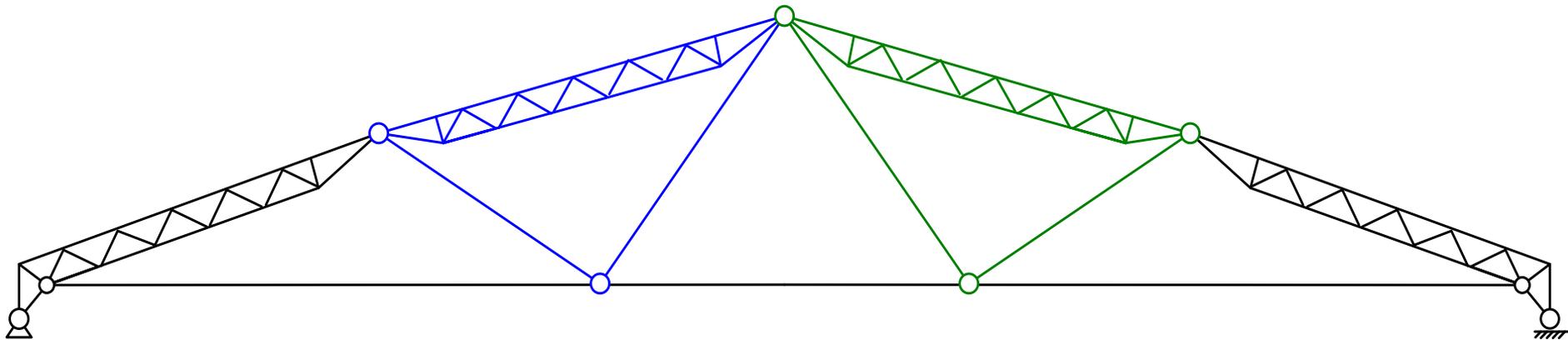


Celosías compuestas. Cubierta atirantada

$$n_s=3 \quad r=3 \quad v=6$$

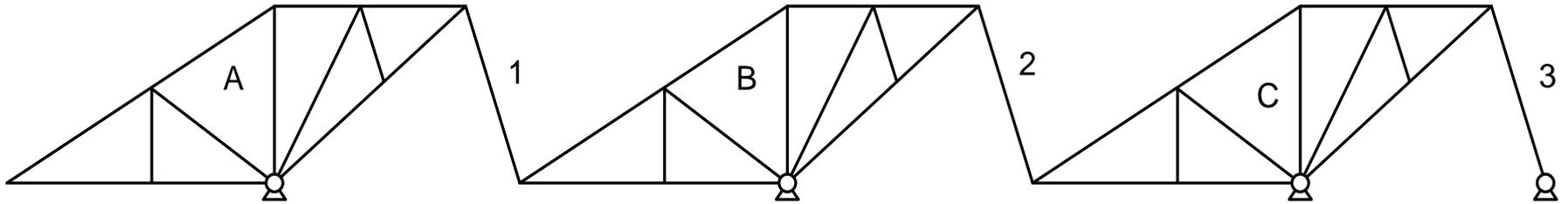


$$n_s=4 \quad r=3 \quad v=9$$



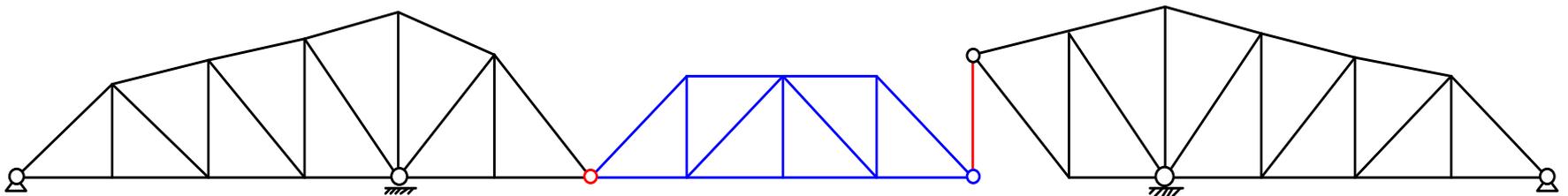
Celosías compuestas

Cercha Houx $n_s=3$ $r=7$ $v=2$



$$N_3 \equiv R_3$$

Puente $n_s=3$ $r=6$ $v=3$ $b=56$ $n=31$



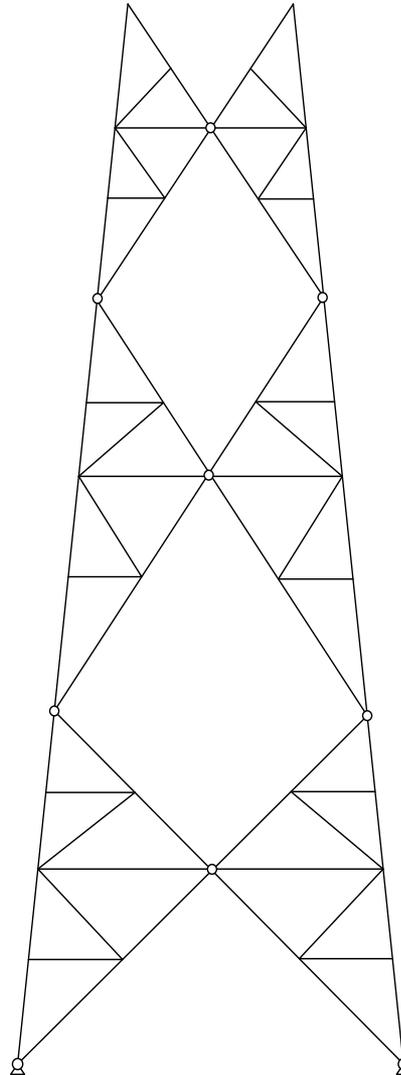
Celosías compuestas. Torres

$$n_s=6 \quad r=4 \quad v=14$$

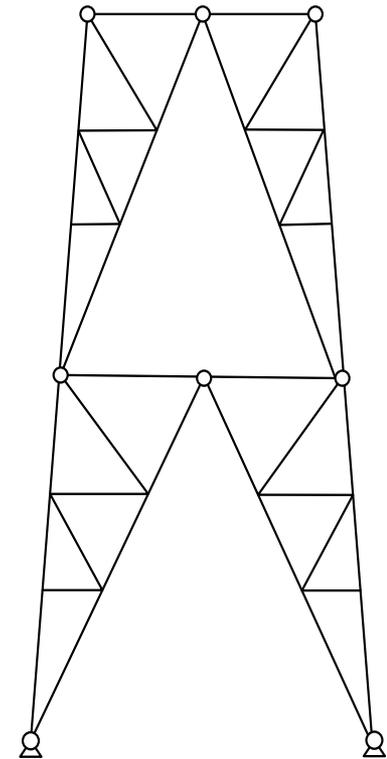
Isostáticas si todos los nudos son articulados

En realidad muchos nudos están empotrados (cordones principales)

El modelo de nudos articulados proporciona una aproximación razonable de los esfuerzos axiales

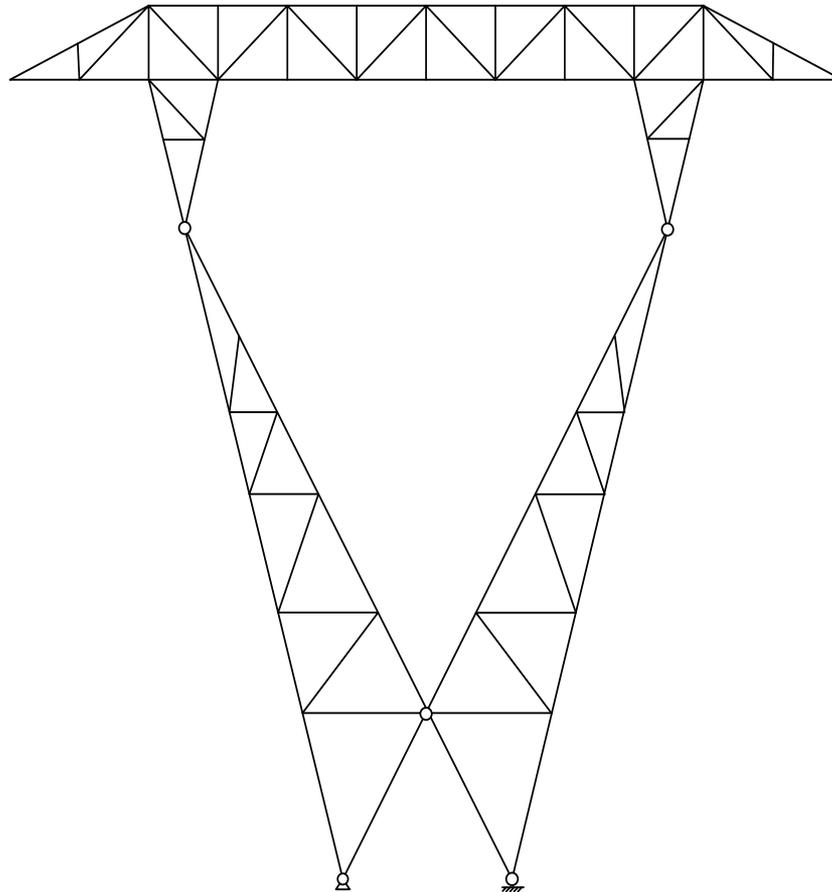


$$n_s=4 \quad r=4 \quad v=8$$



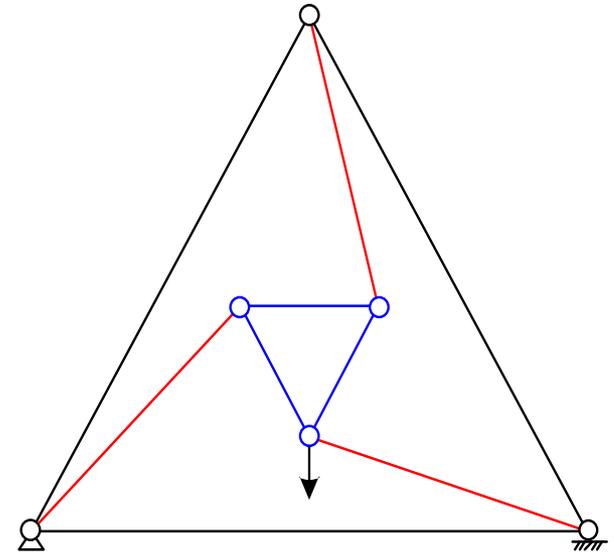
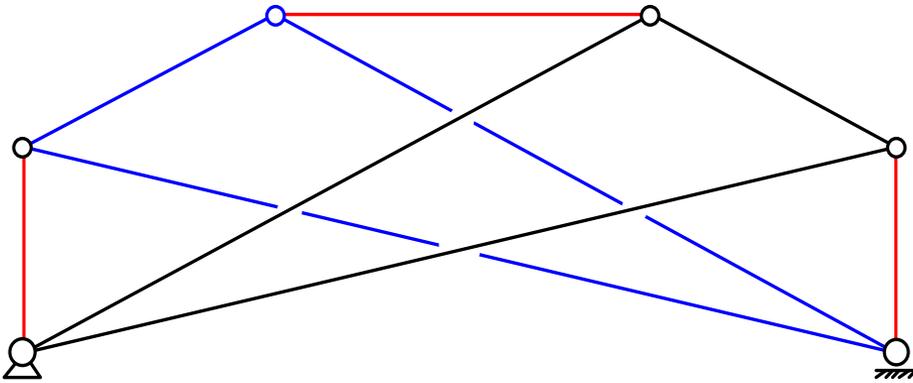
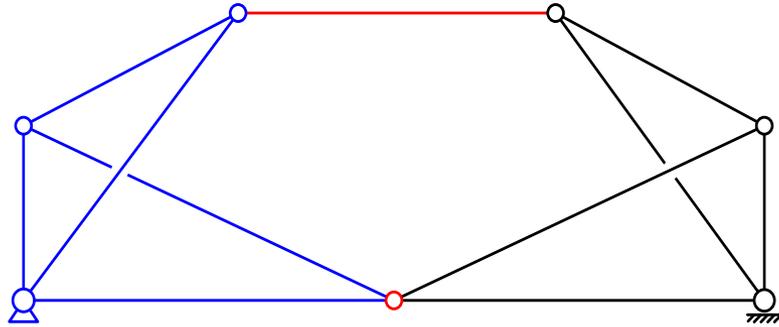
Celosías compuestas

Torre de energía eléctrica (parte superior) $n_s=3$ $r=3$ $v=6$



Celosías compuestas. Varias

$$n_s=2 \quad r=3 \quad v=3$$

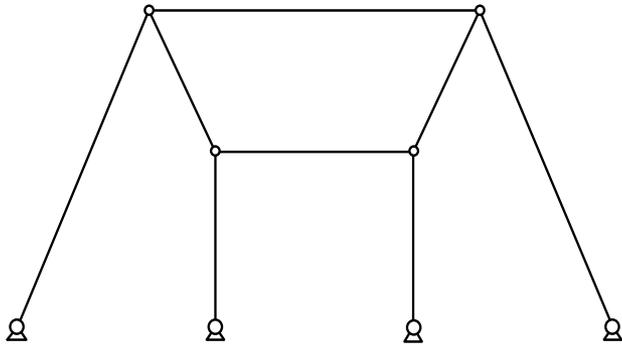


Celosías complejas

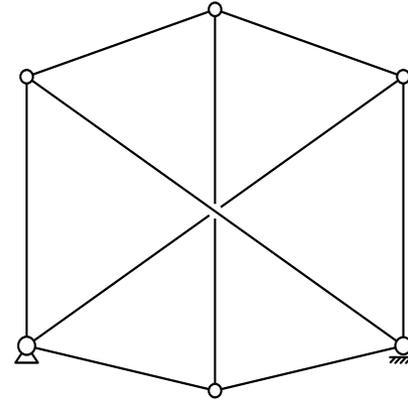
No se identifica **ningún mosaico** de triángulos adosados

Muchas veces no se identifica ningún triángulo

Si cumplen $b+r = 2n$ son isostáticas y estables, pero para una topología dada, son **sensibles a la orientación** de las barras (estables o inestables)

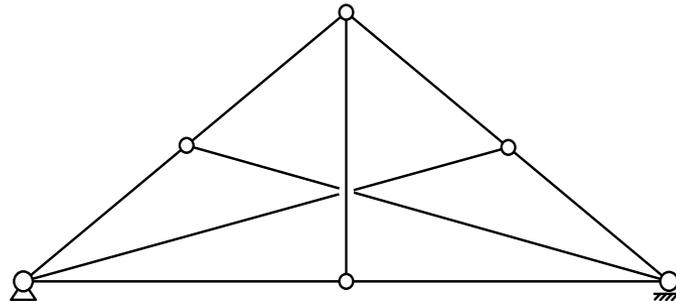


$$b=8 \quad r=8 \quad n=8$$



Hexágono con 3 diagonales que no se cortan

$$b=9 \quad r=3 \quad n=6$$

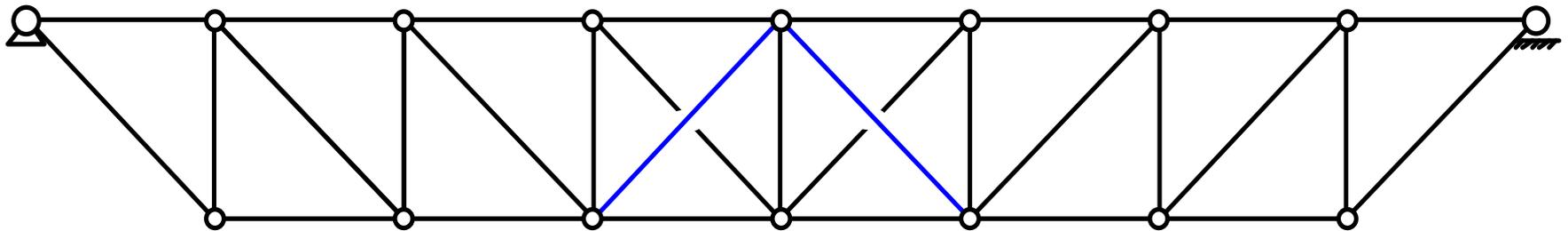
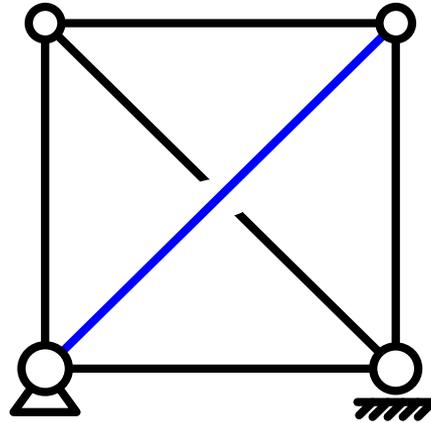


Celosías hiperestáticas

Componente hiperestático habitual: cuadrilátero con doble diagonal

$$b=6 \quad r=3 \quad n=4 \quad h=1$$

Incluso si se sustenta de forma isostática ($r=3$), es hiperestático (sobra una barra)

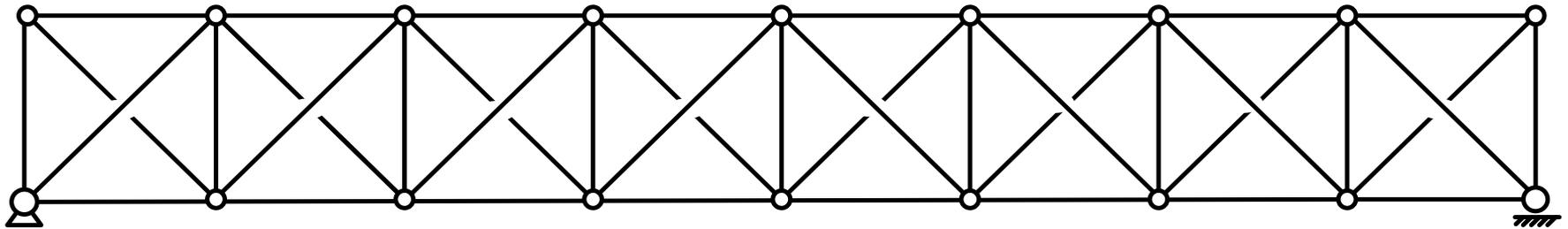


$$b=31 \quad r=3 \quad n=16 \quad h=2$$

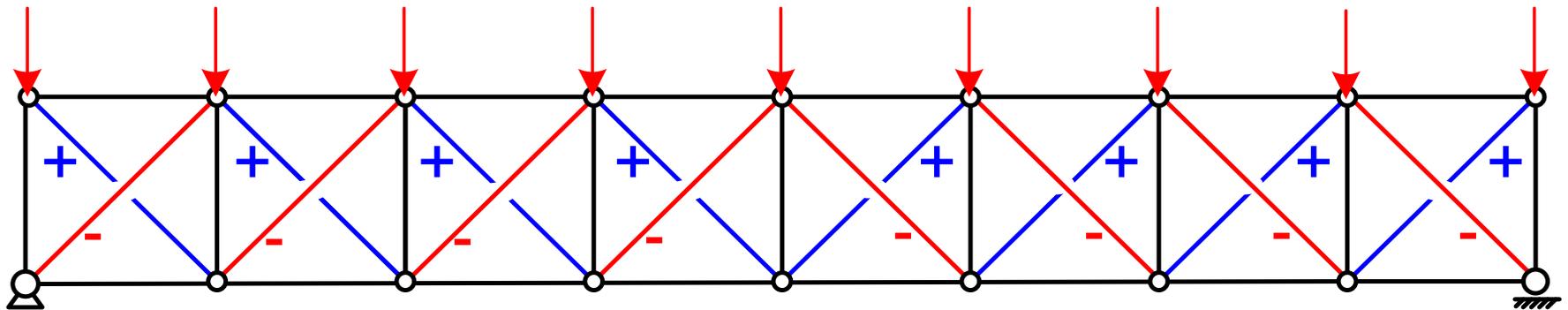
Esquema Pratt reforzado en el centro

Celosías hiperestáticas. Cercha X (1)

Todos los paños con doble diagonal

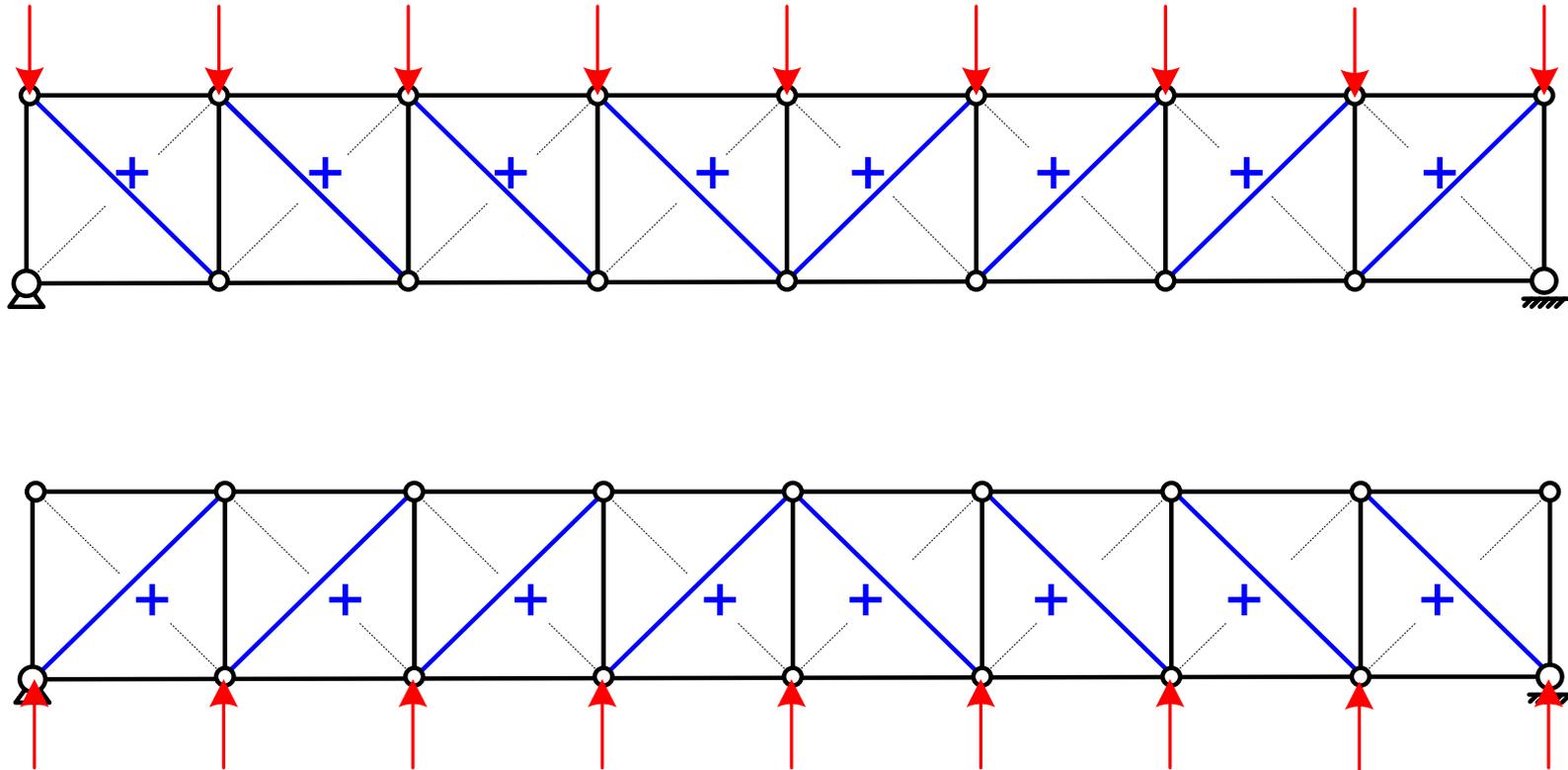


$$b=41 \quad r=3 \quad n=18 \quad h=8$$



Si las diagonales son muy largas: no resisten el esfuerzo axial de compresión (pandeo), y sólo trabajan las diagonales a tracción (como celosía Pratt)

Celosías hiperestáticas. Cercha X (2)



Usada en sistemas contraviento, donde las fuerzas son en direcciones alternas y las diagonales son muy largas (pandean las que están a compresión)

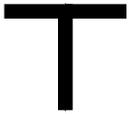
Tipos de perfiles usados en celosías (1)



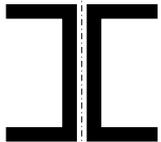
2 L en paralelo: muy habitual. Cordones, montantes, diagonales. Fácil unión. Atornillada o soldada.



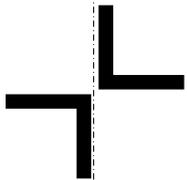
1 L: habitual para montantes y diagonales ligeras. Eje principal de inercia del perfil no en el plano de la estructura. Situar alternados para respetar estructura plana.



T: muy habitual. Cordones, montantes, diagonales. Soldada. Usar $\frac{1}{2}$ IPE o $\frac{1}{2}$ H mejor que T.



2 U opuestos: cordones de gran esfuerzo. Fácil unión atornillada o soldada.



2 L opuestos. Montantes y diagonales a compresión. Soldada o atornillada.

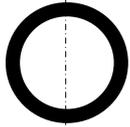


1 L en V. Cargas pequeñas. Preferible montantes y diagonales. Soldada. Unión requiere cortar el vértice del angular.

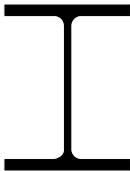
Tipos de perfiles usados en celosías (2)



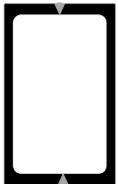
Tubo cuadrado. Unión soldada a tope sencilla. Cordones, montantes, diagonales. Ligero. Económico. $t \geq 2.5 \text{ mm}$ Tendencia actual.



Tubo redondo. Buena estética. Cordones, montantes, diagonales. Ligero. Uniones soldadas más complicadas. ($t \geq 2.5 \text{ mm}$)



IPE, HE. Celosías muy pesadas (puentes). Cordones, montantes, diagonales. Unión soldada a tope.

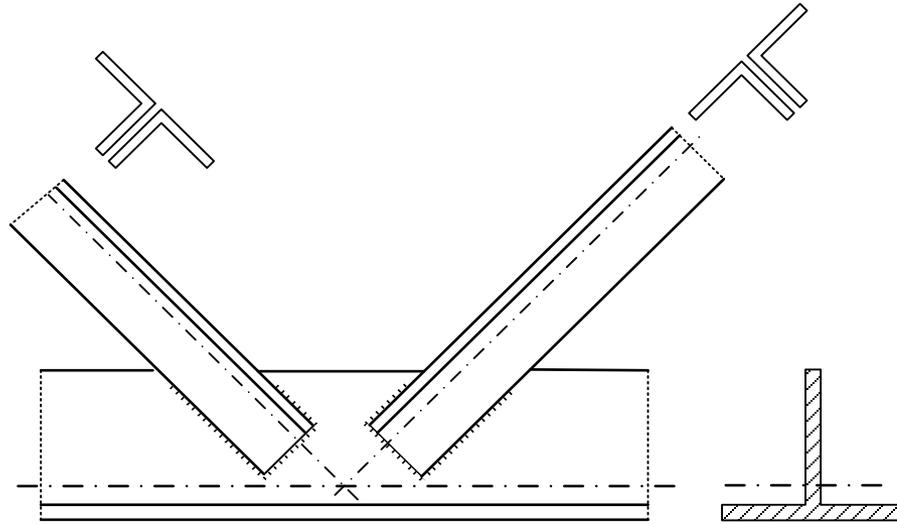


2 U soldadas. Cordones de gran esfuerzo. Cordones, montantes, diagonales. Unión soldada a tope

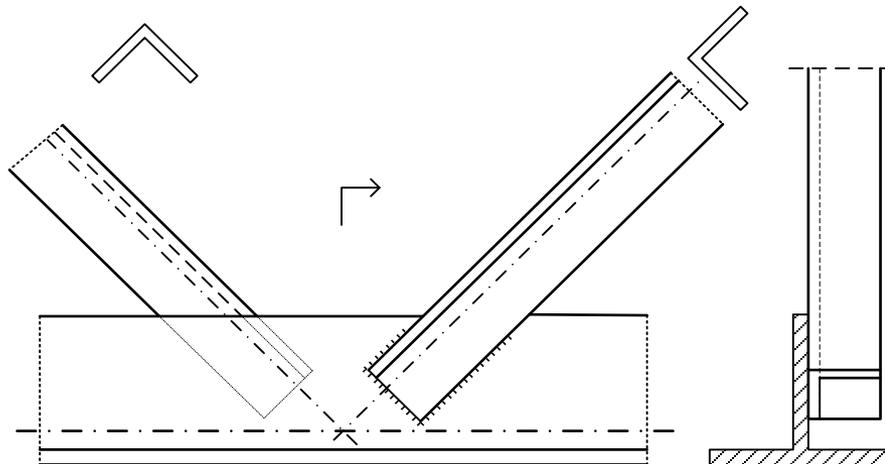


Redondo macizo. Tensor. Elementos siempre a tracción.

Detalles de nudos – Unión directa entre perfiles



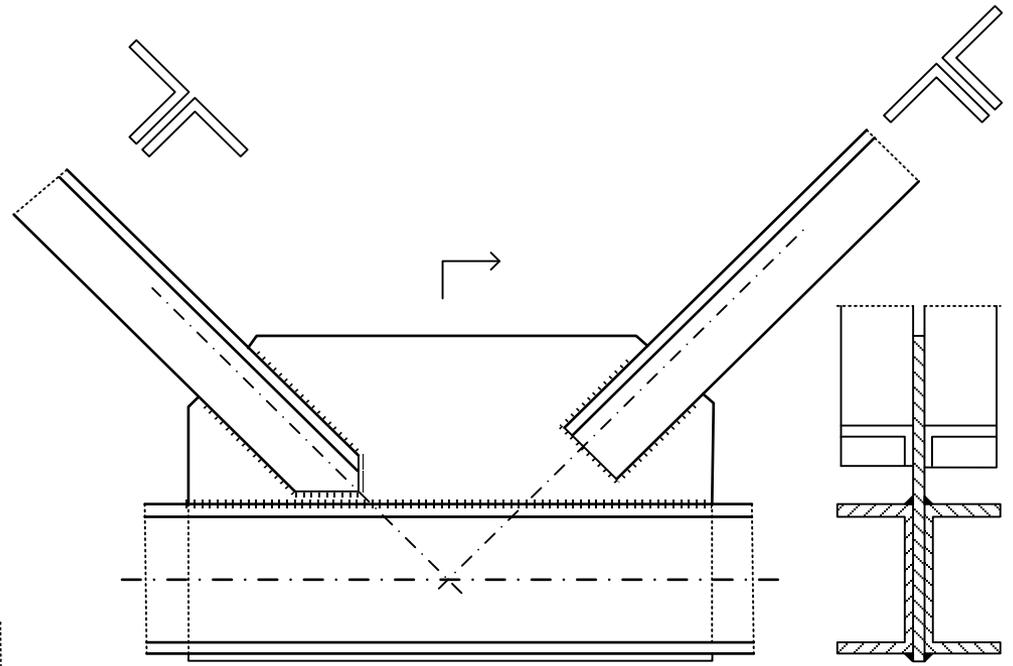
Nudo en solape
Diagonales: 2L



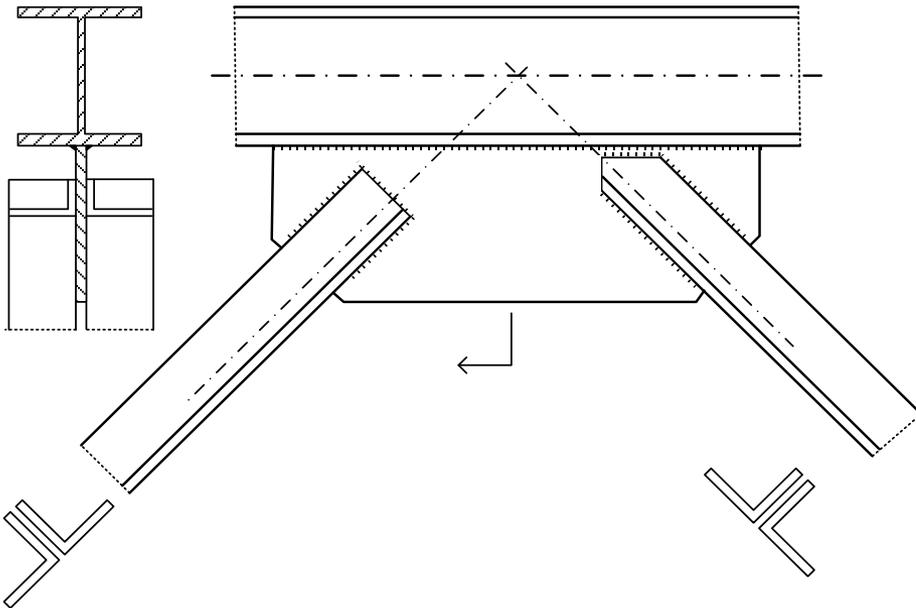
Nudo en solape.
Diagonales: L simple
alternada

Detalles de nudos – Cartelas (1)

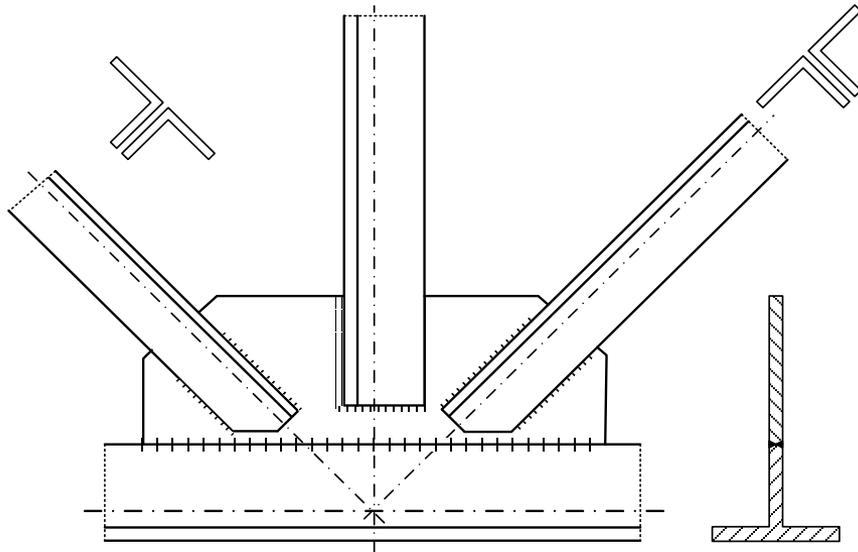
Nudo con cartela.
Cordón 2 UPE



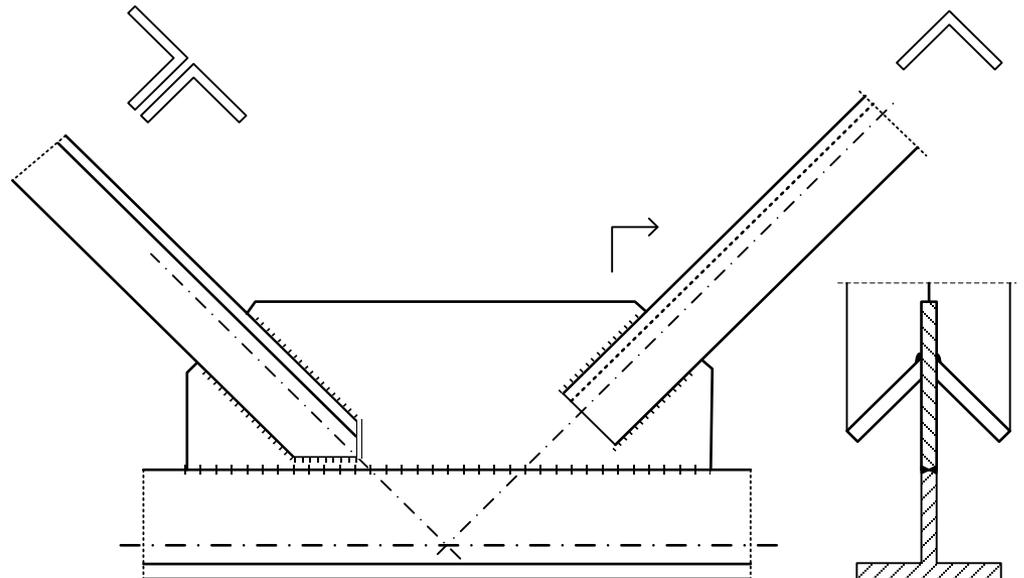
Nudo con cartela.
Cordón H



Detalles de nudos – Cartelas (2)



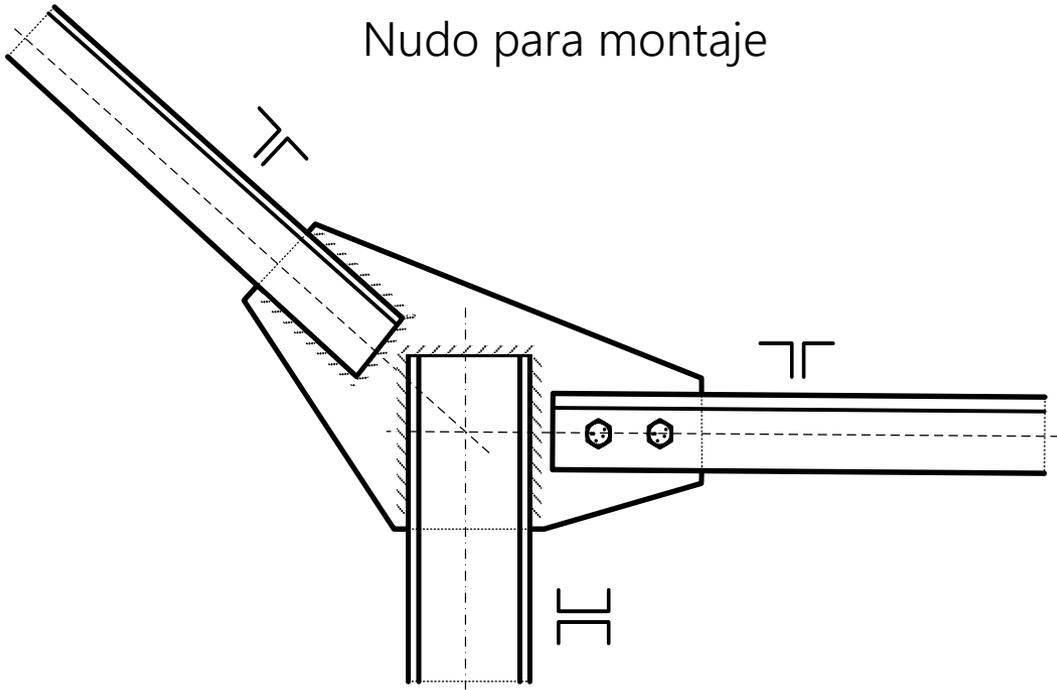
Nudo con cartela
Cordón en T



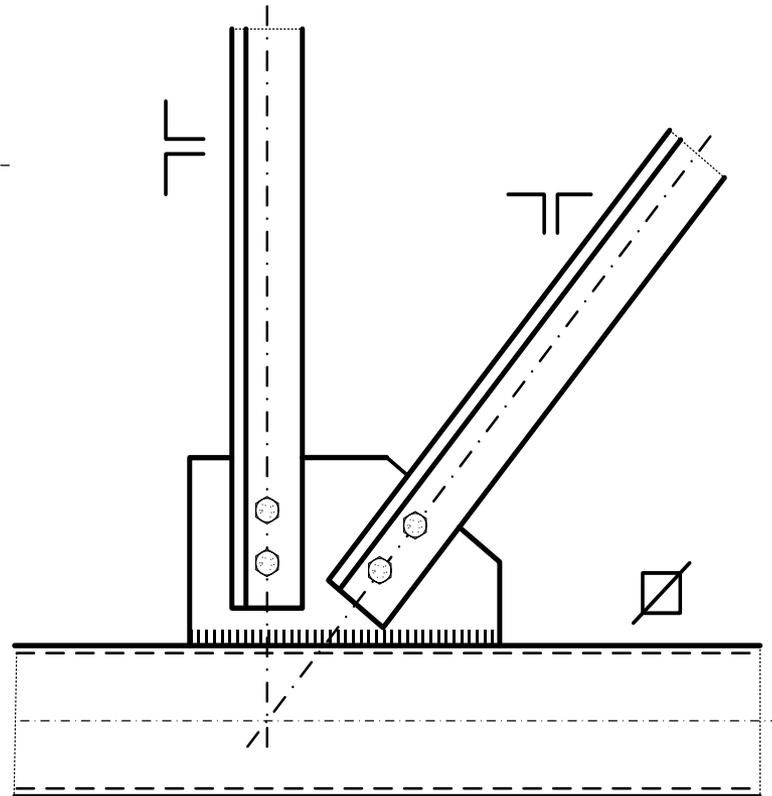
Nudo con cartela.
Cordón en T
L en V invertida

Detalles de nudos

Nudo para montaje



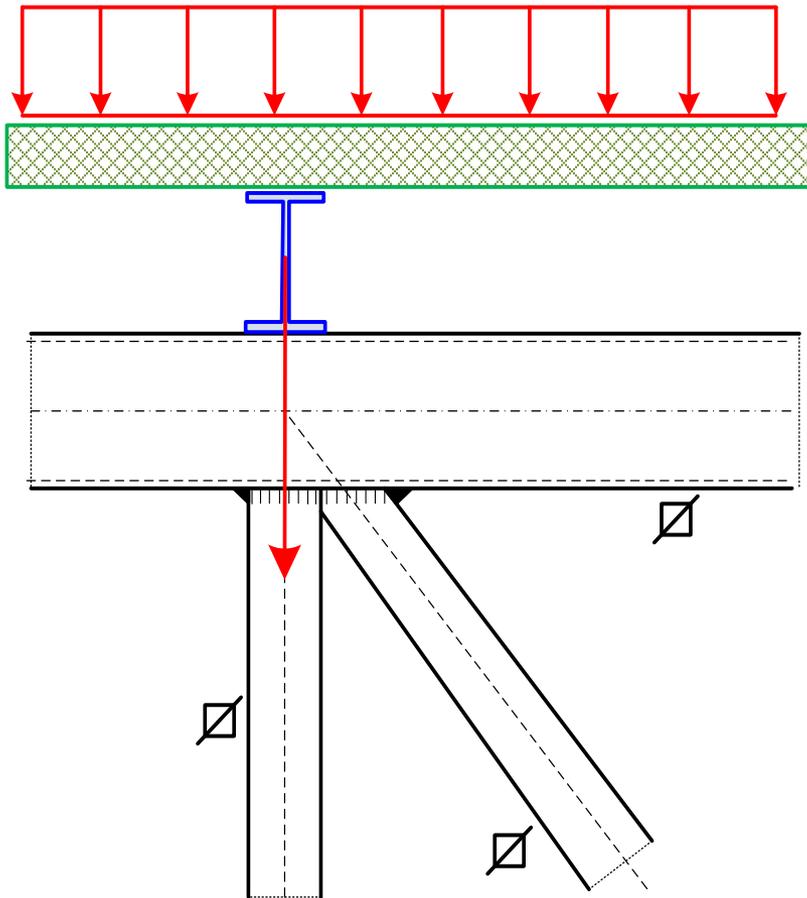
Nudo con cordón de tubo y 2L



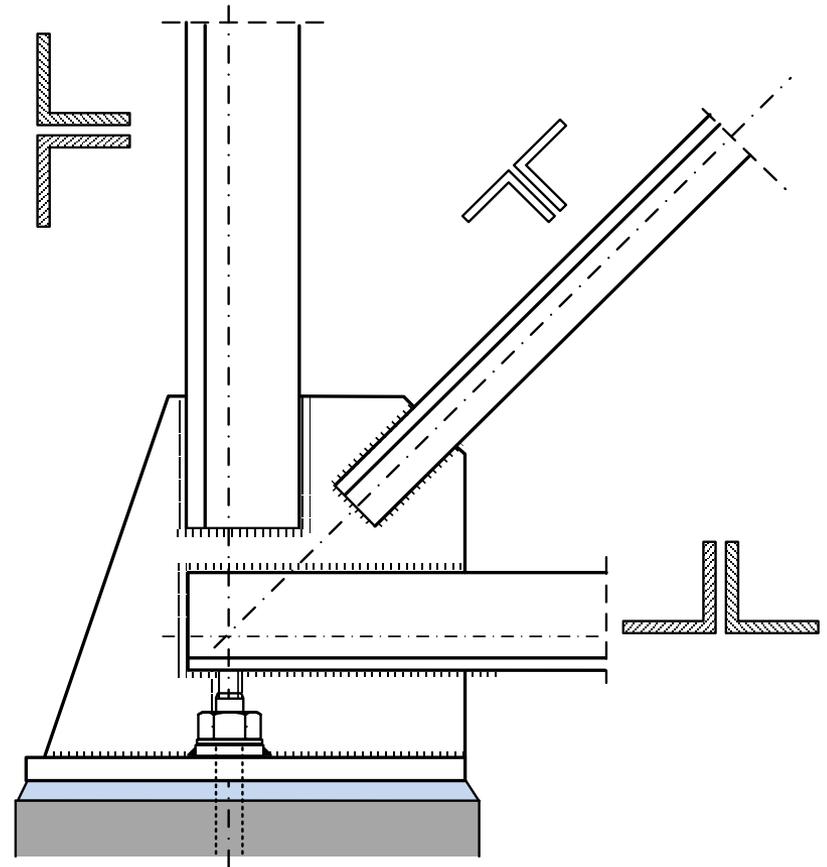
Detalles de nudos

Celosía de tubo.

Nudo de apoyo de viga correa

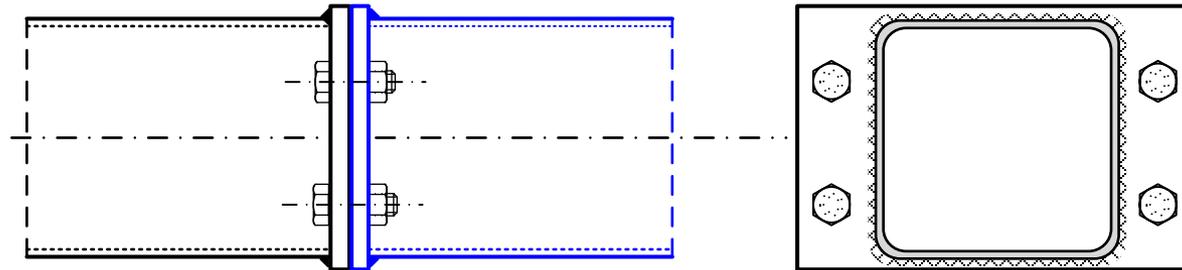


Apoyo

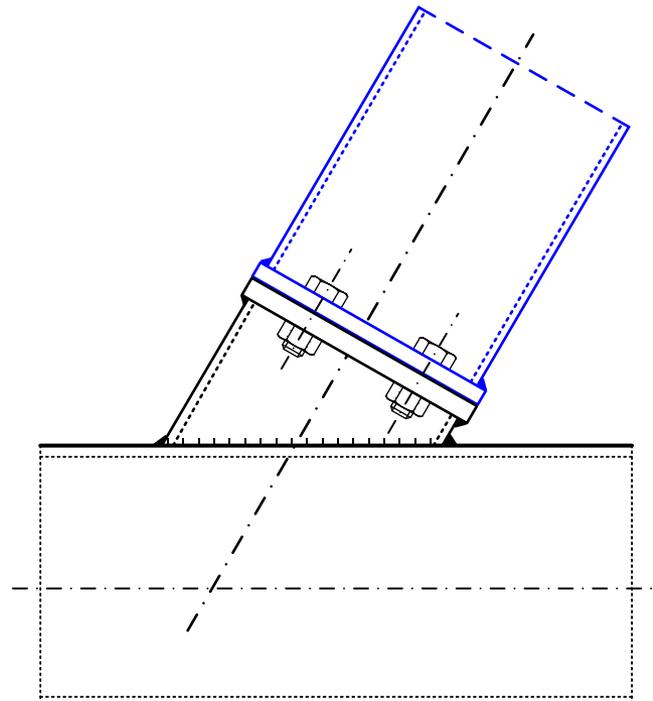


Uniones atornilladas entre tubos

Unión de prolongación entre tubos, no en nudo



Unión de un tubo en un nudo



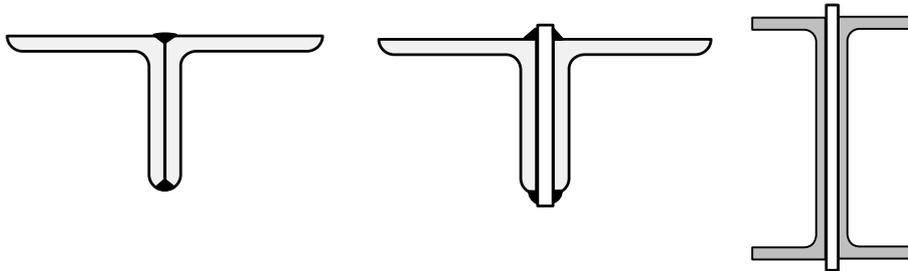
Barra compuesta a compresión

Solución muy habitual con 2 perfiles L, U

Perfiles en contacto, o próximos unidos mediante forros discontinuos (soldadura o tornillos). Comprobar como un elemento individual si:

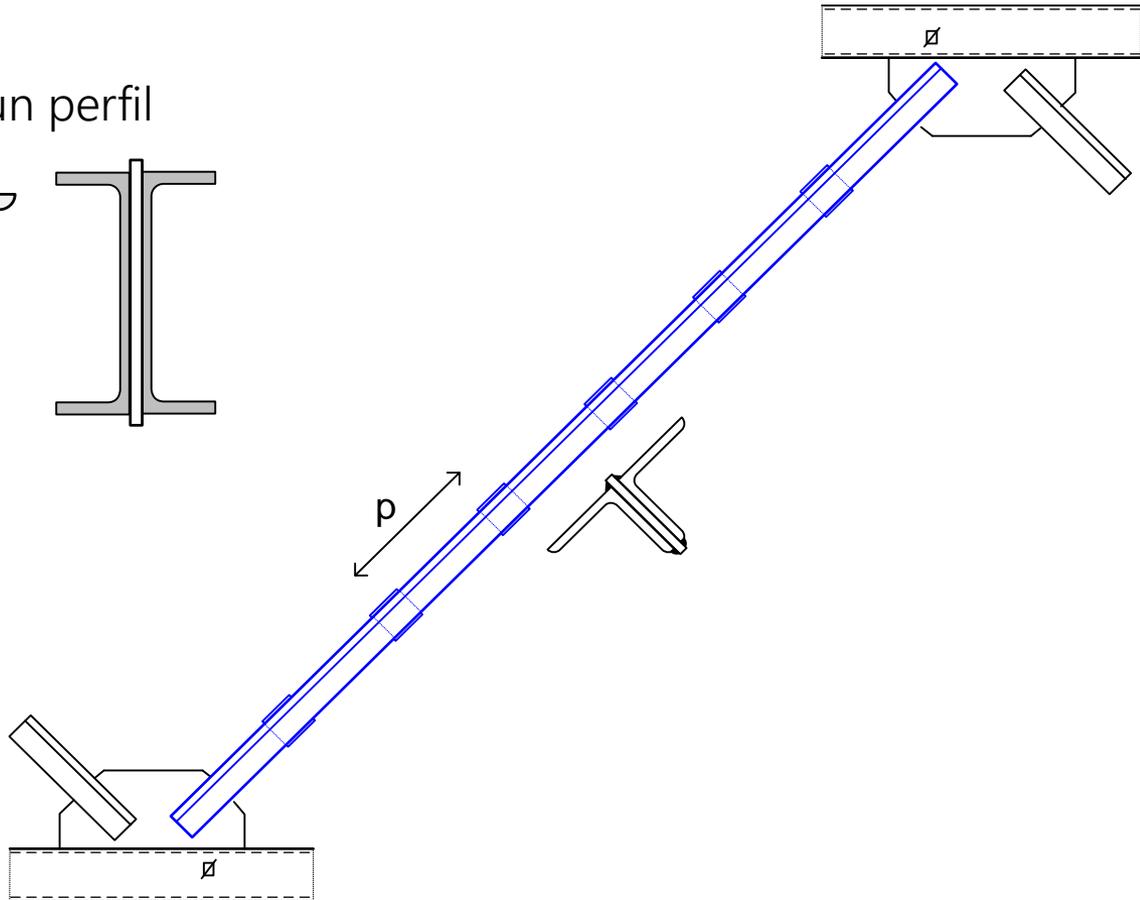
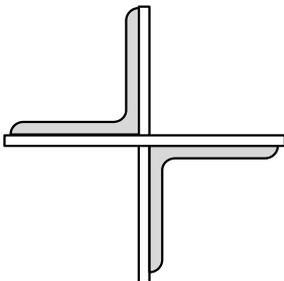
$$p < 15 i_{min}$$

i_{min} : radio de giro mínimo de un perfil



Perfiles en X unidos por dos presillas intermedias a 90°

$$p < 70 i_{min}$$



Cálculo de esfuerzos en celosías (1)

Clasificar. Hallar b , n , r , v , n_s

1. Isostática ($b + r = 2n$): equilibrio de los n nudos

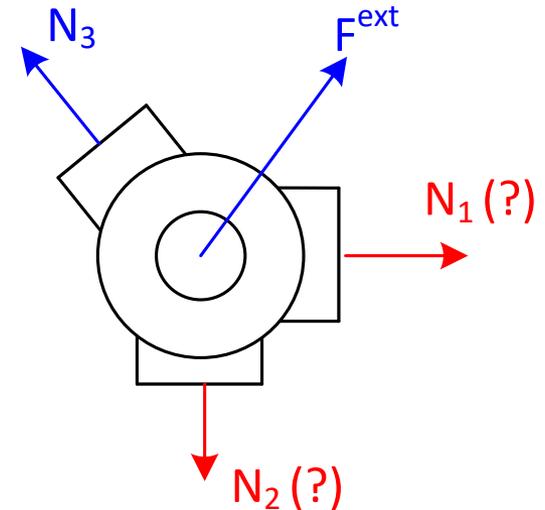
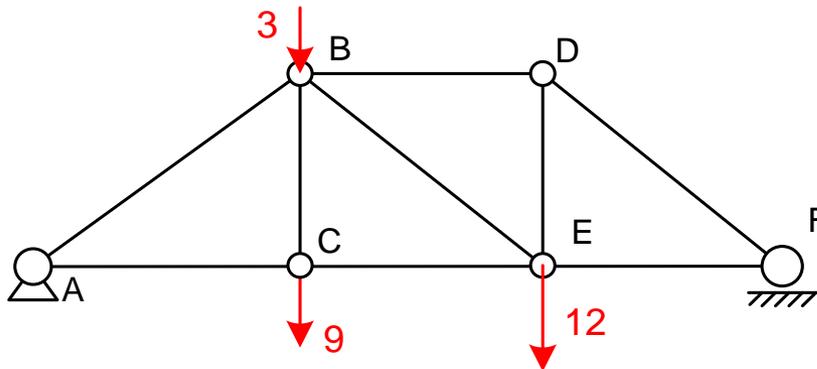
Siempre se pueden aplicar de forma **conjunta** las $2n$ ecuaciones

1.1 Celosía simple:

Planteamiento **individual** del equilibrio de los n nudos uno tras otro: 2 ecuaciones en cada nudo ($\sum F_X$ $\sum F_Y$).

Buscar nudos con sólo 2 esfuerzos desconocidos

Ver ejemplo: *Celosía simple de 3 vanos*



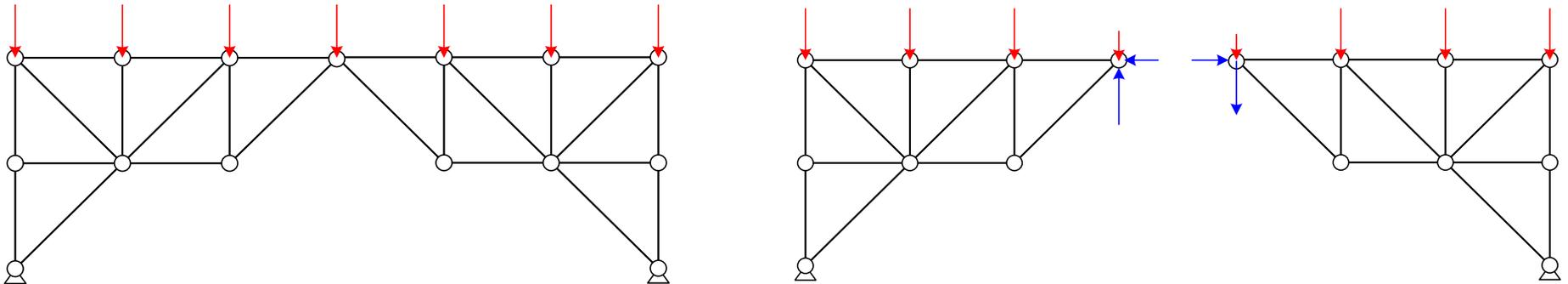
Cálculo de esfuerzos en celosías (2)

1.2 Celosía compuesta: $3 n_s = r + v$

Aislar las n_s celosías simples \rightarrow $3 n_s$ ecuaciones de equilibrio: calcular los v vínculos y las r reacciones

Para cada celosía simple: aplicar equilibrio de los nudos

Ver ejemplos: *Celosía compuesta 3*, *Celosía compuesta para puente*



1.3 Celosía compleja: Método de la barra sustituida

2. Hiperestática: método de flexibilidad o de rigidez.

Métodos de cálculo de esfuerzos en celosías

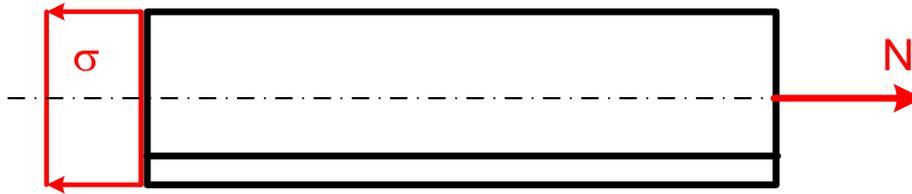
Tipo	Método de cálculo					
	Basados sólo en las ecuaciones de la estática				Flexibilidad	Rigidez
	Equilibrio de los nudos Planteamiento individual n veces x 2 ecs.	Equilibrio de los nudos Planteamiento conjunto (2n) ecs.	Secciones: Aislar trozos de la celosía	Barra sustituida		
Isostática simple	Siempre	Siempre	Puede ayudar a veces	No	No aplicable	Siempre
Isostática compuesta	No (excepto en algún caso particular)	Siempre	Siempre. Aislar las celosías simples	No	No aplicable	Siempre
Isostática compleja	No	Siempre	No	Siempre	No aplicable	Siempre
Hiperestática	No	No	No	No	Siempre	Siempre

Dependencia de las magnitudes en celosías

Tipo	Esfuerzo axial (N) depende de:	Tensión (σ) depende de:	Deformación (Δ) depende de
ISOS	<ul style="list-style-type: none"> Fuerzas exteriores Ángulos entre las barras NO influyen: <ul style="list-style-type: none"> Longitud de las barras Material Área de las barras Temperatura Deformaciones de los apoyos 	<ul style="list-style-type: none"> Esfuerzo axial (N) Área de la barra (A) NO influyen: <ul style="list-style-type: none"> Longitud de las barras Material (E) Temperatura Deformaciones de apoyos 	<ul style="list-style-type: none"> Esfuerzos en las barras (N) Flexibilidad de las barra $\rho = \frac{L}{EA}$
HIPER	<ul style="list-style-type: none"> Fuerzas exteriores Ángulos entre las barras Rigidez axial relativa: $\frac{\rho_i}{\rho_j} = \frac{(EA)_j L_i}{(EA)_i L_j}$ <ul style="list-style-type: none"> Temperaturas $E A \alpha T$ <ul style="list-style-type: none"> Deformaciones de los apoyos Δ_a $E A \frac{\Delta_a}{L}$	<ul style="list-style-type: none"> Esfuerzo axial (N) Área de la barra (A) 	<ul style="list-style-type: none"> Temperaturas: $\alpha T L$ Deformaciones de los apoyos Δ_a

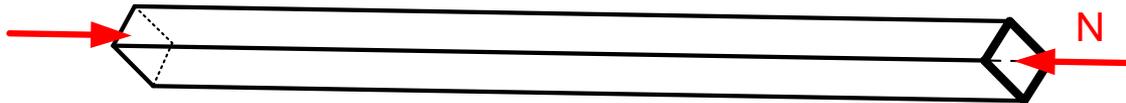
Comprobación de estados límite de barras de celosías en acero

Resistencia de las secciones a esfuerzo axial de tracción



EN 1993-1-1 §6.2.3
EAE 34.2

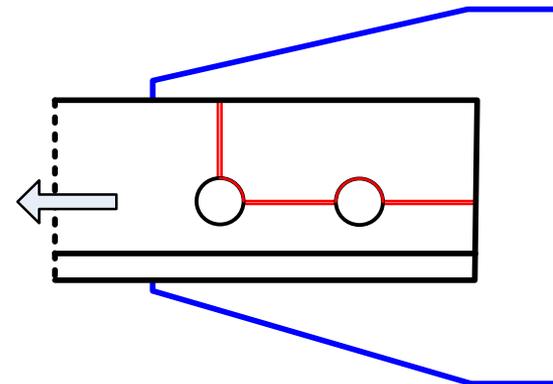
Estabilidad de la pieza en su conjunto (pandeo)



EN 1993-1-1 §6.3
EAE 35.1

Rotura de las zonas de las barras taladradas, en uniones

EN 1993-1-8 §3
EAE 58



Observación al modelo ideal de nudos articulados (1)

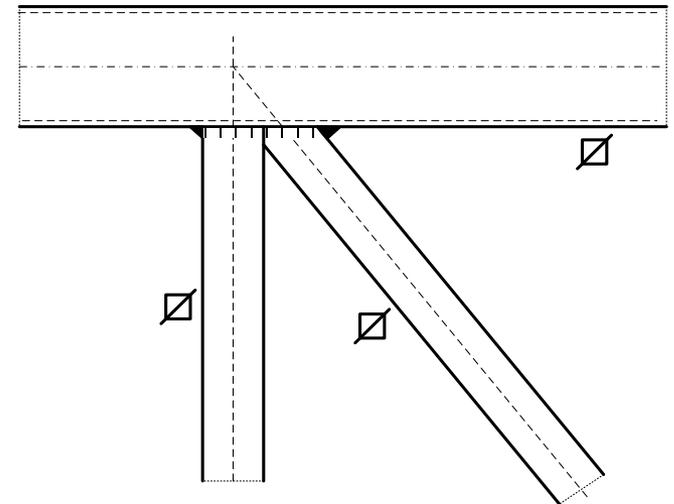
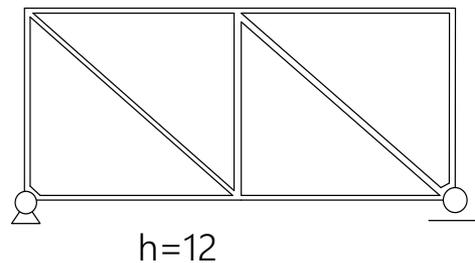
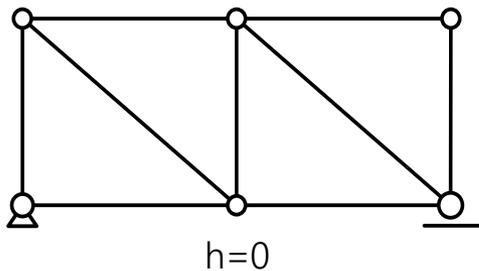
Modelo de nudos articulados: facilidad de cálculo (sólo incógnita N axial)

En realidad muchos nudos (casi siempre) se ejecutan soldados (economía), en particular en estructuras de tubos.

Hay posibilidad de transmitir un pequeño momento entre las barras (momento secundario), y éstas trabajan a tracción y algo de flexión.

Se pueden calcular los momentos secundarios que aparecen, empleando un modelo de nudos rígidos (transformar celosía → pórtico).

Muy complejo: mediante programas de computador



Observación al modelo ideal de nudos articulados (2)

A pesar de ello, **el modelo de nudos articulados es válido si:**

Las cargas están sólo en los nudos: no hay flexión local de las barras

Triangulación regular y ángulos entre barras $> 30^\circ$.

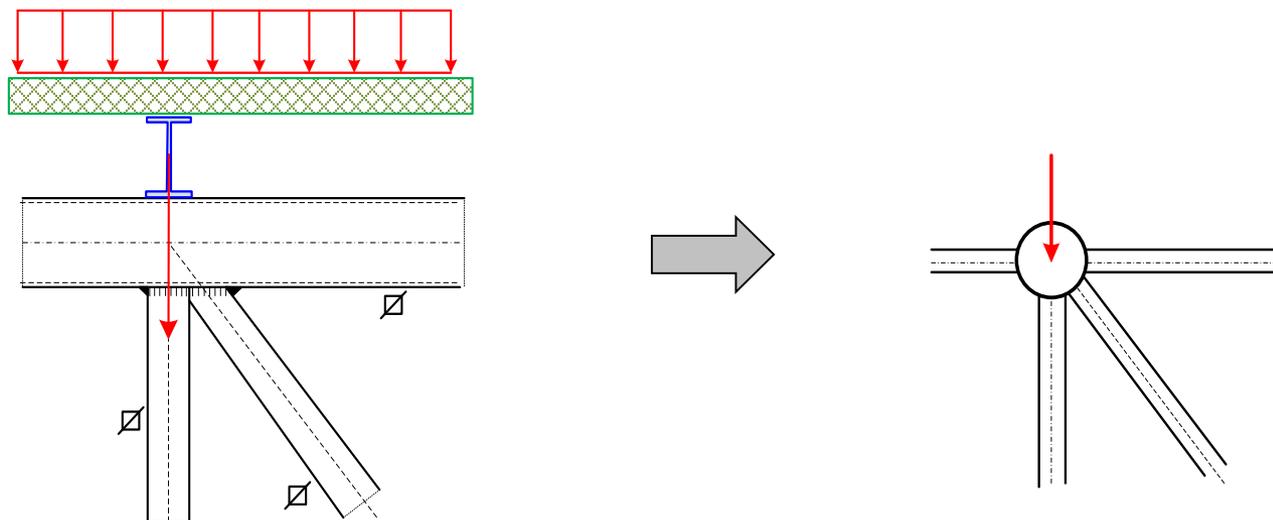
No hay excentricidad: los ejes de las barras se cortan en un punto (nudo)

Cargas \sim estáticas

La inercia a flexión de los perfiles es pequeña ($L \gg h$)

Estas condiciones se suelen cumplir en la práctica en muchos casos (cubiertas de edificios industriales...): los momentos secundarios son despreciables

Modelo de nudos articulados permitido por EN 1993-1-8 §5.1.5 y por EAE Art. 72



Cálculo de celosías con perfiles tubulares según EC3

EN 1993.1.8 (5.1.5) permite analizar celosías soldadas por perfiles huecos circulares (CHS) o rectangulares (RHS) con nudos excéntricos.

Momentos secundarios en las uniones debidos a la rigidez de la unión soldada: pueden despreciarse si:

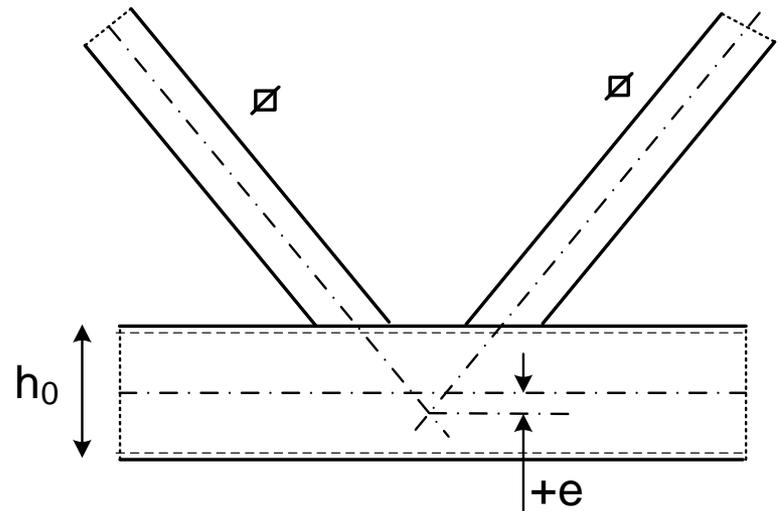
(1) Diseño de nudos según apartado 7, y tablas 7.1, 7.8, etc.

(2) Longitud > 6 canto

(3) Excentricidad pequeña:

$$-0.55 h_0 \leq e \leq 0.25 h_0$$

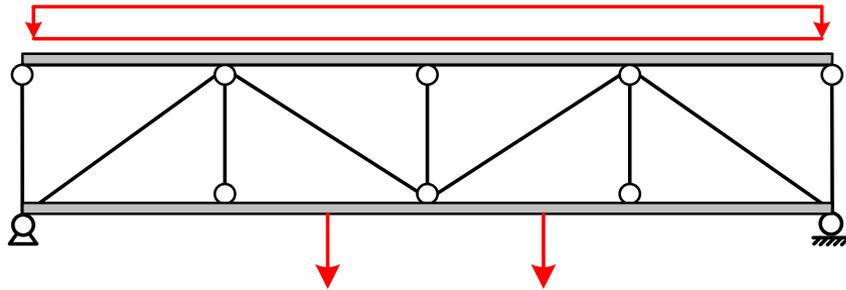
$$-0.55 d_0 \leq e \leq 0.25 d_0$$



Cálculo de celosías con perfiles tubulares según EC3

Momentos debidos a las fuerzas aplicadas entre de los nudos: deben tenerse en cuenta. Si se cumplen las condiciones (1) a (3) anteriores:

- Las diagonales pueden suponerse articuladas a los cordones
- Los cordones pueden suponerse vigas continuas apoyadas en los nudos

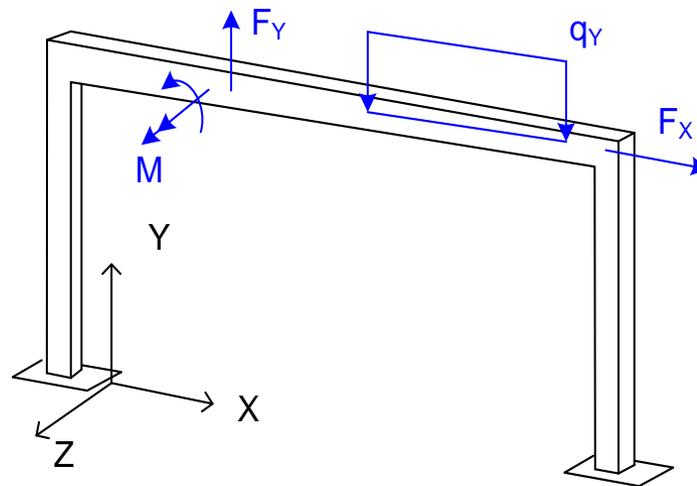


Momentos debidos a la excentricidad. Si ésta es pequeña:

- Pueden despreciarse en cordones a tracción y diagonales
- Deben considerarse en cordones a compresión: repartir los momentos a cada lado del cordón en proporción a I/L

Si la excentricidad es grande: deben considerarse los momentos. Repartirlos entre todas las piezas unidas según I/L

Pórticos planos



Pórtico plano. Definición

Modelo idealizado de una estructura reticular, formada por barras rectas de canto despreciable frente a su longitud.

Eje centroidal de todas las barras contenido en el plano XY

Eje principal de inercia de la sección contenido en el plano XY

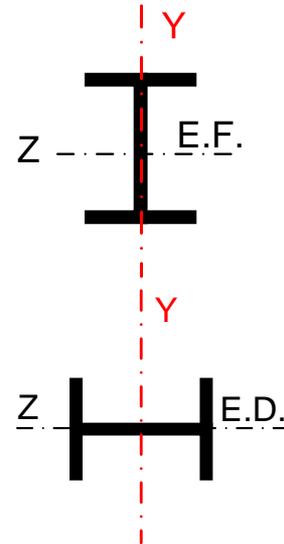
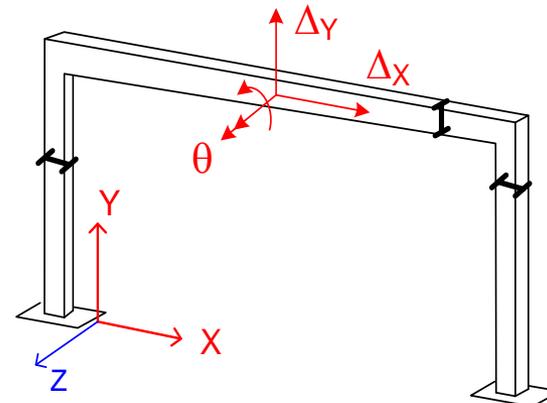
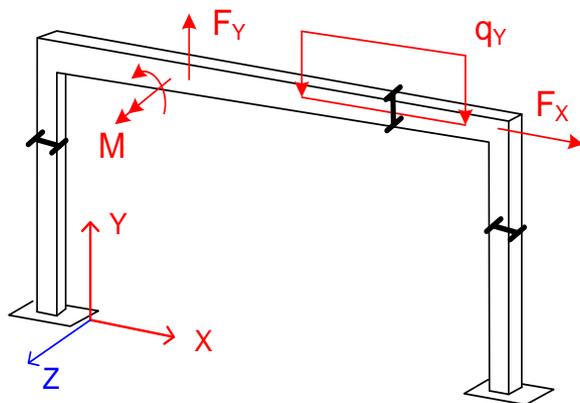
Barras unidas, en general, rígidamente en ambos extremos.

Se transmiten 2 fuerzas (N, V) y 1 momento (M_z) entre el nudo y la barra

Puede haber articulaciones: se transmiten 2 fuerzas.

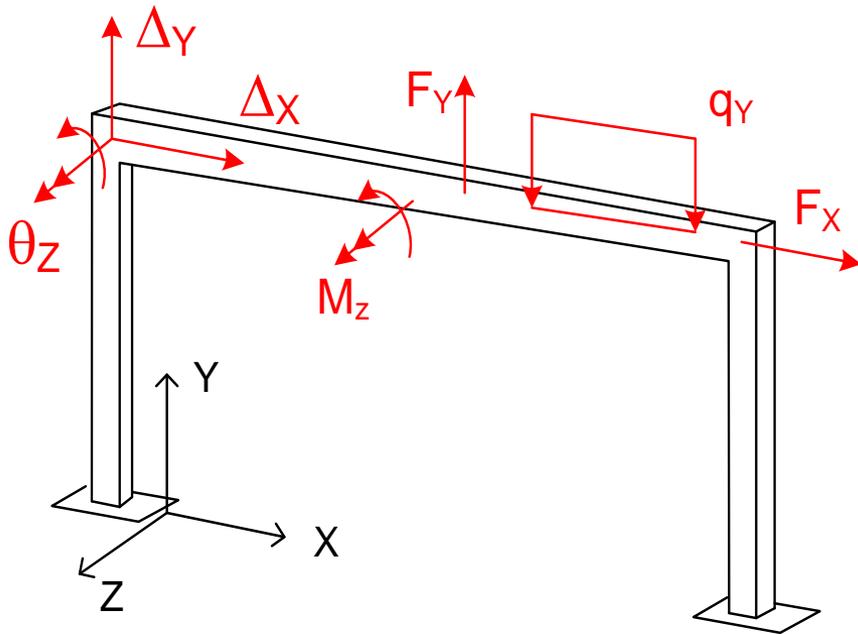
Cargas exteriores F_x, F_y, M_z

Deformaciones: 2 desplazamientos Δ_x, Δ_y y 1 giro θ_z



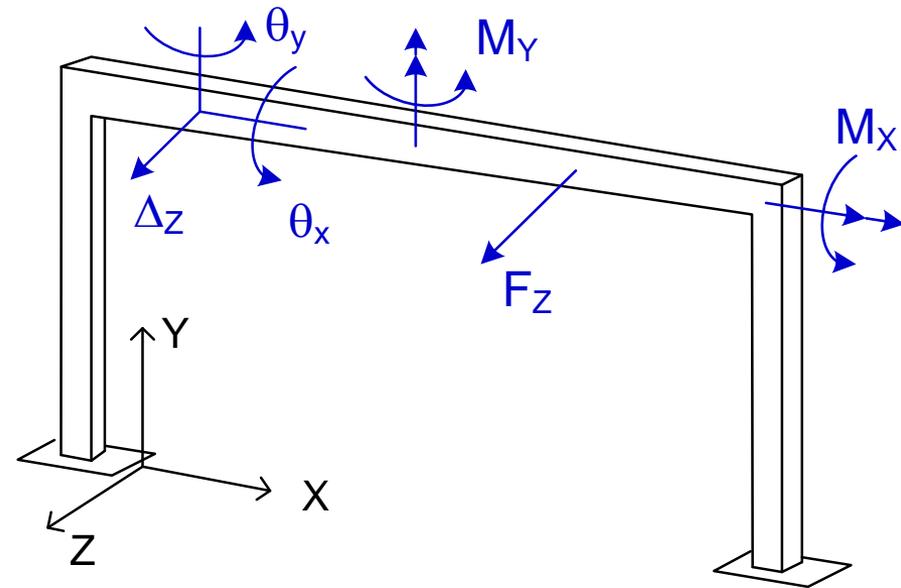
Pórtico plano con cargas no planas

Si hay fuerzas distintas a F_x, F_y, M_z : el pórtico es espacial aunque su geometría sea plana → aparecen 6 deformaciones en el espacio



Plano

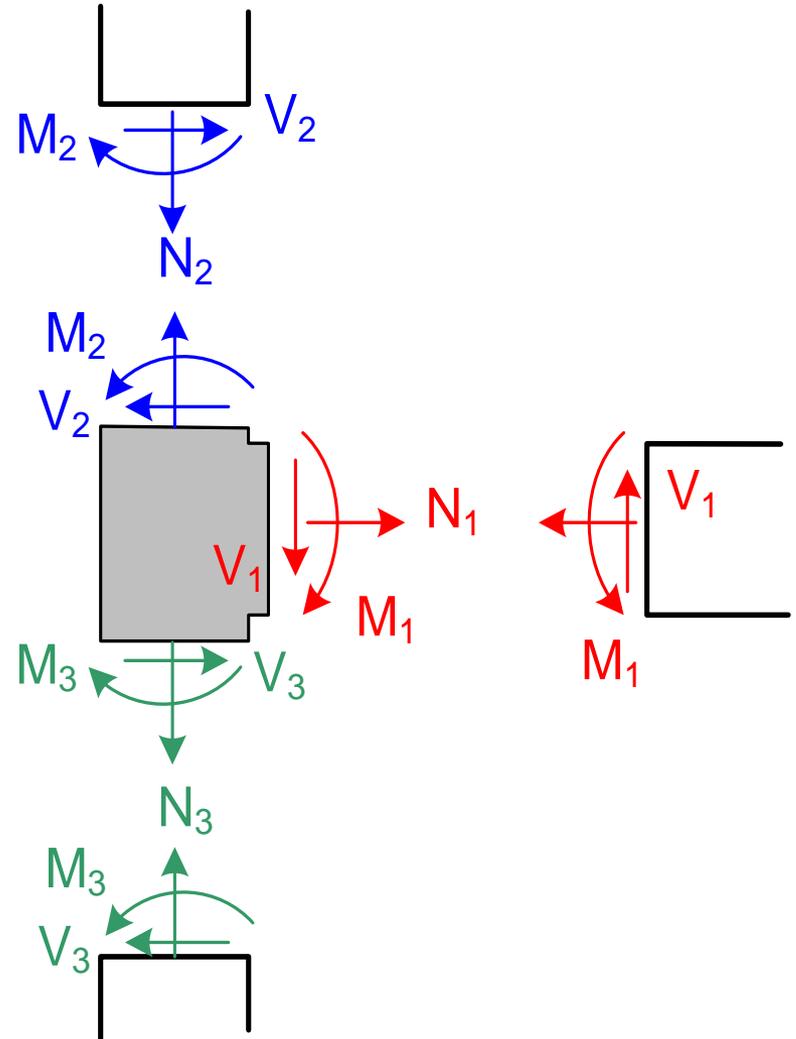
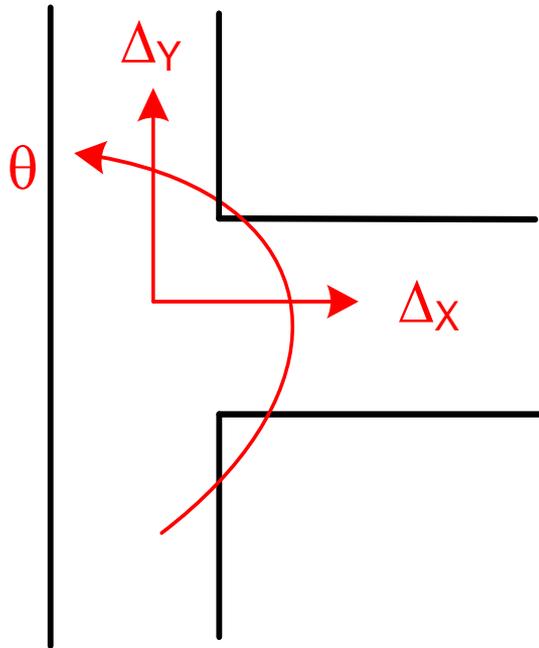
(3 deformaciones)



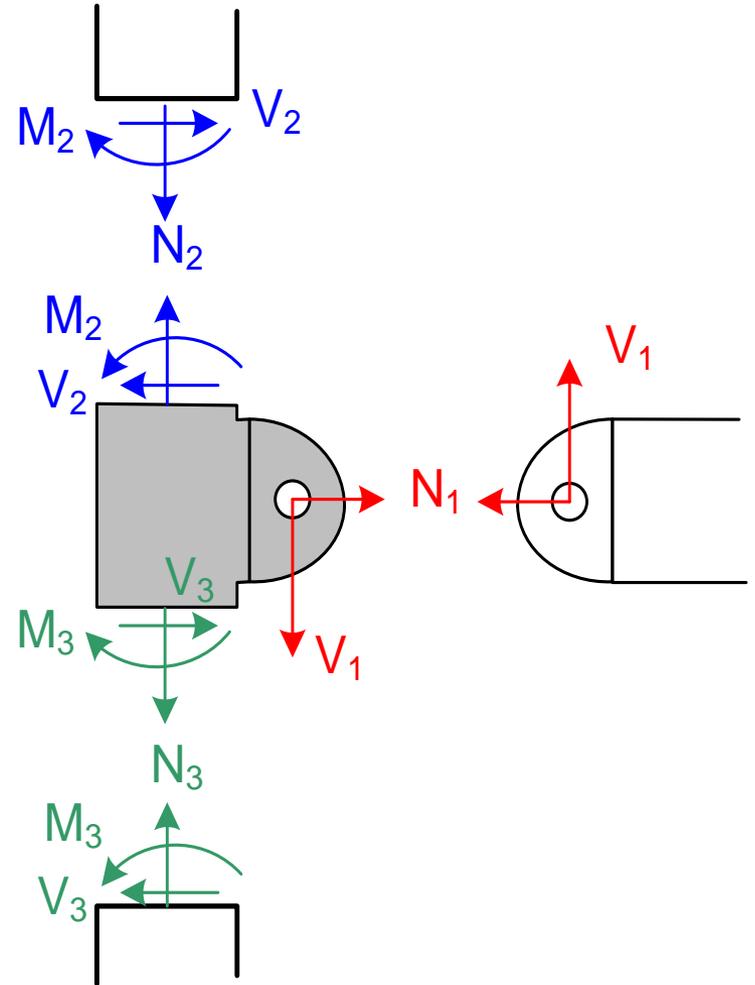
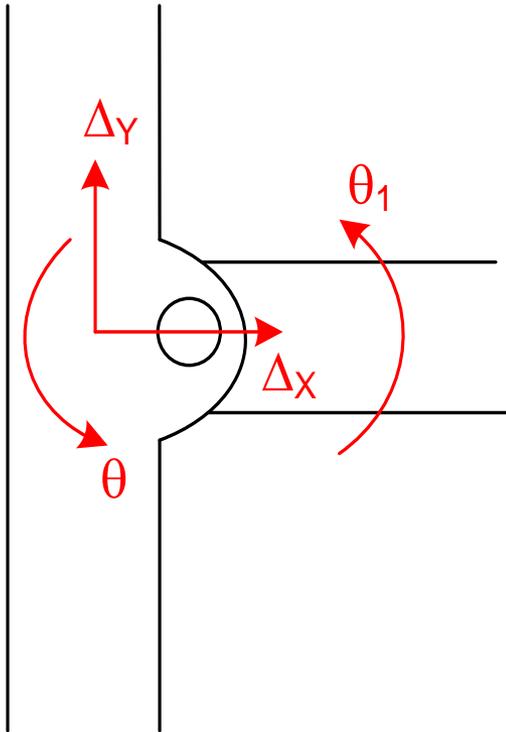
Espacial

(6 deformaciones)

Unión rígida viga – poste



Unión articulada viga – poste



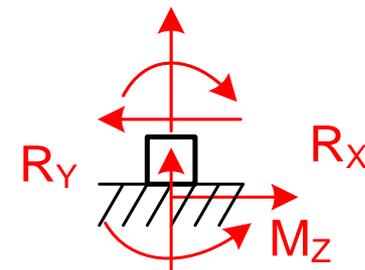
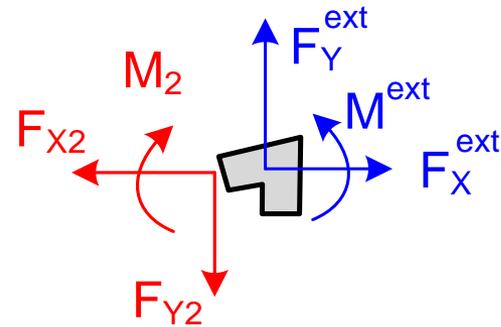
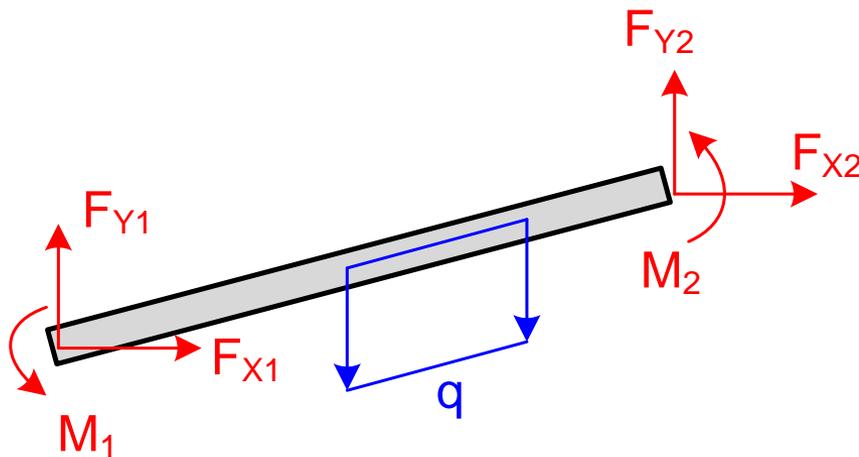
Fuerzas y ecuaciones de la estática en un pórtico plano

Fuerzas incógnita en toda la estructura: $6b + r$

- 6 en cada barra: (2 fuerzas + 1 momento) x 2 extremos
- 'r' reacciones en los apoyos

Ecuaciones de la estática en toda la estructura: $3b + 3n$

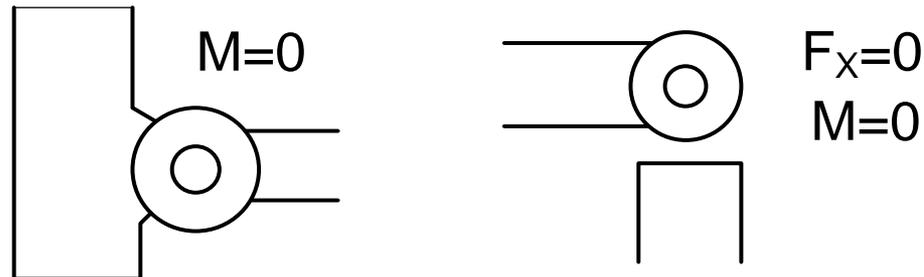
- 3 en cada barra: 2 de Σ fuerzas + 1 de Σ momentos
- 3 en cada nudo: 2 de Σ fuerzas + 1 de Σ momentos



Condiciones de esfuerzo interior nulo

Unión incompleta entre una barra y el nudo (transmite menos de 3 fuerzas)

Introduce ecuaciones del tipo $\text{esfuerzo}=0$



Juegan un papel fundamental en el equilibrio y en la naturaleza isostática o hiperestática del pórtico.

Por cada condición de esfuerzo nulo, hay un esfuerzo menos en la unión.

En cada unión entre barra y nudo se cumple siempre que:

$$(\text{N}^\circ \text{ de esfuerzos nulos}) + (\text{N}^\circ \text{ de esfuerzos no nulos}) = 3$$

Se considera que en la estructura hay 'c' ecuaciones de este tipo.

Condiciones de estabilidad de un pórtico plano

Incógnitas: 6 esfuerzos en cada barra + (r) reacciones

Ecuaciones: 3 en cada barra + 3 en cada nudo (3 fuerzas y 3 momentos)
+ (c) condiciones de esfuerzo nulo

Incógnitas = $6b + r$ Ecuaciones de la estática: $3n + 3b + c$

A	$6b + r < 3n + 3b + c$	→	Inestable
---	------------------------	---	-----------

B	$6b + r = 3n + 3b + c$
---	------------------------

→ Inestable, isostático o hiperestático

C	$6b + r > 3n + 3b + c$
---	------------------------

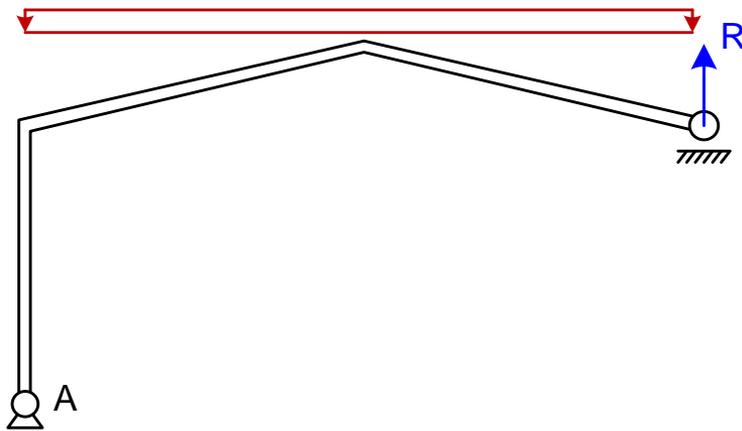
Además de cumplirse B o C, la disposición de las barras debe evitar toda inestabilidad local.

Es posible cumplir B, y ser a la vez inestable e hiperestático

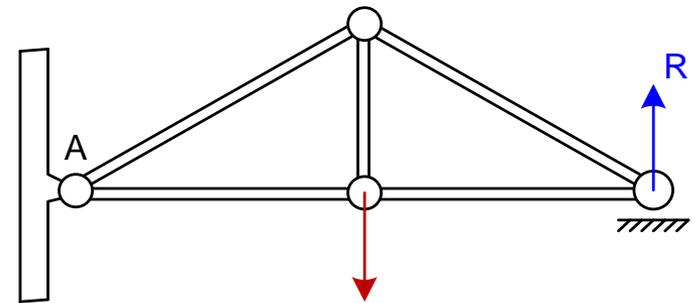
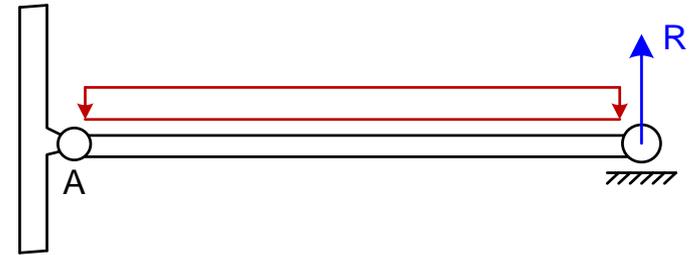
Habitualmente son hiperestáticos con h muy alto

Pórticos isostáticos sencillos (1)

Conjunto articulado-deslizante



La reacción R no puede pasar por A



Ecuación de momentos en A permite hallar R directamente
Equilibrio de fuerzas del conjunto permite hallar las 2 reacciones en A

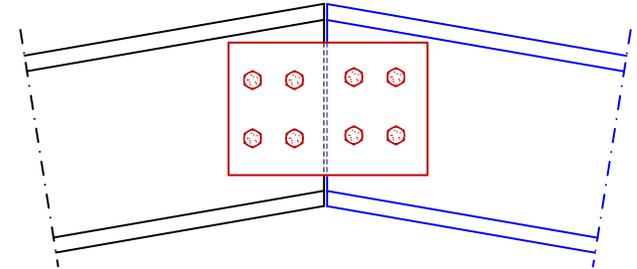
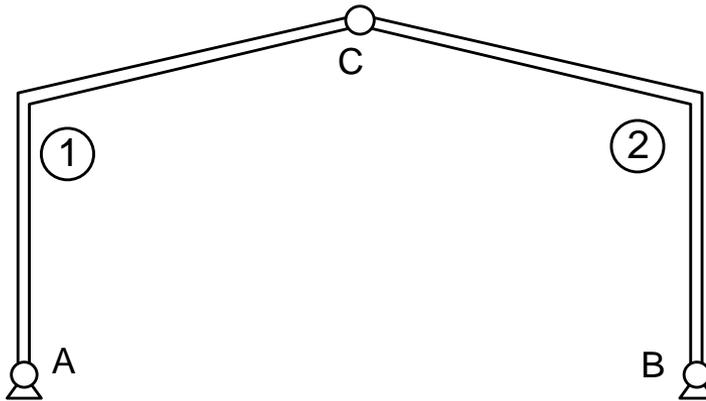
$$\Sigma M_A = 0 \rightarrow R$$

$$\Sigma F_X = 0 \rightarrow A_X$$

$$\Sigma F_Y = 0 \rightarrow A_Y$$

Pórticos isostáticos sencillos (2)

Dos sólidos unidos mediante 3 articulaciones (no alineadas)

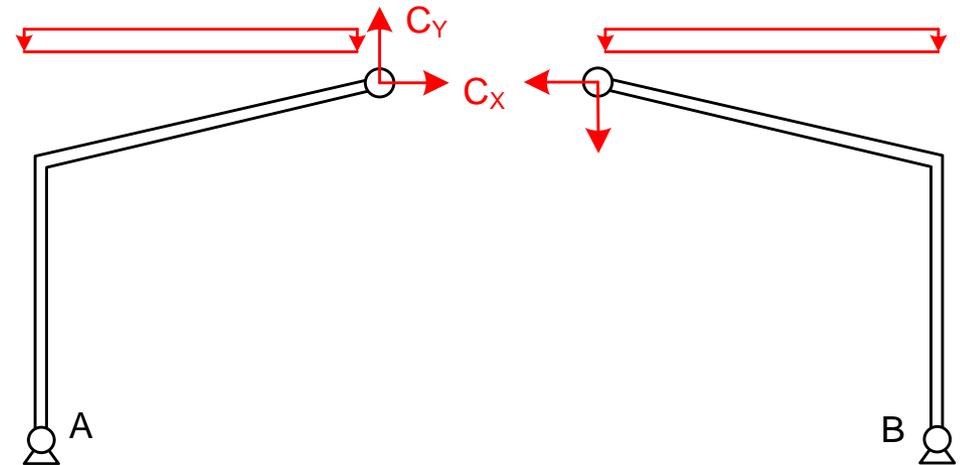


1. Aislar los sólidos

$$\begin{aligned} \Sigma M_A^1 &= 0 \\ \Sigma M_B^2 &= 0 \end{aligned} \rightarrow C_X, C_Y$$

2. Del sólido 1 hallar A_x, A_y

3. Del sólido 2 hallar B_x, B_y

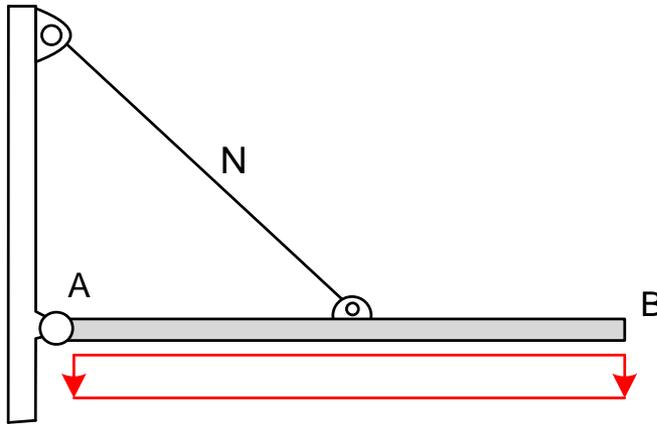


El método es válido para cualquier forma de los dos sólidos

Pórticos isostáticos sencillos (3)

Casos sencillos de dos sólidos unidos mediante 3 articulaciones

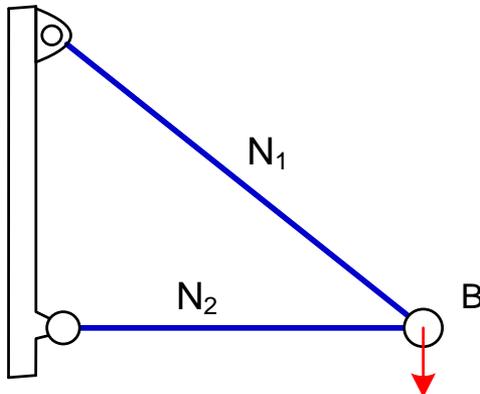
- Uno de los sólidos es una barra biarticulada sin cargas exteriores



Aislar AB para hallar N

$$\sum M_A^{AB} = 0 \rightarrow N$$

- Los dos sólidos son barras biarticuladas sin cargas exteriores



Los dos sólidos forman una celosía

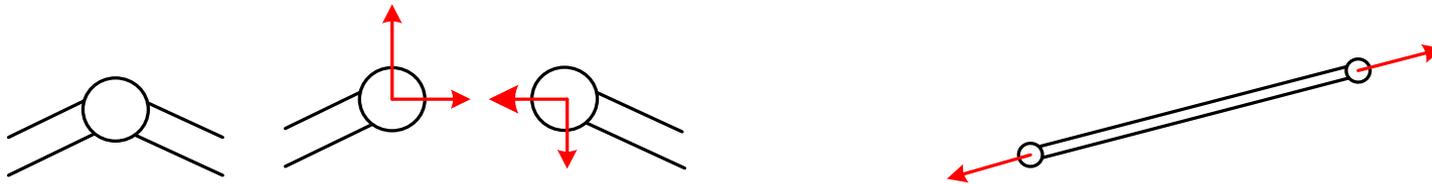
$$\begin{aligned} \sum F_X^B &= 0 \\ \sum F_Y^B &= 0 \end{aligned} \rightarrow N_1, N_2$$

Pórticos formados por la unión de conjuntos isostáticos (1)

Pórtico compuesto por la **unión de varios conjuntos** de los tipos anteriores, unidos mediante "vínculos"

Vínculos:

- Articulación: 2 vínculos (fuerzas de conexión en la articulación)
- Barra biarticulada: 1 vínculo (esfuerzo axial)



Número de: conjuntos (s), vínculos (v), reacciones (r)

Aislando los distintos conjuntos:

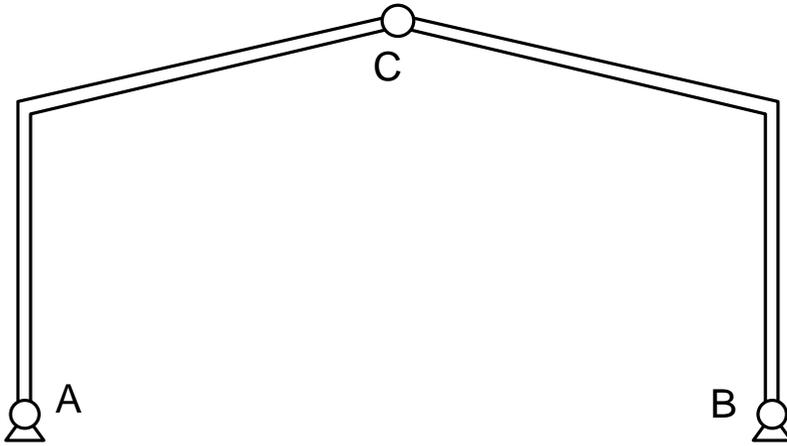
Ecuaciones de la estática: $3s$

Incógnitas: $r+v$

Condición para ser isostáticos en su conjunto $r + v = 3s$

Necesaria pero no suficiente: los vínculos y las reacciones deben ser independientes

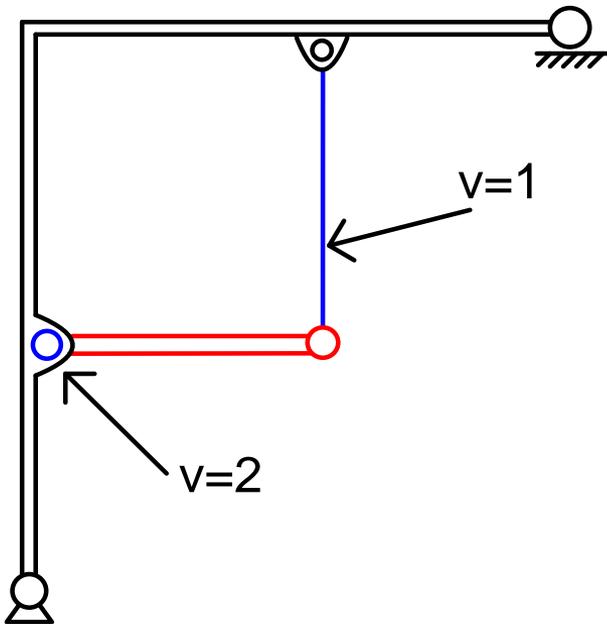
Pórticos formados por la unión de conjuntos isostáticos (2)



Dos sólidos tri-articulados

$$s=2 \text{ (6 ecs.)} \quad r=4 \quad v=2 \text{ (6 incs.)}$$

$$b=4 \quad n=5 \quad r=4 \quad c=1 \quad 28 \text{ ecs.} \quad 28 \text{ incs.}$$



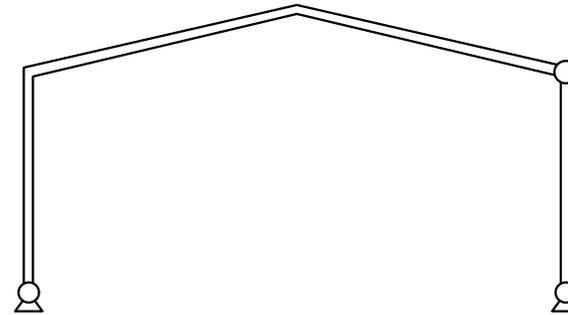
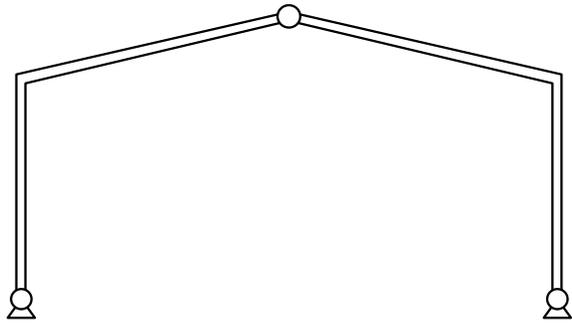
Dos sólidos con 3 vínculos

$$s=2 \text{ (6 ecs.)} \quad r=3 \quad v=2+1 \text{ (6 incs)}$$

$$b=6 \quad n=6 \quad r=3 \quad c=3 \quad 39 \text{ ecs.} \quad 39 \text{ incs.}$$

Naves simples isostáticas (1)

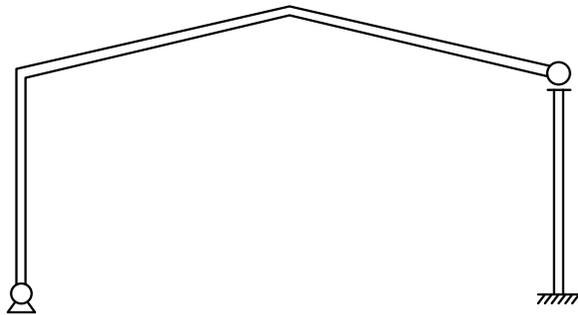
Nave triarticulada



$$b=4 \quad n=5 \quad r=4 \quad c=1$$

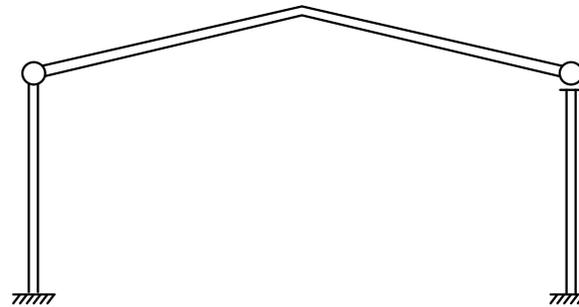
$$s=2 \quad r=4 \quad v=2$$

Nave articulada - deslizante en cabeza de pilar



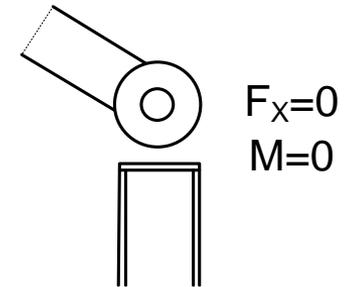
$$b=4 \quad n=5 \quad r=5 \quad c=1+1$$

$$s=2 \quad r=5 \quad v=1$$



$$b=4 \quad n=5 \quad r=6 \quad c=1+1+1$$

$$s=3 \quad r=6 \quad v=2+1$$

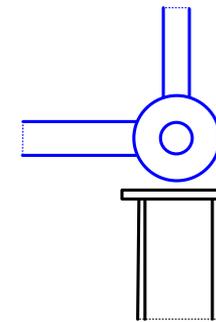
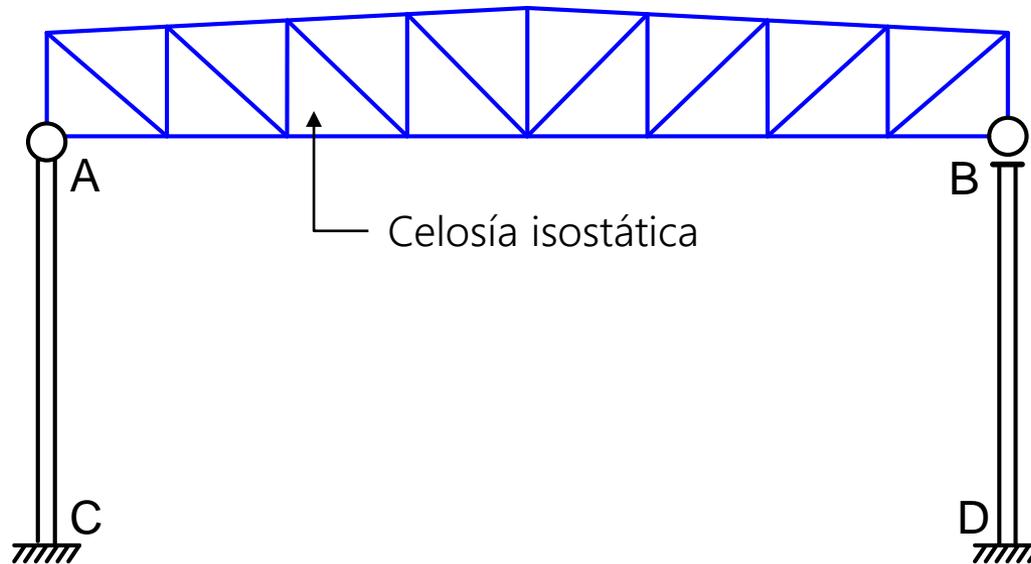


$$F_x=0$$

$$M=0$$

Naves simples isostáticas (2)

Nave con cubierta de celosía isostática. apoyada isostáticamente en los postes



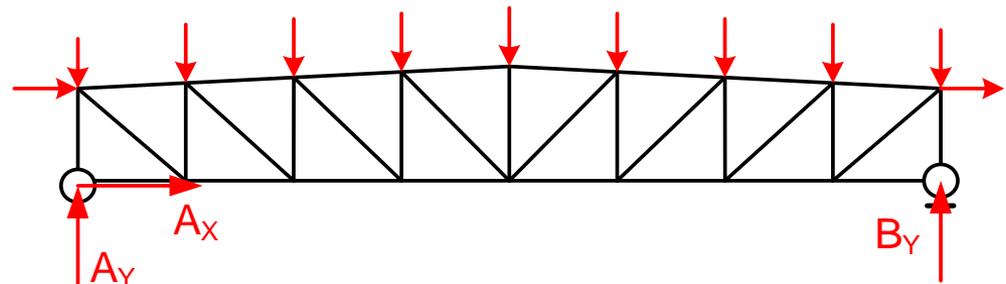
$s=3$ $r=6$ $v=2(A)+1(B)$
La celosía cuenta como un sólido

Aislando la celosía:

$$\Sigma M_A = 0 \rightarrow B_Y$$

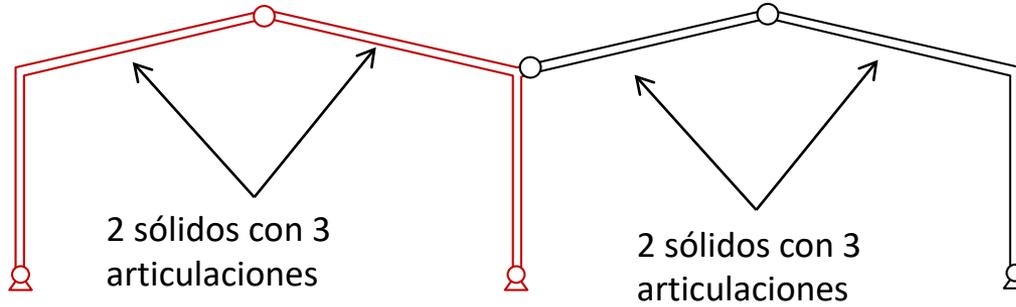
$$\Sigma F_Y = 0 \rightarrow A_Y$$

$$\Sigma F_X = 0 \rightarrow A_X$$



Naves dobles isostáticas (1)

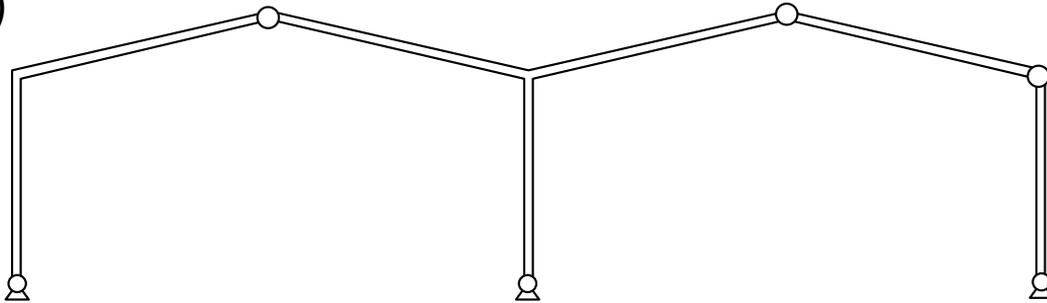
A)



$$b=7 \quad n=8 \quad r=6 \quad c=3 \quad \text{ecs.}=48$$

$$s=4 \quad r=6 \quad v=2+2+2$$

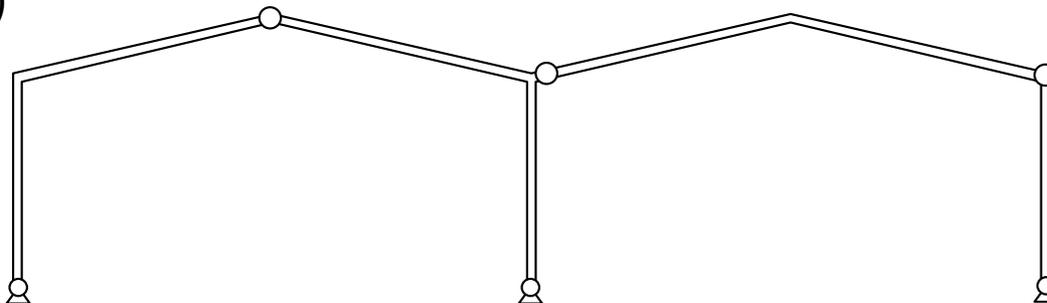
A.1)



$$b=7 \quad n=8 \quad r=6 \quad c=3 \quad \text{ecs.}=48$$

$$s=4 \quad r=6 \quad v=2+2+2$$

A.2)

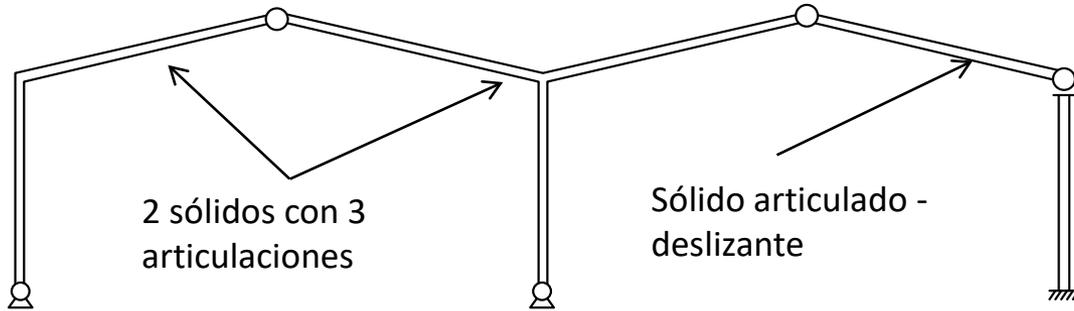


$$b=7 \quad n=8 \quad r=6 \quad c=3 \quad \text{ecs.}=48$$

$$s=4 \quad r=6 \quad v=2+2+2$$

Naves dobles isostáticas (2)

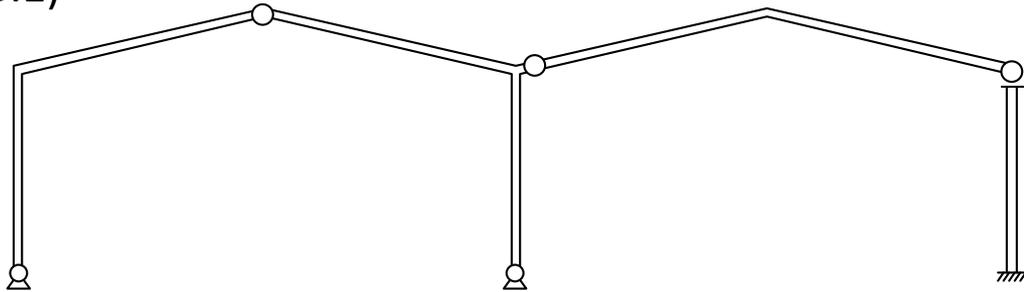
B)



$$b=7 \quad n=8 \quad r=7 \quad c=4 \quad \text{ecs.}=49$$

$$s=4 \quad r=7 \quad v=2+2+1$$

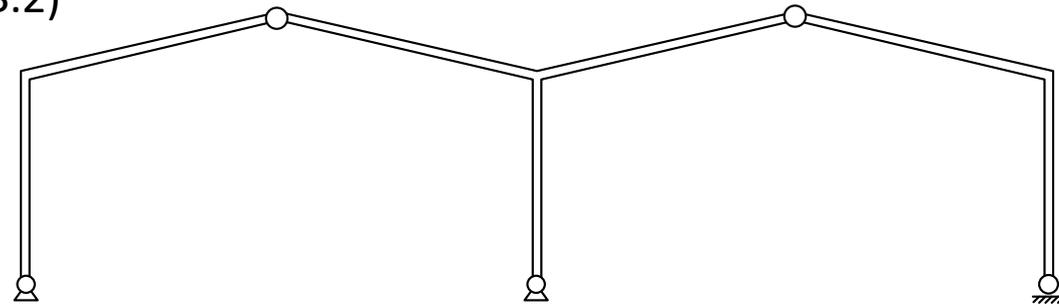
B.1)



$$b=7 \quad n=8 \quad r=7 \quad c=4 \quad \text{ecs.}=49$$

$$s=4 \quad r=7 \quad v=2+2+1$$

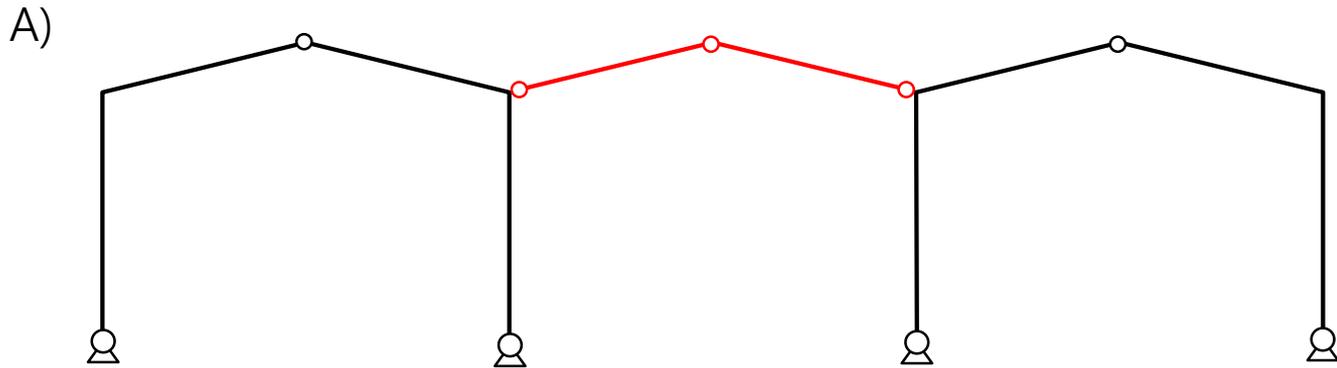
B.2)



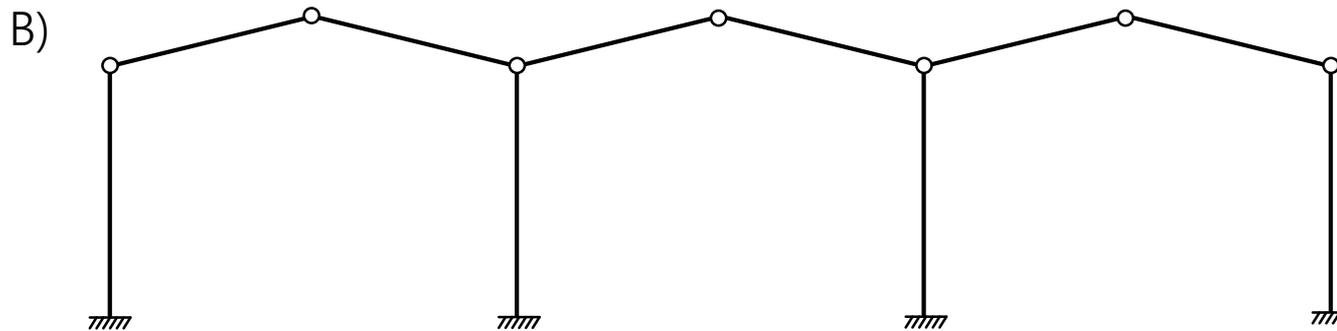
$$b=7 \quad n=8 \quad r=5 \quad c=2 \quad \text{ecs.}=47$$

$$s=3 \quad r=5 \quad v=2+2$$

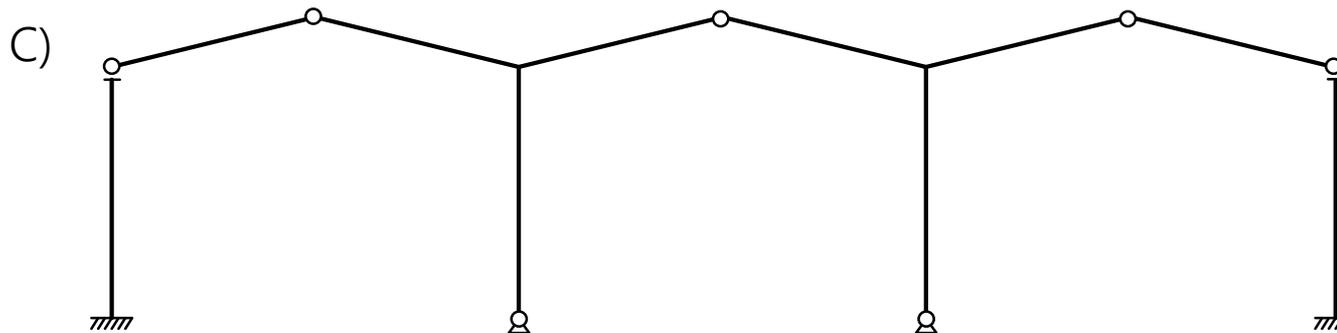
Naves triples isostáticas



$$s=6 \quad r=8 \quad v=5 \times 2$$



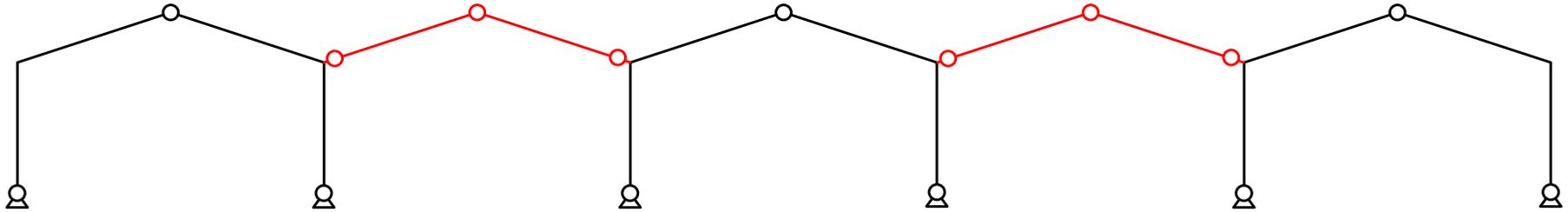
$$s=10 \quad r=12 \\ v=5 \times 2 + 2 \times 4 = 18$$



$$s=6 \quad r=10 \\ v=3 \times 2 + 2 \times 1 = 8$$

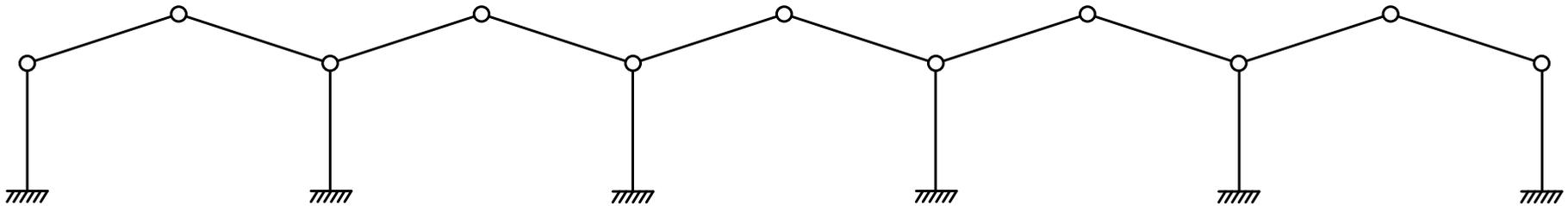
Naves múltiples isostáticas

A) Sucesión de naves y cubiertas triarticuladas



$$s=10 \quad r=12 \quad v=9 \times 2=18$$

B) Cubiertas triarticuladas sobre postes empotrados en la base

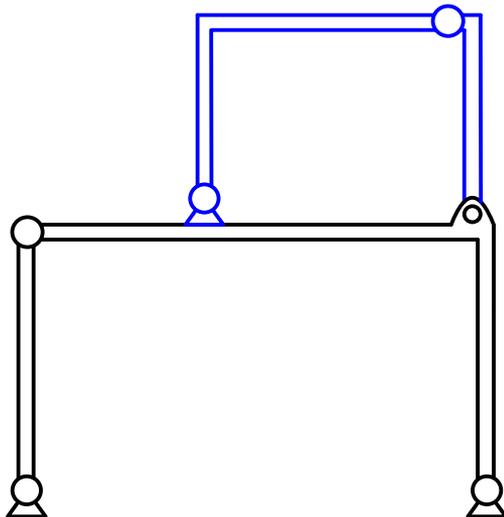


$$s=b=16 \quad r=6 \times 3=18 \quad v=7 \times 2+4 \times 4=30$$

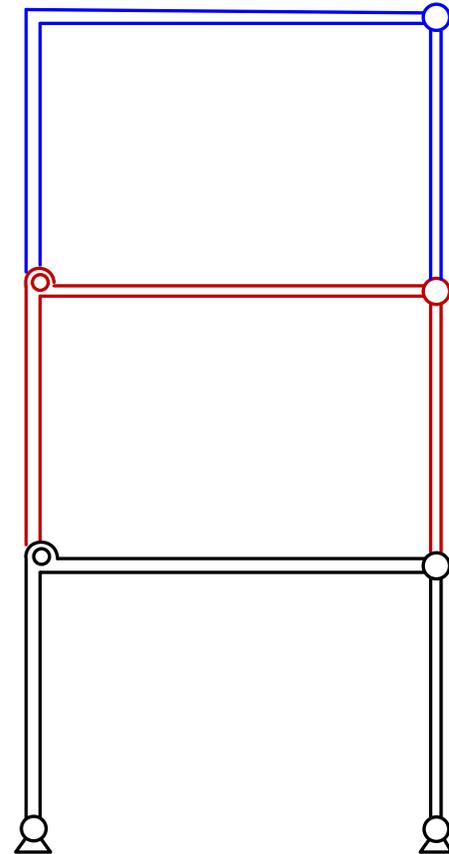
Pórticos ortogonales isostáticos tri-articulados



$$s=2 \quad r=4 \quad v=2$$



$$s=4 \quad r=4 \quad v=4 \times 2 = 8$$



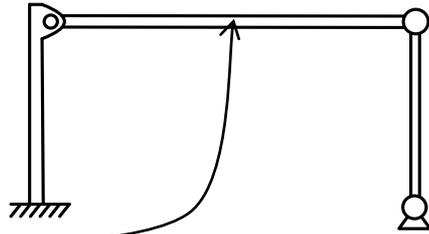
$$s=6 \quad r=4 \quad v=14$$

Gran resistencia a cargas verticales
Menor resistencia a cargas transversales (viento, seismo)

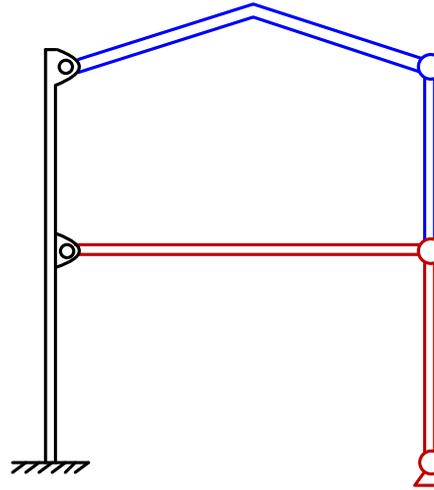
Pórticos ortogonales isostáticos

Vigas articuladas en los dos postes

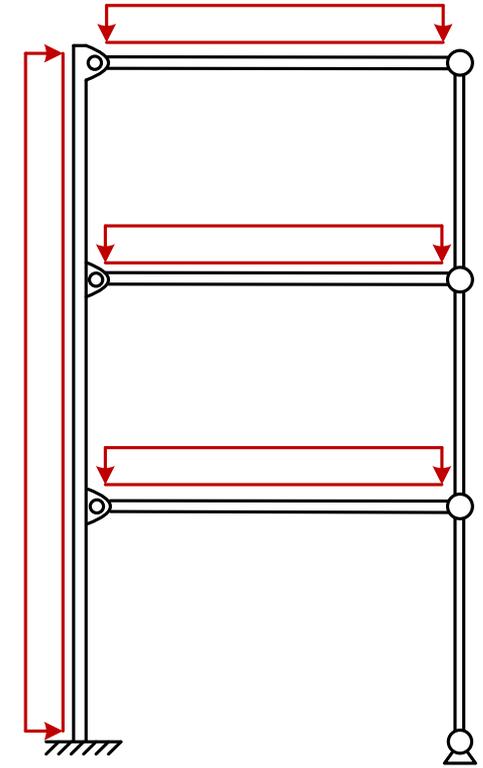
Gran resistencia a cargas verticales
Menor resistencia a cargas transversales



$$s=3 \quad r=5 \quad v=2 \times 2$$



$$s=5 \quad r=5 \quad v=3 \times 2 + 1 \times 4 = 10$$



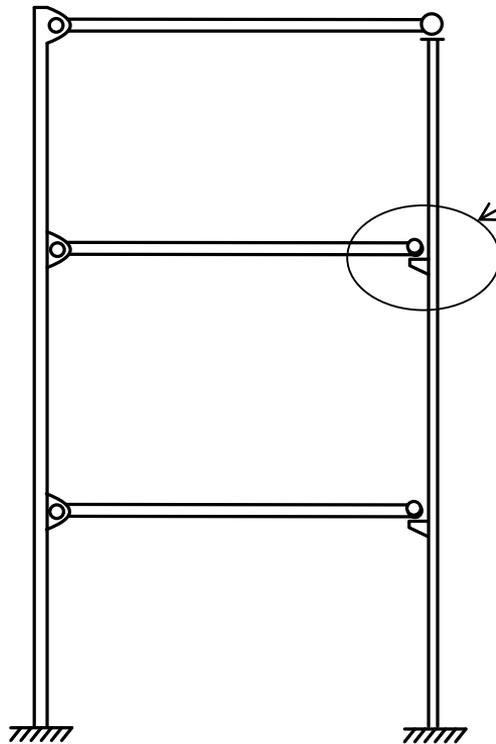
$$s=7 \quad r=5 \quad v=4 \times 2 + 2 \times 4 = 16$$

Variante con viga en celosía:



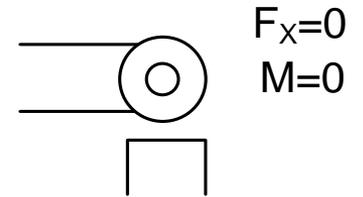
Pórticos ortogonales isostáticos

Vigas articuladas-deslizantes en los postes



Apoyo deslizante de la viga en uno de los postes

Las vigas no transmiten esfuerzo axial



Gran resistencia a cargas verticales
Muy poca resistencia a cargas transversales:
los postes trabajan por separado, cada uno
como un voladizo vertical.

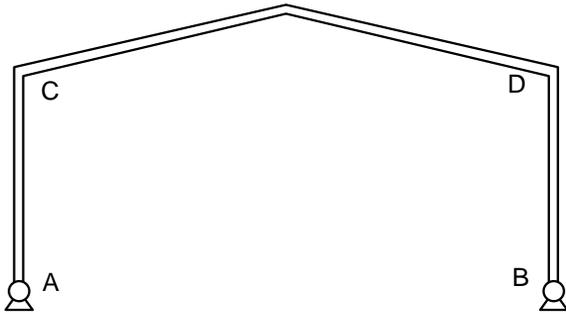
$$s=5 \quad r=6 \quad v=9$$

$$b=9 \quad n=8 \quad r=6 \quad c=9$$

$$ecs=60 \quad incs=60 \quad h=0$$

Pórticos hiperestáticos $h=1$

Biarticulado en apoyos

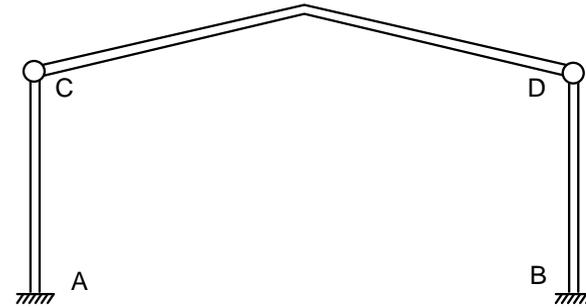


$$\begin{aligned} X &= A_x \\ X &= B_x \\ X &= M_C \\ X &= M_D \end{aligned}$$

$$s=1 \quad r=4 \quad v=0 \quad h=1$$

$$b=4 \quad n=5 \quad r=4 \quad c=0 \quad h=1$$

Biarticulado en cabeza de pilares

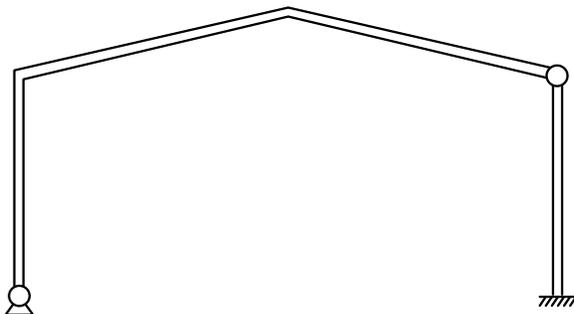


$$\begin{aligned} X &= C_x \\ X &= D_x \\ X &= M_A \\ X &= M_B \end{aligned}$$

$$s=3 \quad r=6 \quad v=4 \quad h=1$$

$$b=4 \quad n=5 \quad r=6 \quad c=2 \quad h=1$$

Biarticulado mixto



$$s=2 \quad r=5 \quad v=2 \quad h=1$$

$$b=4 \quad n=5 \quad r=5 \quad c=1 \quad h=1$$

Cubierta plana

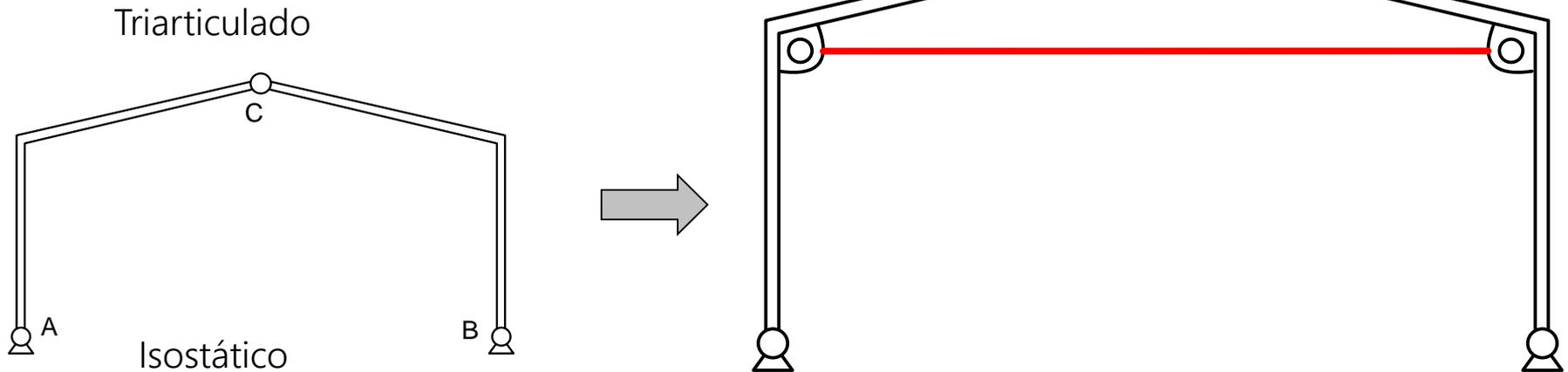


$$s=3 \quad r=6 \quad v=4 \quad h=1$$

$$b=3 \quad n=4 \quad r=6 \quad c=2 \quad h=1$$

Pórticos hiperestáticos $h=1$

Triarticulado con tirante



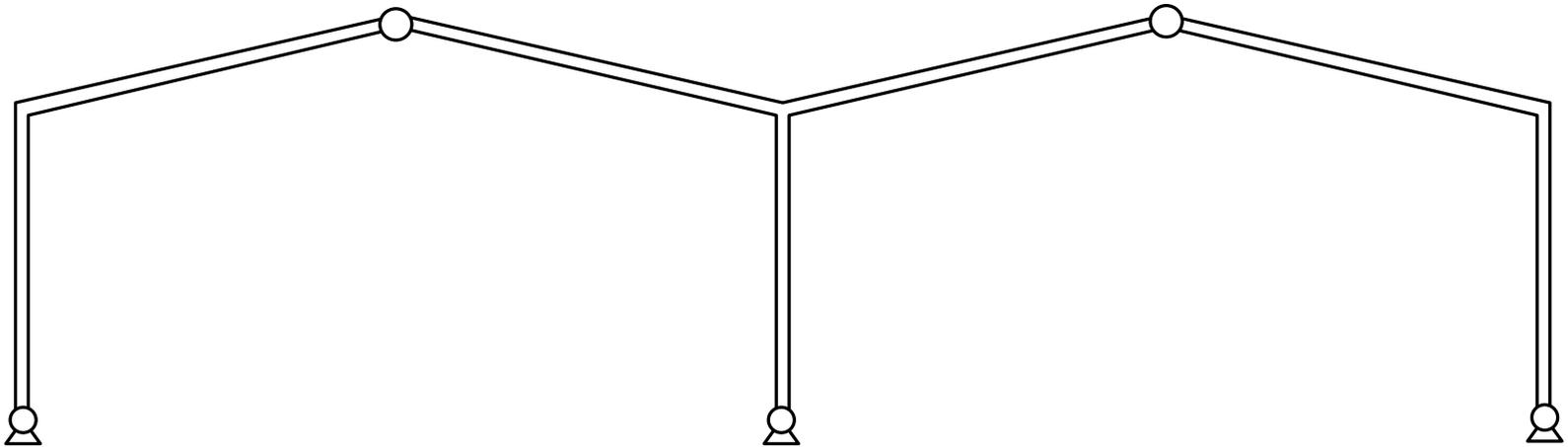
$$s=2 \quad r=4 \quad v=2+1 \quad h=1 \quad (\text{Tirante es un vínculo})$$

$$b=5 \quad n=5 \quad r=4 \quad c=1+1+1=3 \quad h=1$$

El esfuerzo axial en el tirante es hiperestático

Pórticos hiperestáticos $h=1$

Dos pórticos triarticulados unidos: 3 cuerpos + 5 articulaciones

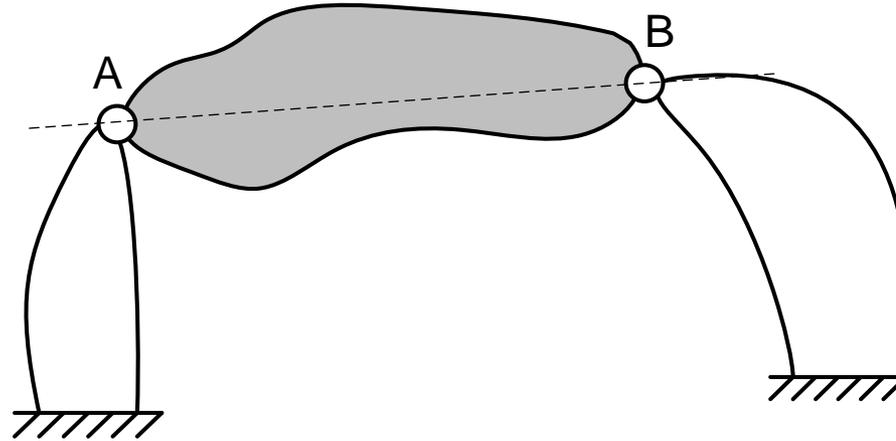


$$s=3 \quad r=6 \quad v=2+2 \\ h=1$$

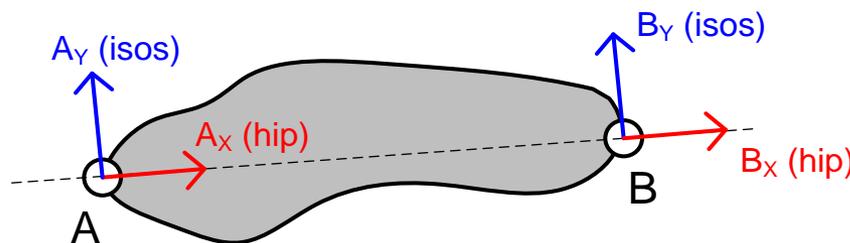
$$b=7 \quad n=8 \quad r=6 \\ c=1+1 \\ h=1$$

Pórticos hiperestáticos h=1. Concepto general

Un sólido articulado a otros dos sólidos fijos



Aislando el sólido:



$$\Sigma M_A = 0 \rightarrow B_Y$$

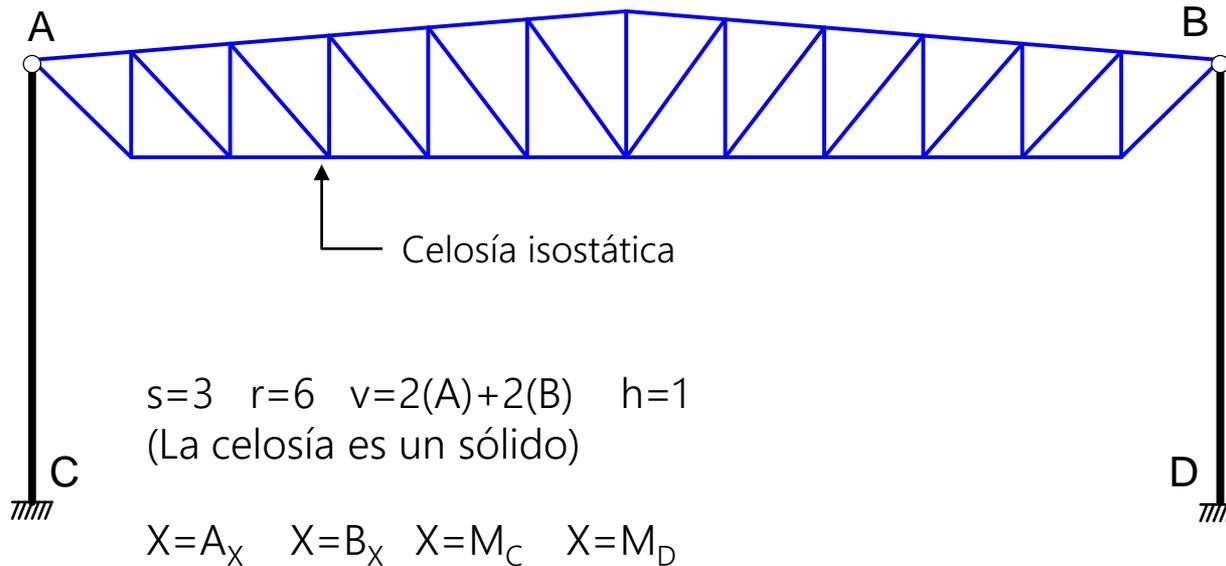
$$\Sigma F_Y = 0 \rightarrow A_Y$$

$$\Sigma F_X = 0 \rightarrow A_X + B_X = 0$$

La hiperestaticidad está en la línea de unión AB

Naves hiperestáticas h=1

Una celosía isostática, articulada a dos postes empotrados en la base

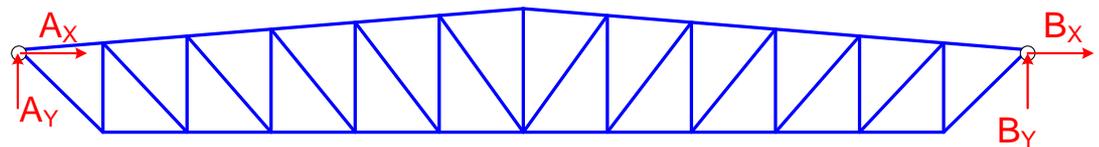


Aislando la celosía:

$$\Sigma M_A = 0 \rightarrow B_Y$$

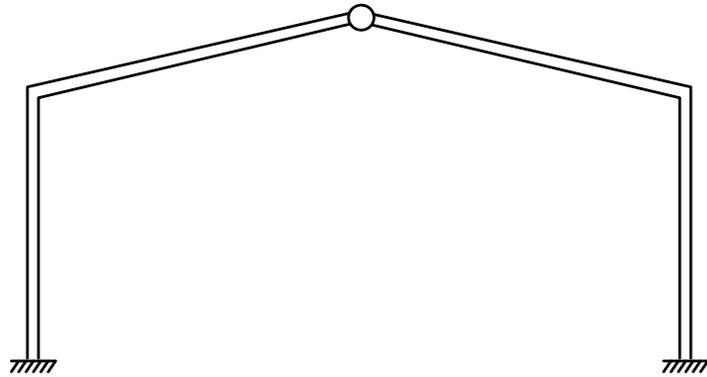
$$\Sigma F_Y = 0 \rightarrow A_Y$$

$$\Sigma F_X = 0 \rightarrow A_X + B_X = 0$$



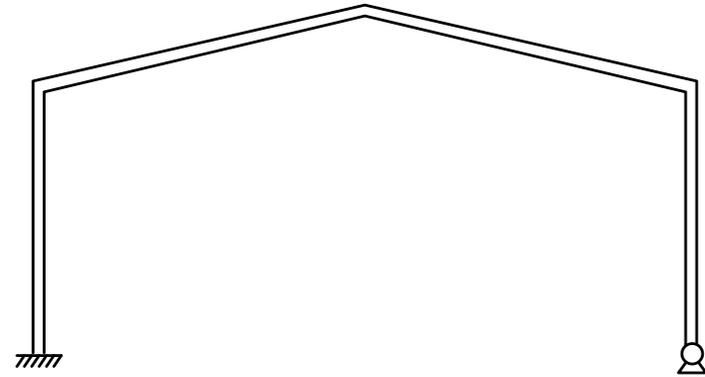
La hiperestaticidad está en las reacciones A_x y B_x o en los momentos en la base

Pórticos hiperestáticos $h=2$ con una articulación



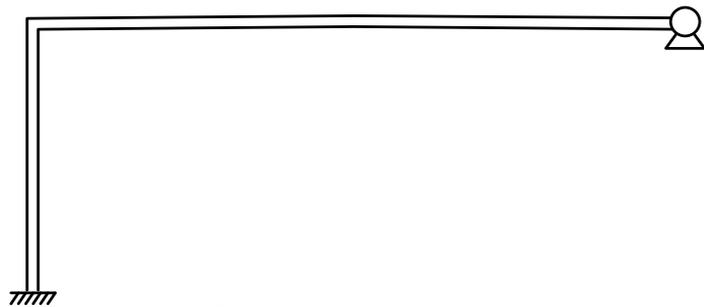
$$s=2 \quad r=6 \quad v=2 \quad h=2$$

$$b=4 \quad n=5 \quad r=6 \quad c=1 \quad h=2$$



$$s=1 \quad r=5 \quad v=0 \quad h=2$$

$$b=4 \quad n=5 \quad r=5 \quad c=0 \quad h=2$$



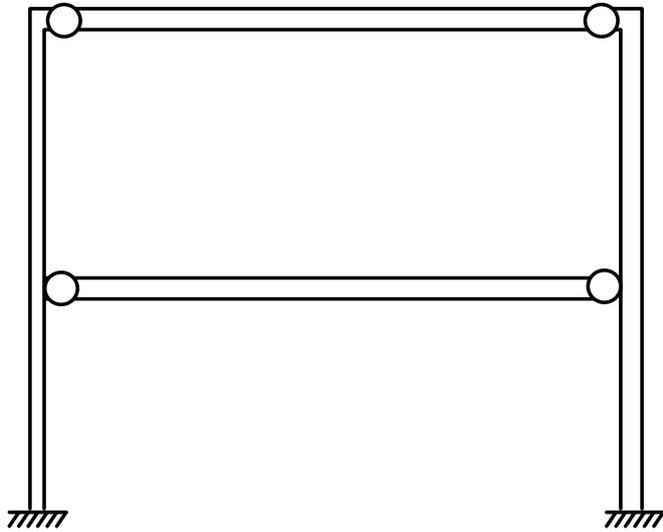
$$s=1 \quad r=5 \quad v=0 \quad h=2$$

$$b=2 \quad n=3 \quad r=5 \quad c=0 \quad h=2$$

Las dos fuerzas en la articulación son hiperestáticas: si se eliminan, queda un sistema ramificado (isostático)

Pórticos hiperestáticos $h=2$

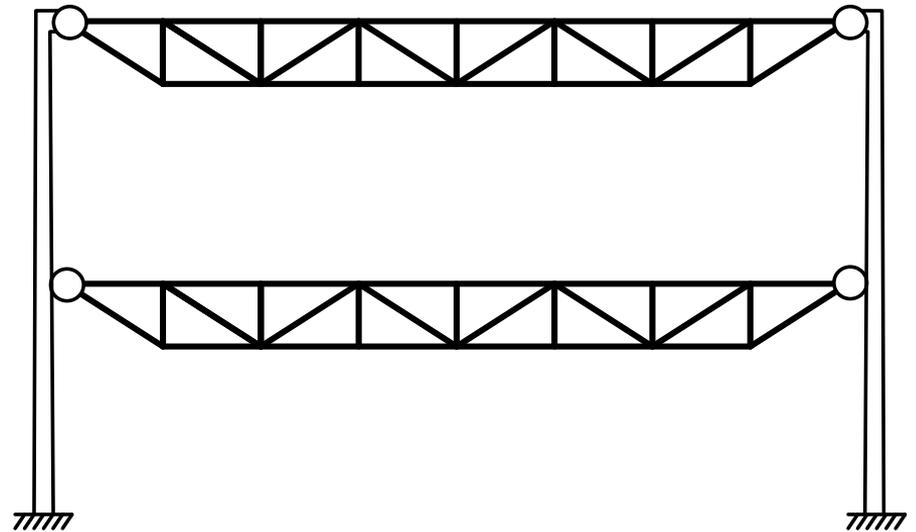
Vigas articuladas a dos postes



$$s=4 \quad r=6 \quad v=8 \quad h=2$$

$$b=6 \quad n=6 \quad r=6 \quad c=4 \quad h=2$$

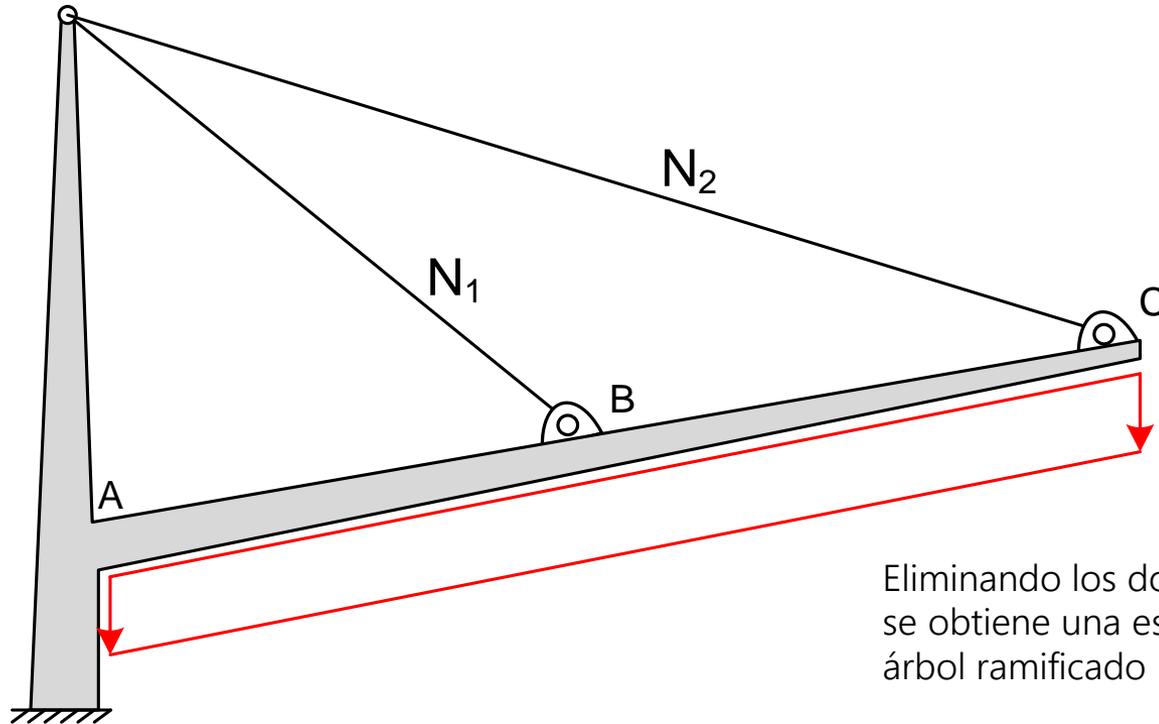
X= axial en las 2 vigas



$$s=4 \quad r=6 \quad v=8 \quad h=2$$

Variante con viga en celosía
(gran luz)

Pórtico hiperestático $h=2$ Voladizo con 2 tensores



Eliminando los dos tensores se obtiene una estructura de árbol ramificado

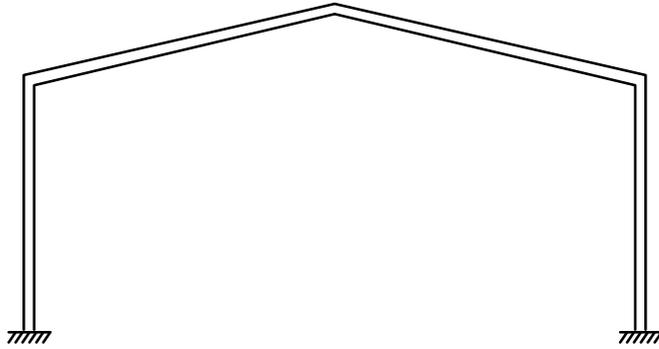
$$s=1 \quad r=3 \quad v=2 \quad h=2$$

$$b=6 \quad n=5 \quad r=3 \quad c=4 \quad h=2$$

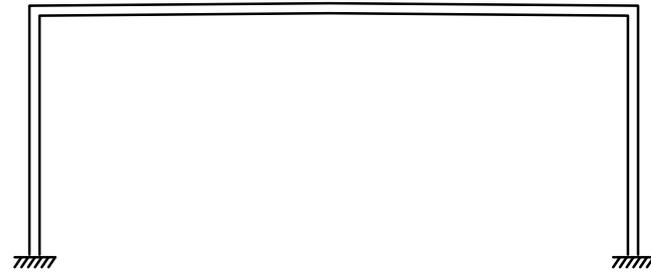
X= axial en los 2 tensores

X= momento en los dos empotramientos A y B

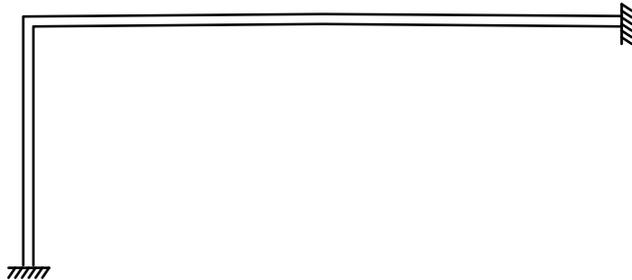
Pórticos hiperestáticos $h=3$ Rígidos sin articulaciones



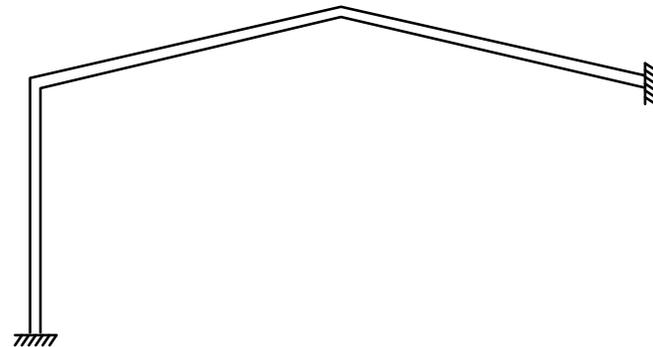
$$b=4 \quad n=5 \quad r=6 \quad c=0 \quad h=3$$



$$b=3 \quad n=4 \quad r=6 \quad c=0 \quad h=3$$

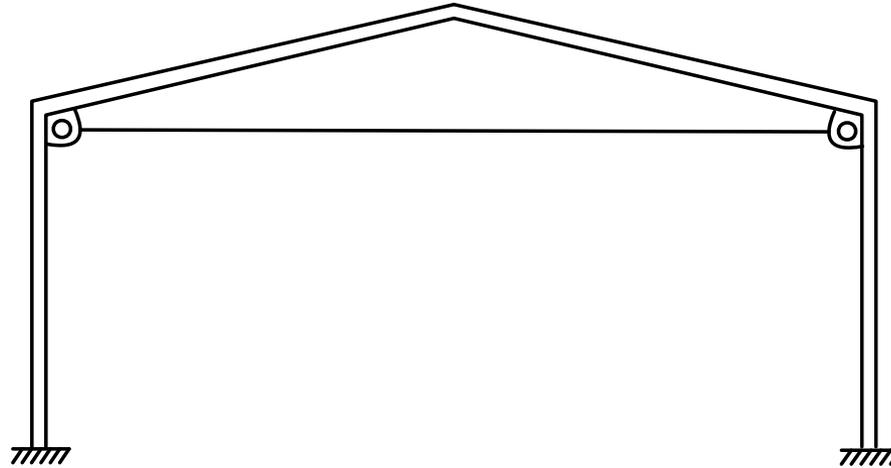


$$b=2 \quad n=3 \quad r=6 \quad c=0 \quad h=3$$



$$b=3 \quad n=4 \quad r=6 \quad c=0 \quad h=3$$

Pórtico rígido atirantado $h=4$

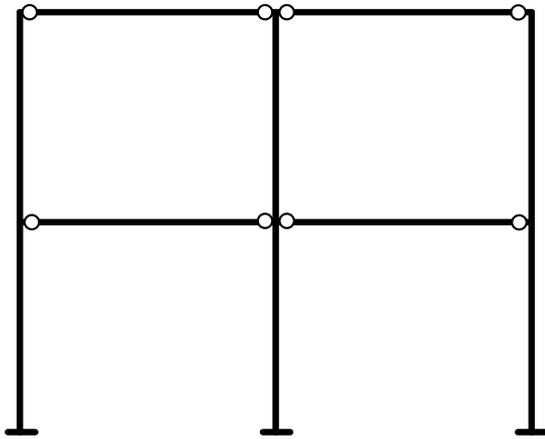


$$b=5 \quad n=5 \quad r=6 \quad c=2 \quad h=4$$

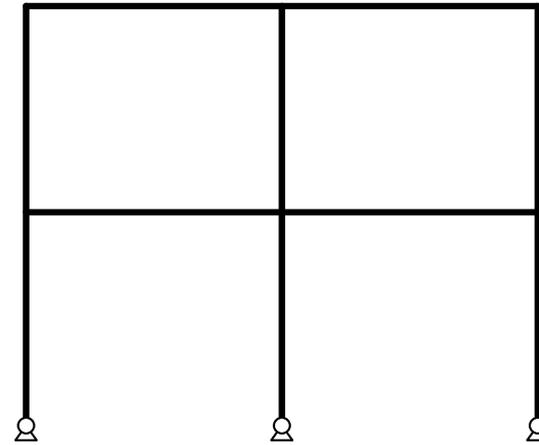
El tirante siempre añade una incógnita más al sistema (su esfuerzo axial)

El tirante tiene un efecto beneficioso antes cargas verticales (disminuye los momentos y las deformaciones)

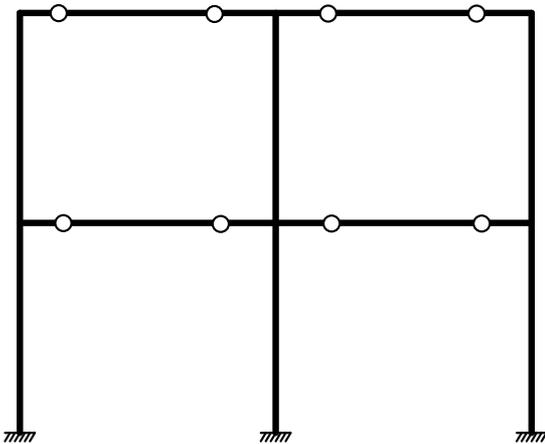
Pórticos ortogonales hiperestáticos



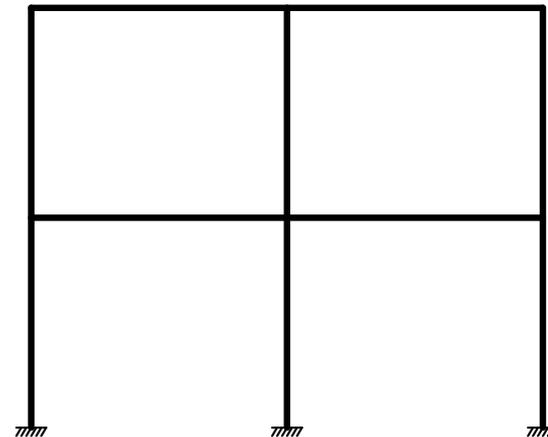
$$b=10 \quad n=9 \quad r=9 \quad c=8 \quad h=4$$



$$b=10 \quad n=9 \quad r=6 \quad c=0 \quad h=9$$

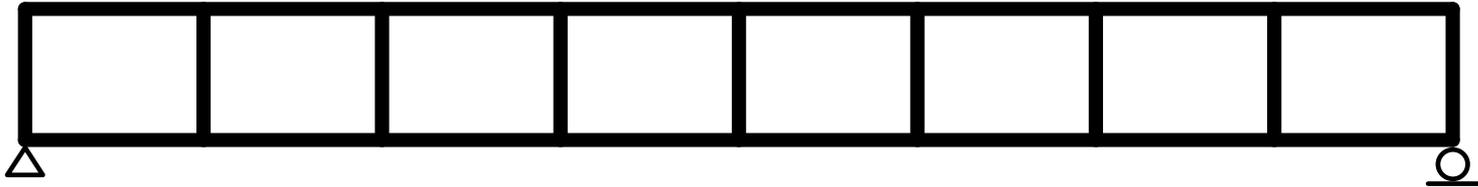


$$b=10 \quad n=9 \quad r=9 \quad c=8 \quad h=4$$



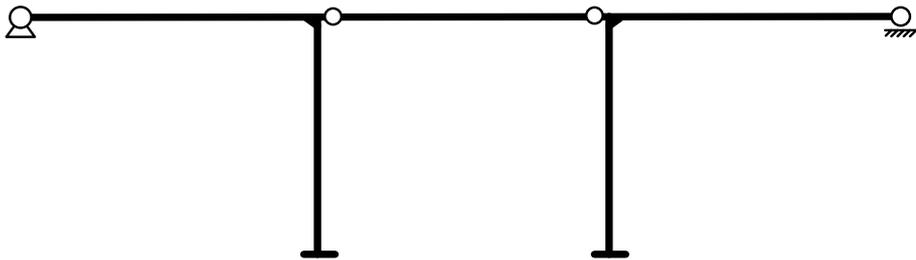
$$b=10 \quad n=9 \quad r=9 \quad c=0 \quad h=12$$

Pórticos hiperestáticos

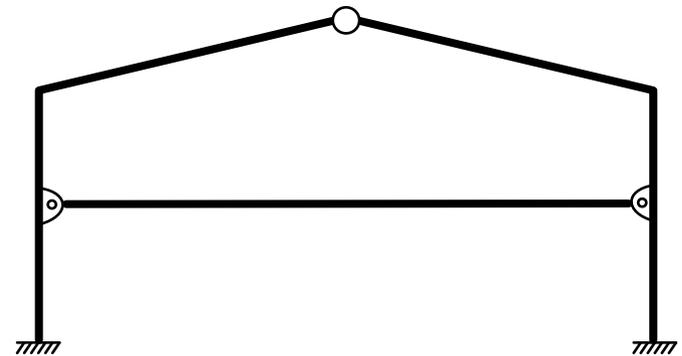


Todos los nudos rígidos

Viga Vierendeel ($h=24$)



$b=5$ $n=6$ $r=9$ $c=2$ $h=4$



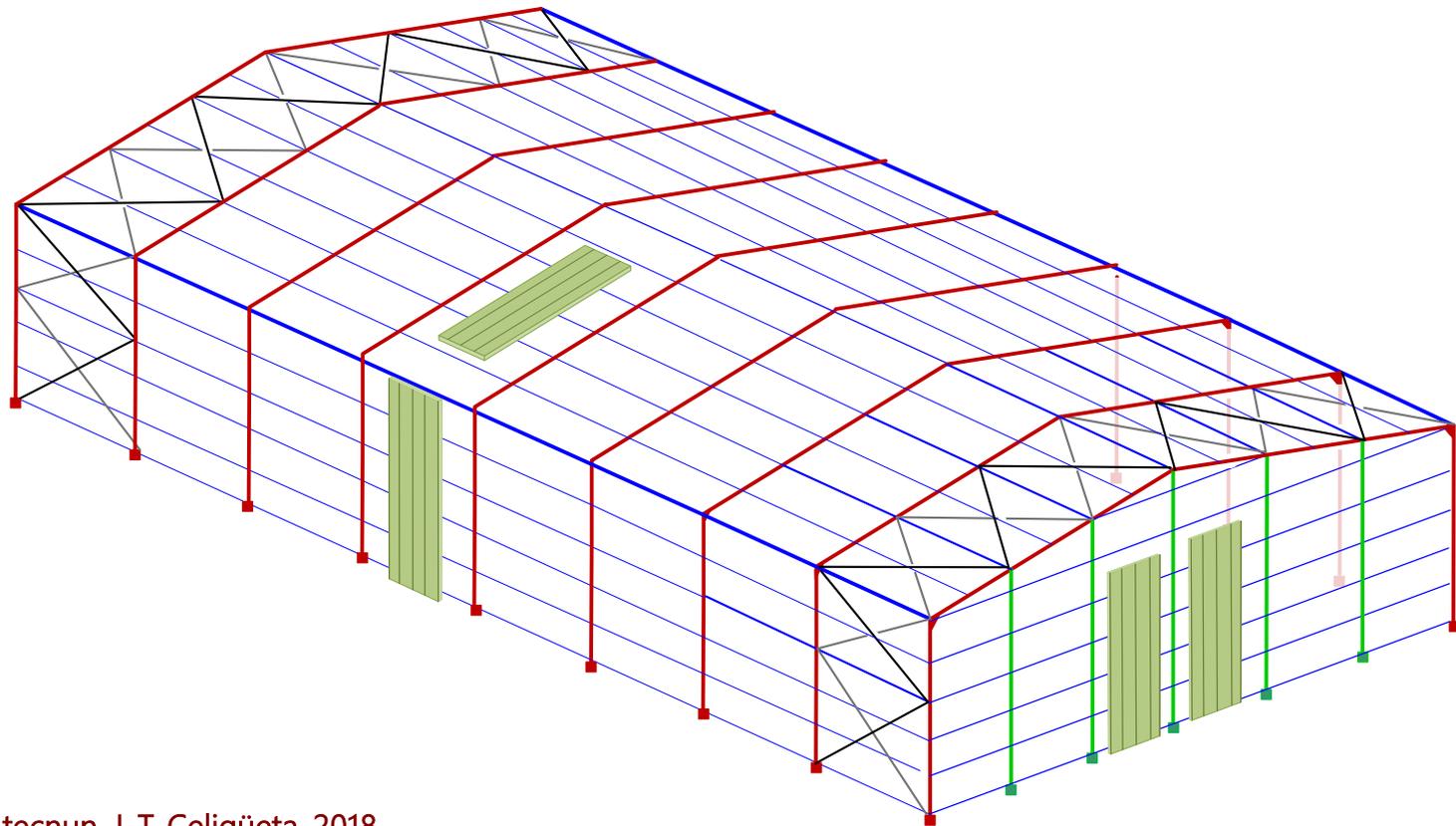
$b=7$ $n=7$ $r=6$ $c=3$ $h=3$

Dependencia de las magnitudes en pórticos

Tipo	Esfuerzos interiores (N, M, V) dependen de:	Deformaciones (Δ, θ) dependen de:
ISOS	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fuerzas exteriores ▪ Dimensiones <p>NO influyen:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Material - Área e inercia de las barras - Temperatura - Deformaciones impuestas en los apoyos 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Esfuerzos en las barras: N, M, V ▪ Flexibilidad de las barras $\frac{1}{EA} \quad \frac{1}{EI}$
HIPER	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fuerzas exteriores ▪ Dimensiones ▪ Rigidez relativa entre las barras: $\frac{(EA)_i}{(EA)_j} \quad \frac{(EI)_i}{(EI)_j}$ <ul style="list-style-type: none"> ▪ Temperatura $\approx E A \alpha T$ ▪ Deformaciones impuestas en los apoyos Δ $E A \frac{\Delta}{L}$	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Temperaturas $\approx \alpha T L$ ▪ Deformaciones de los apoyos



Estructuras para naves industriales



Naves industriales

Disposición en planta rectangular. Una sola altura.

Gran luz libre al menos en una dirección

Cargas:

Verticales: peso propio, nieve, viento en cubierta, sobrecarga.

Horizontales en fachadas: viento

Debidas a las grúas: verticales y horizontales

Seísmo: normalmente no es crítico, por la poca altura.

Distintas soluciones según la luz y el nivel de cargas

Disposición clásica:

varias estructuras planas, dispuestas adecuadamente en el espacio para absorber las distintas cargas

Materiales: acero, hormigón armado o pretensado, madera

Componentes estructurales básicos de una nave (1)

Pórticos principales planos

Correas: vigas en dirección perpendicular al pórtico principal

Cubierta y cerramientos de fachada

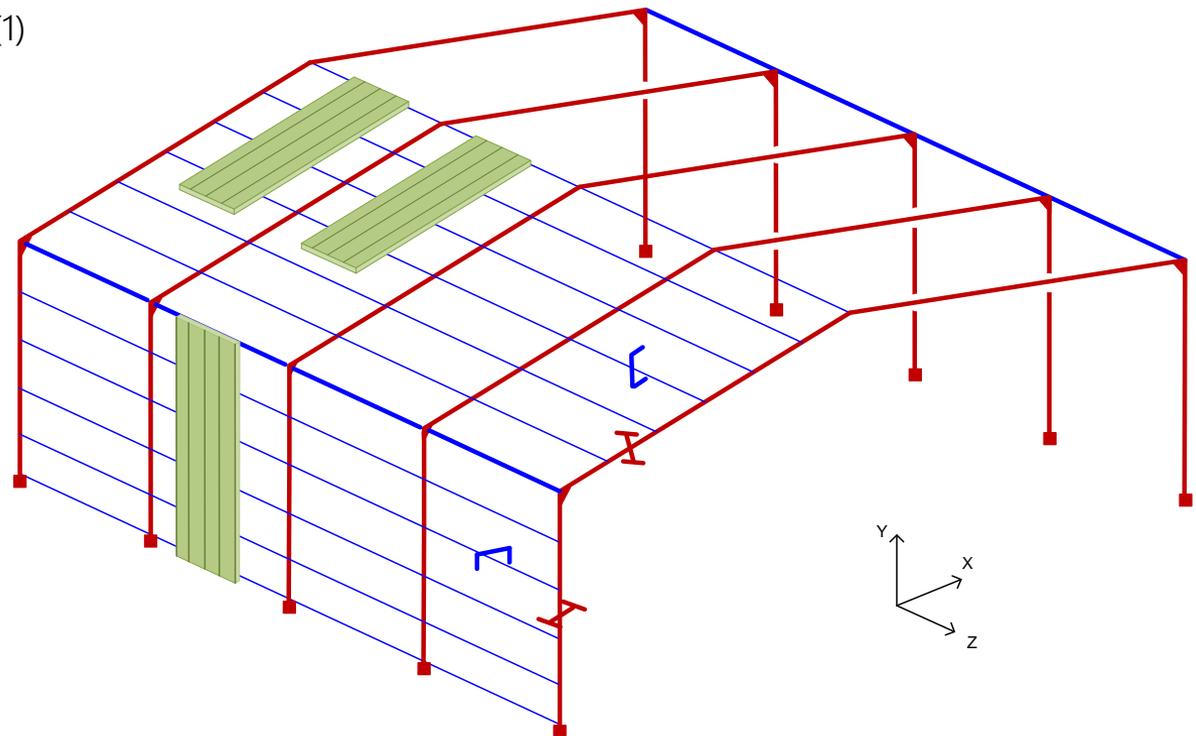
Vigas de **atado** longitudinales

Postes y cerramientos en fachadas frontales (1)

Sistemas de **arriostramiento contra viento** (1)

Vigas **carril** para las grúas (1)

(1) No dibujados



Componentes estructurales básicos de una nave (2)

Estructuras principales planas de poste y celosía plana

Correas: vigas en dirección perpendicular al pórtico principal

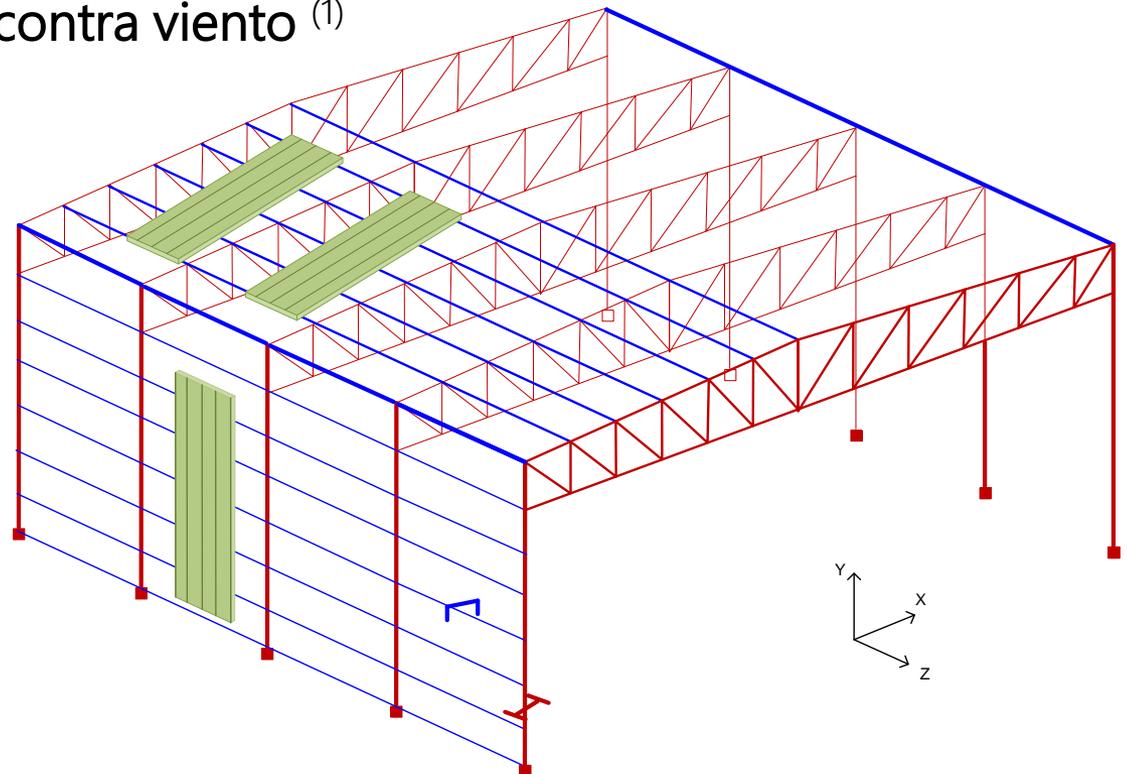
Cubierta y cerramientos de fachada

Vigas de **atado** longitudinales

Postes y cerramientos en fachadas frontales (1)

Sistemas de **arriostramiento contra viento** (1)

Vigas **carril** para las grúas (1)



(1) No dibujados

Organización estructural (1)

Pórticos principales planos (XY)

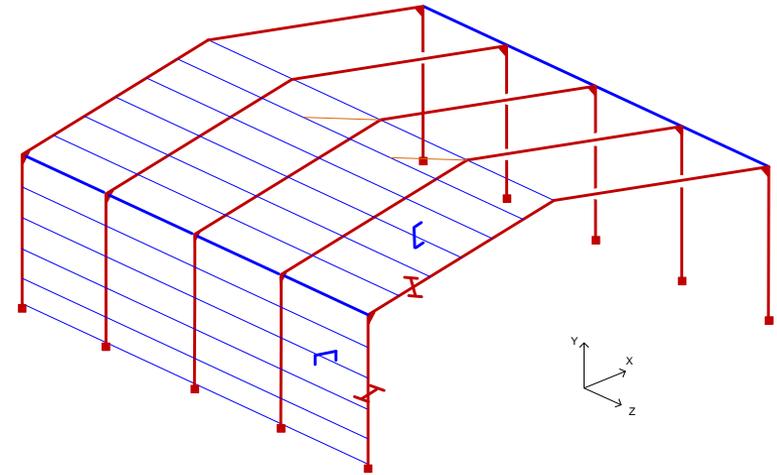
Según la menor dimensión del edificio

Pórtico de alma llena, o postes + celosía

Luz (L): habitual 15 - 40 m, incluso 50 m

Separación (s): >5 m ($L/4$ o $L/5$) >12 m no es económico

Canto de la celosía $\approx L/15$ a $L/20$



Pórticos de fachada frontal: diferentes. Menos carga, pero soportan viento

Correas: vigas en dirección perpendicular al pórtico principal (Z)

Situadas en cubierta y fachadas

Reciben las cargas de los cerramientos y las transmiten a los pórticos, celosías principales o postes.

Luz = separación de pórticos (s)

Vigas continuas o apoyadas en el pórtico principal.

Cargas uniformes. Perfiles I, Z, C

Contribuyen a la estabilidad longitudinal (s/ Z)

Organización estructural (2)

Cubierta y cerramientos de fachada

Cubiertas: chapa simple nervada, paneles sándwich prefabricados (más habitual), cubierta deck.

Fachadas: paneles sándwich, chapa simple nervada o muros de ladrillo o bloque cerámico.

Paneles apoyados en las correas. Luz: 1.5 a 3.5 m

Función de aislamiento térmico y acústico

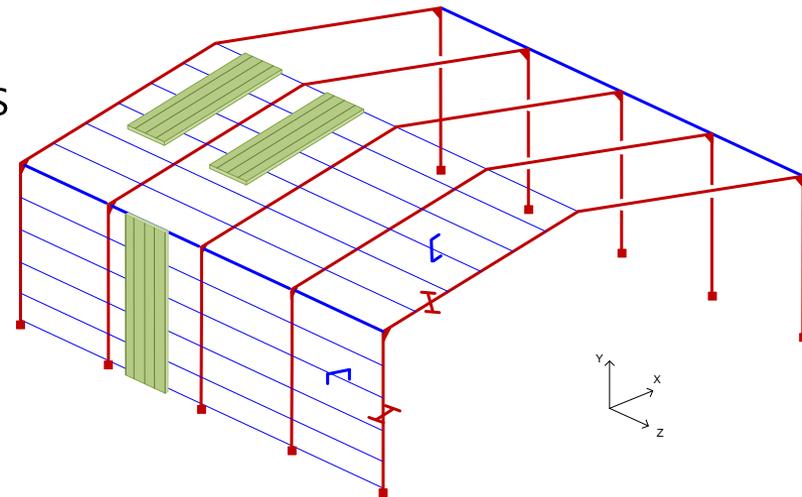
Vigas de atado

Perpendiculares a los pórticos principales

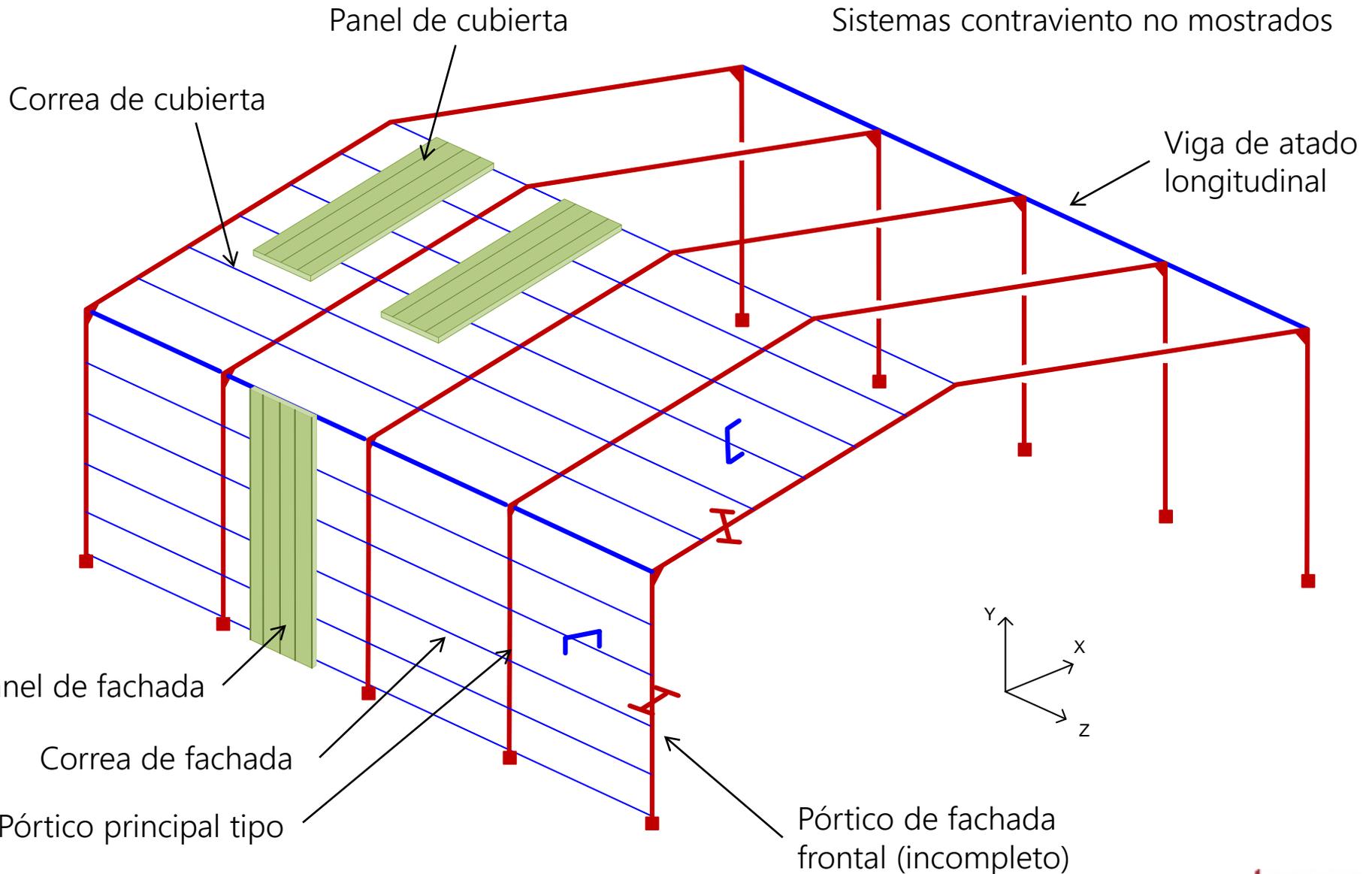
En cabeza de pilares o junto a viga carril

Rigidizan el edificio en dirección Z.

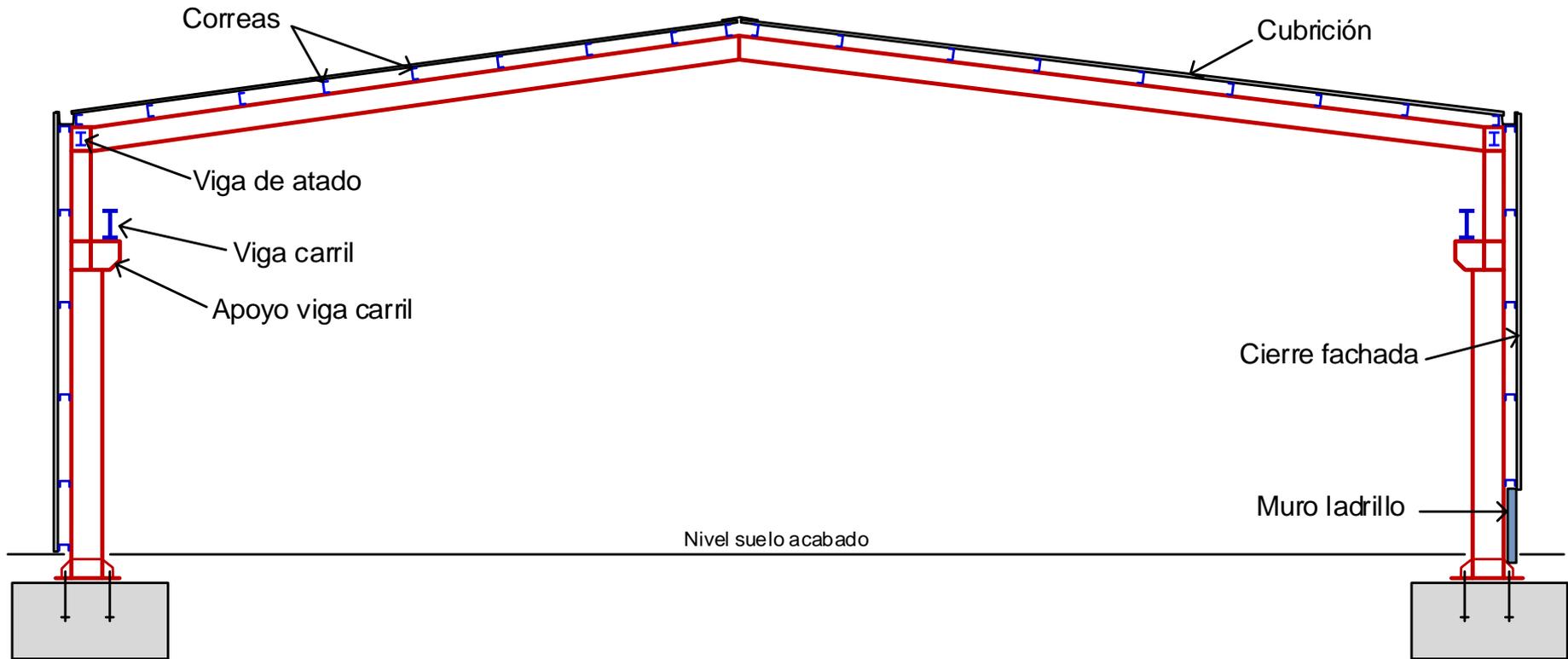
Limitan longitud de pandeo de postes



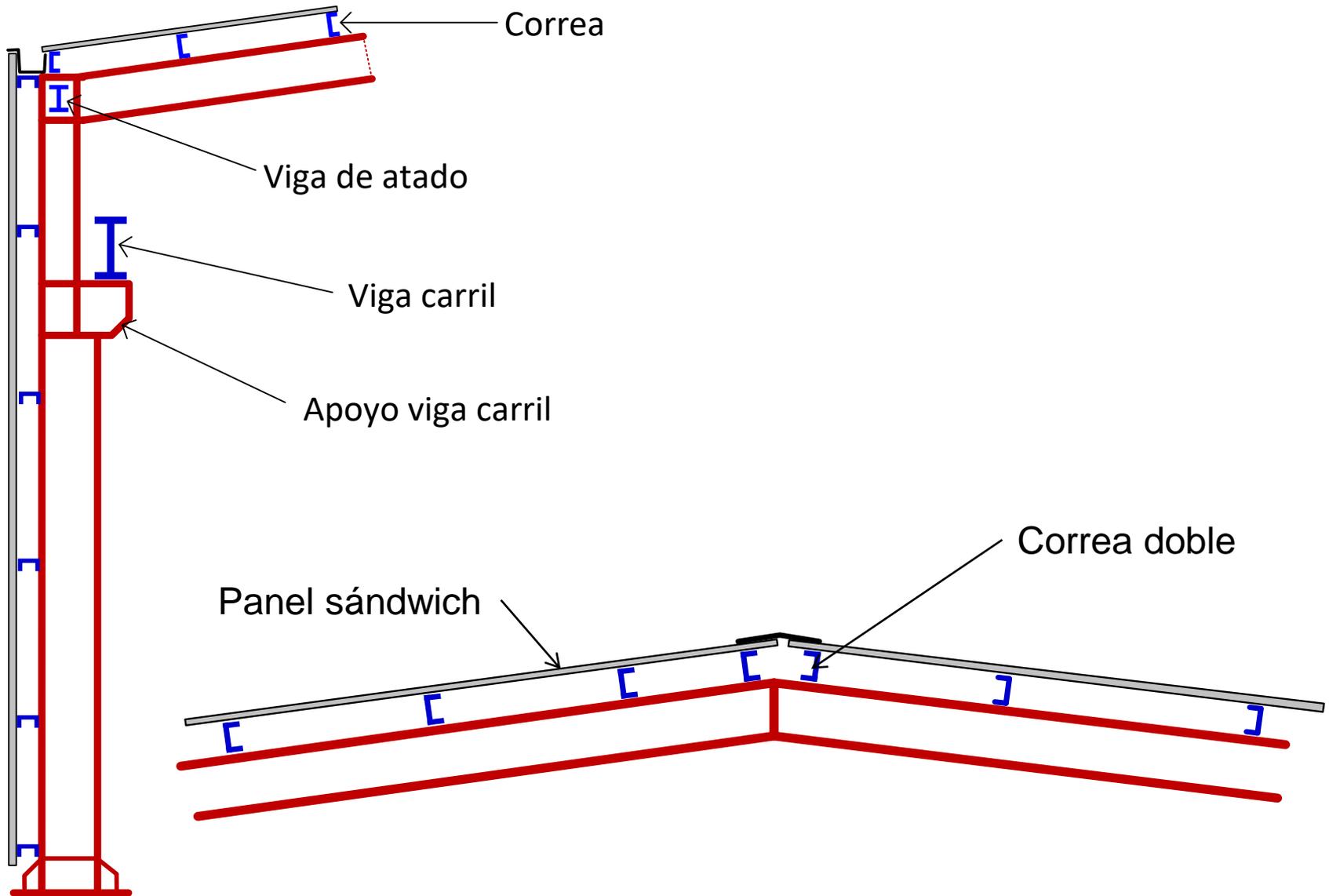
Componentes estructurales básicos de una nave



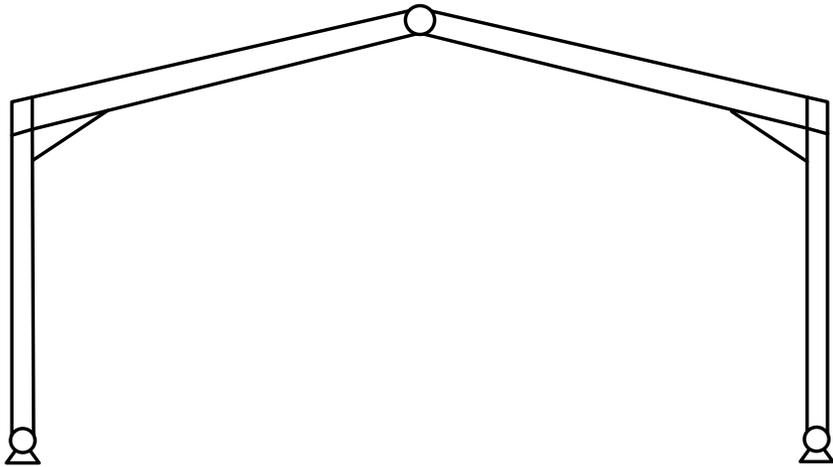
Componentes básicos de una nave. Pórtico tipo



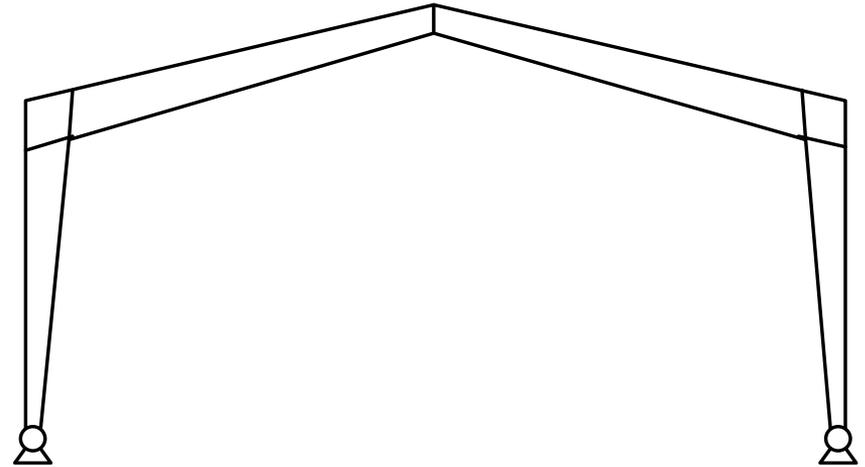
Componentes básicos de una nave. Pórtico tipo. Detalles



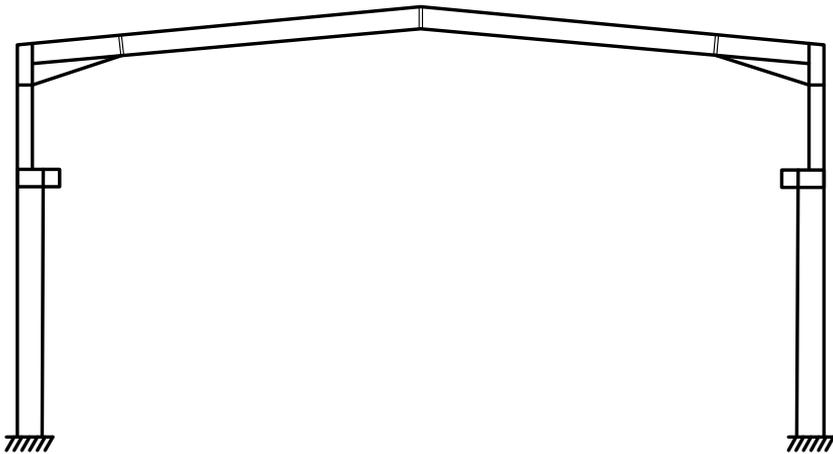
Pórticos principales tipo. Nave simple



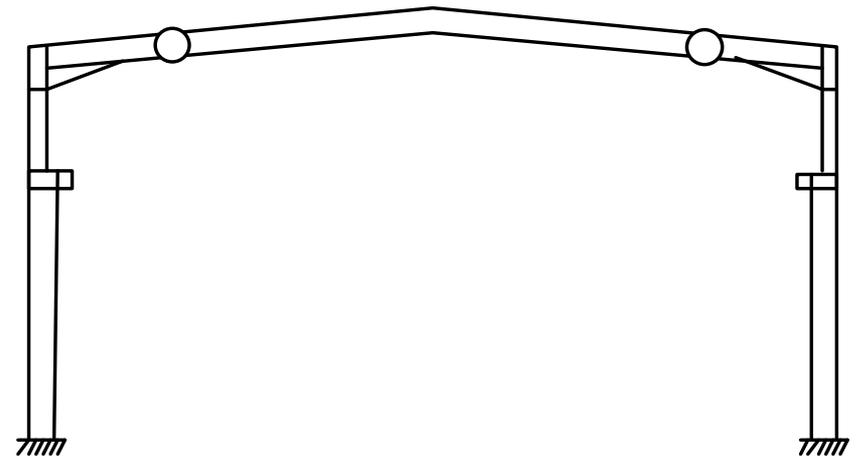
3 articulaciones (isostático)



2 articulaciones en la base ($h=1$)

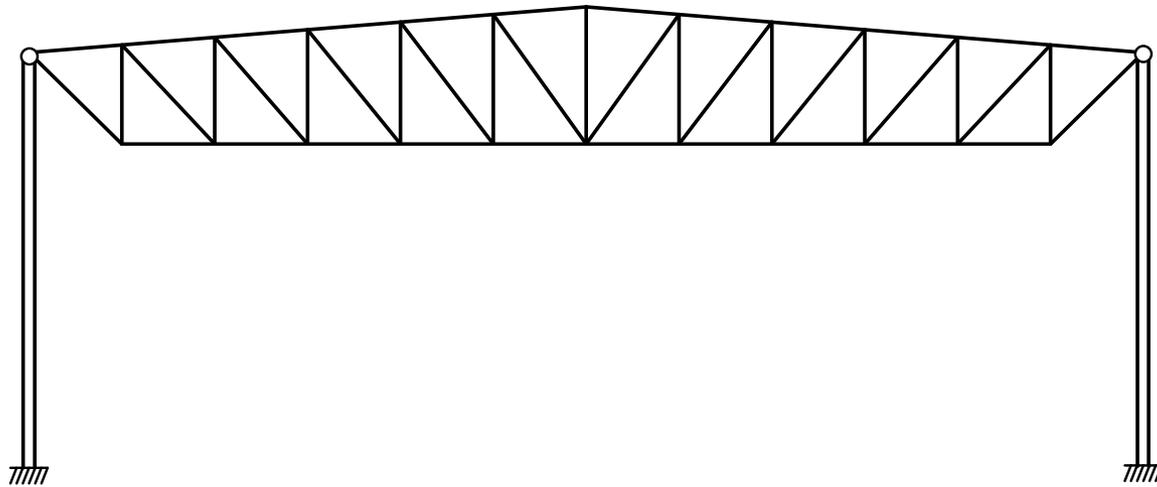
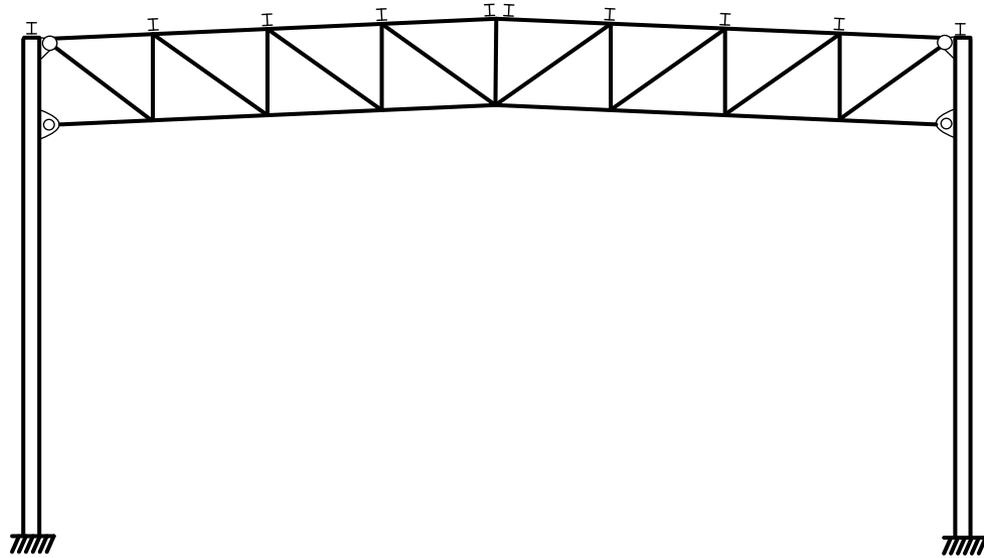


Pórtico rígido ($h=3$)

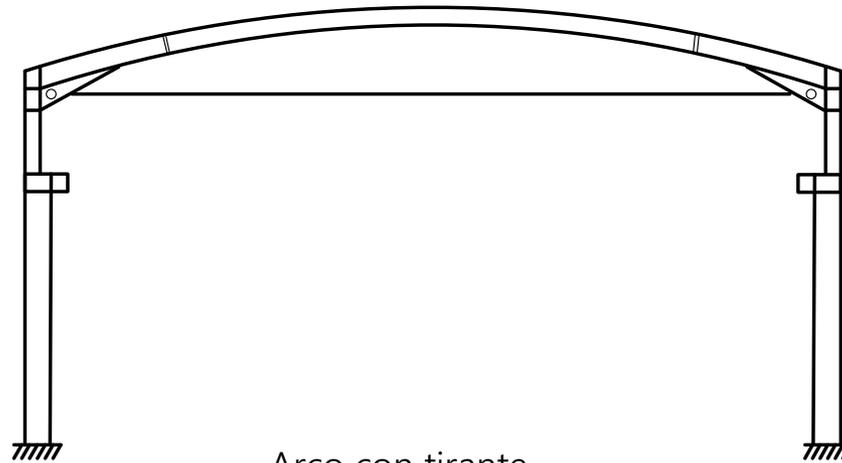


2 articulaciones en el dintel ($h=1$)

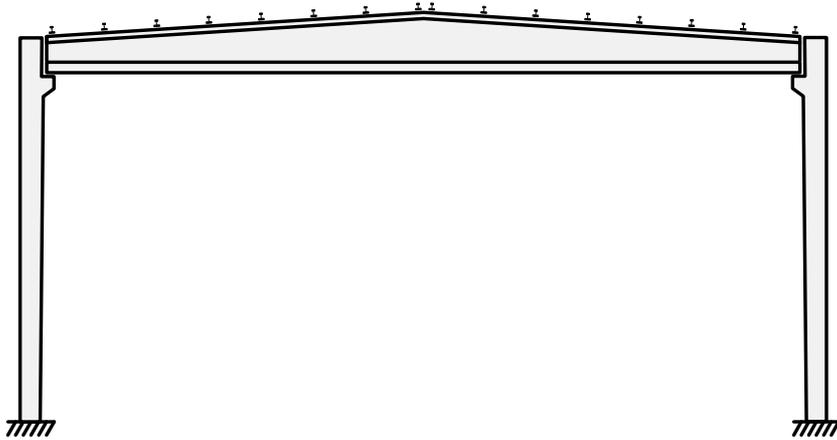
Pórticos principales tipo con cubierta de celosía - Nave simple



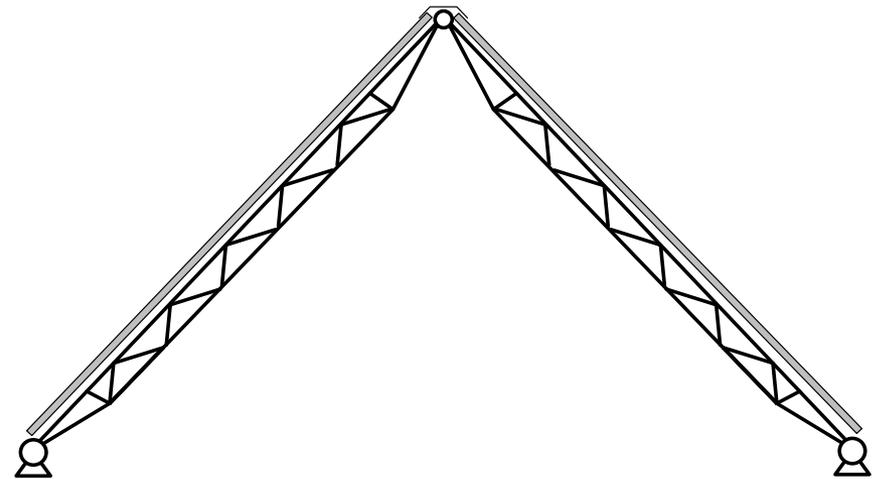
Pórticos principales tipo. Nave simple



Arco con tirante

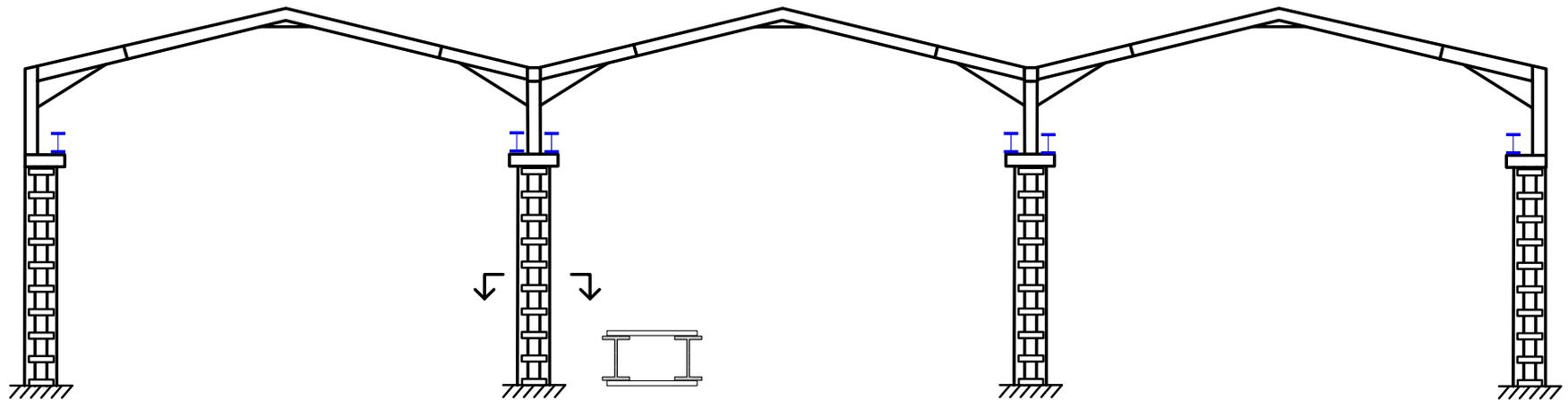
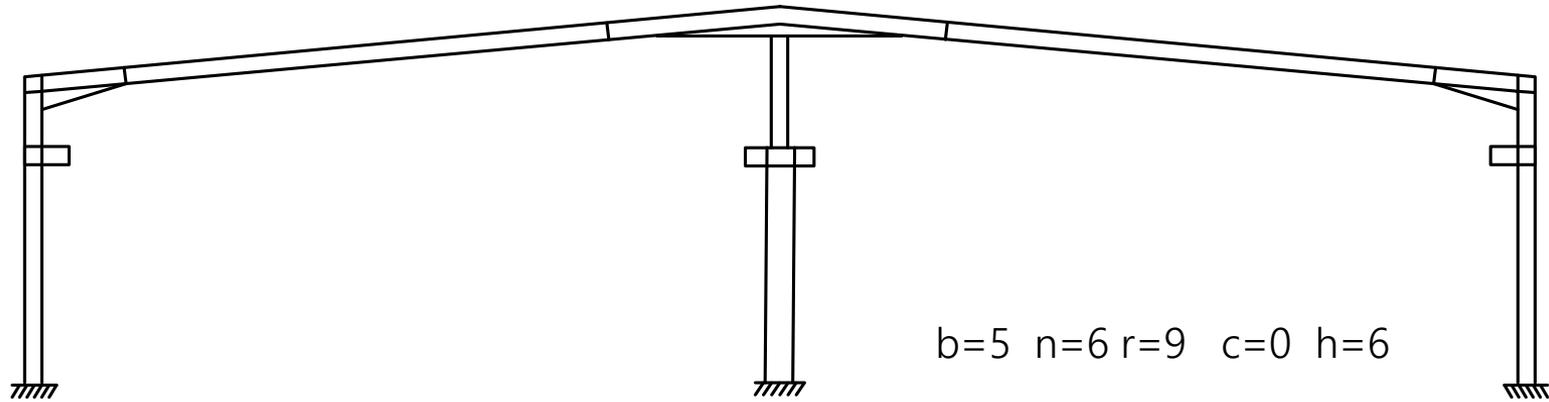


Cubierta con viga de hormigón pretensado



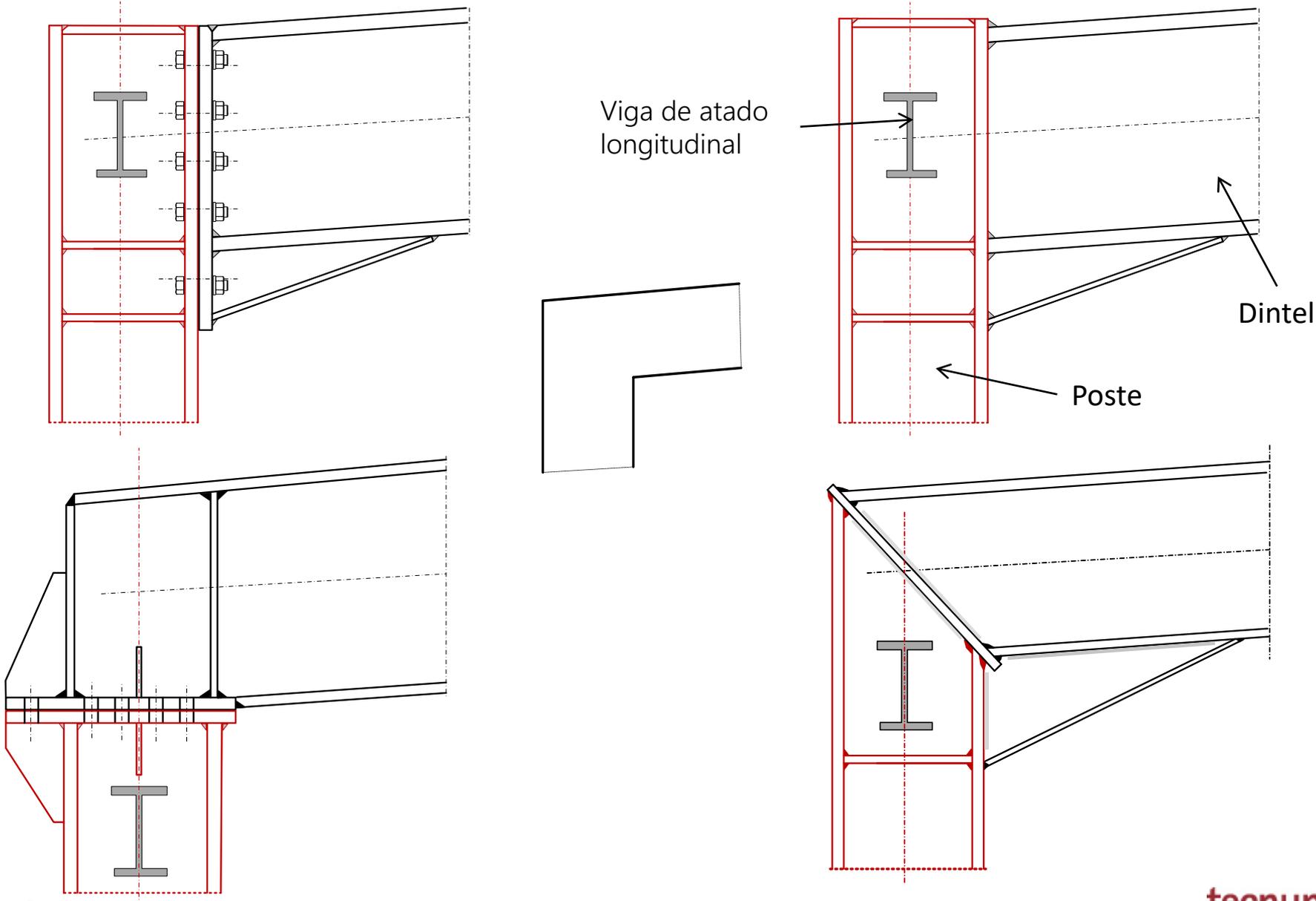
Nave especial para materias a granel

Pórticos principales - Naves doble y triple

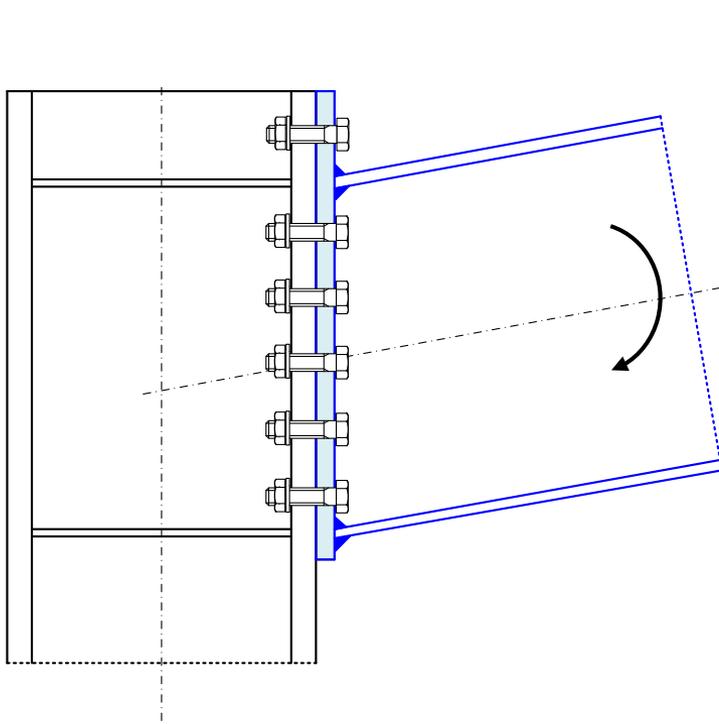


Variante con postes
compuestos

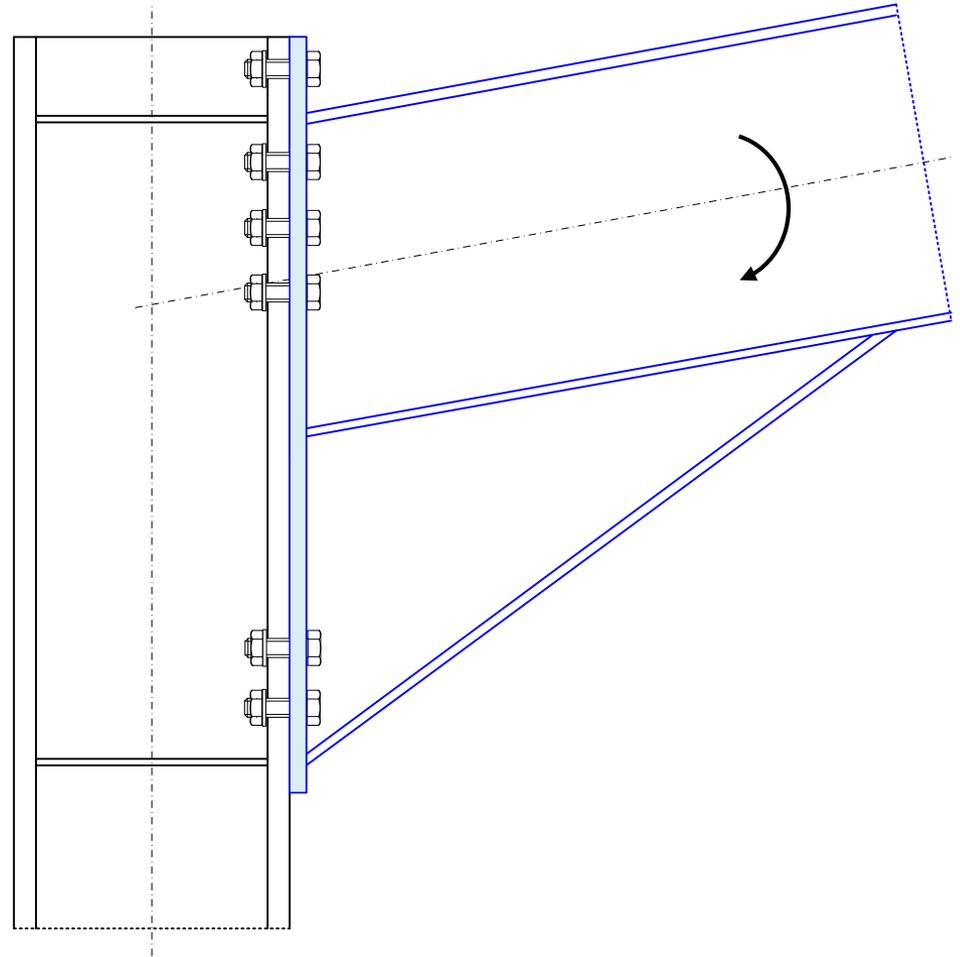
Uniones tipo de hombro rígidas



Uniones de hombro reforzadas

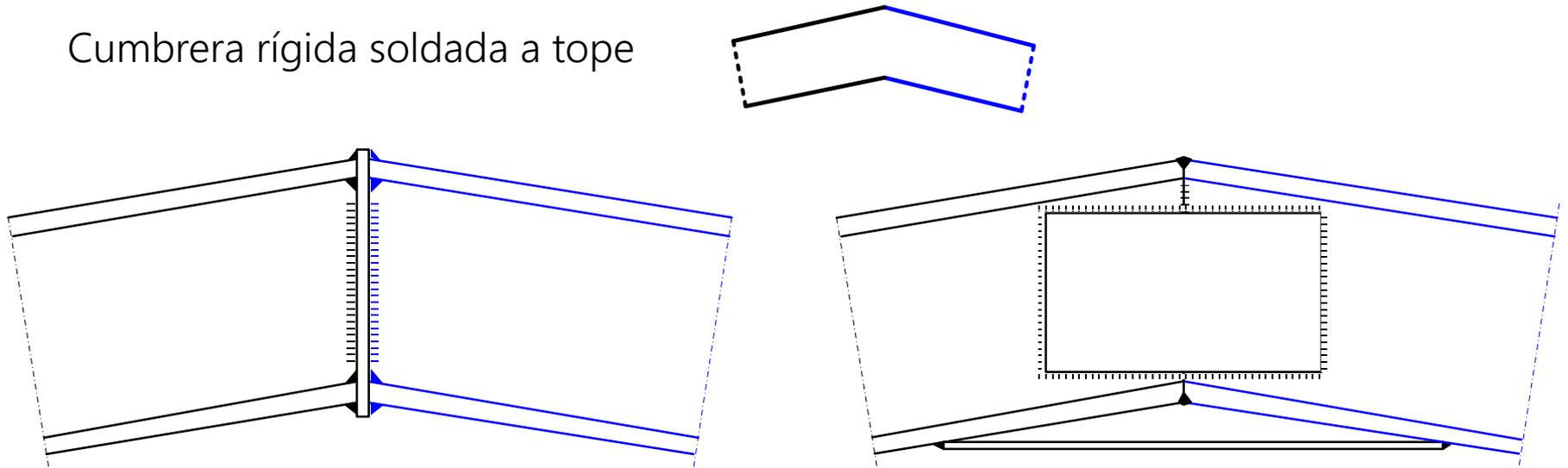


Fila de tornillos exterior
permite absorber mayor
momento

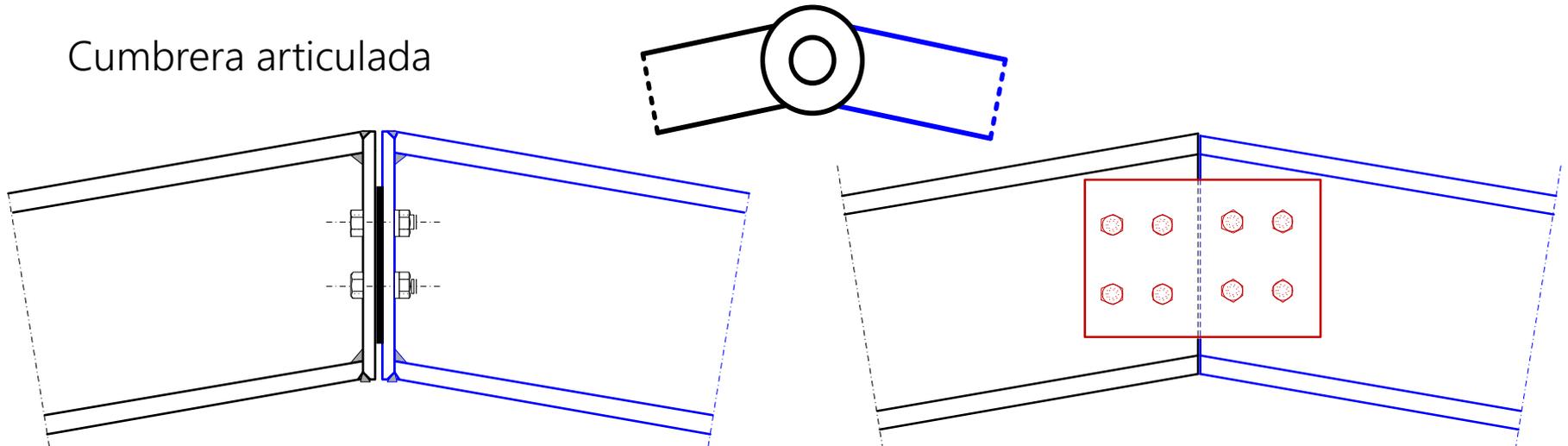


Uniones tipo de cumbrera

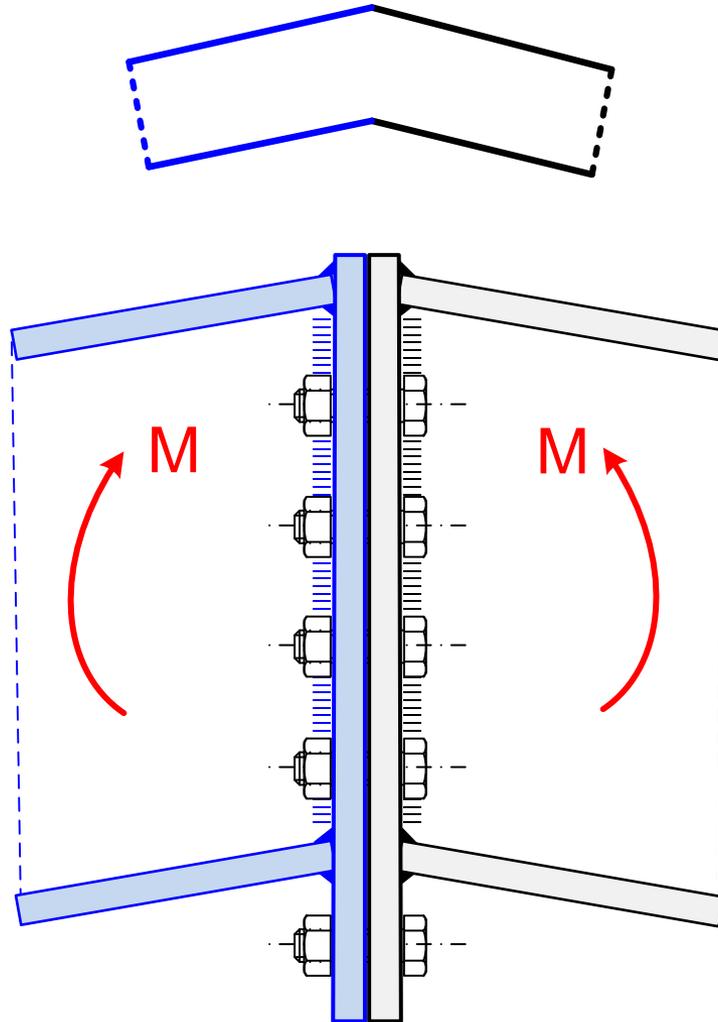
Cumbrera rígida soldada a tope



Cumbrera articulada

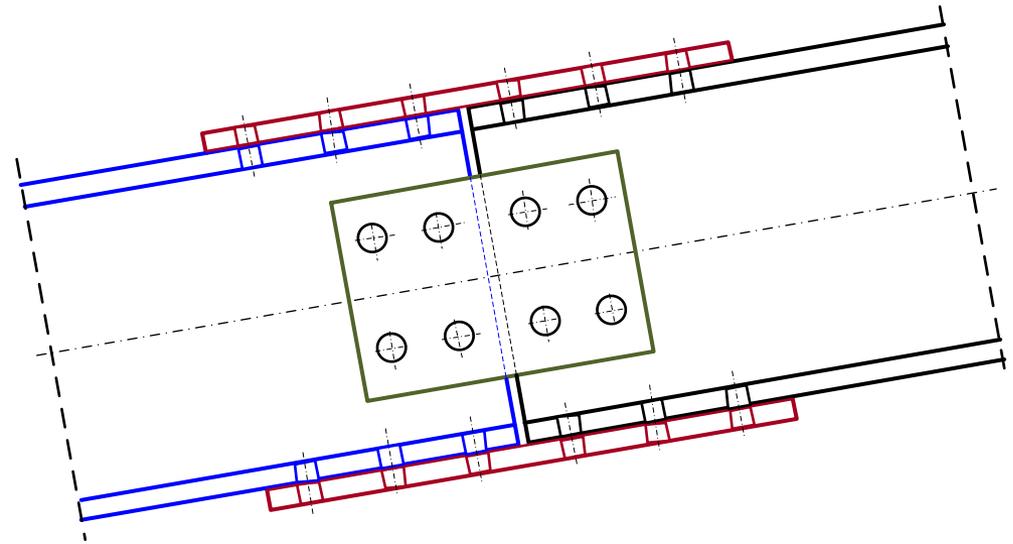


Unión rígida en cumbrera atornillada

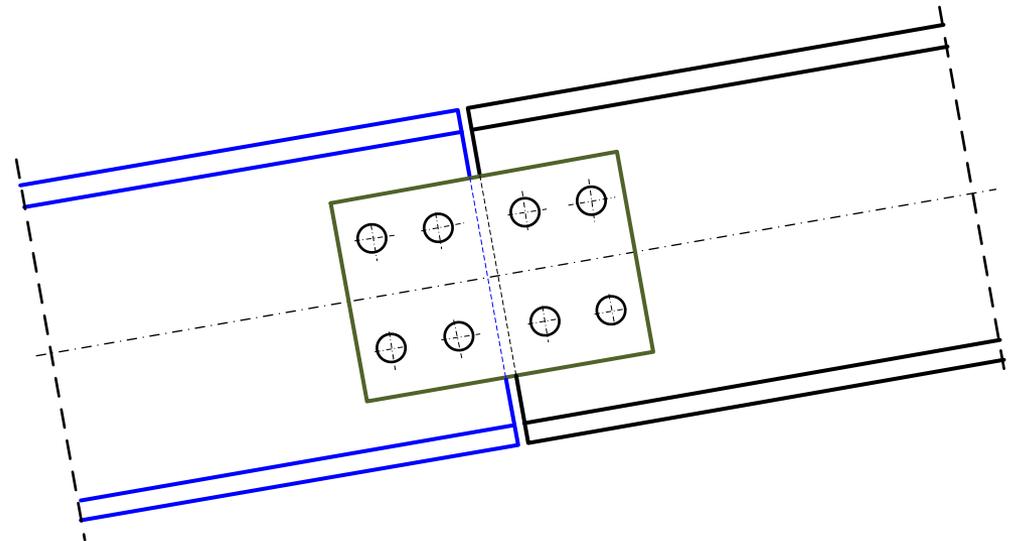


Uniones tipo en el dintel

Unión rígida con cubrejuntas

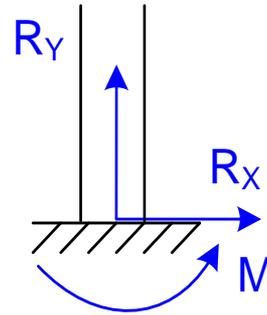
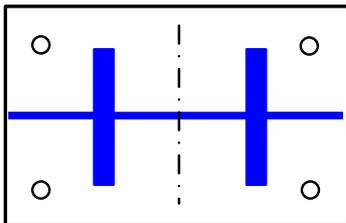
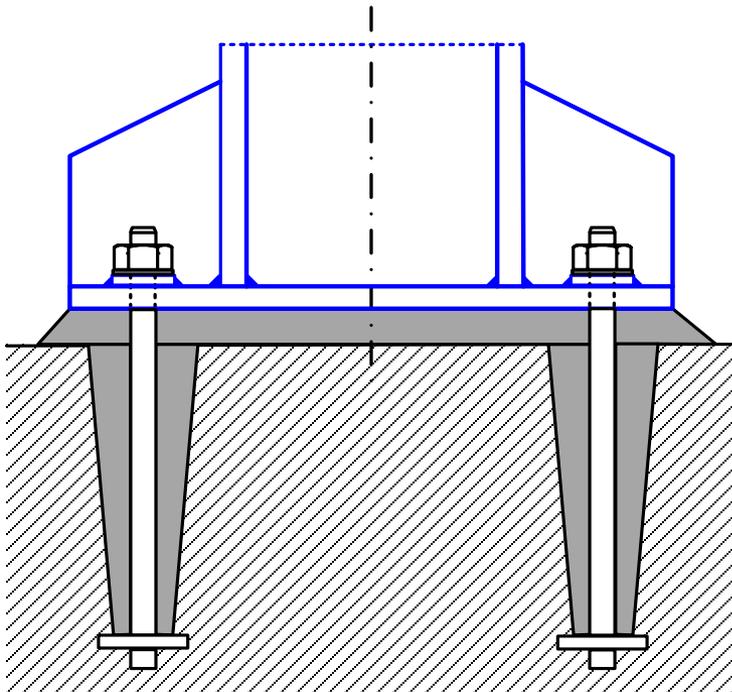


Unión articulada

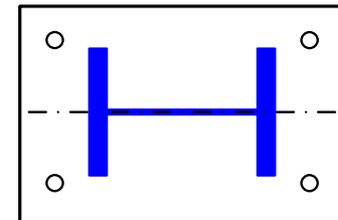
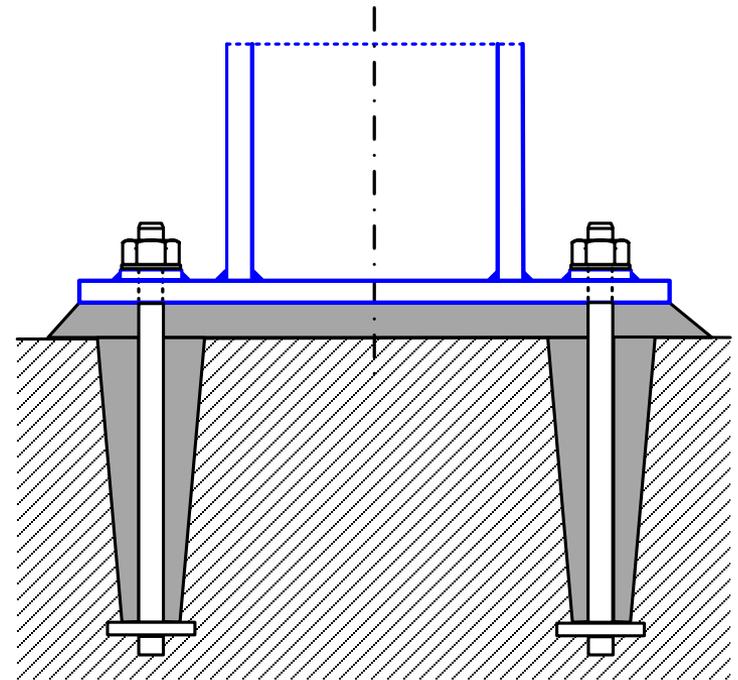


Apoyos empotrados - 1

Apoyo empotrado típico

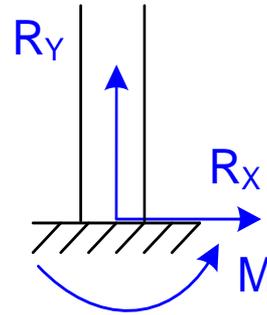


Sin rigidizar
(momento pequeño)

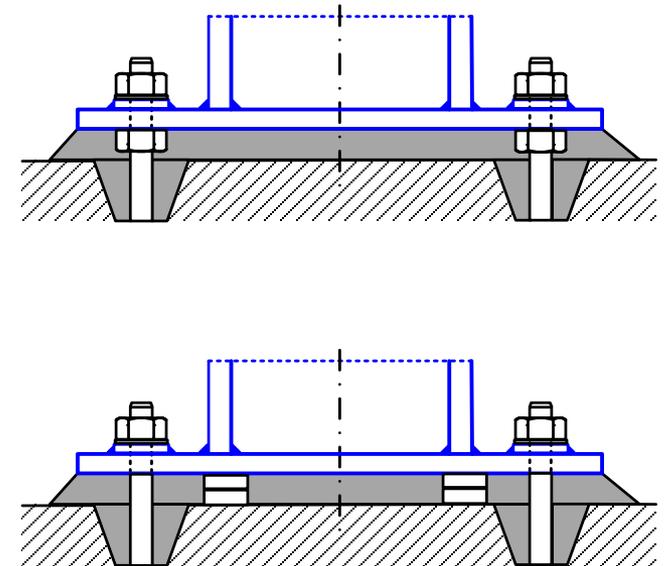
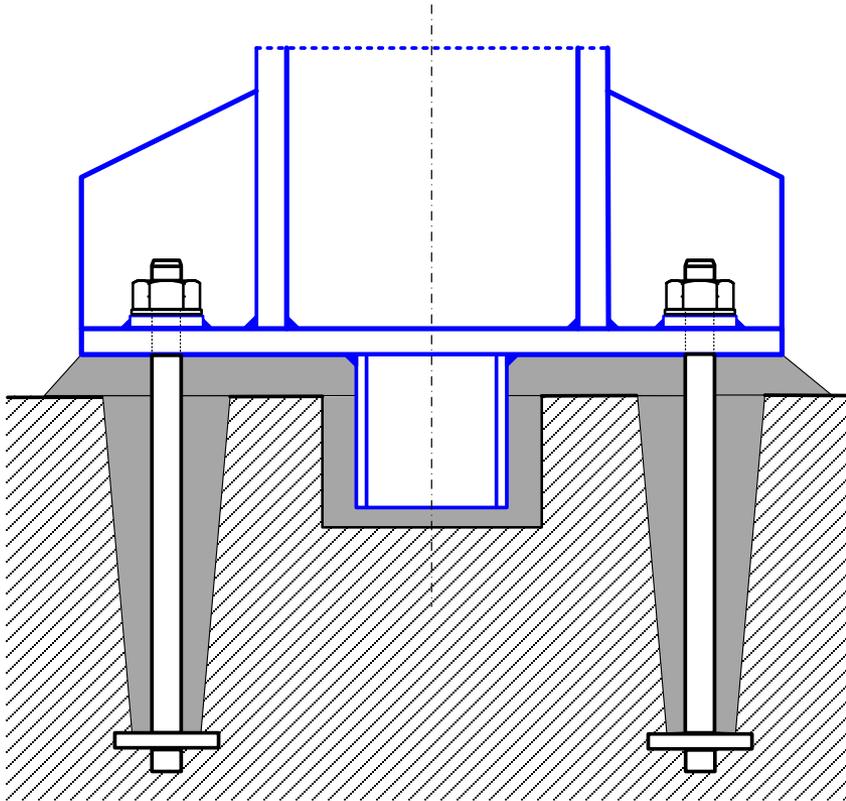


Apoyos empotrados - 2

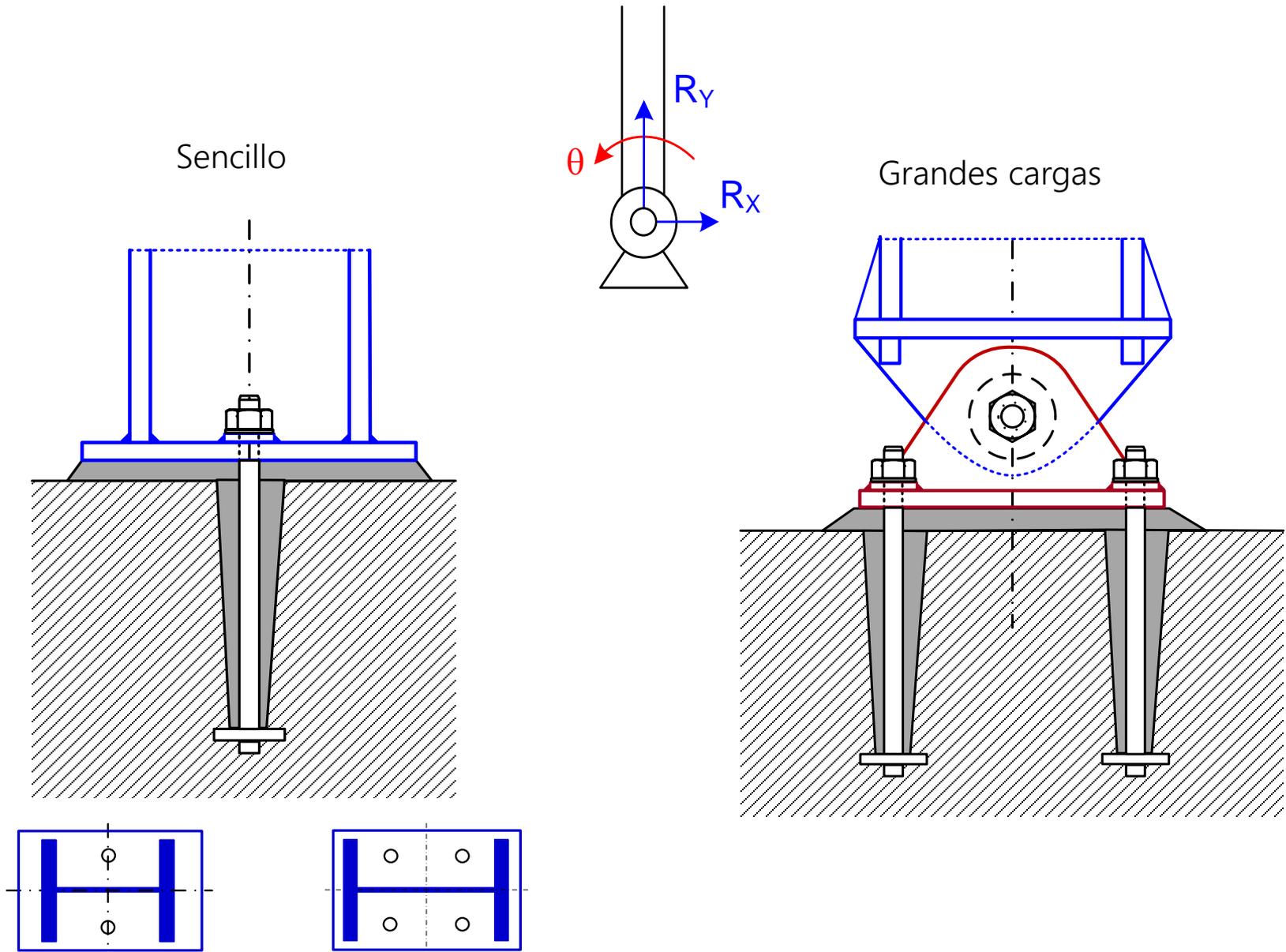
Gran reacción horizontal



Elementos de nivelación

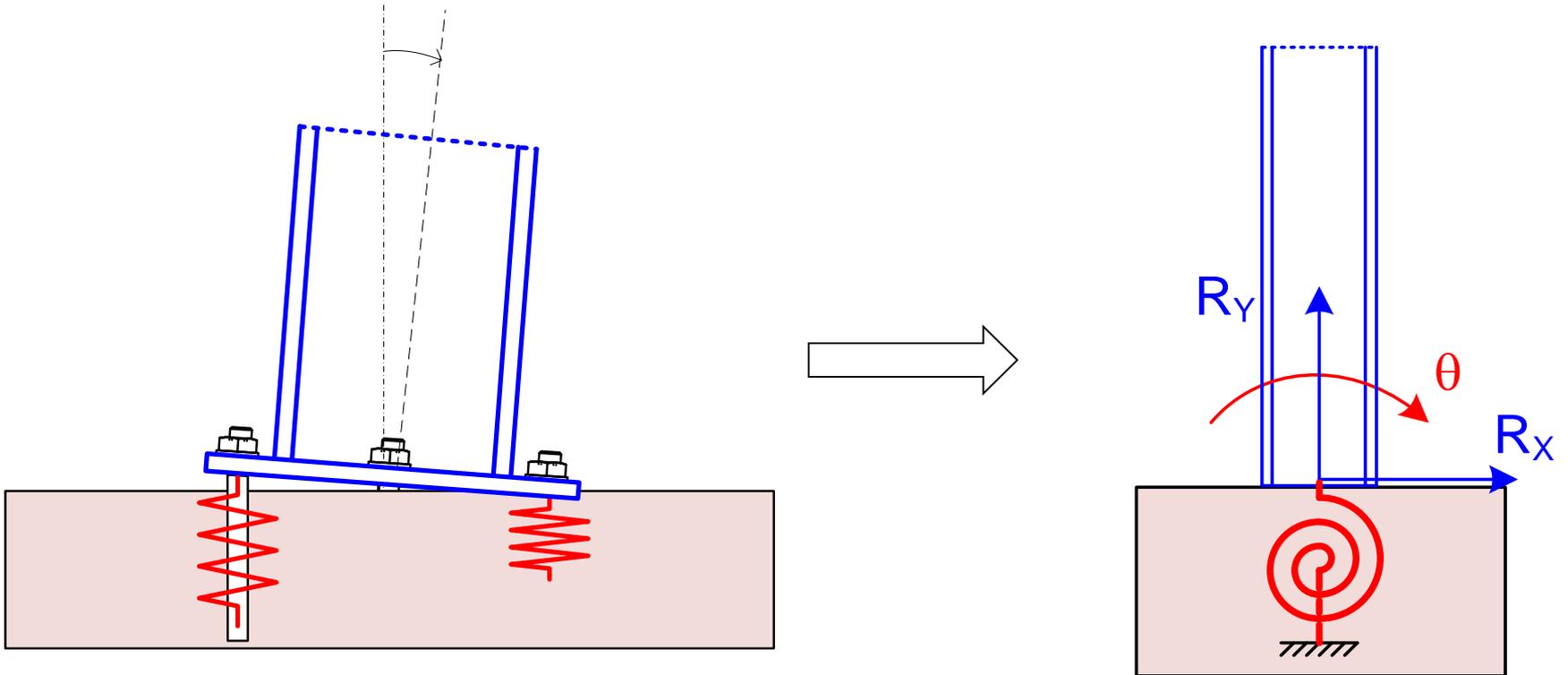


Apoyos articulados



Apoyos elásticos

Idealización de la flexibilidad de las uniones



Comportamiento de una nave tipo con pórtico rígido

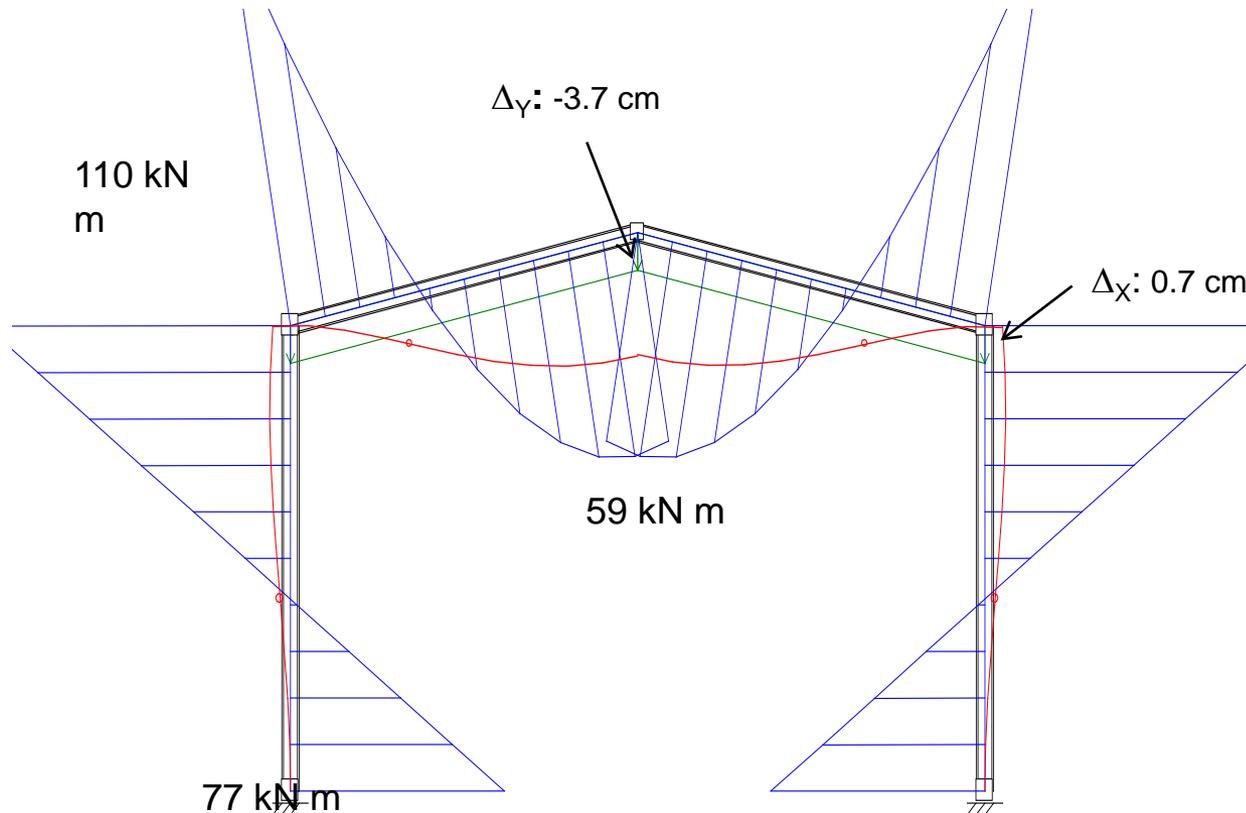
Luz= 20 m Altura de pilares: 10 m

Altura de cumbrera: 12 m

Separación: 4 m

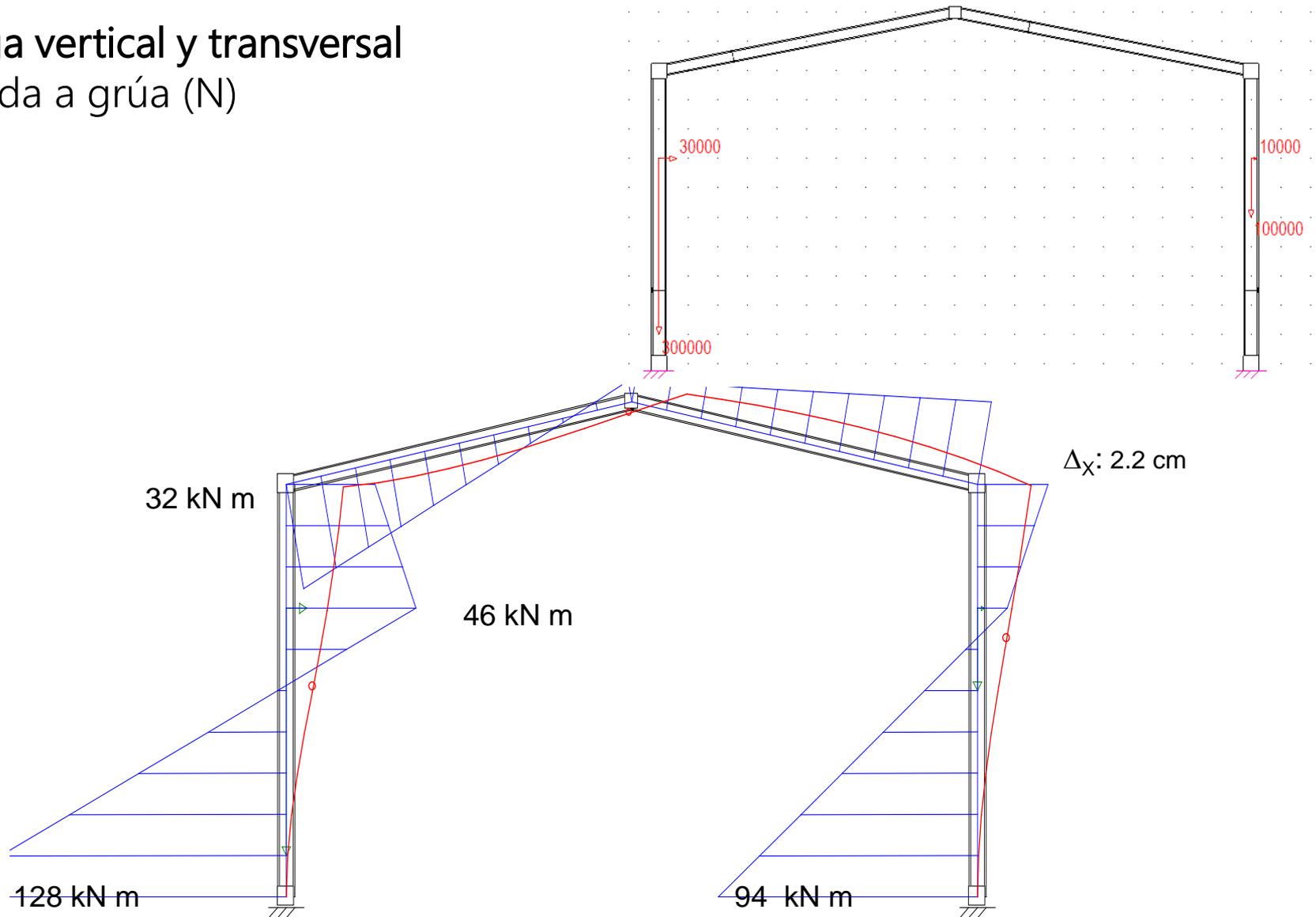
Dintel: IPE 400, Postes: IPE 500

Carga vertical en dintel: 4 kN/m



Comportamiento de una nave tipo con pórtico rígido

Carga vertical y transversal
debida a grúa (N)



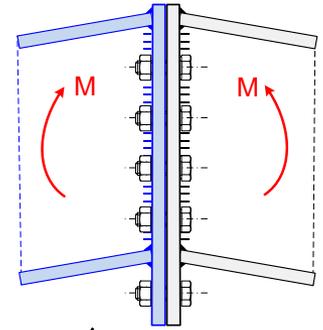
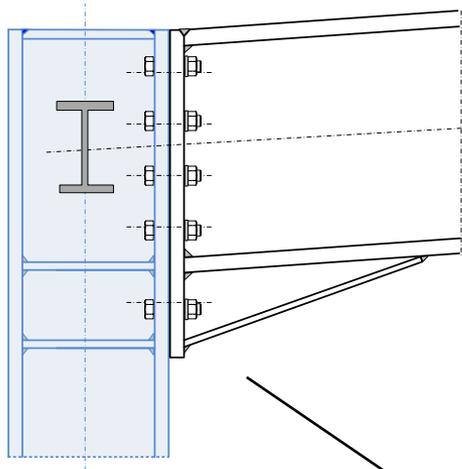
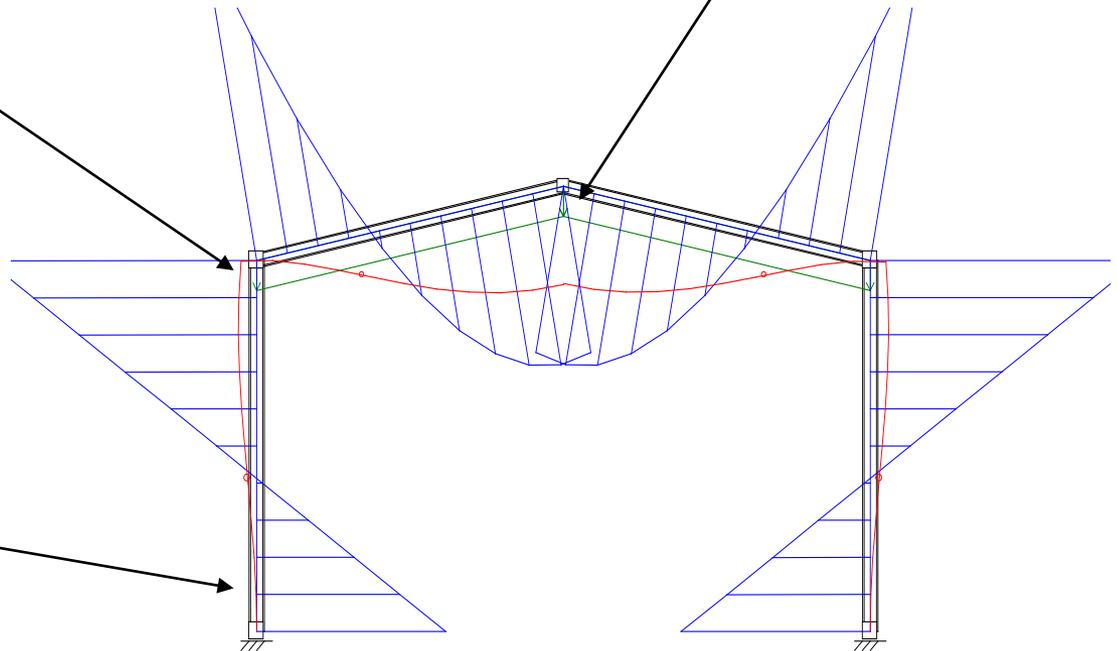
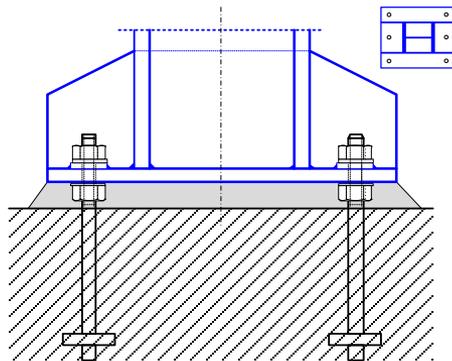
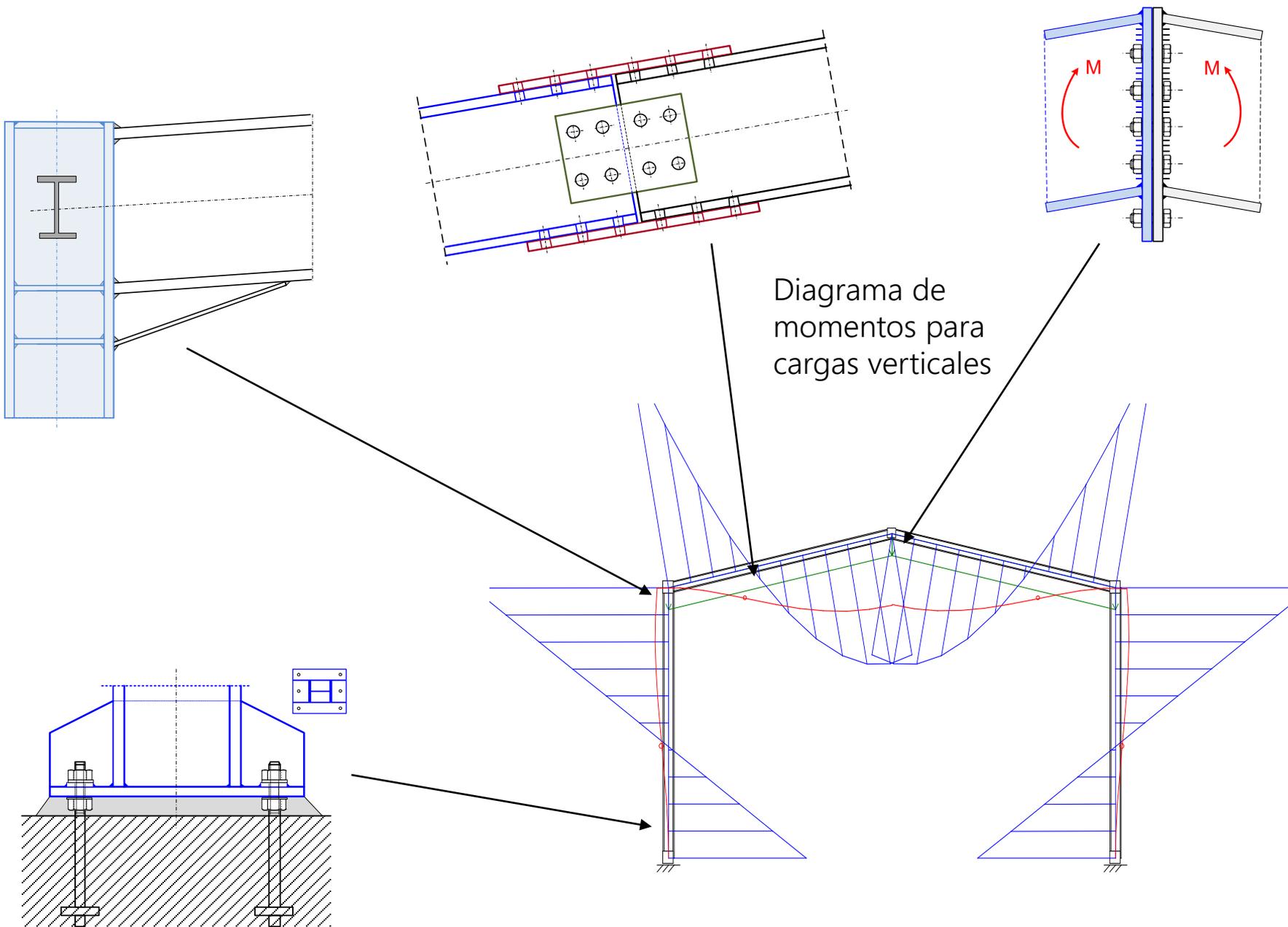
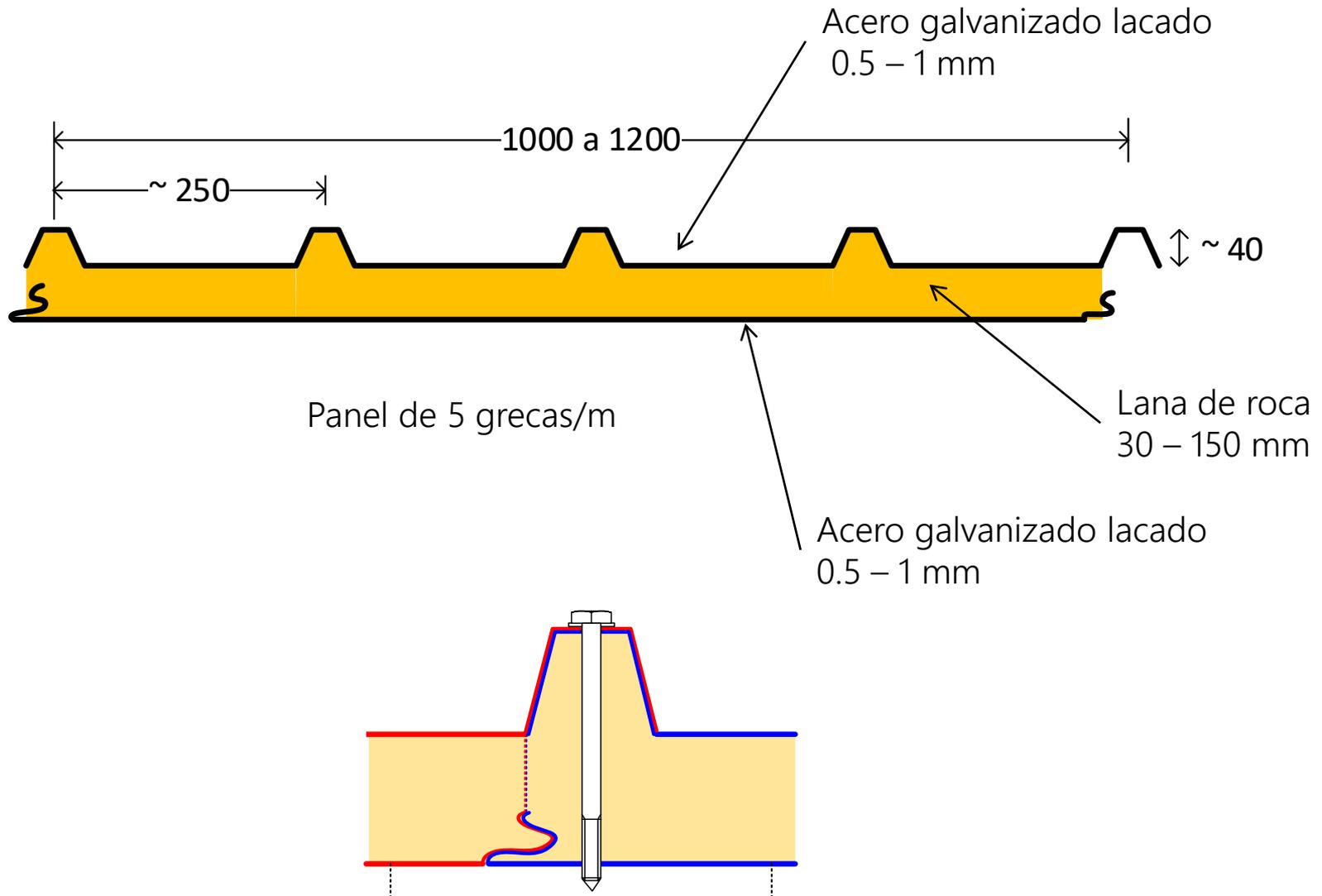


Diagrama de momentos para cargas verticales



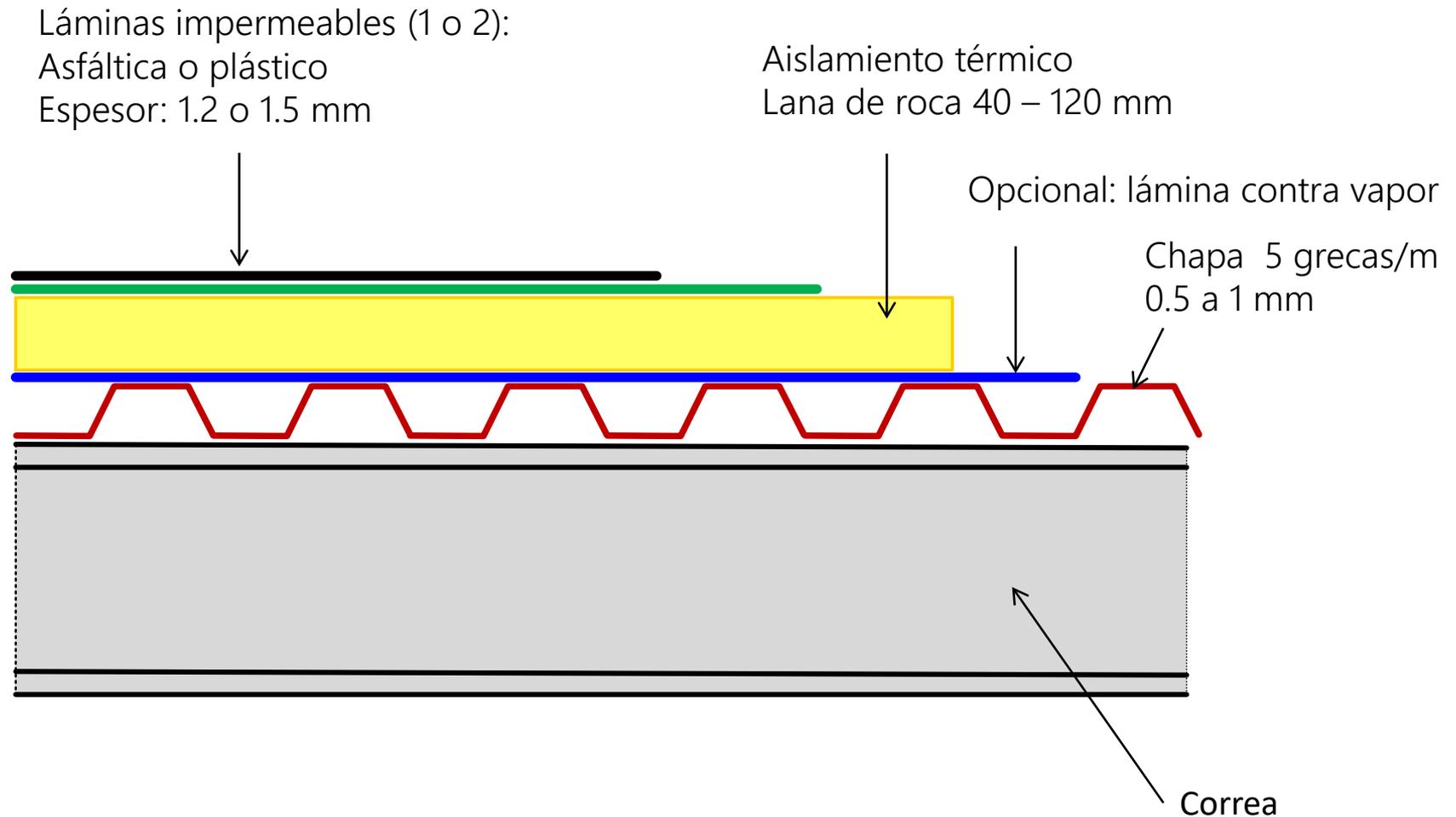


Cubierta: panel sándwich de lana de roca



Cubierta deck (cubiertas \approx planas)

Fabricadas in-situ

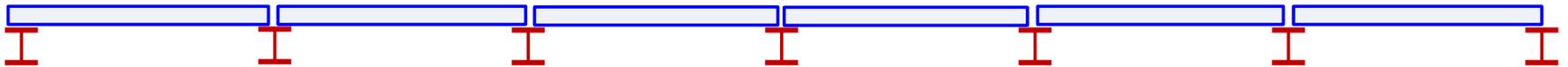


Correas: disposición estructural

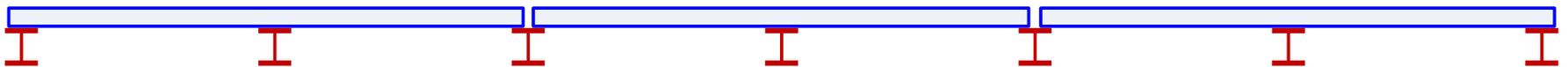
Vigas apoyadas en los pórticos

Luz de las correas = separación entre pórticos principales (6 – 12 m)

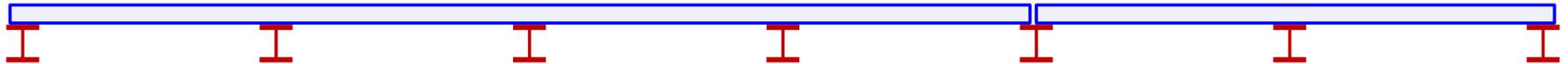
Apoyada



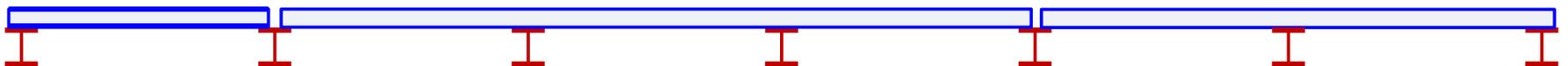
Continua n=2 vanos



Continua ≥ 4 vanos



Vano 1 articulado (axial) (I)

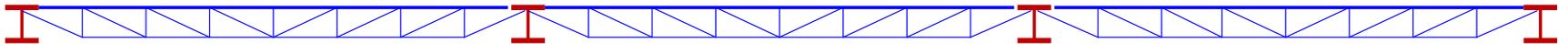


Apoyada enrasada (I)

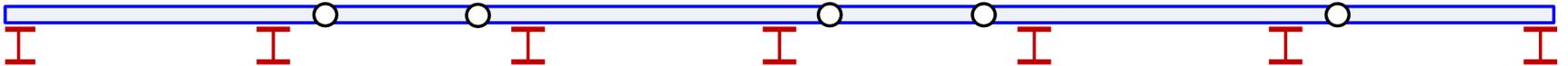


Correas: disposición estructural

Celosía (separación pórticos grande)



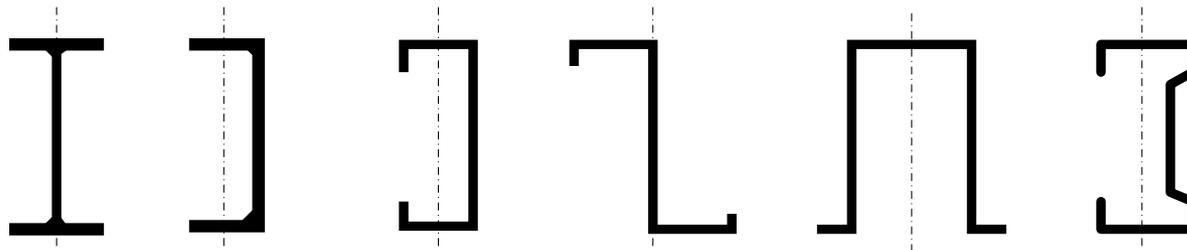
Articulada (Gerber) (I, C, Z)



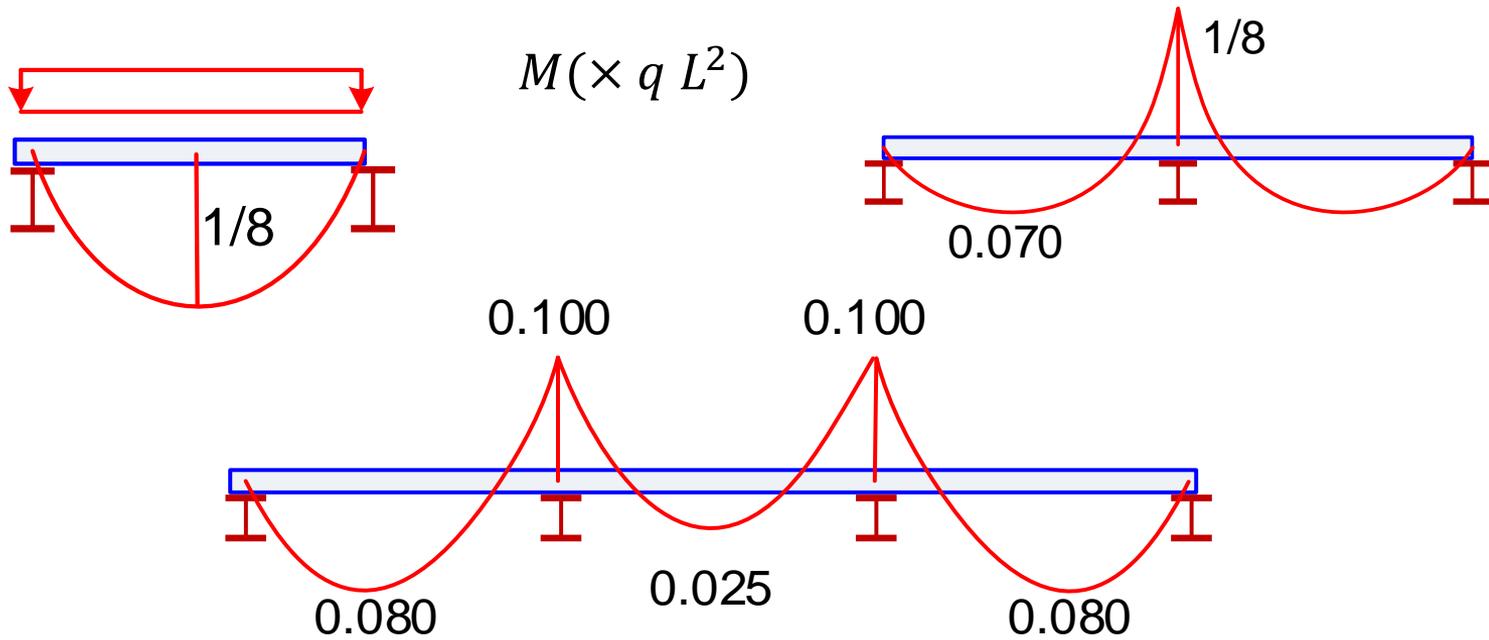
Perfiles para correas:

Laminados en caliente: IPE, UPE

Laminados en frío (tendencia actual, naves ligeras): C, Z, Ω , Σ

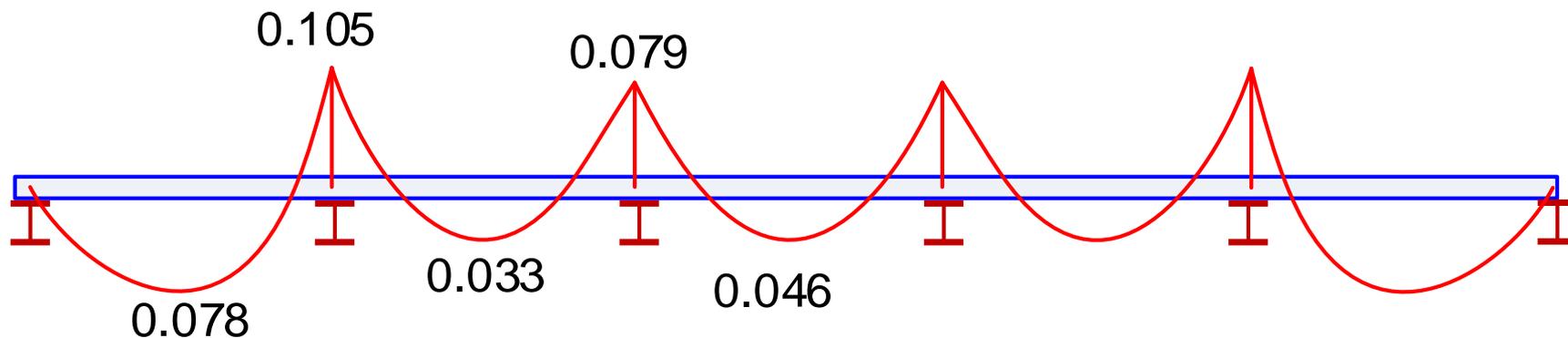
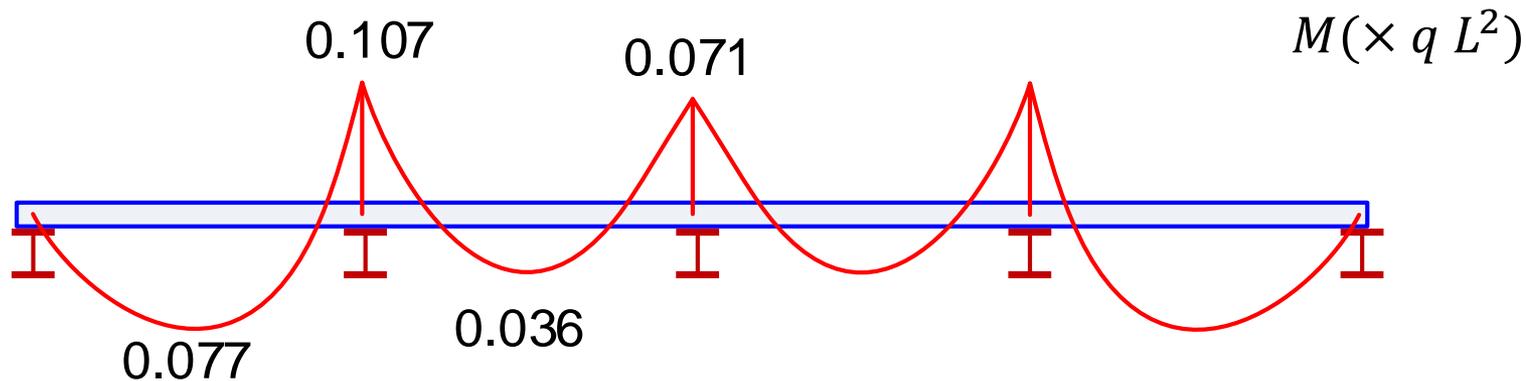


Correas apoyadas y correas continuas



Correa apoyada	$M_{vano} = 0.125 q L^2$	$\Delta_{centro} = 0.0130 \frac{q L^4}{E I}$
Continua 2 vanos	$M_{apoyo2} = 0.125 q L^2$	$\Delta_{vano1} = 0.0054 \frac{q L^4}{E I}$
Continua 3 vanos	$M_{apoyo2} = 0.100 q L^2$	$\Delta_{vano1} = 0.0069 \frac{q L^4}{E I}$

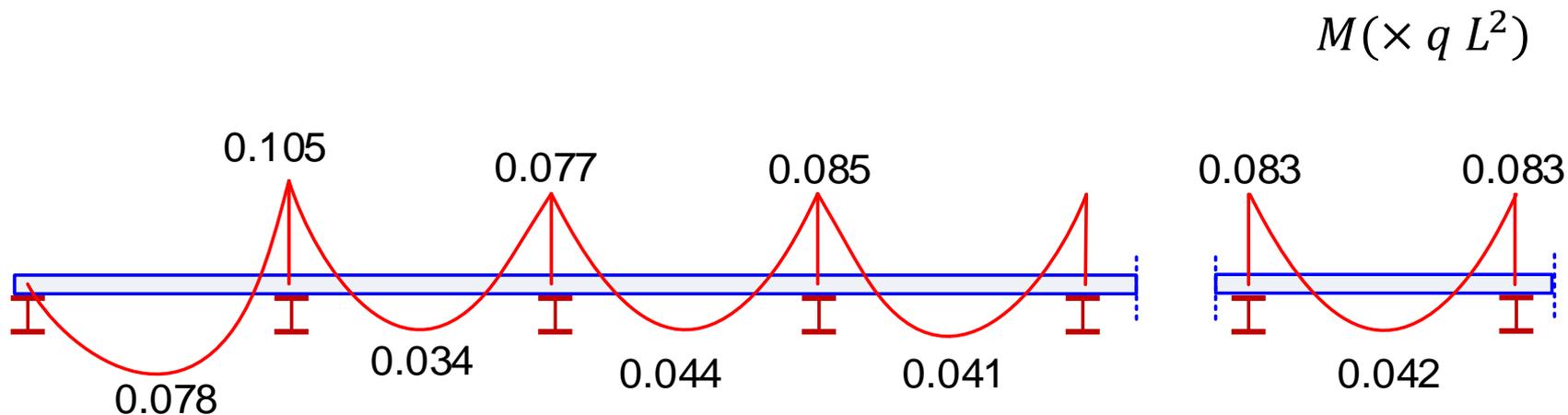
Correas continuas de 4 y 5 vanos



Continua 4 vanos $M_{apoyo2} = 0.107 q L^2$ $\Delta_{vano1} = 0.0065 \frac{qL^4}{EI}$

Continua 5 vanos $M_{apoyo2} = 0.105 q L^2$ $\Delta_{vano1} = 0.0066 \frac{qL^4}{EI}$

Correas continuas de muchos vanos



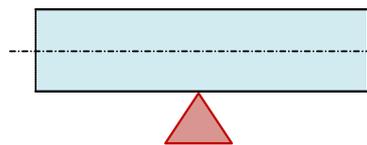
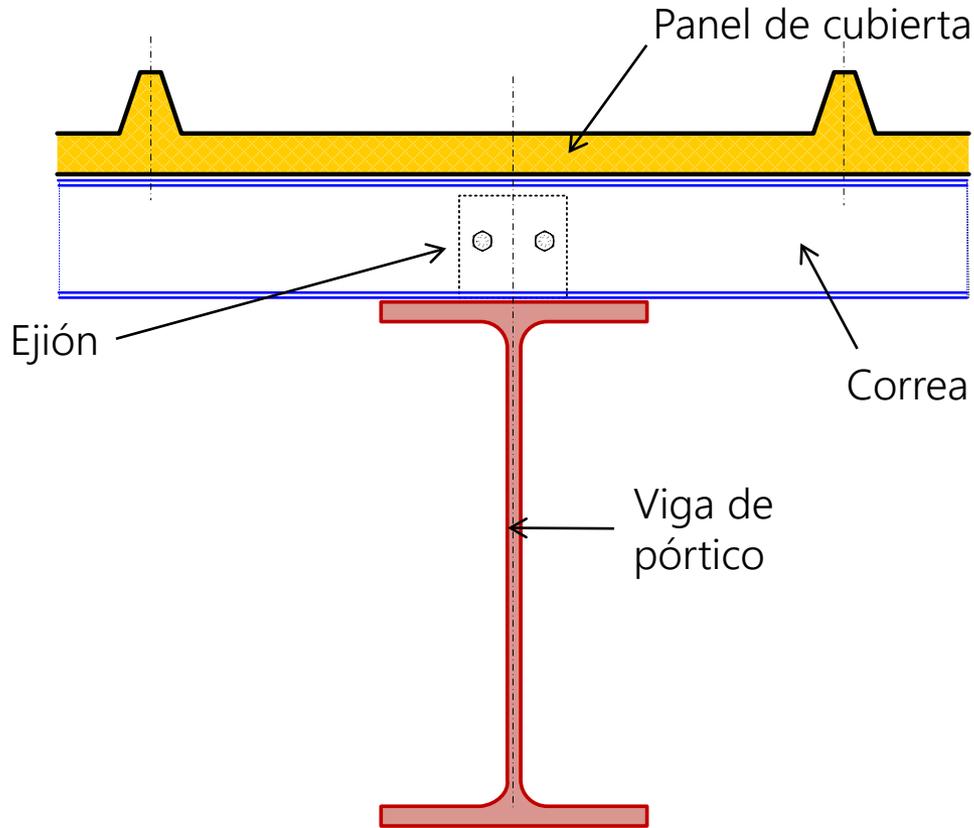
Continua de ∞ vanos $M_{apoyo2} = 0.105 qL^2$

$$\Delta_{vano1} = 0.0065 \frac{qL^4}{EI}$$

$$\Delta_{vanoCentral} = 0.0026 \frac{qL^4}{EI}$$

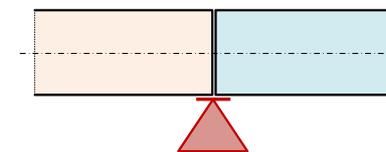
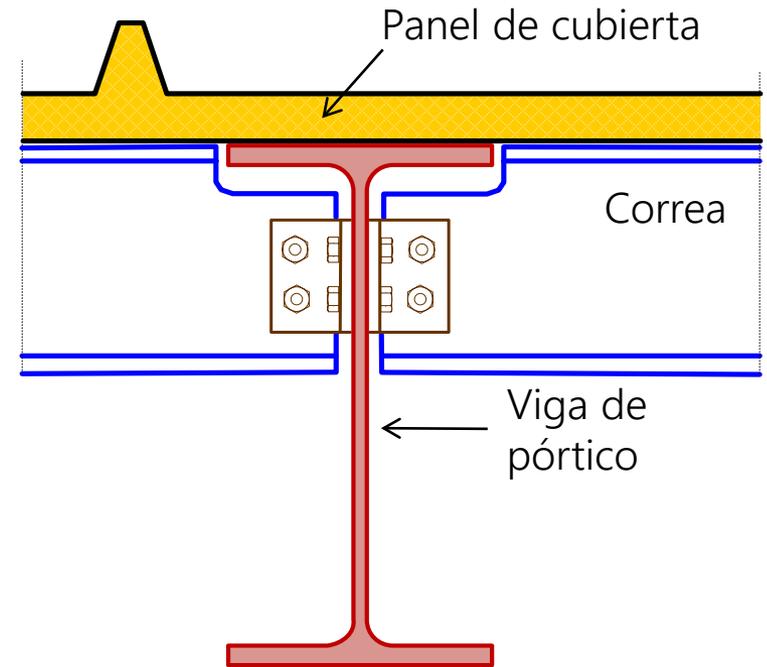
Apoyo de correas sobre pórtico

Correa continua



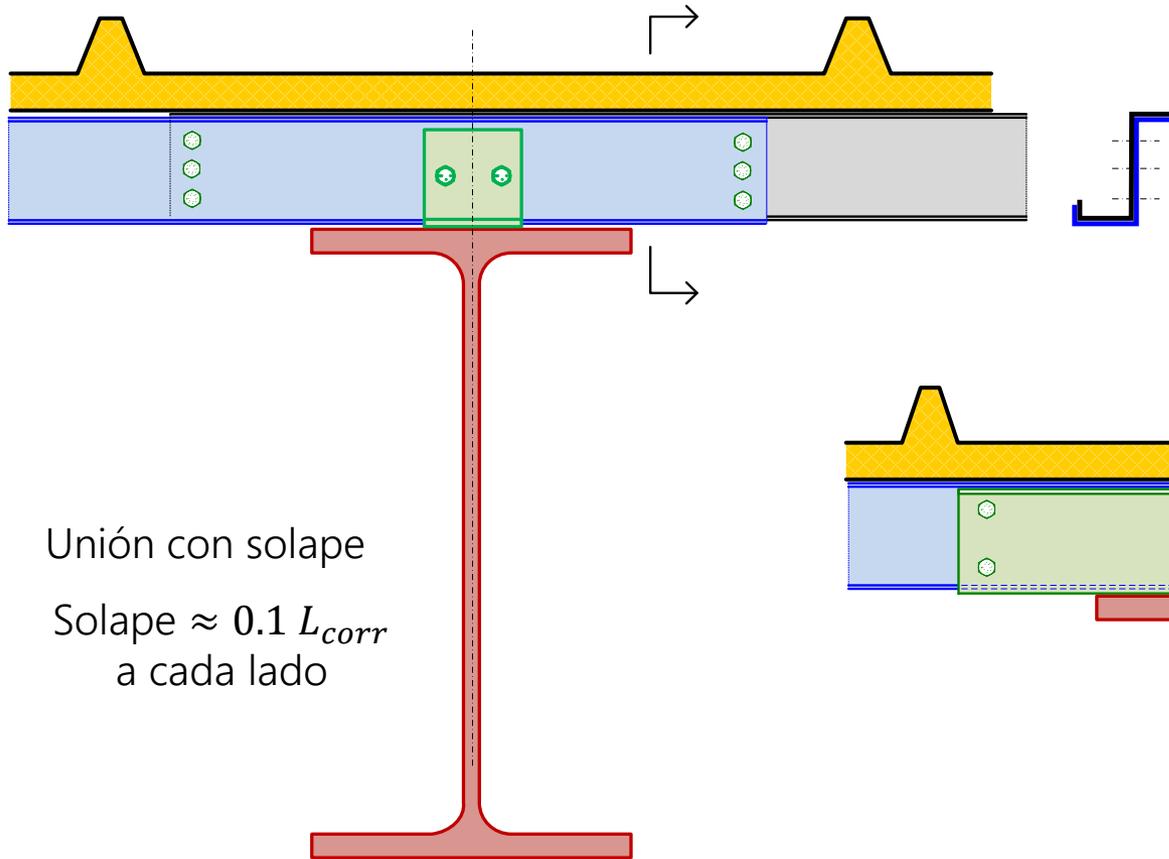
Apoyo continuo

Correa apoyada enrasada



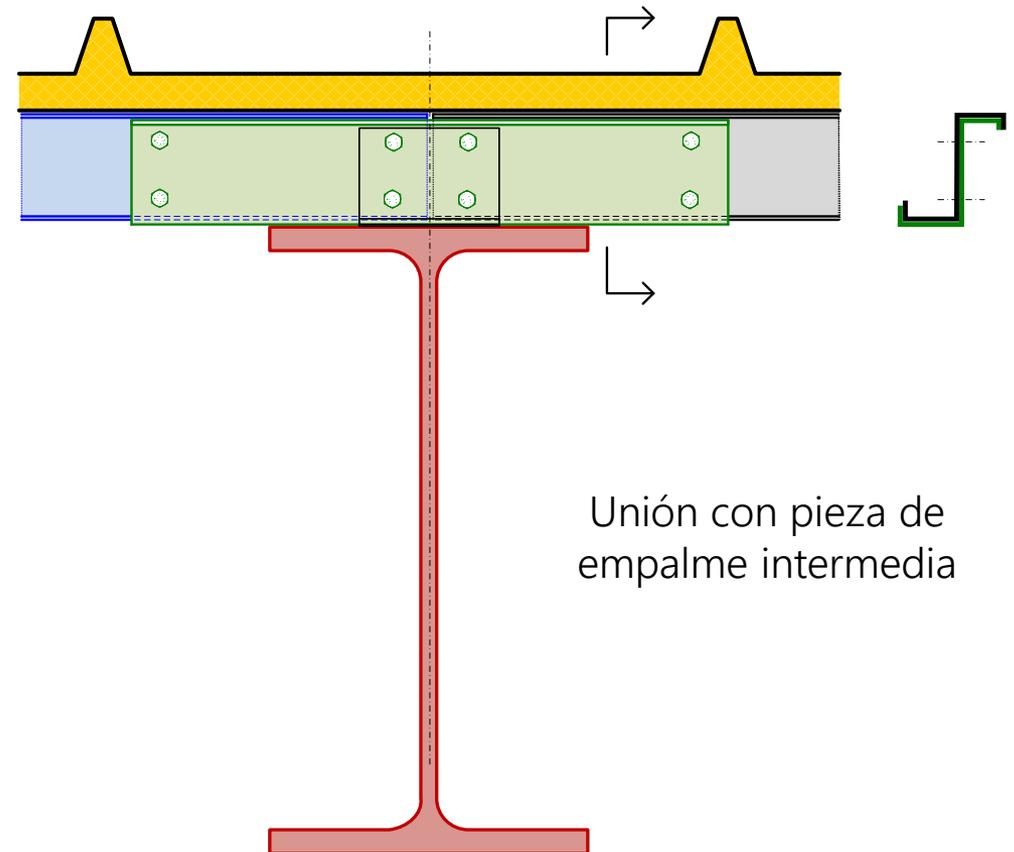
Apoyo simple

Apoyo de correas en Z con unión continua sobre pórtico



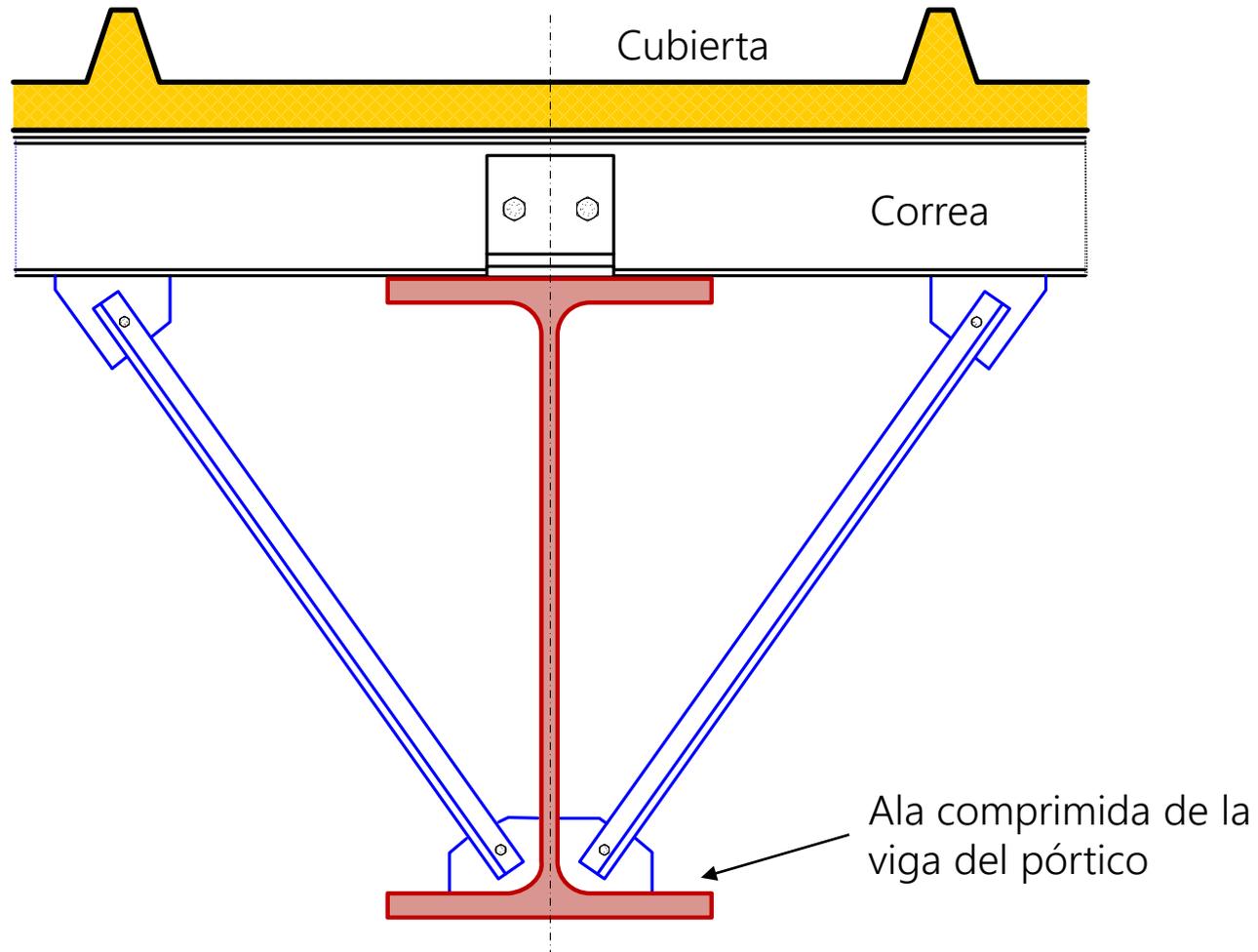
Unión con solape

Solape $\approx 0.1 L_{corr}$
a cada lado



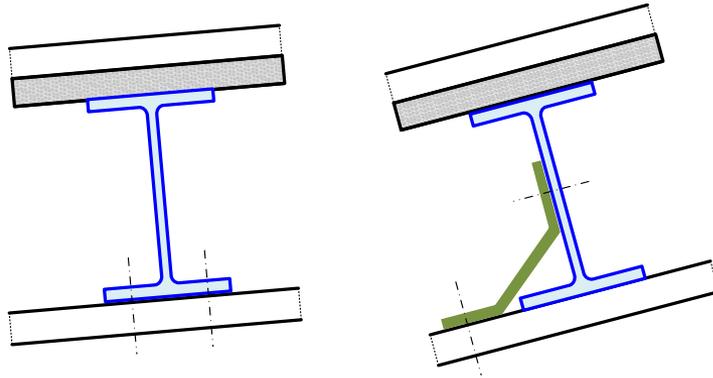
Unión con pieza de
empalme intermedia

Tornapuntas para estabilidad de la viga del pórtico



Sujeción lateral de las correas

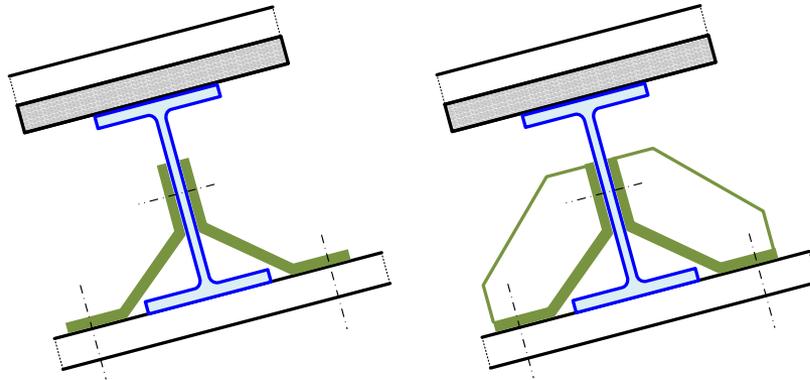
Atornillado directo
Fuerzas laterales muy pequeñas



Ejón simple de chapa

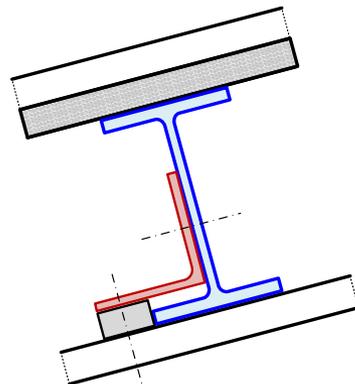
Fuerzas laterales moderadas

Fuerzas laterales grandes
Ejón doble de chapa

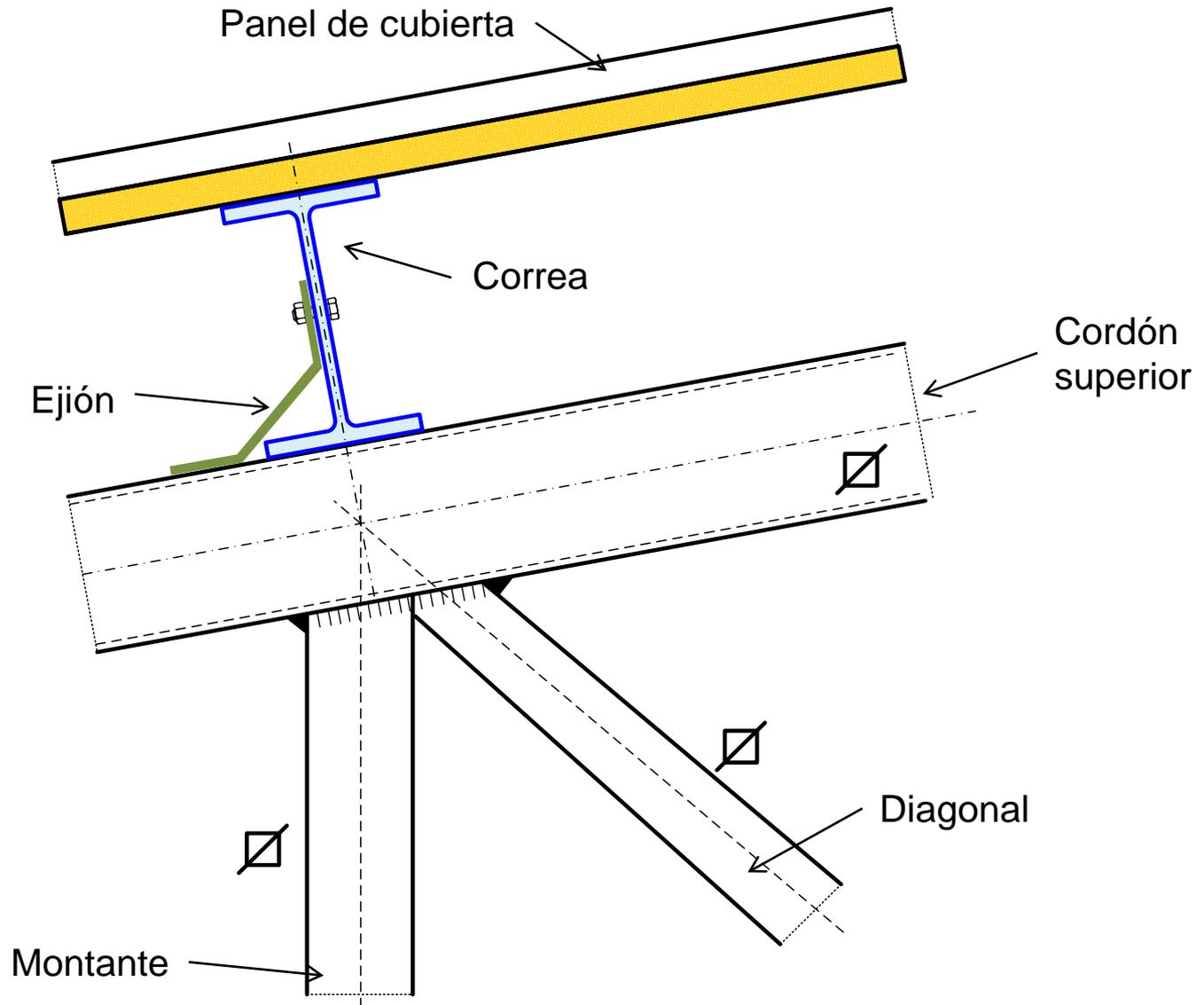


Ejón doble rigidizado

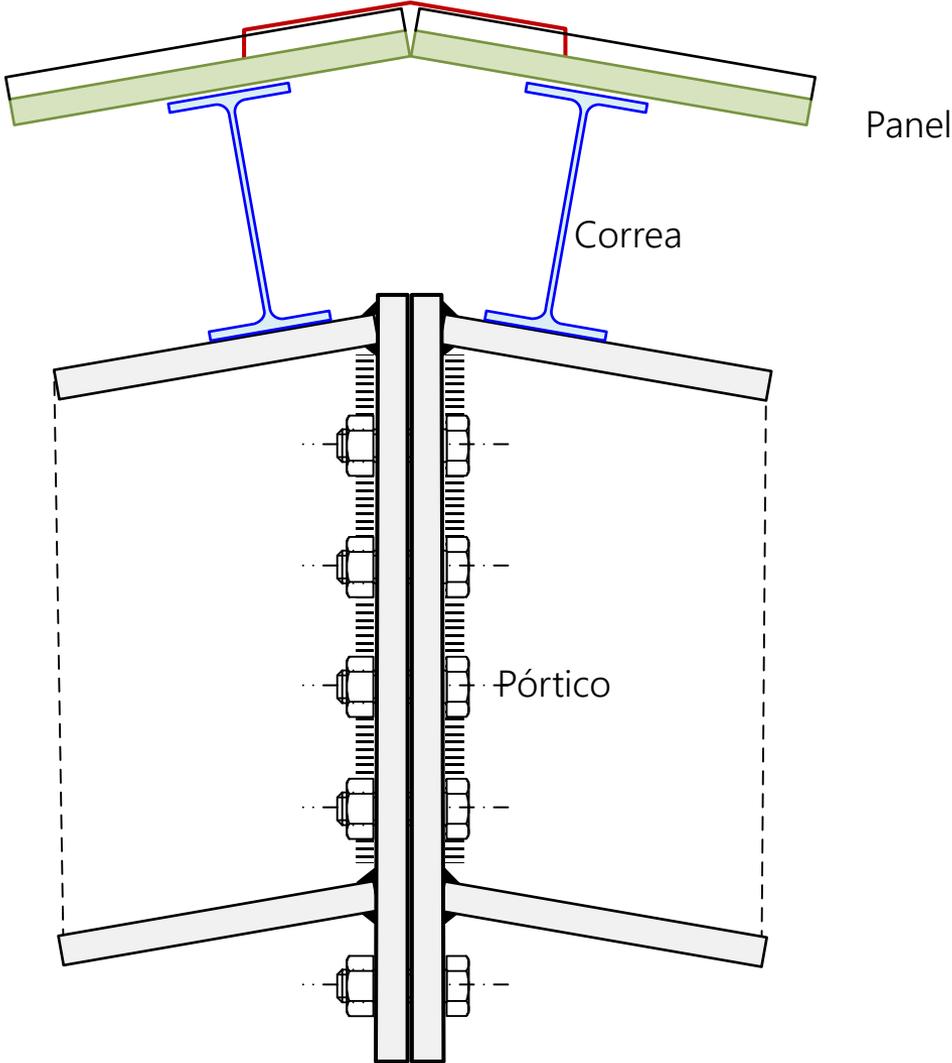
Calzo y angular



Apoyo de correa sobre celosía



Doble correa en cumbrera y panel

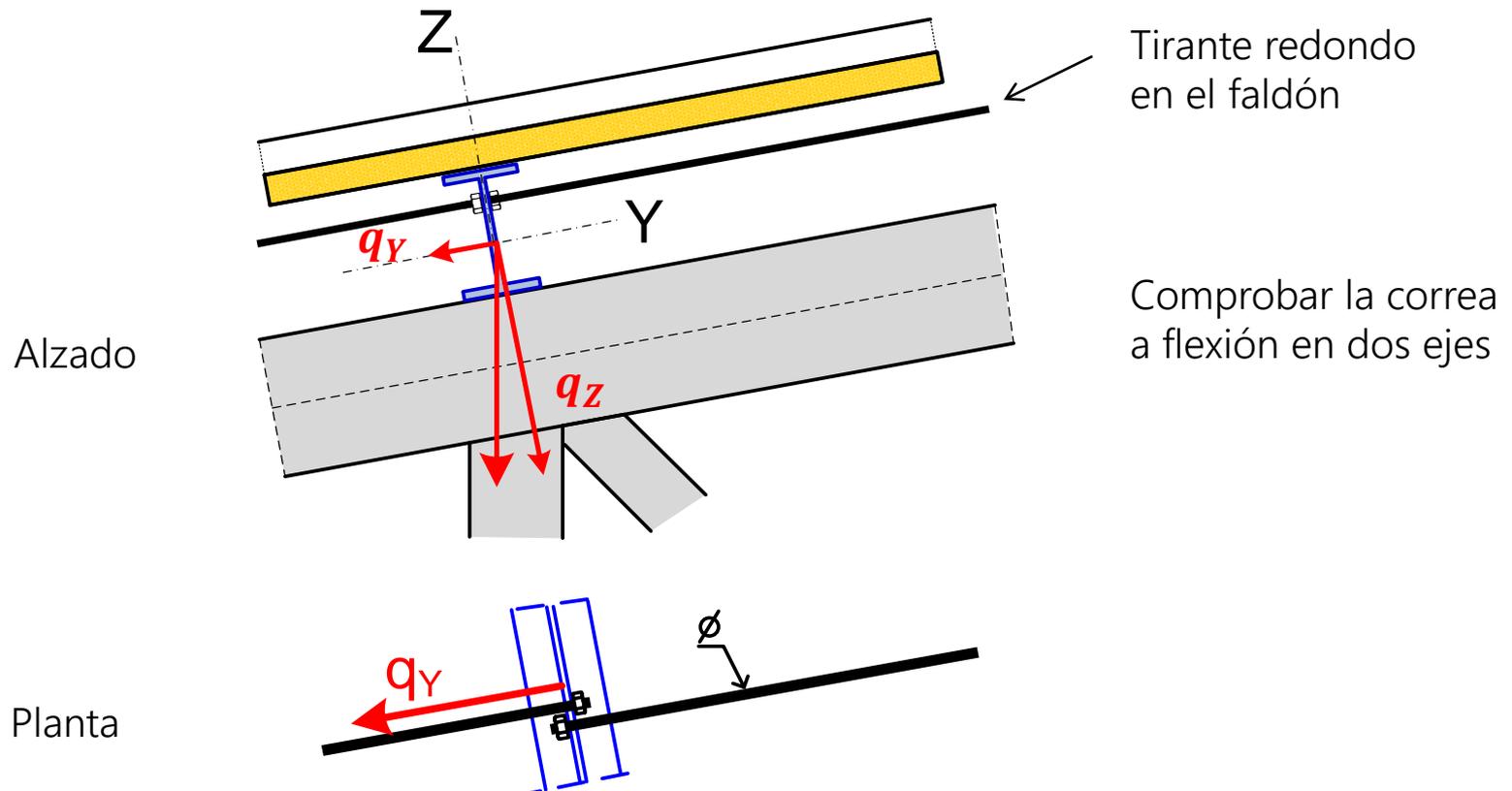


Sujeción lateral de las correas

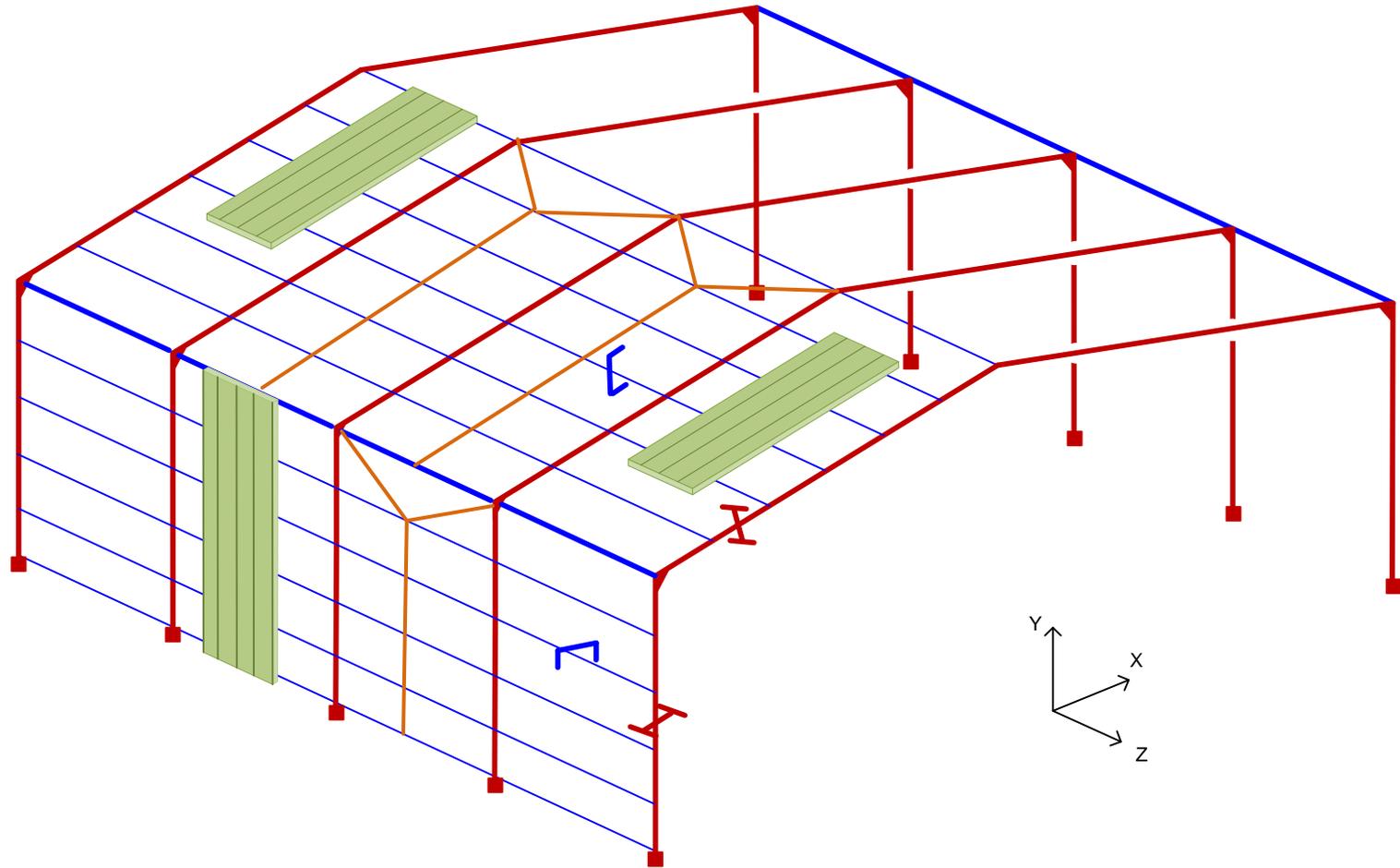
Cargas verticales (peso, nieve) producen una componente en la dirección del faldón q_Y . Flexión en el eje débil (Z) de la correa debido a la q_Y .

Evitar deformación lateral Y excesiva: sujetar las correas por su punto central entre dos apoyos en el pórtico

Se divide la luz por 2 para las cargas transversales a la correa q_Y .



Sujeción lateral de las correas mediante tirantes



Dimensionamiento de correas

Correas a flexión:

Perfiles laminados (IPE): son clases 1, 2 o 3

Comprobar a flexión en 2 ejes

Interacción flexión – cortante no es habitual

Perfiles en frío (C, Z, Ω ...): suelen ser clase 4 a flexión

Comprobación muy compleja EN 1993-1-3

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{M_{y,Ed}}{W_{pl,y}f_{yd}} + \frac{M_{z,Ed}}{W_{pl,z}f_{yd}} \leq 1 \\ \frac{M_{y,Ed}}{W_{el,y}f_{yd}} + \frac{M_{z,Ed}}{W_{el,z}f_{yd}} \leq 1 \end{array} \right.$$

Correas a flexión + axial (colaborantes en contravientos)

Perfiles laminados: IPE menor resistencia a pandeo. Recomendado HEA, HEB

Comprobar a pandeo por flexión - compresión

Límites de deformación:

Flecha activa: $w_{act} < L/250$ Sobrecargas

Flecha total: $w_{total} < L/200$ CP + sobrecargas

Pórtico de cierre de fachada frontal

A. Un pórtico similar a los demás de la nave. Dos opciones:

A.1 Pórtico exactamente igual que los demás (mismos perfiles) (sobredimensionado, pues sólo $\frac{1}{2}$ carga vertical): sencillez, ampliaciones

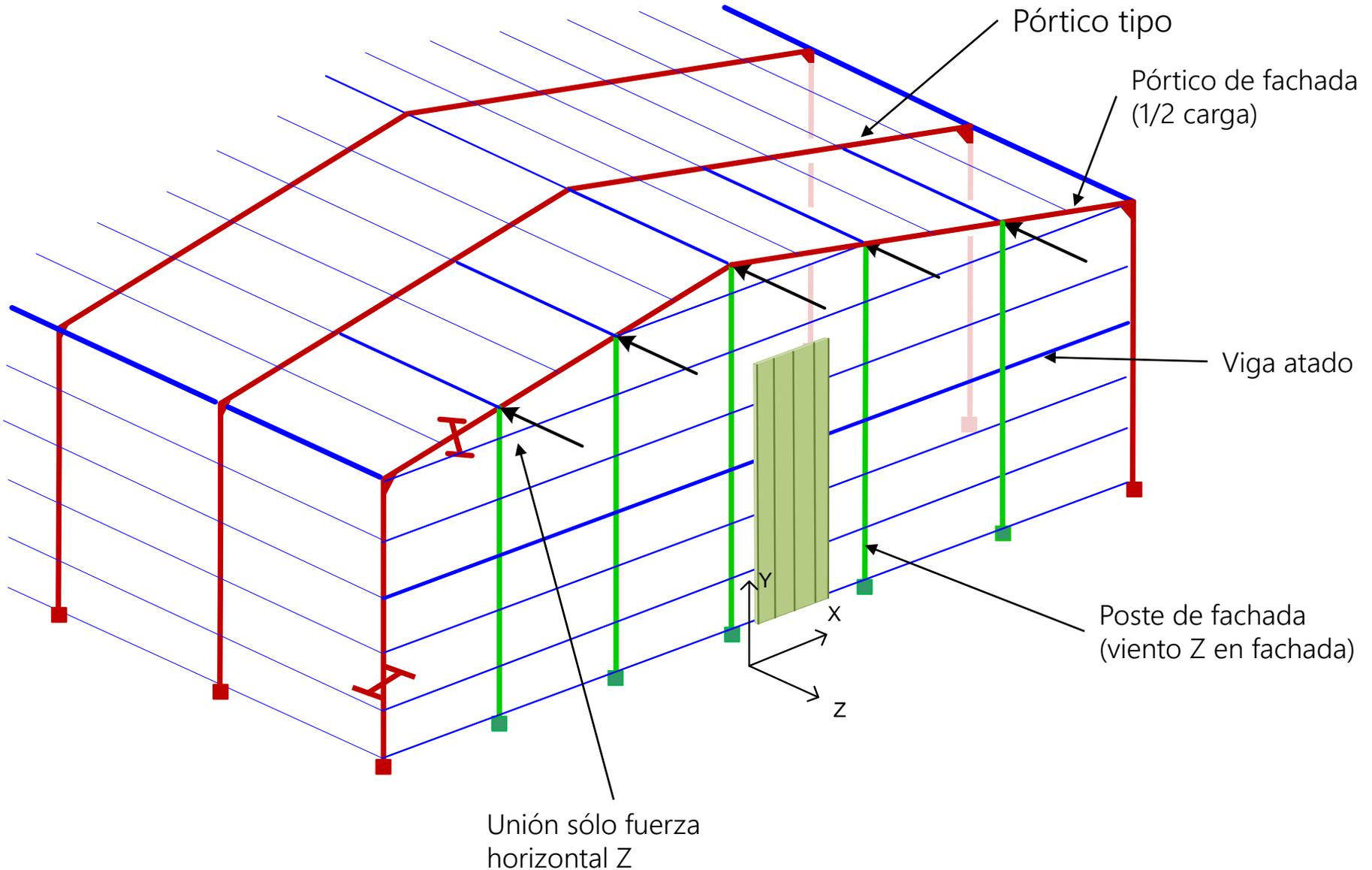
A.2 Pórtico del mismo tipo, con menores perfiles ($\frac{1}{2}$ carga)

B. Postes en fachada destinados a soportar sólo el viento en fachada, ninguna carga vertical. Las cargas verticales de cubierta las soporta el pórtico A.

Poste de fachada trabaja como una viga vertical, apoyada en el pórtico y empotrada en la cimentación (puede hacerse articulado en la base)

Apoyo de la cabeza del poste de fachada en el pórtico transmite sólo fuerza horizontal

Pórtico de fachada frontal + postes de fachada



Cierre de fachada frontal con muro testero (piñón)

No existe un pórtico como los demás en la fachada frontal

Entramado de postes de fachada y vigas

Vigas simplemente apoyadas en los postes: cargas verticales (1/2) y menor luz

Postes soportan: cargas verticales de cubierta transmitidas por las vigas + cargas horizontales distribuidas debidas al viento.

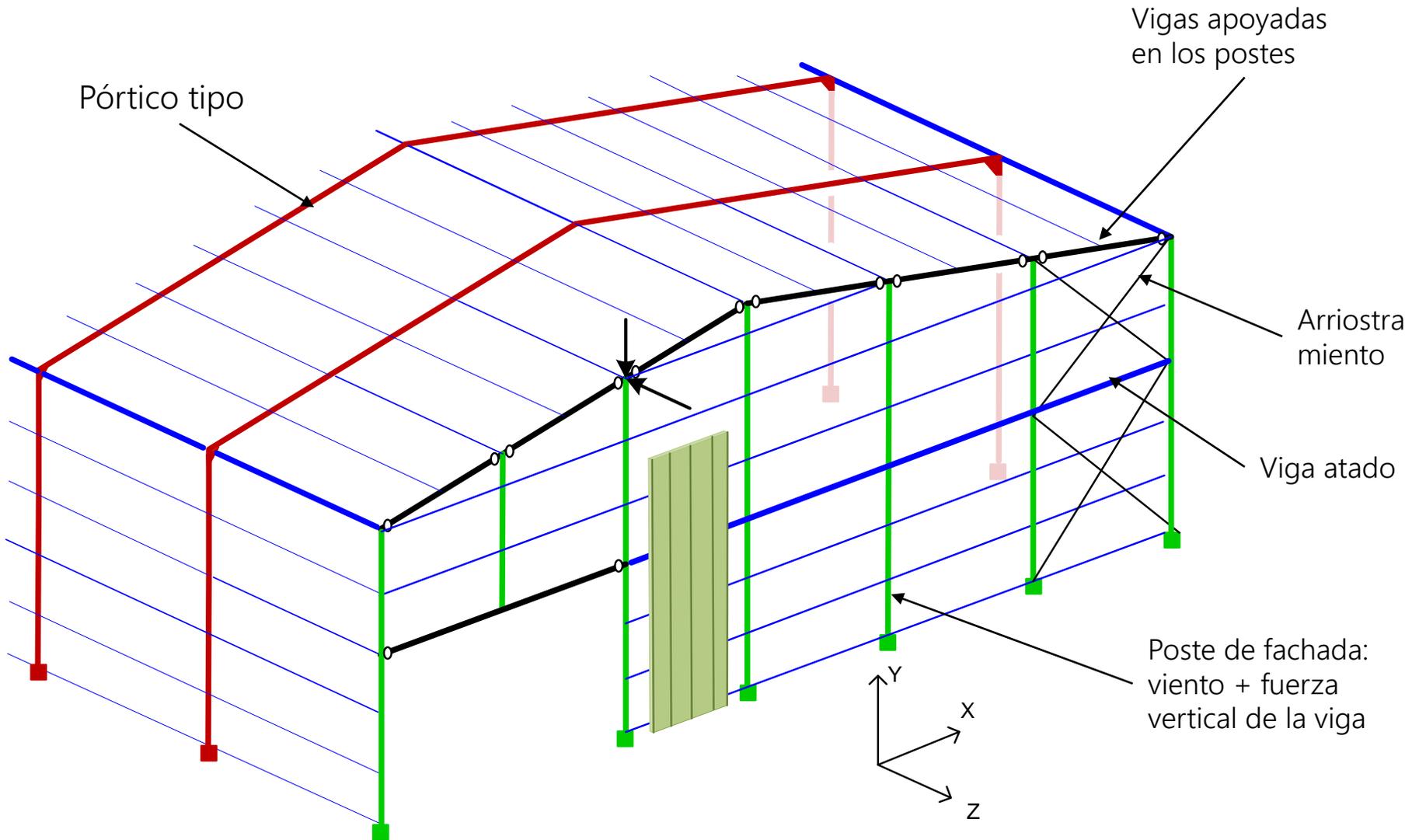
Poste trabaja como una viga vertical, apoyado en la parte superior y empotrado en la cimentación (puede hacerse articulado en la cimentación) soportando la fuerza Z del viento+ fuerza vertical Y de la viga

Apoyo de la cabeza del poste de fachada: recibe la fuerza vertical Y de la viga y le transmite la fuerza horizontal Z

Necesario arriostramiento en el plano del muro testero para dar estabilidad frente a cargas laterales

Pueden disponerse vigas horizontales intermedias, para aberturas y arriostramiento

Cierre de fachada frontal con muro testero



Sistemas de arriostramiento contra viento

Absorben las cargas laterales debidas al viento en fachadas y las transmiten a la cimentación

Rigidizan la cubierta, dan estabilidad al edificio

Limitan la longitud de pandeo de los postes

Sistema complejo que requiere:

- Celosías planas en diversas posiciones (plano de cubierta, fachadas laterales)
- Postes auxiliares en fachadas frontales
- Colaboración de pórticos y correas

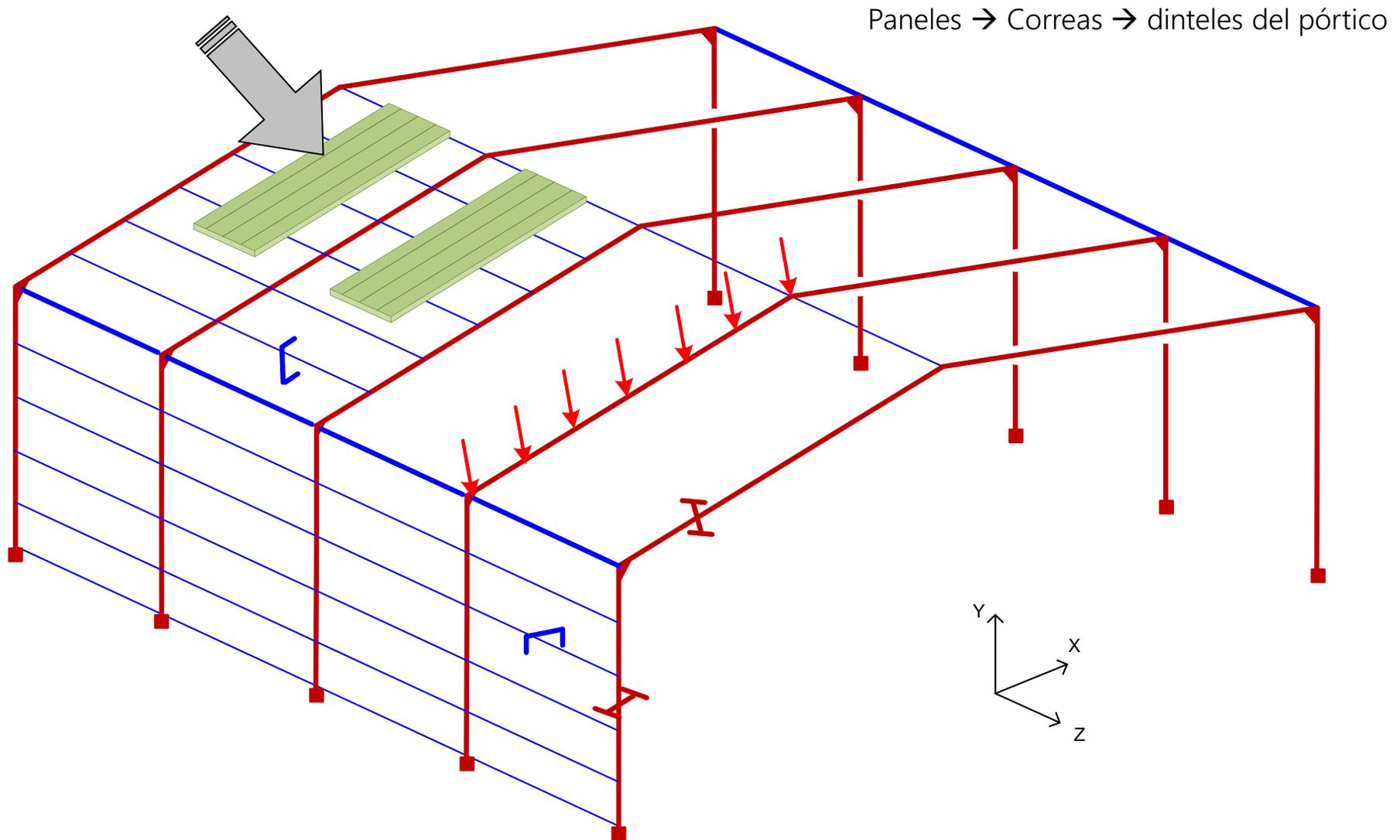
Viento en cubiertas:

Actúa sobre los paneles de cubierta, que lo transmiten a las correas y éstas a los pórticos o celosías principales. No es necesario ningún elemento más.

Viento en fachadas:

Actúa sobre los paneles de fachada, que lo transmiten a las correas de fachada, y éstas a los postes principales. Son necesarios más elementos

Viento en cubiertas



Celosía de arriostramiento de cubierta

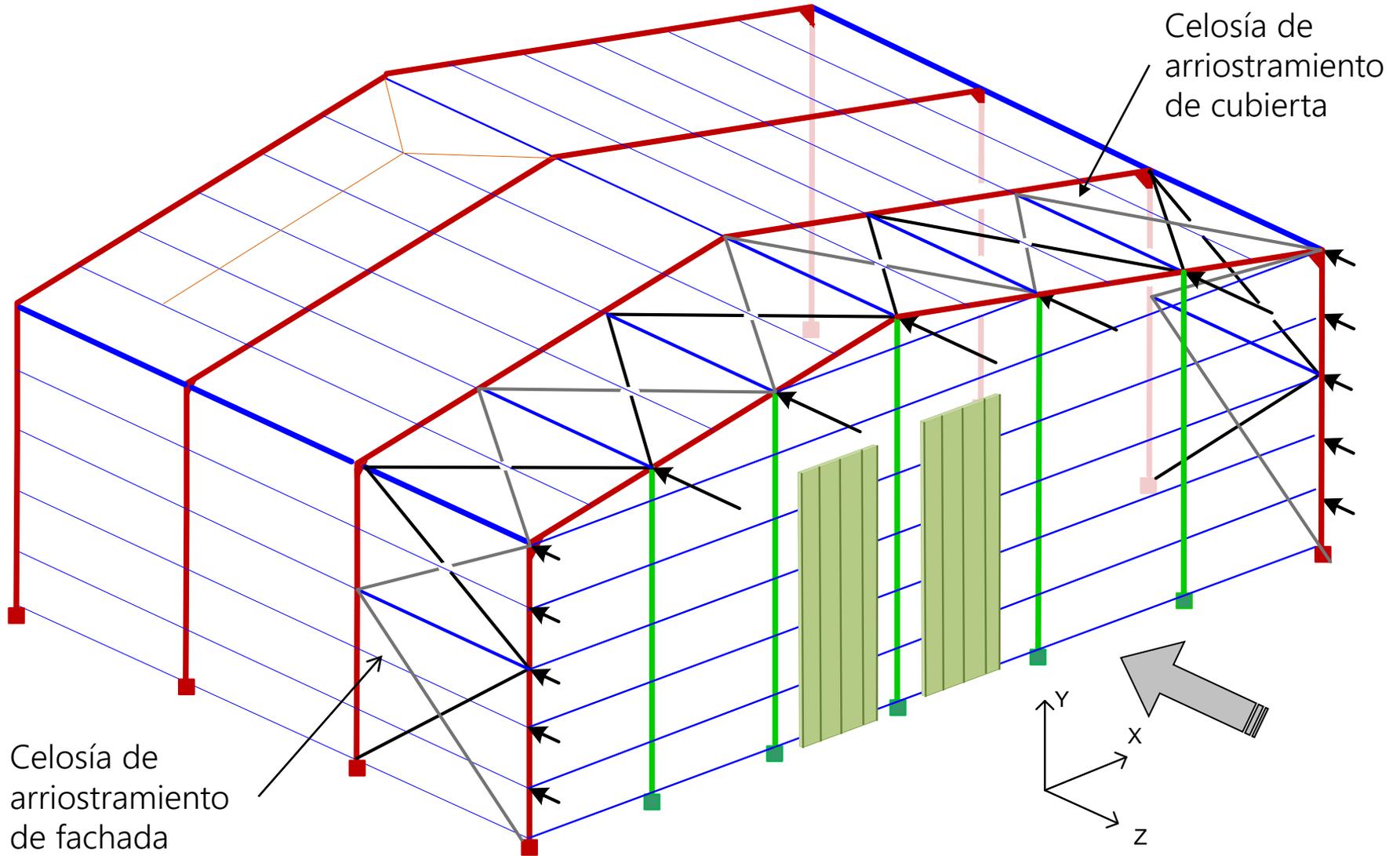
Funciones:

1. Recibir y soportar las **fuerzas** ejercidas por los postes de fachada, **provenientes del viento** actuante en las fachadas cortas (reacción horizontal). Transmitirlas a la celosía contra viento de fachada
2. **Dar estabilidad al plano de la cubierta**, formado por correas + dinteles de pórticos o cordón superior de la celosía. Unión correa – dintel es articulada, por lo que la cubierta es poco estable en su plano.
3. **Fijar el ala comprimida del dintel** (ala superior) del pórtico (o cordón superior de la celosía) y absorber las imperfecciones del cordón superior. Los nudos de la celosía de arriostramiento coincidentes con correas representan puntos fijos para el cordón superior.

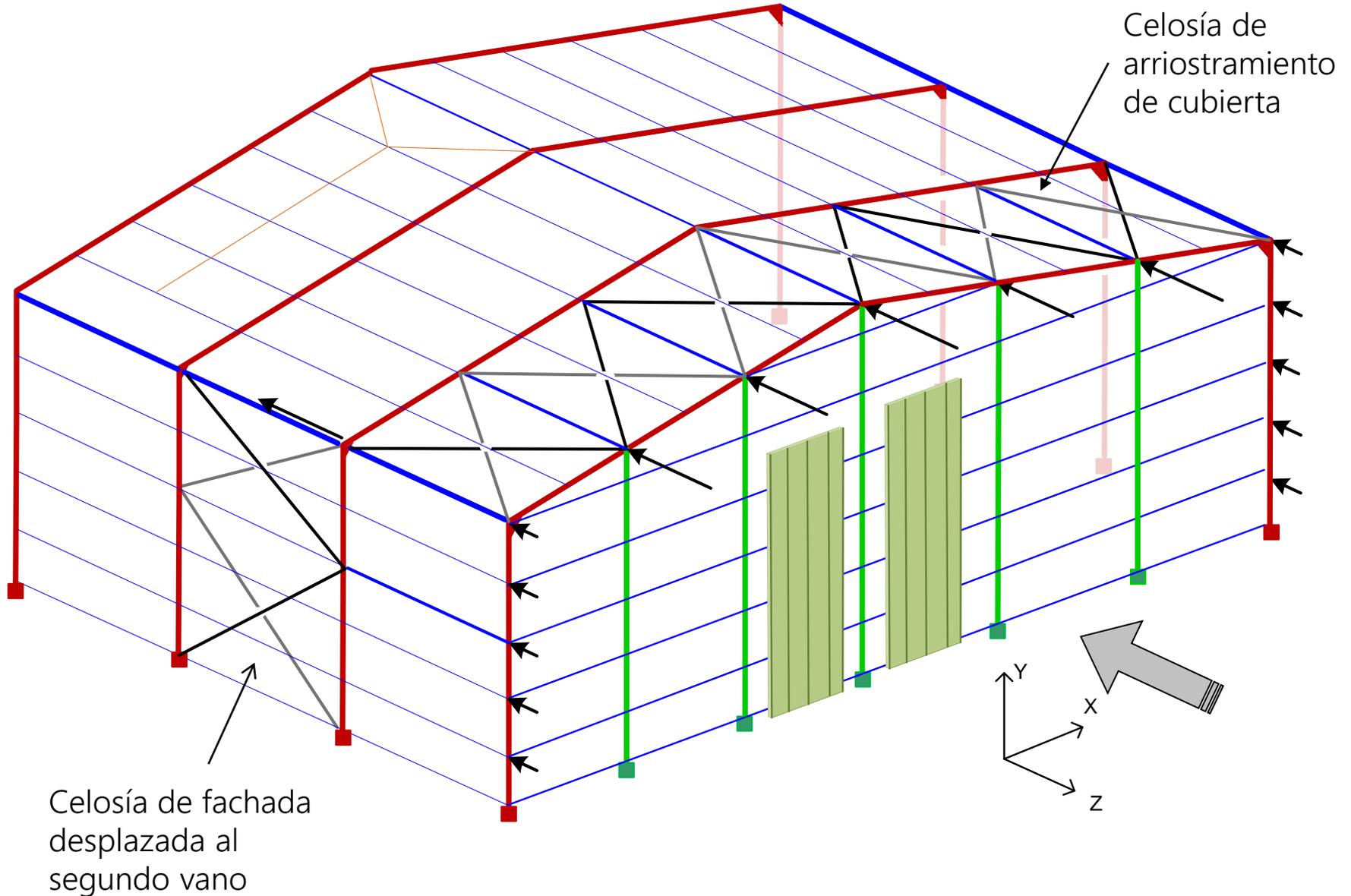
Situárlas en ambos extremos de la nave.

Trozo de la nave entre dos juntas de dilatación (sin viento): disponer en el centro una celosía de arriostramiento en cubierta.

Arriostramiento contra viento frontal (1)

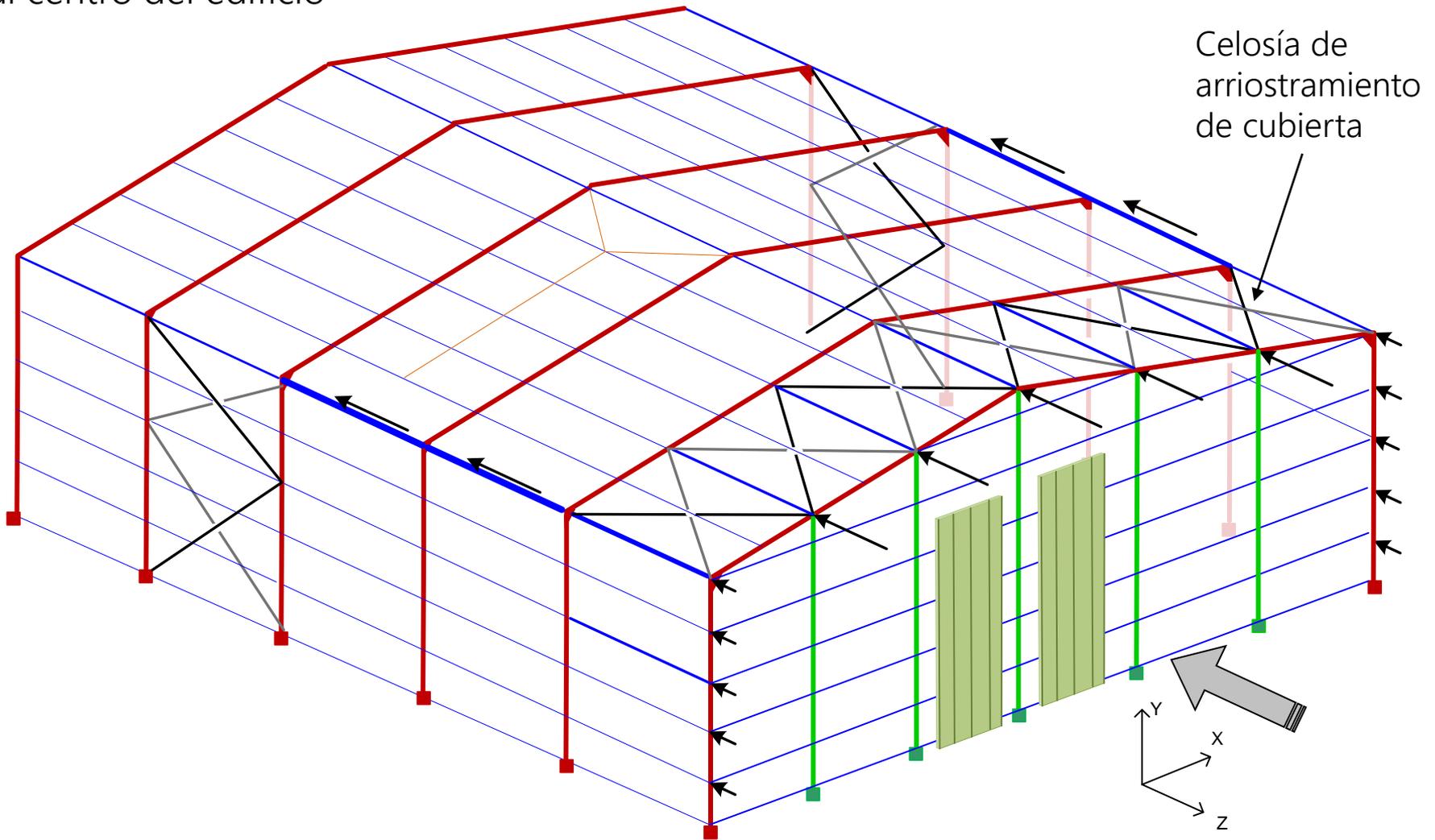


Arriostramiento contra viento frontal (2)



Arriostramiento contra viento frontal (3)

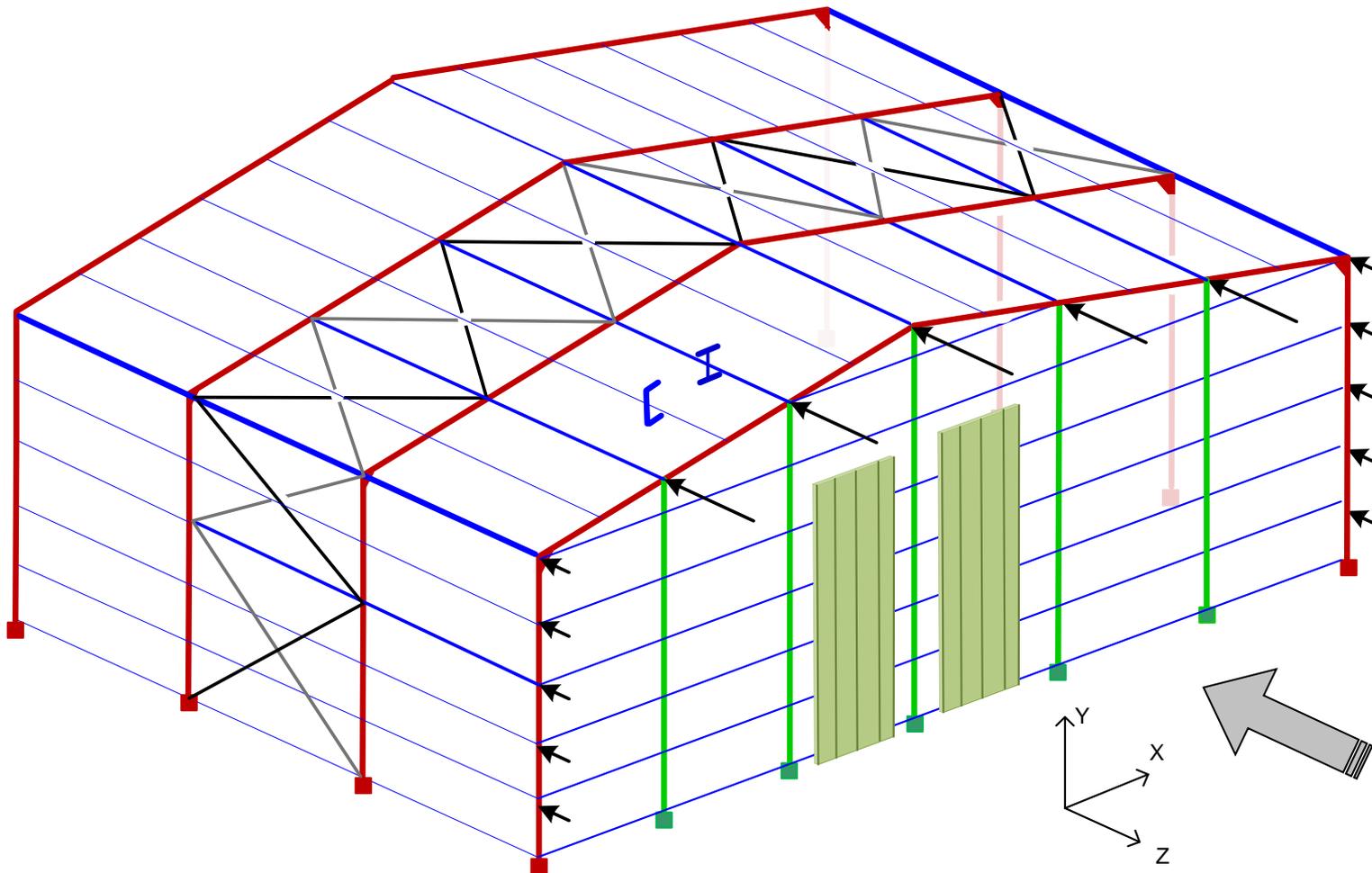
Celosía de fachada desplazada al centro del edificio



Arriostramiento contra viento frontal (4)

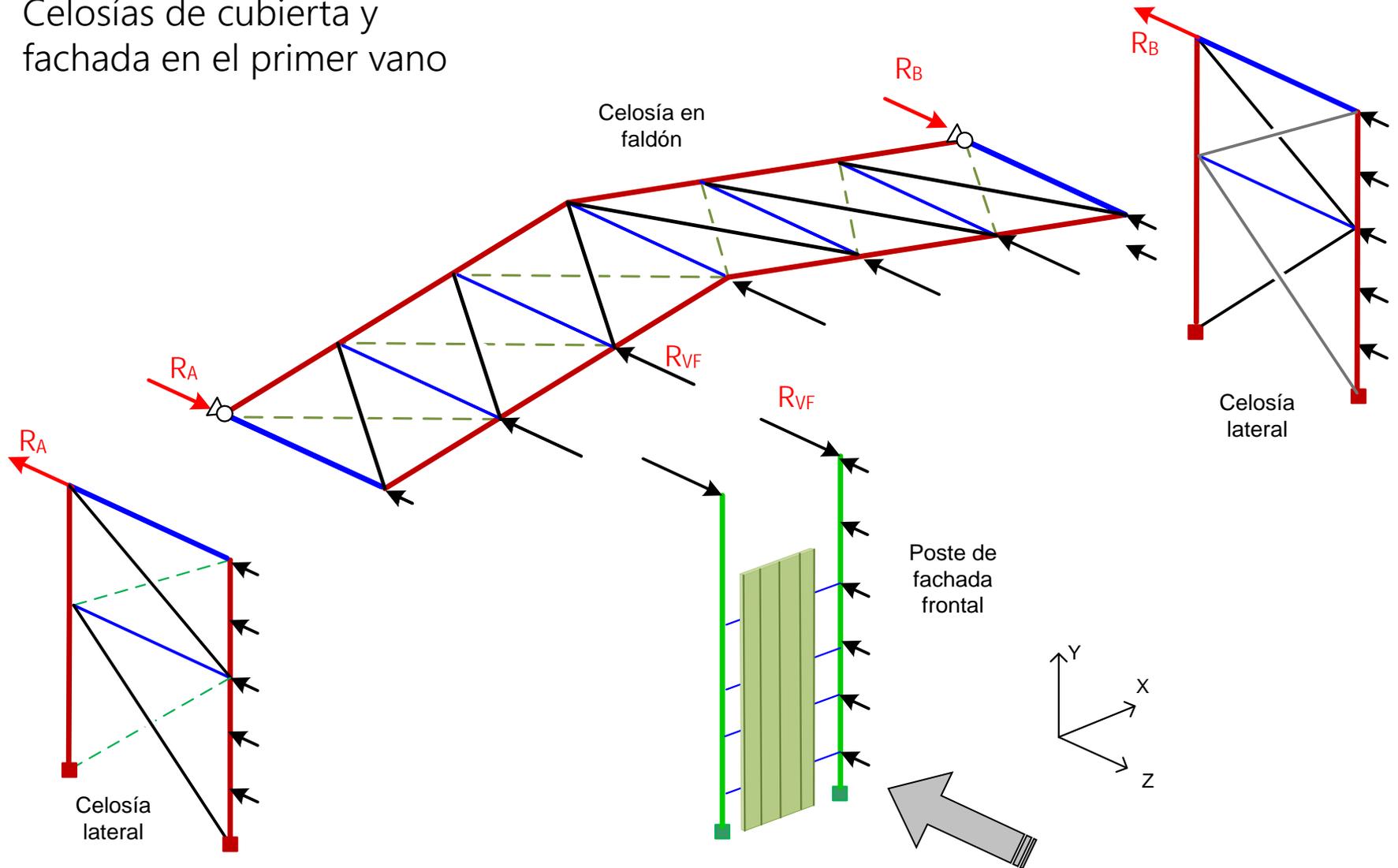
Celosía de cubierta desplazada del primer vano

Reacciones en los postes de fachada se deben transmitir a la celosía de cubierta por las correas, a compresión



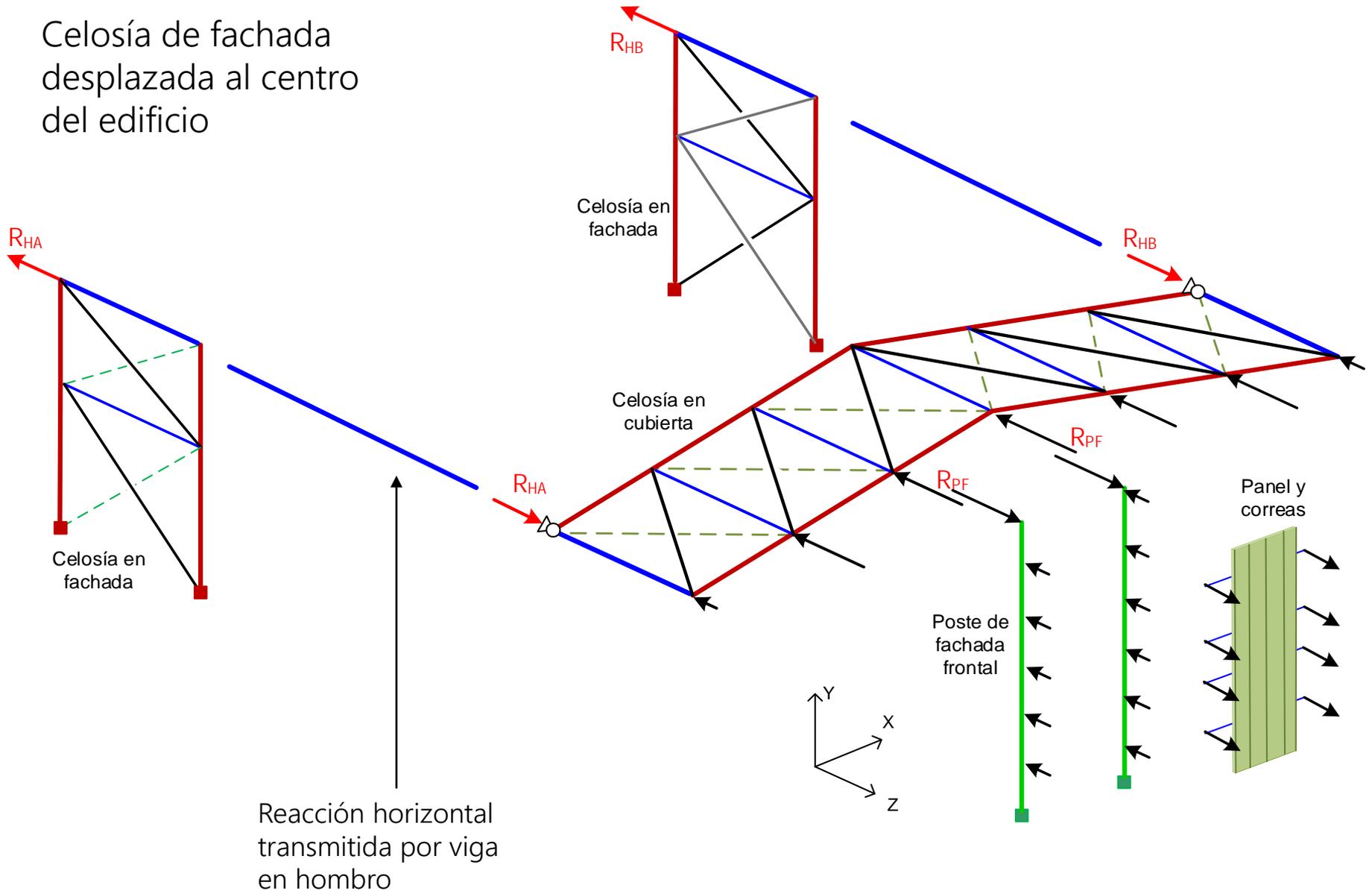
Sistema contra viento frontal

Celosías de cubierta y fachada en el primer vano

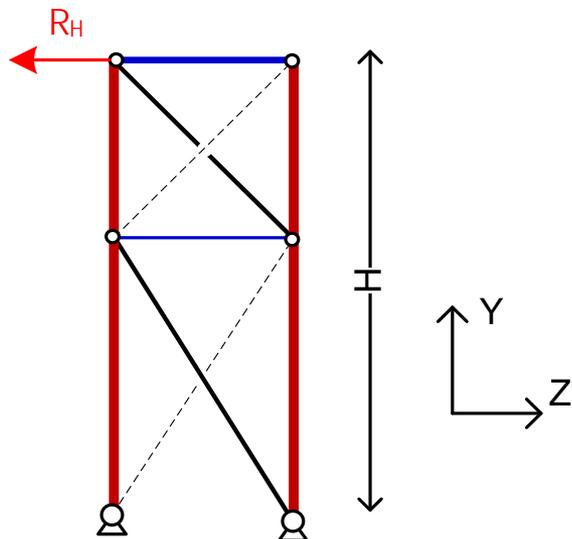
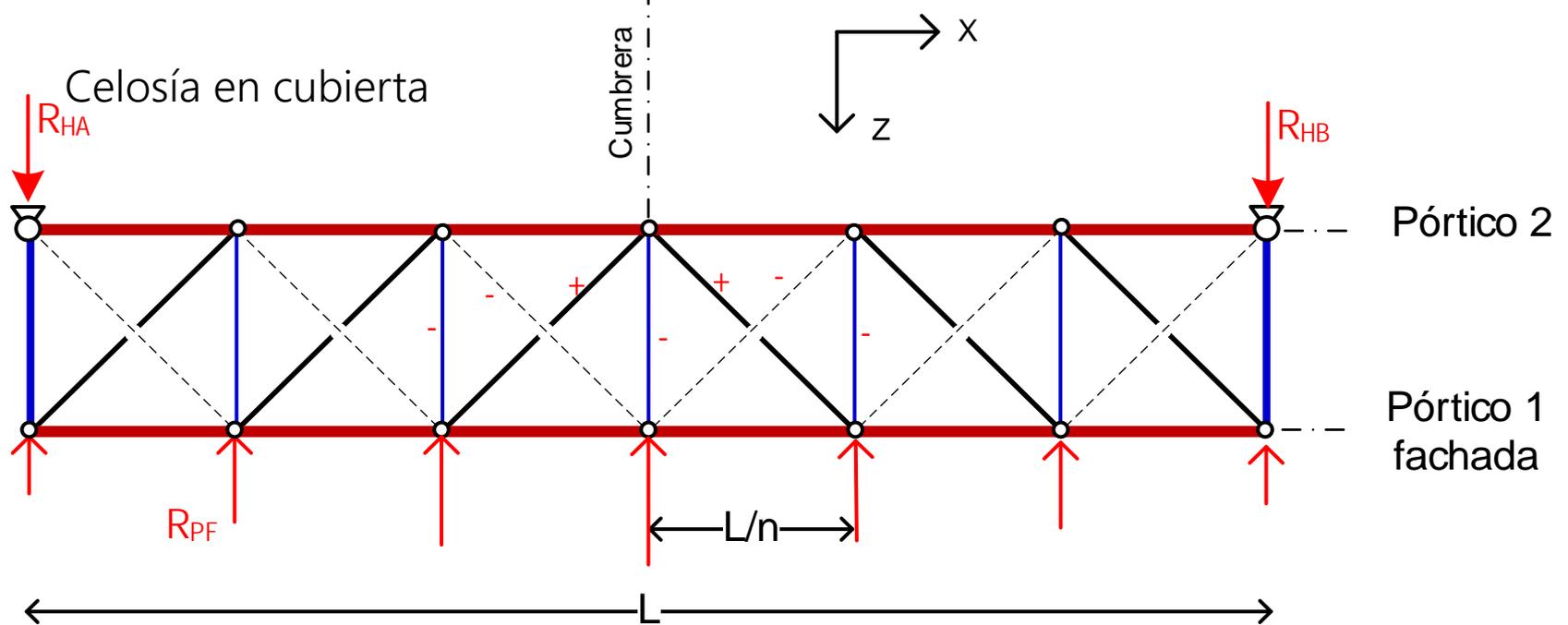


Sistema contra viento frontal

Celosía de fachada desplazada al centro del edificio



Celosía contra viento frontal - Cálculo

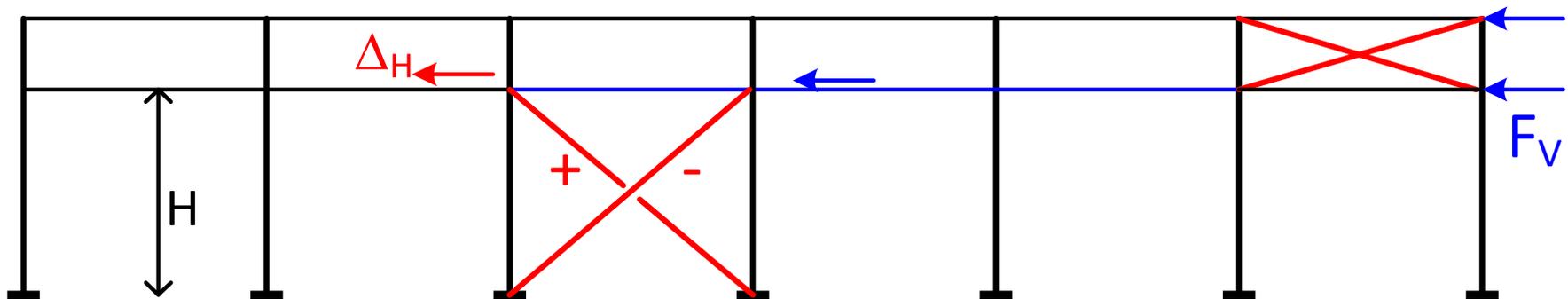


Celosía en fachada lateral

Considerar sólo las diagonales que trabajan a tracción

Celosía de arriostramiento en fachada lateral. Funciones

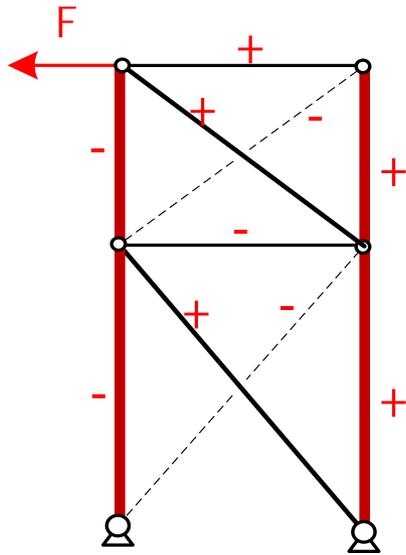
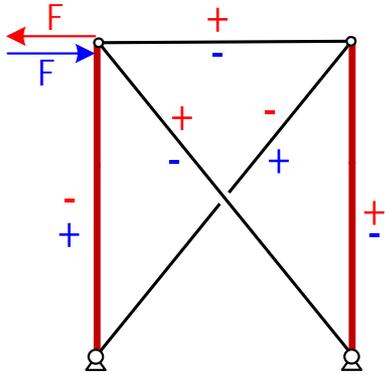
1. Recibir y soportar las **fuerzas ejercidas por la celosía de cubierta**. Transmitirlas a la cimentación.
2. **Dar estabilidad y rigidez longitudinal a la fachada lateral**, formada por correas + postes. Absorber las imperfecciones (desplome) de los postes
3. En naves con puente grúa, pueden colaborar a soportar las fuerzas de frenado longitudinales.



Vista lateral

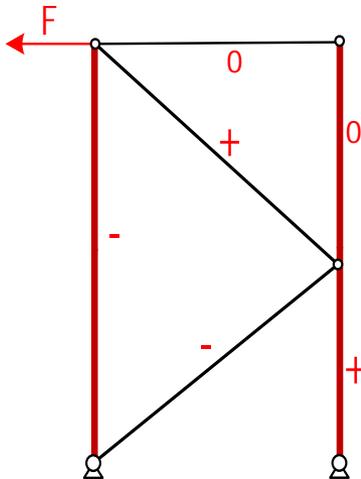
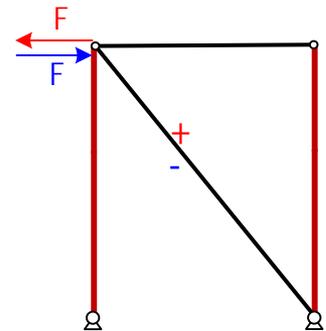
Criterio de rigidez típico $\Delta_H \leq \frac{H}{150}$

Celosía de arriostramiento en fachada lateral. Tipos



Cruz de San Andrés (X). Hiperestática. Suponer que sólo trabajan las barras a tracción.

Perfiles deben ser de poca inercia en un eje (L, chapas planas) para pandeo elástico en compresión. Ángulos $\approx 30^\circ$ a 60°



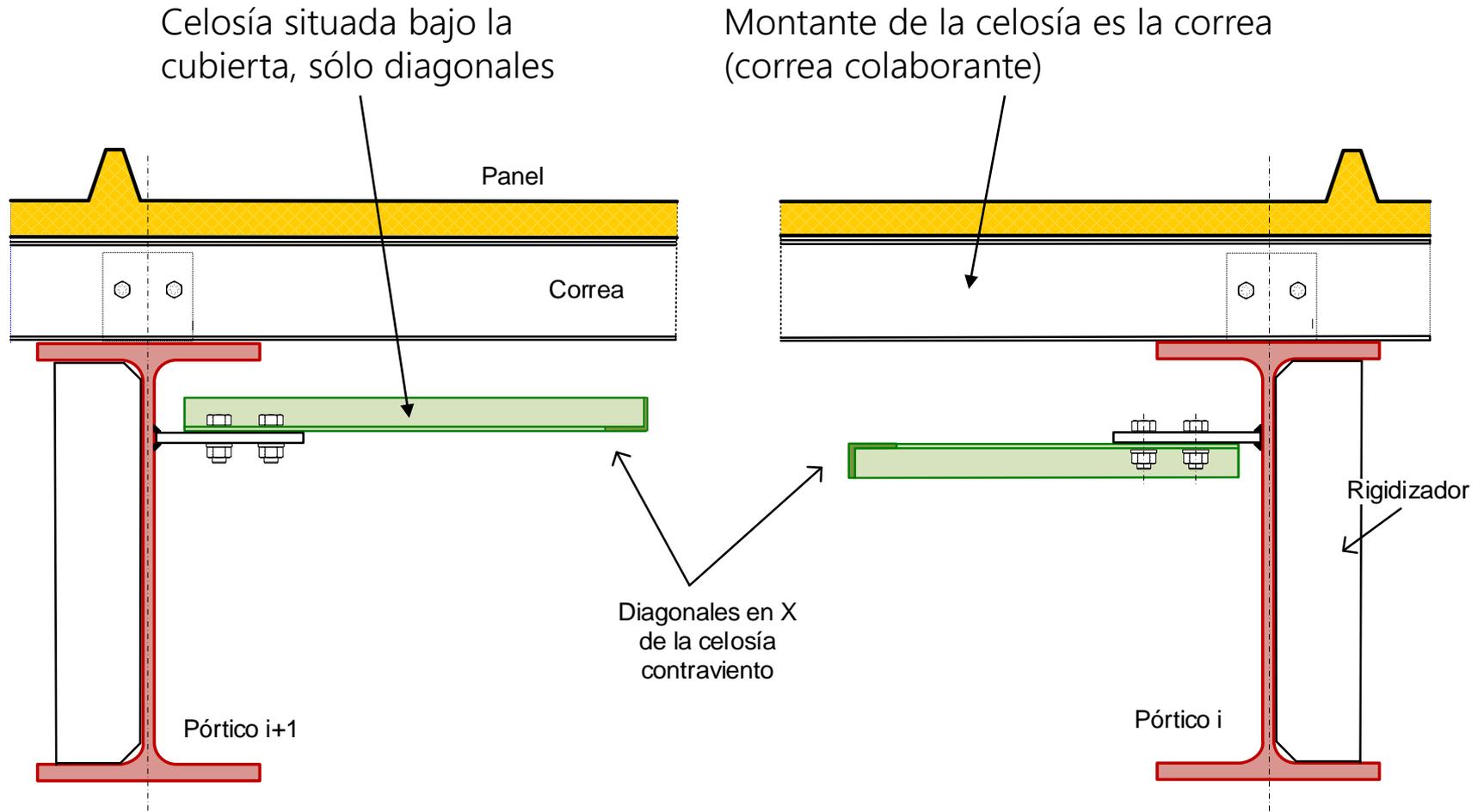
Diagonal simple. Isostática. Puede trabajar a tracción o compresión, según sentido de la fuerza. Paños \approx cuadrados

Perfiles deben resistir a pandeo en dos ejes: Tubos

Diagonales K. Isostática. Pueden trabajar a tracción o compresión, según sentido de la fuerza. Paños $H > base$

Perfiles deben resistir a pandeo en dos ejes: Tubos

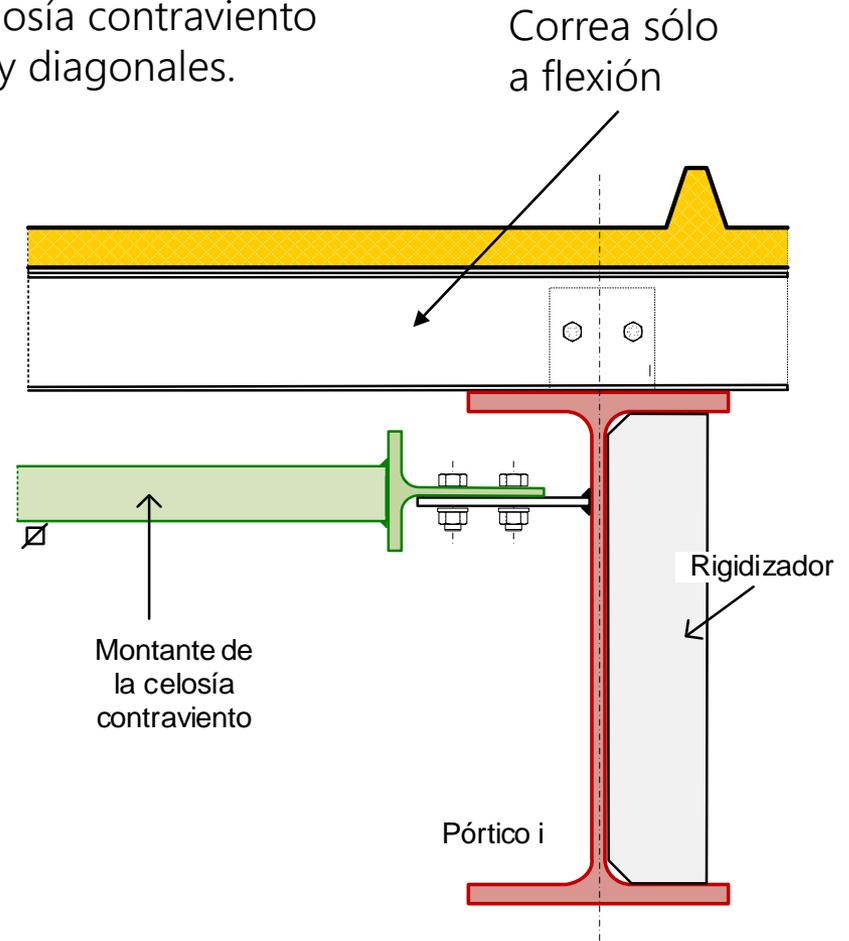
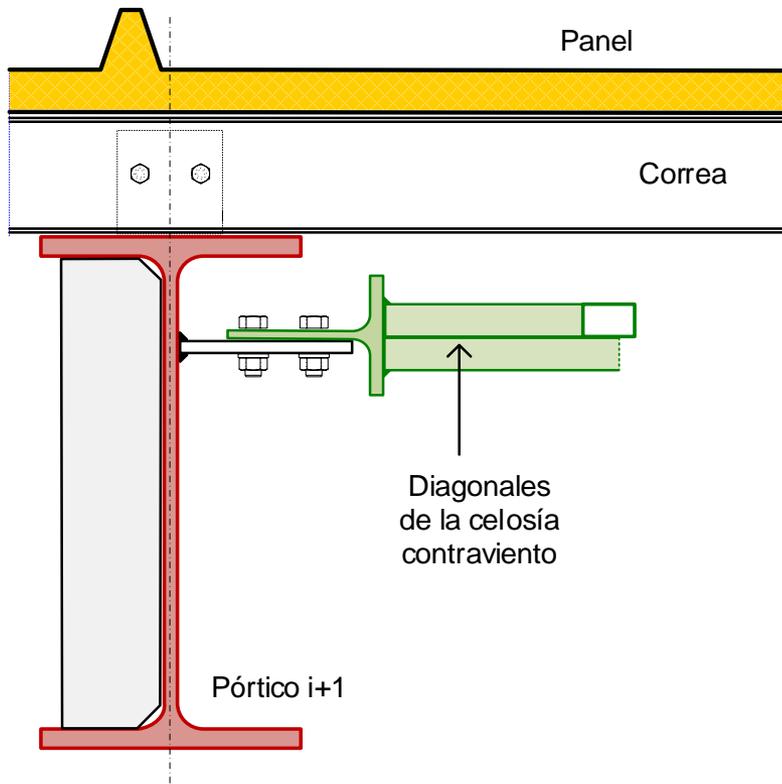
Celosía de cubierta contra viento con correa colaborante



Diagonales: tubos alternados o perfil L, se pueden sustituir por cables tensores redondos

Celosía de cubierta contra viento con correa no colaborante

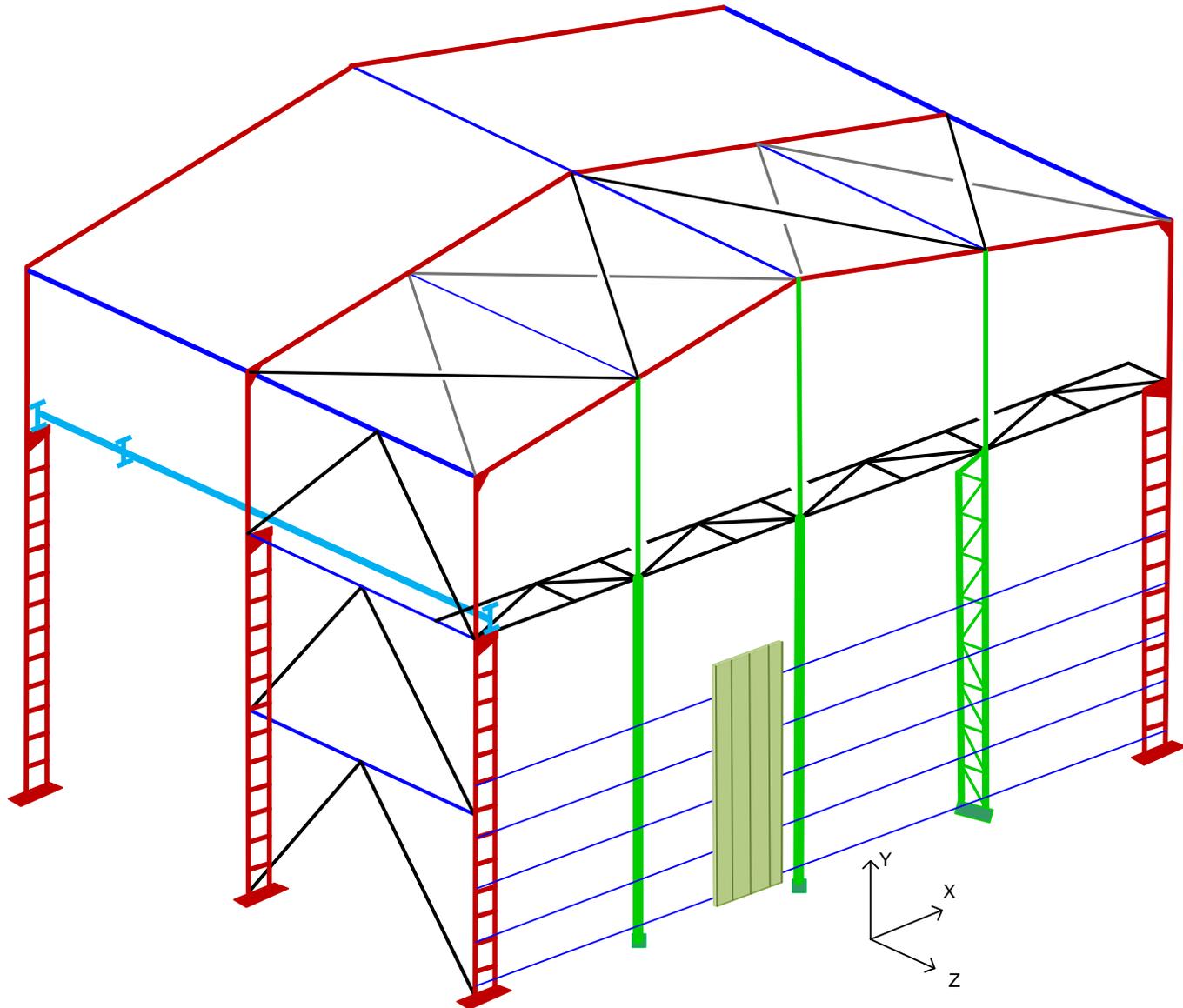
La correa no colabora como montante de la celosía contraviento
Celosía contraviento completa, con montantes y diagonales.



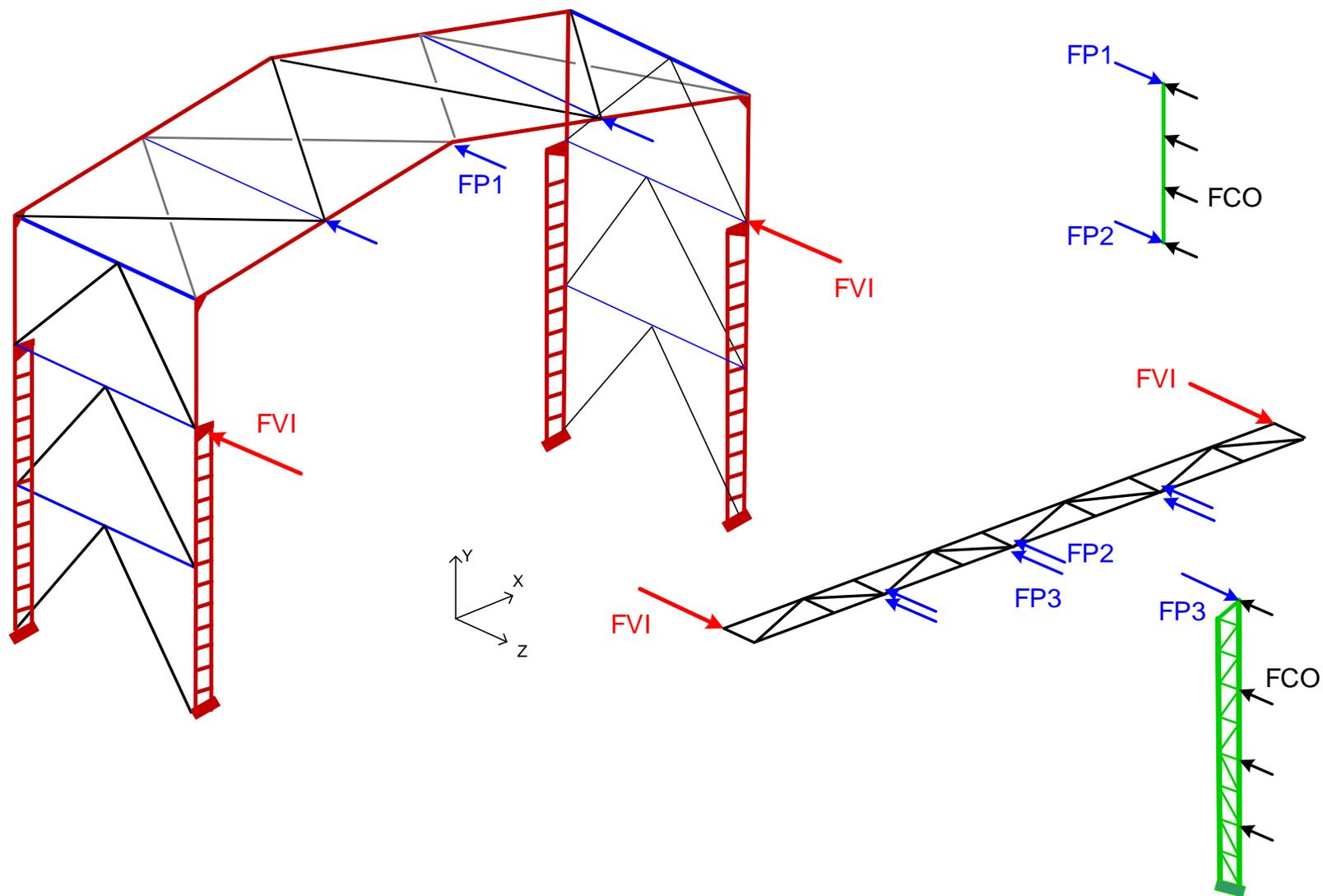
Montante: tubo o perfil H para soportar la carga de compresión debida al viento

Diagonales: tubos alternados o perfil L, se pueden sustituir por cables tensores redondos

Cierre frontal. Nave de gran altura. Celosía intermedia

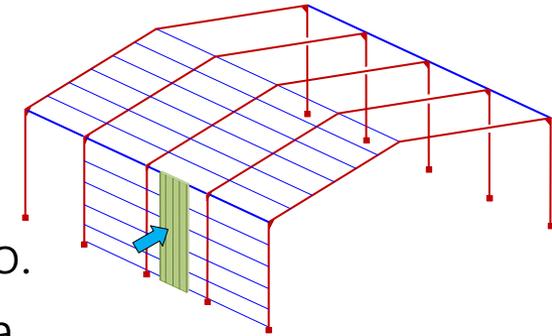


Cierre frontal. Nave de gran altura. Funcionamiento



Arriostramiento contra viento transversal en fachada

Naves cortas (< 50 m)



A. Celosía longitudinal en el faldón.

Ata las cabezas de pilares. Un cordón = viga de alero.

Otro cordón = una correa, o viga paralela a la correa.

Diagonales: perfil L o redondo. Montantes = dintel del pórtico o cordón de celosía principal

B. Celosías situadas en fachadas extremas (pórticos de fachada)

Sirven de apoyo a la celosía longitudinal

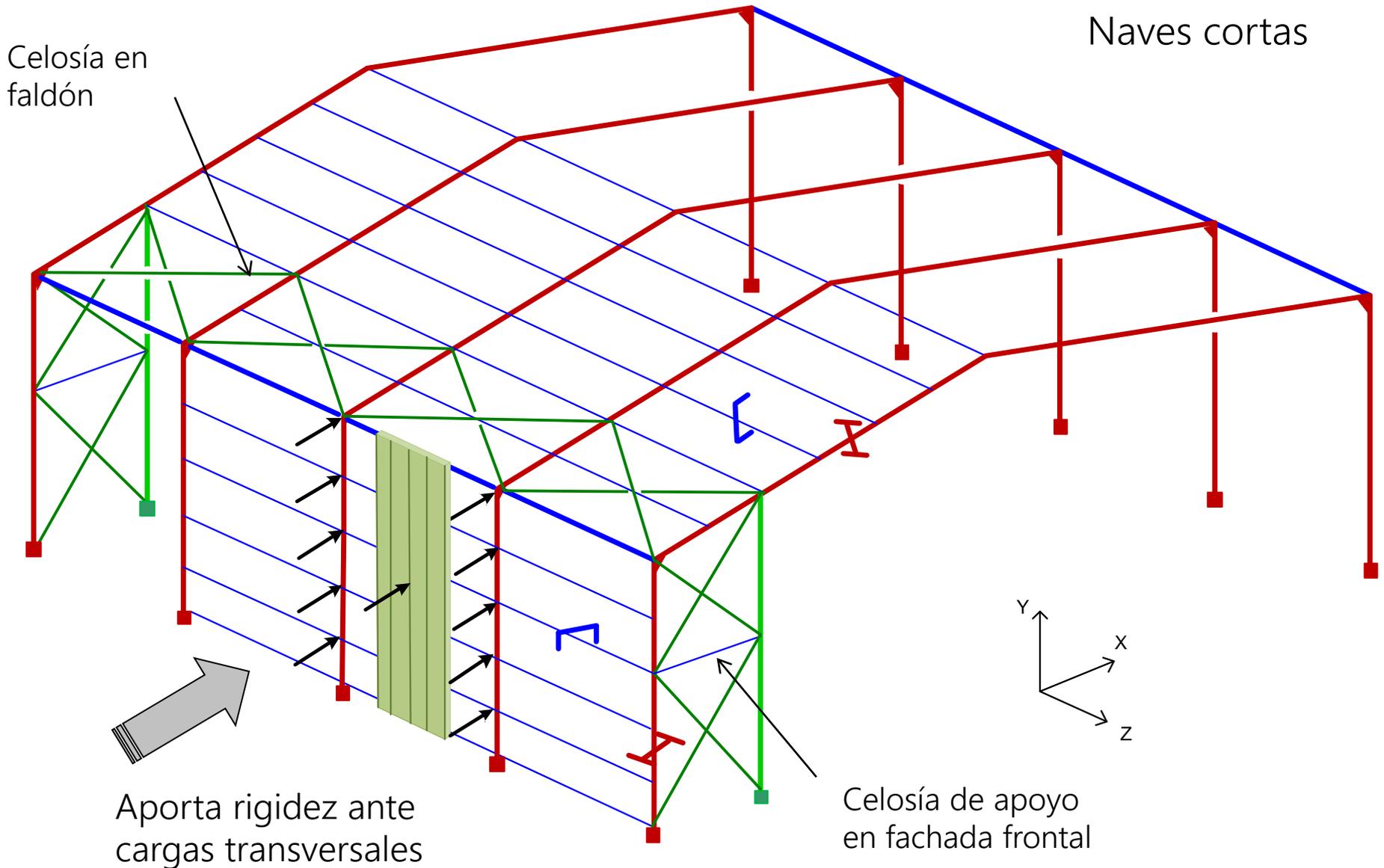
Naves largas

La celosía en el faldón resulta de mucha luz. Resulta muy pesada para soportar las cargas de viento. No aporta rigidez al sistema.

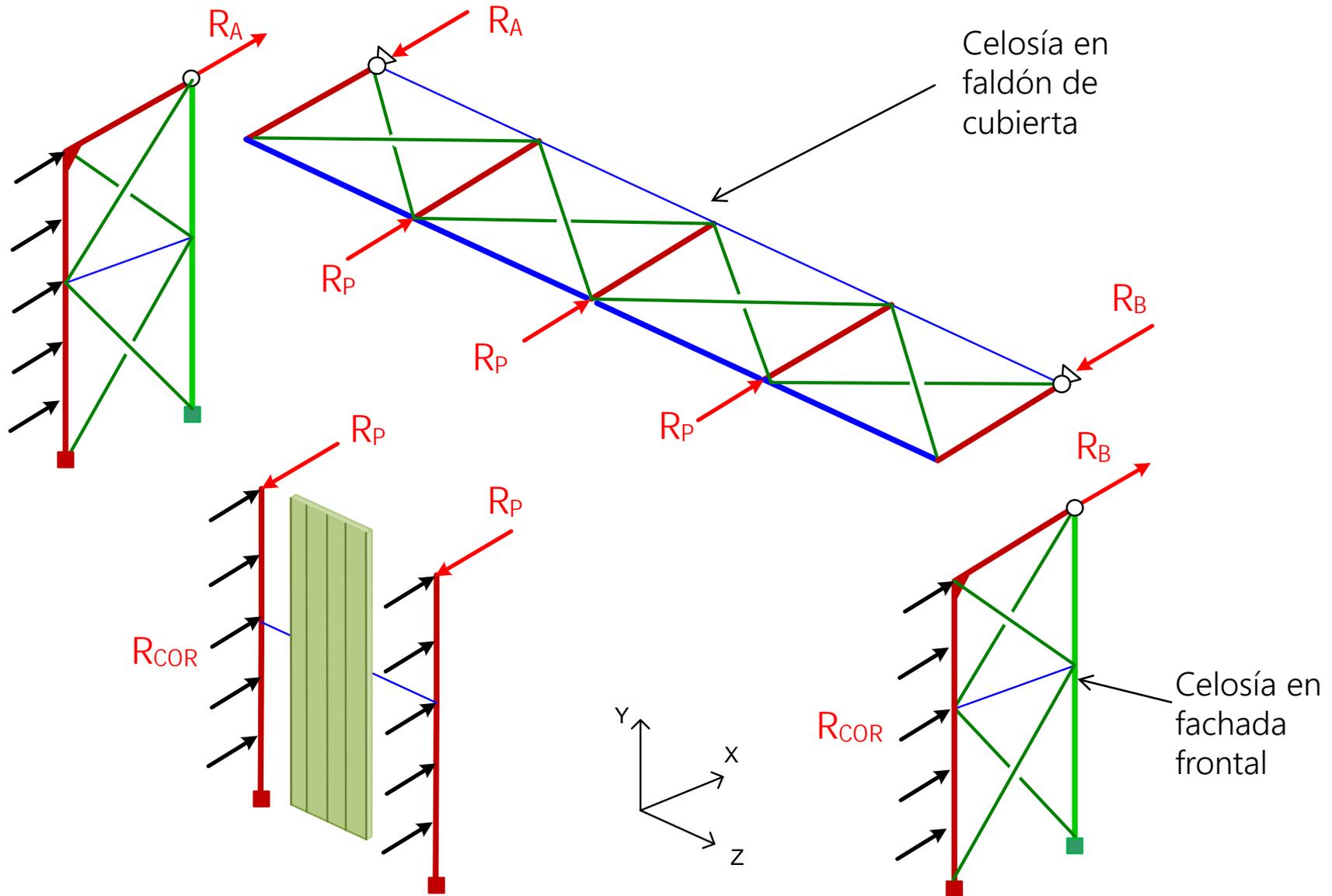
El viento transversal se absorbe por los postes de fachada lateral y los pórticos principales.

Se trata conjuntamente con el viento en cubierta

Celosía de arriostramiento contra viento transversal en fachada

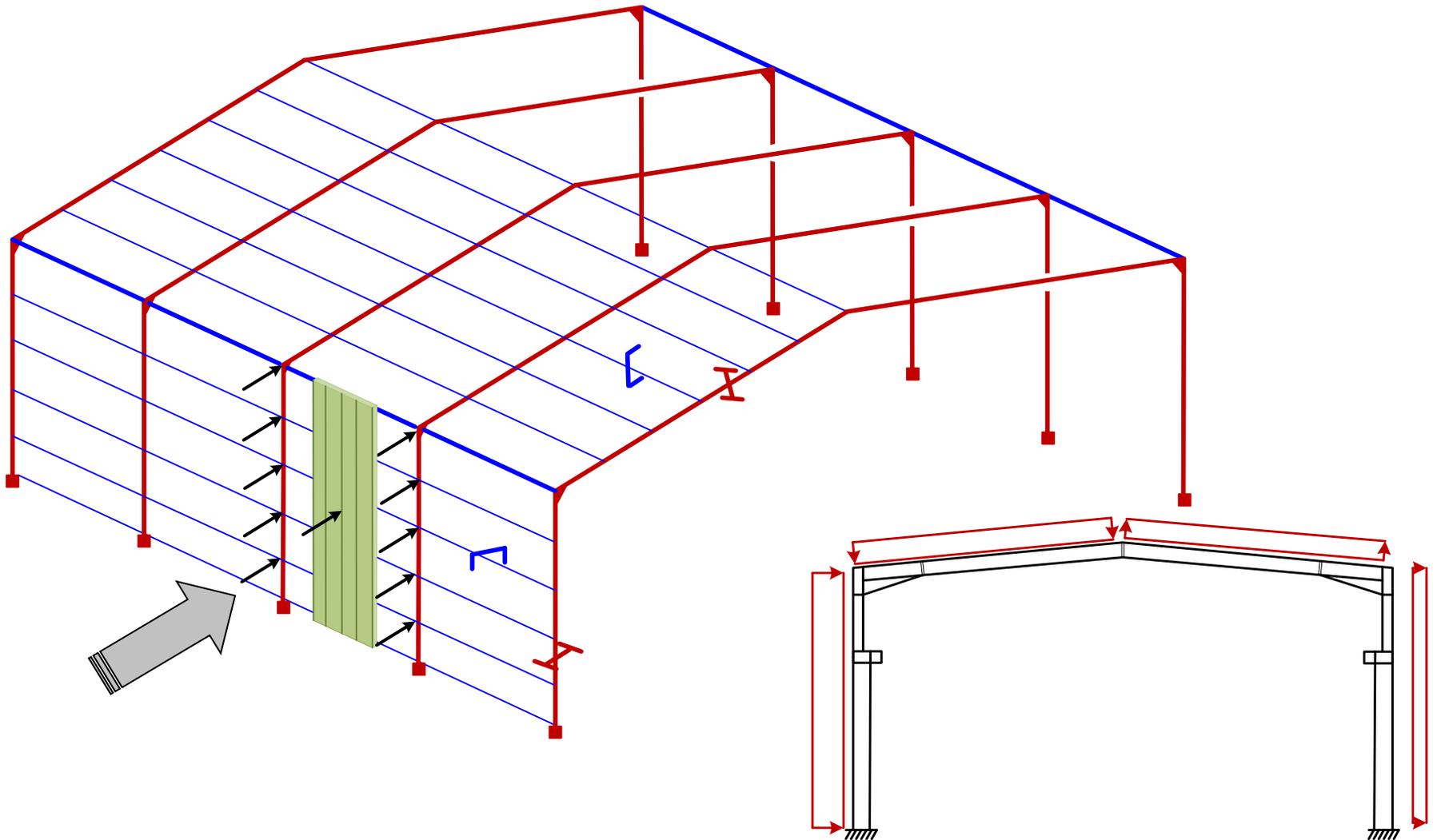


Celosía de arriostramiento contra viento transversal en fachada



Viento transversal absorbido por los pórticos principales

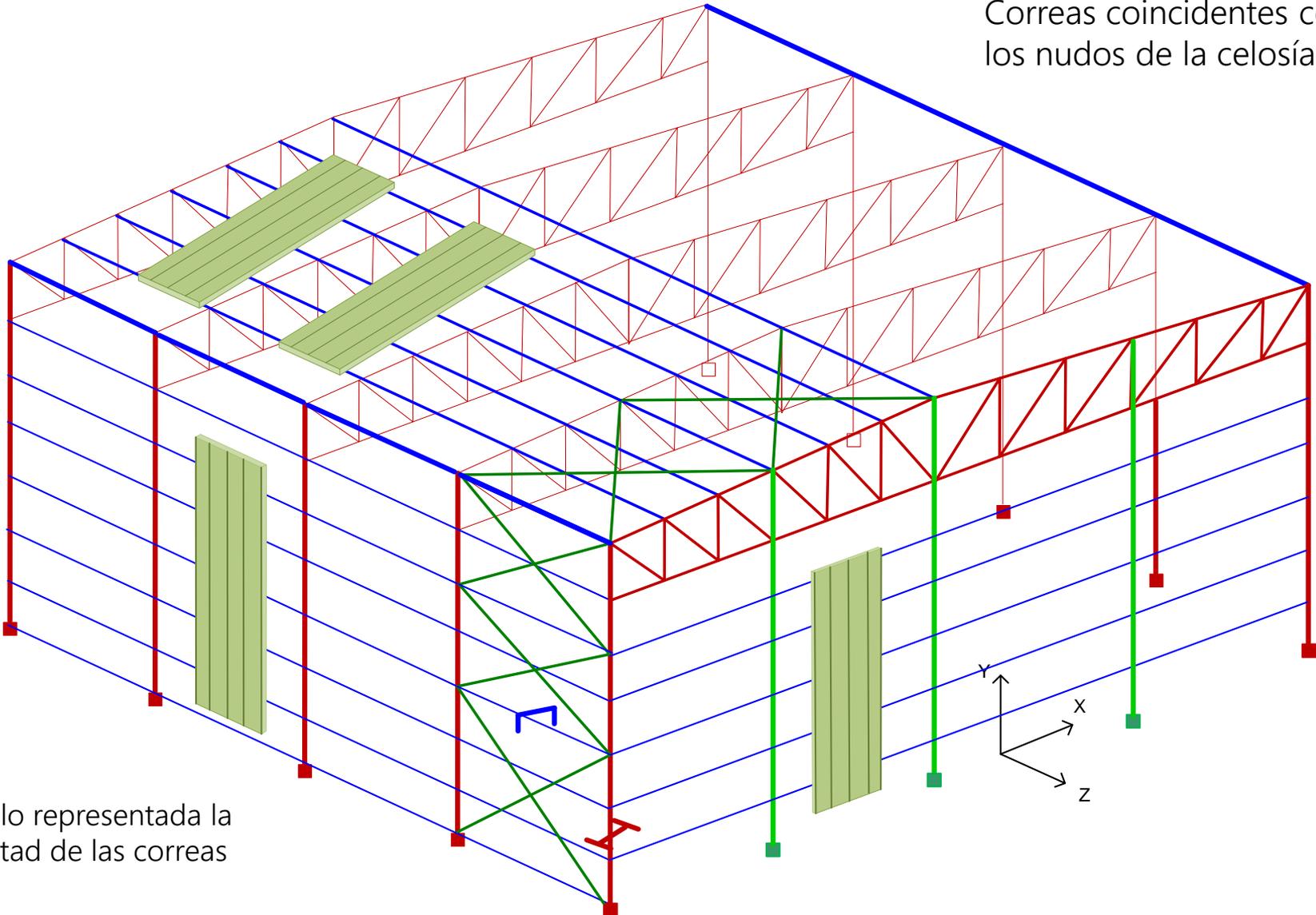
Naves largas. En el cálculo, se trata a la vez que el viento en cubierta



Nave con cubierta de celosía

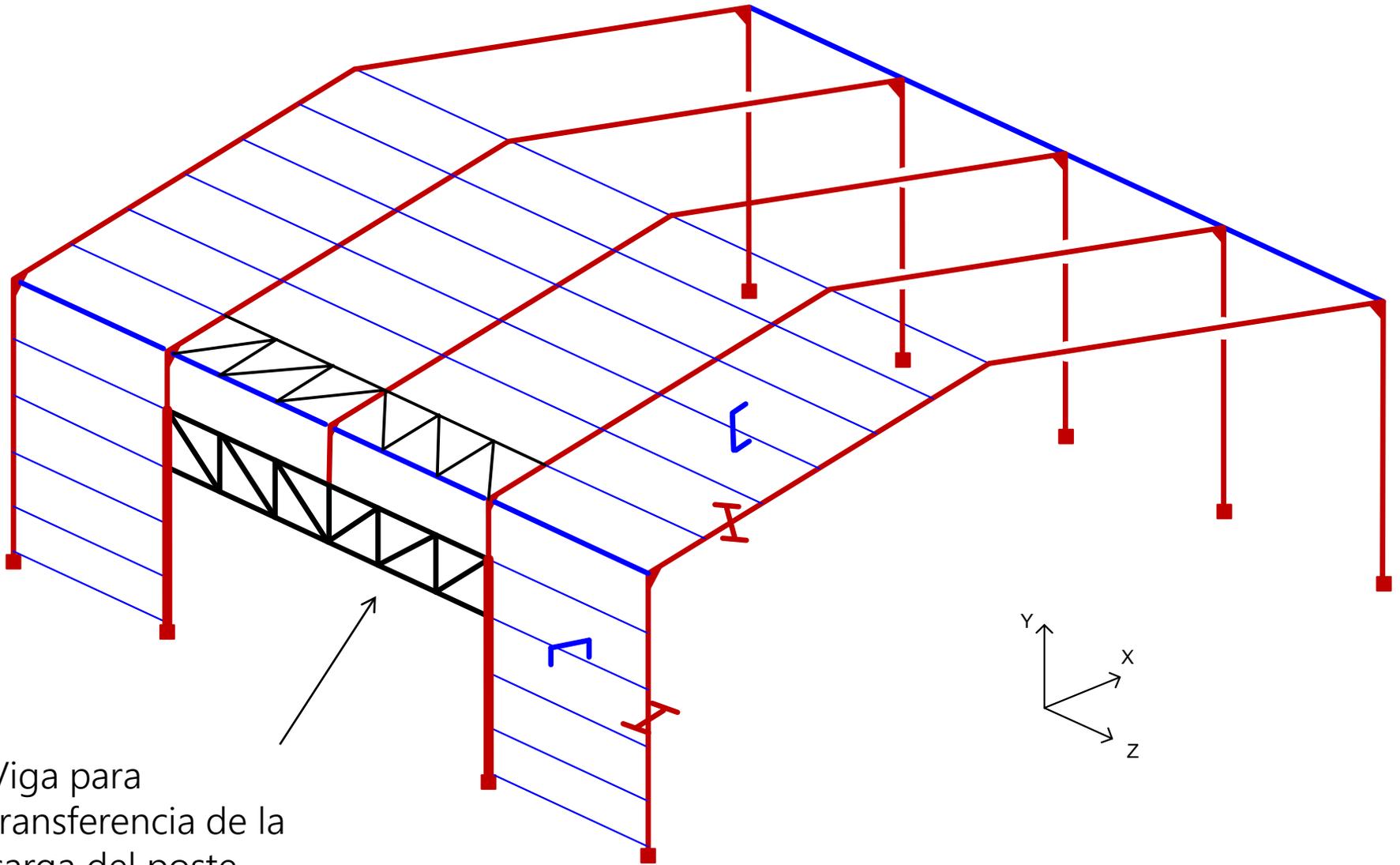
$$\text{Canto celosía} \approx \frac{L}{15 \text{ a } 20}$$

Correas coincidentes con los nudos de la celosía



Sólo representada la mitad de las correas

Supresión de un poste



Viga para
transferencia de la
carga del poste
(Celosía o IPE)

Organización estructural. Grúas puente

Grúas – puente: máquinas móviles que se desplazan sobre la estructura en la parte superior de la nave

Generan grandes cargas verticales y horizontales (frenado)

Vigas carril: soportan las grúas y se apoyan en los postes de los pórticos principales

Dirección Z Luz viga carril = separación entre pórticos

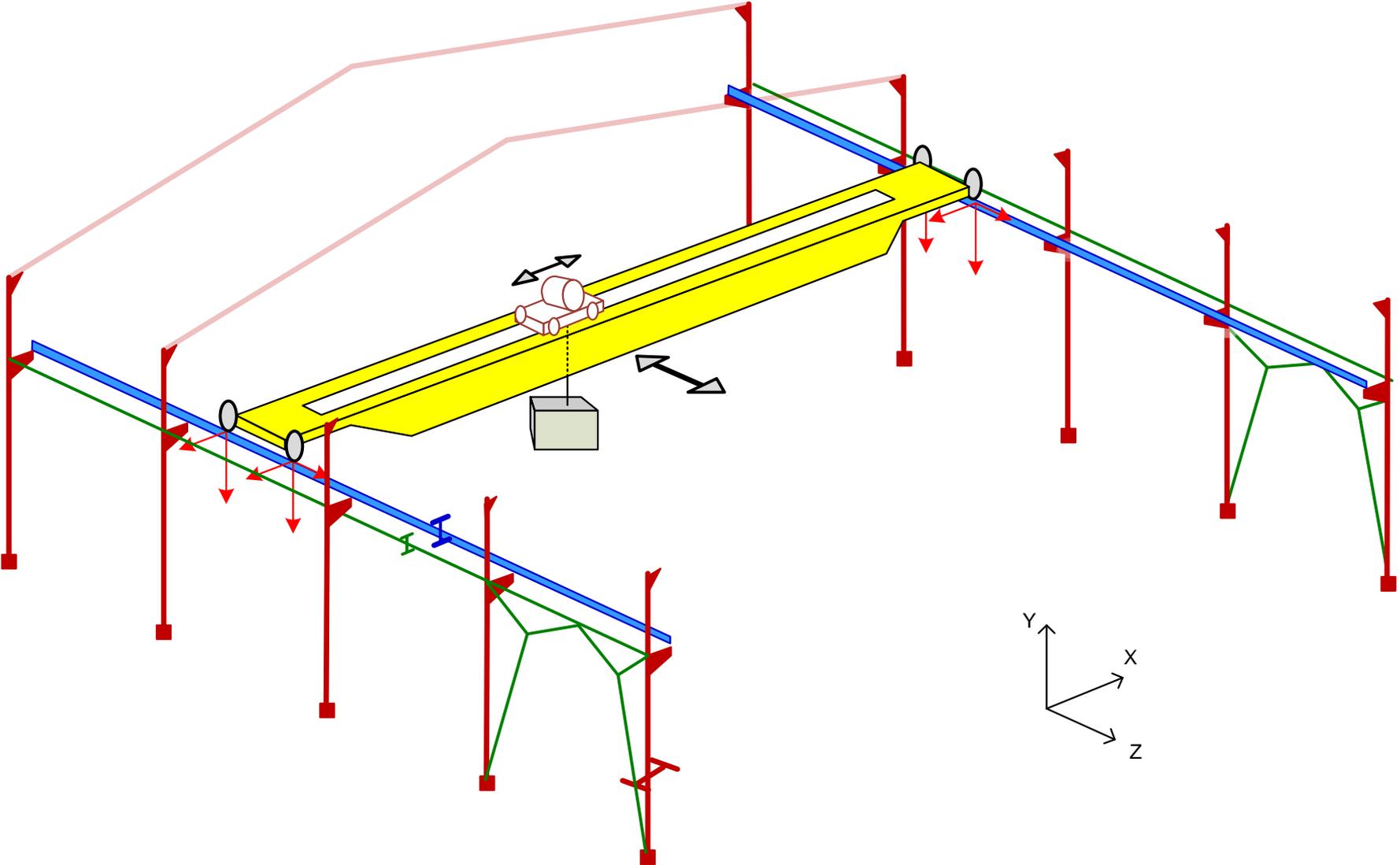
Perfiles I o viga armada

Efectos dinámicos por aceleración y frenado

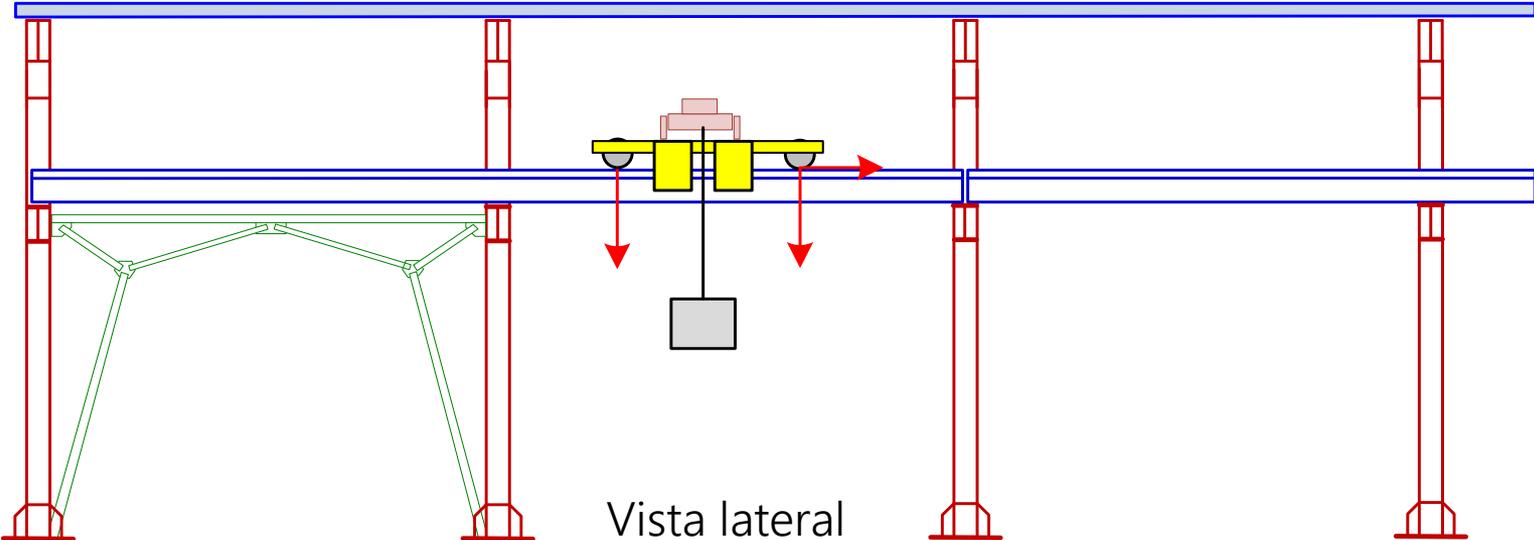
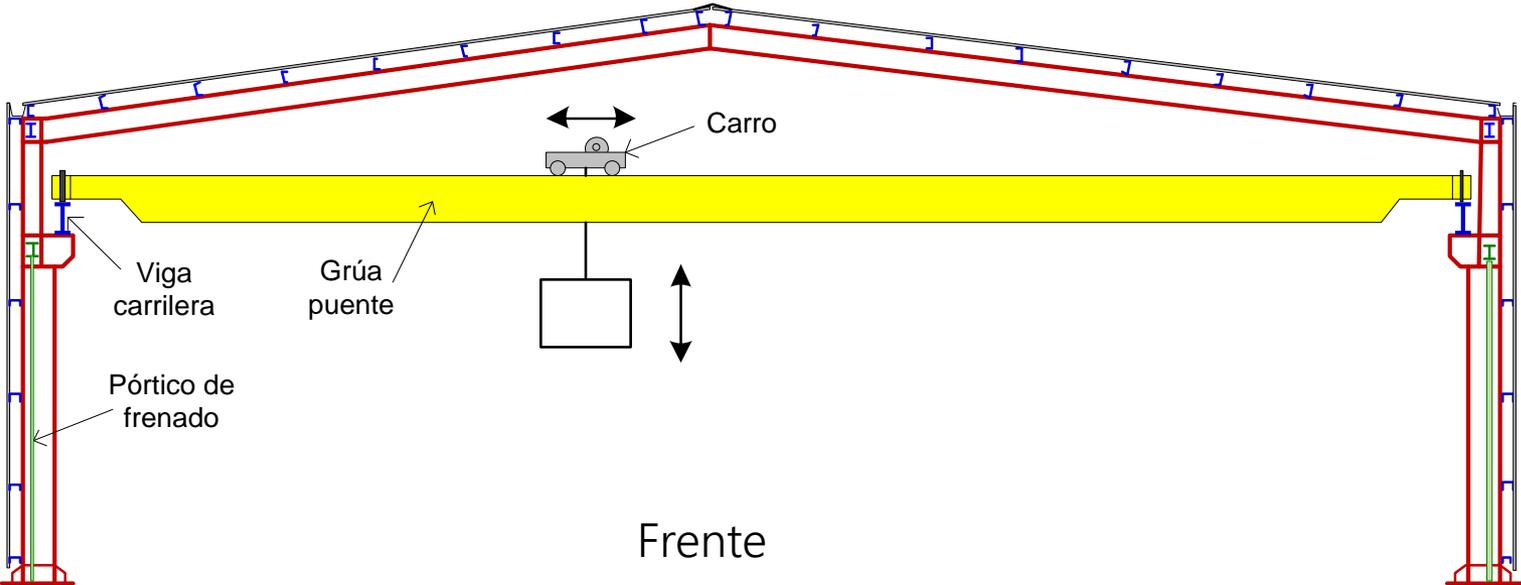
Fuertes limitaciones de deformación.

Sistemas de arriostramiento específicos para absorber las fuerzas horizontales: pórtico de frenado, viga de acompañamiento

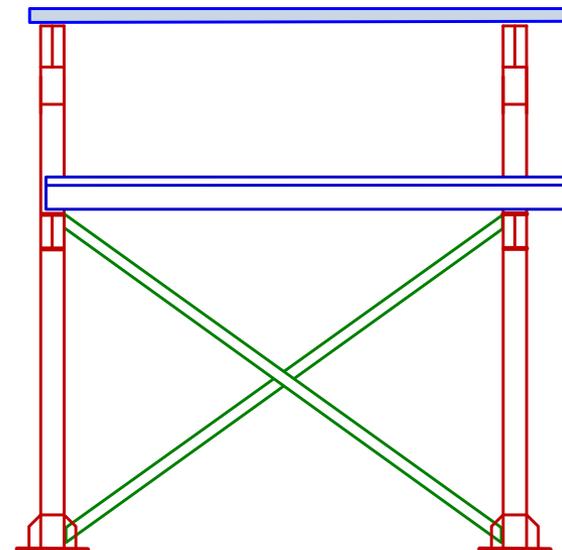
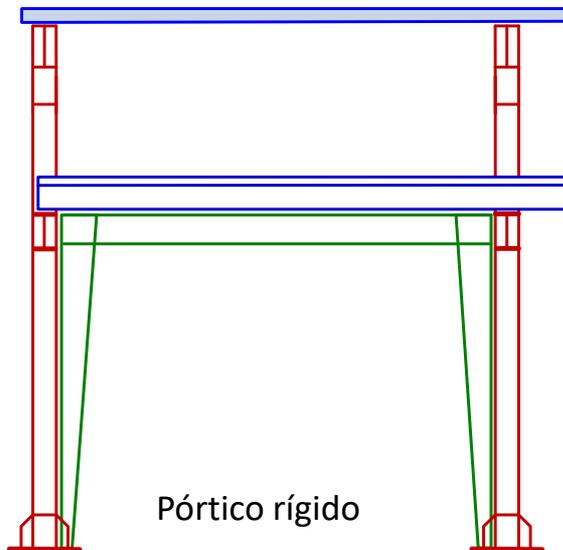
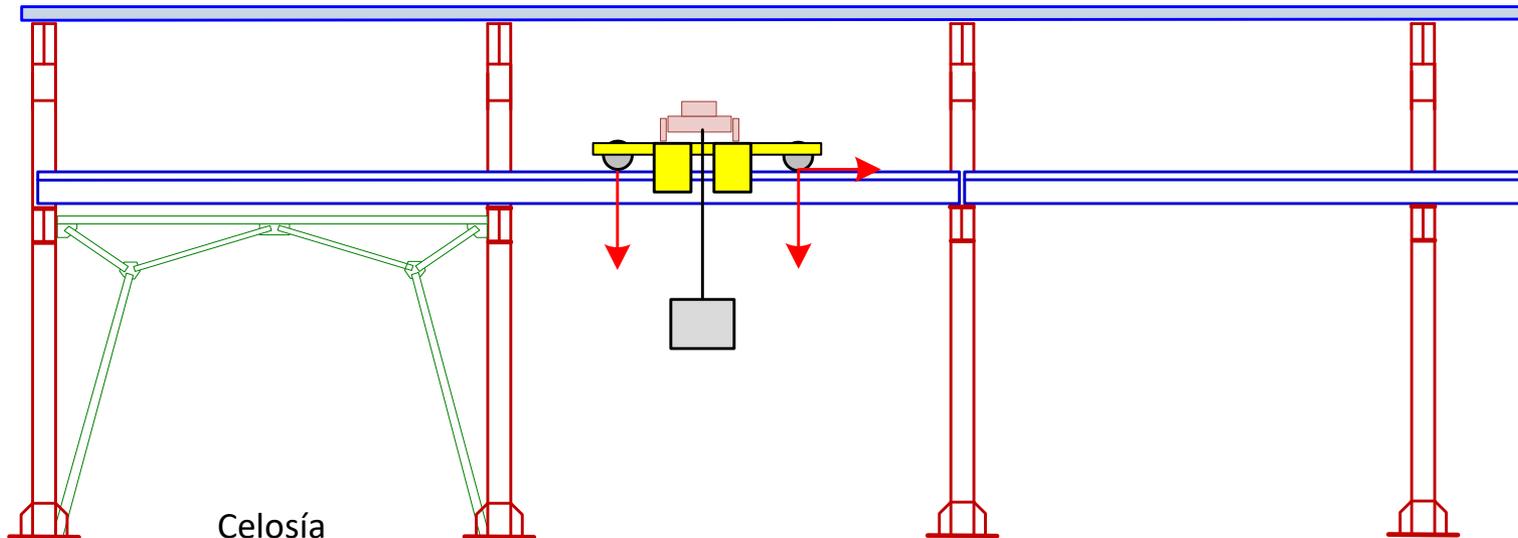
Nave industrial con grúa puente



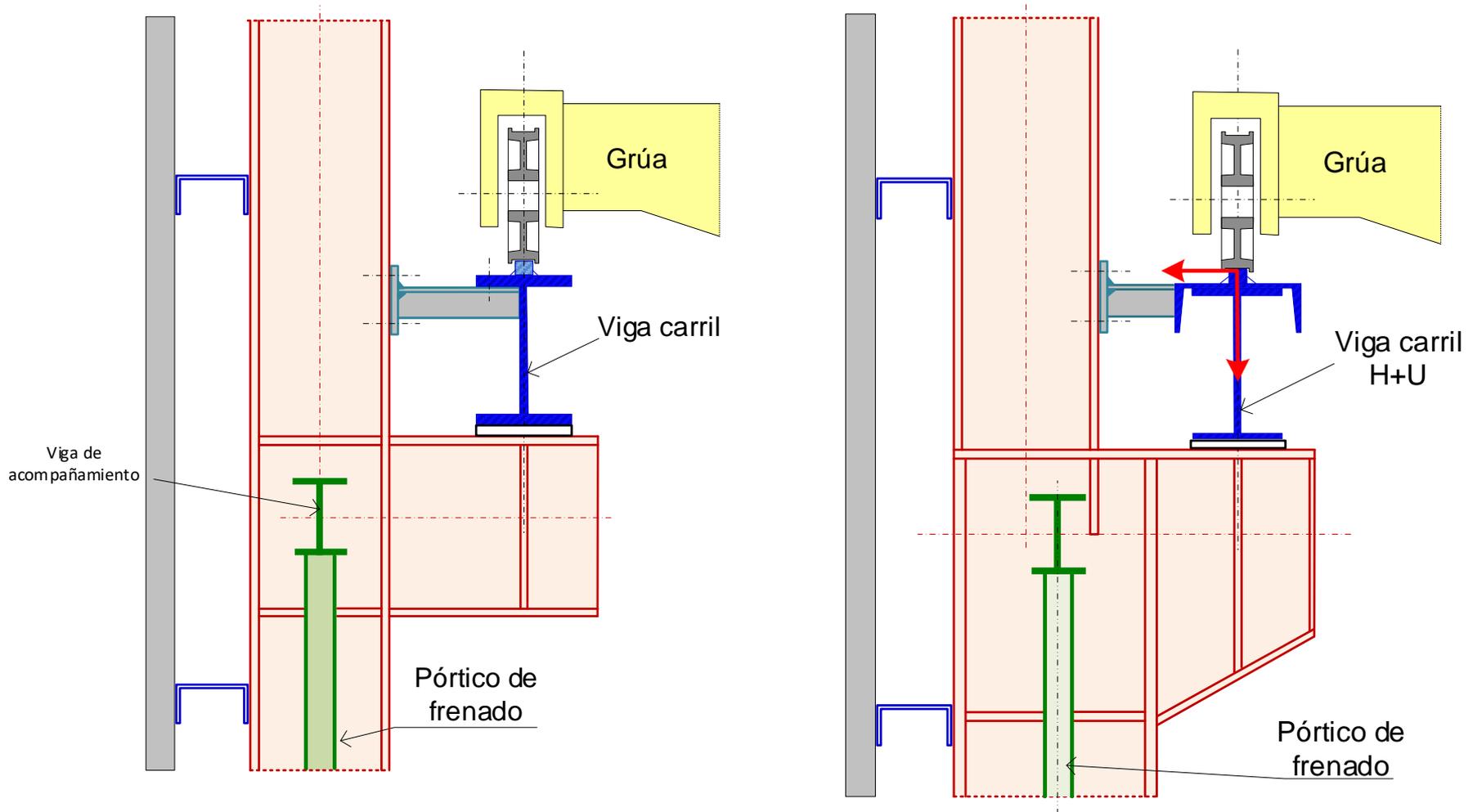
Nave industrial con grúa puente



Grúa puente – Pórticos de frenado longitudinal



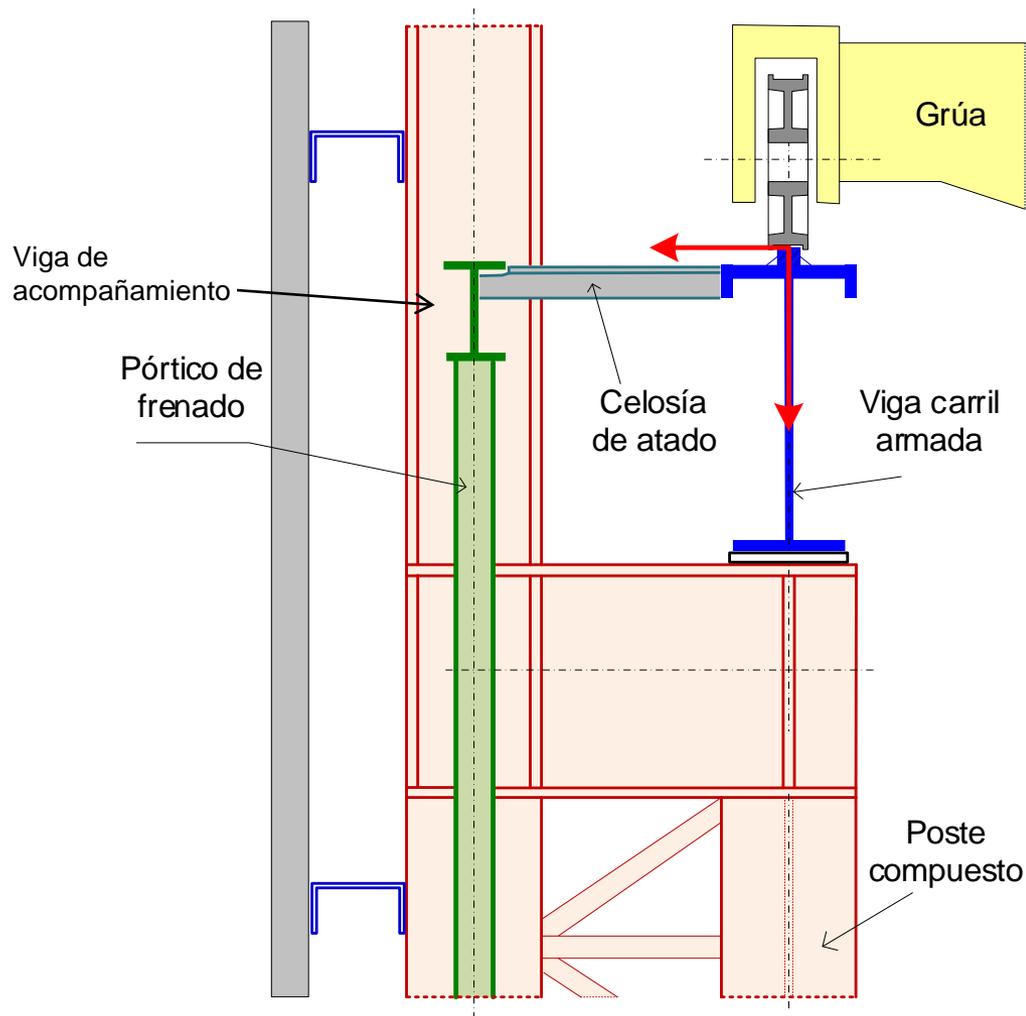
Apoyos de vigas carril sobre el pórtico principal



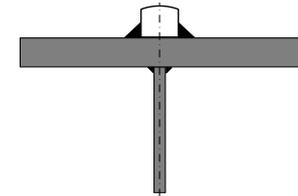
Solución muy habitual:

1. Ménsula voladizo en el poste
2. Atado horizontal de la viga carril al poste (L, U)

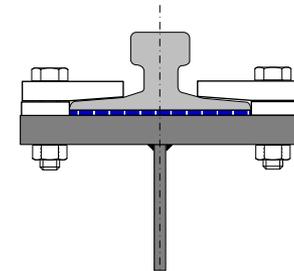
Apoyos de vigas carril sobre el pórtico principal



Sujeción de carril básica

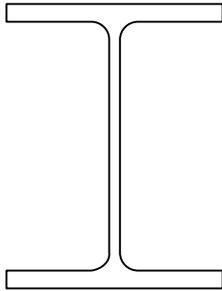


Sujeción de carril (DIN 536) para cargas importantes

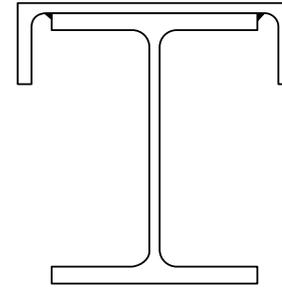


- Grandes cargas:
1. Viga carril de chapa soldada
 2. Celosía horizontal entre viga carril y viga de acompañamiento
 3. Poste compuesto de 2 perfiles (H, U): un perfil bajo la viga carril

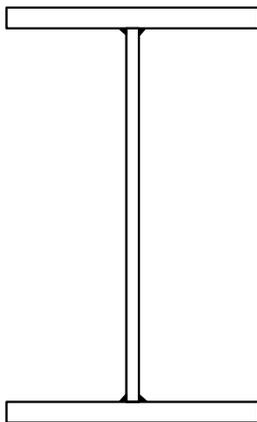
Perfiles típicos para vigas carril



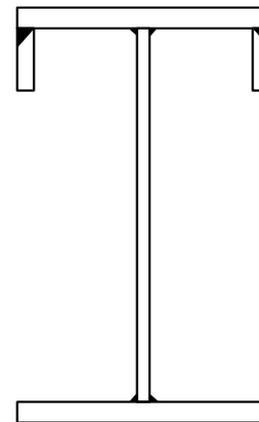
IPE
HEB/HEA/HEM



IPE,
HEB/HEB/HEM
UPE para esfuerzos horizontales

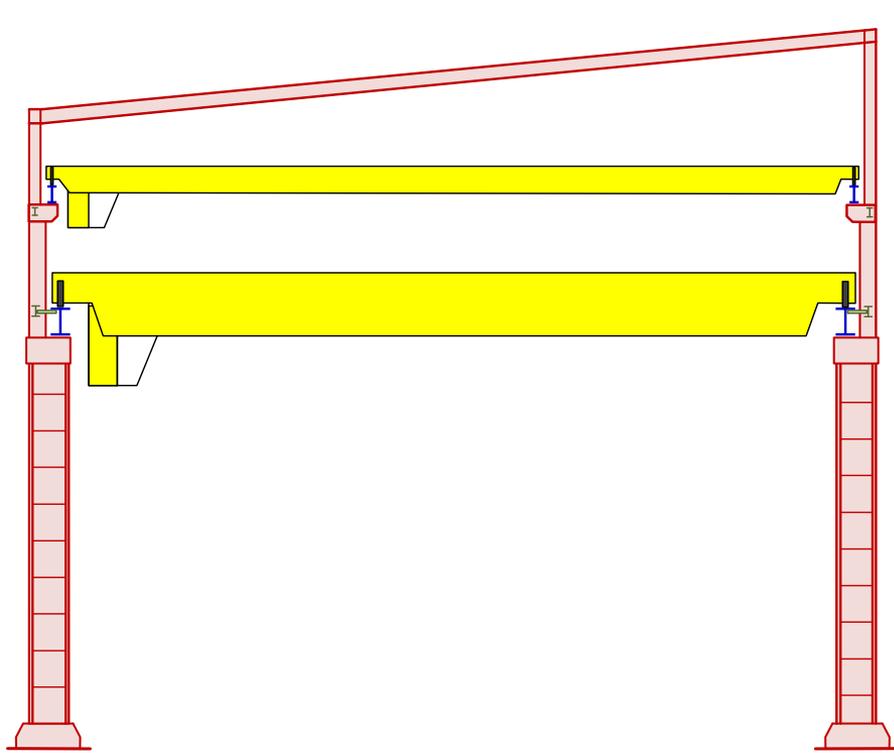


Viga armada

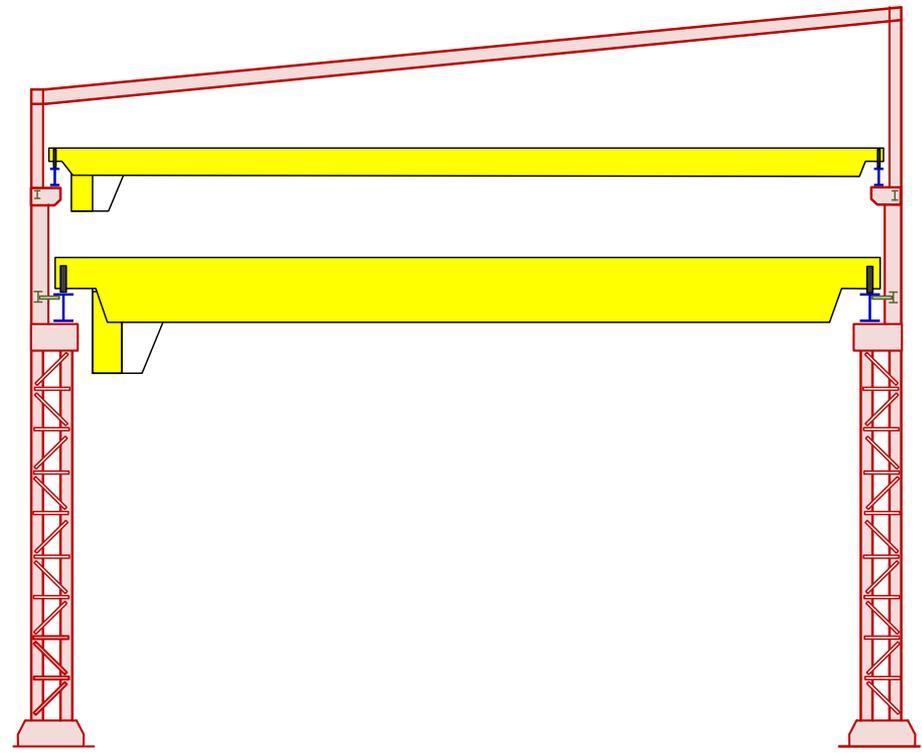


Viga armada reforzada para
esfuerzos horizontales

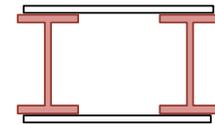
Nave con grúas a dos niveles



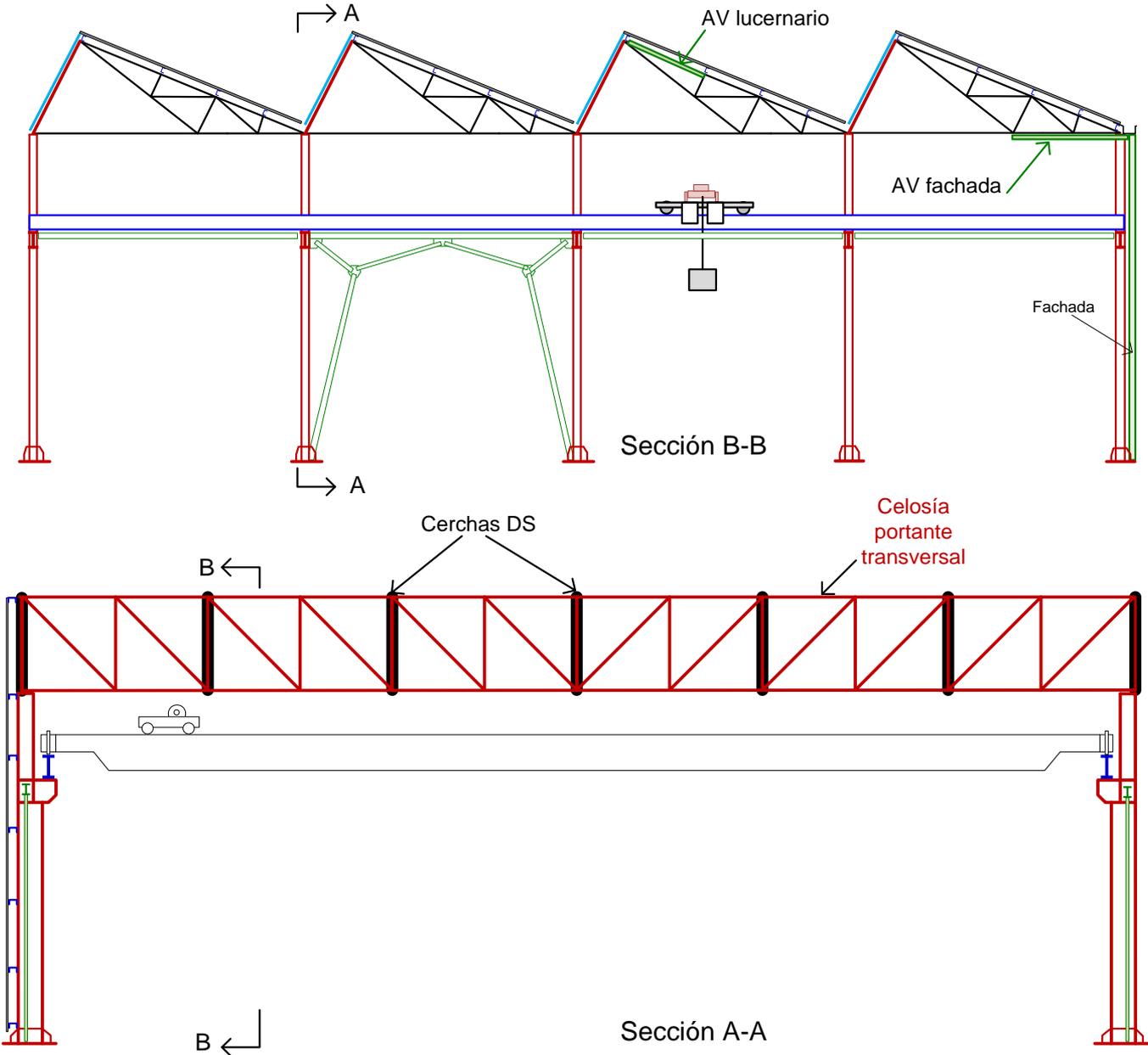
Poste de alma llena
rigidizado



Poste compuesto
2 H + celosía



Nave en diente de sierra



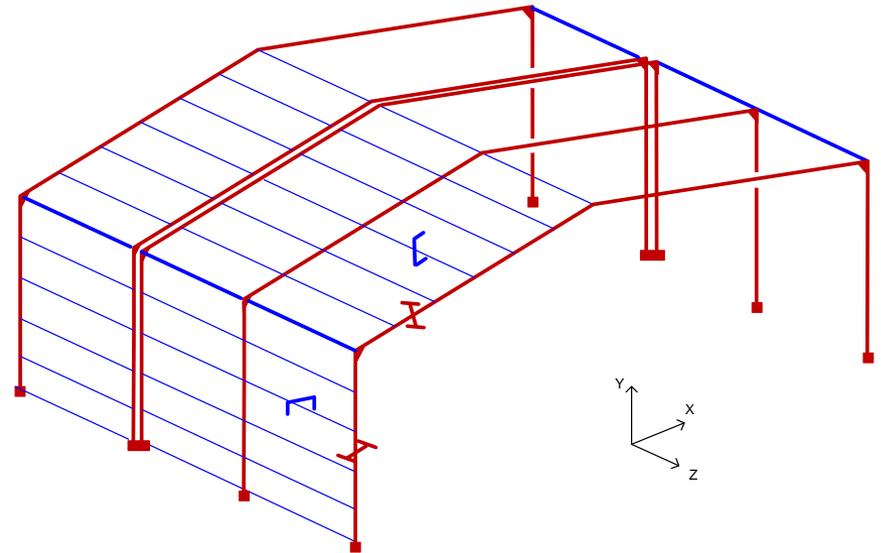
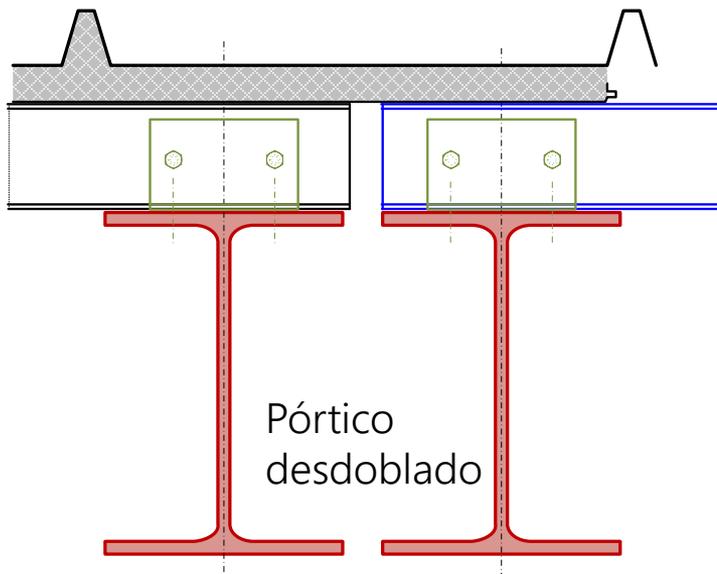
Efectos térmicos, juntas de dilatación

CTE: No es necesario considerar efectos térmicos si se disponen juntas de dilatación tales que ningún elemento continuo mida más de 40 m

Otros países. Francia: utilizar juntas para longitudes > 50 m.

UK: juntas recomendadas a partir de 75-100 m.

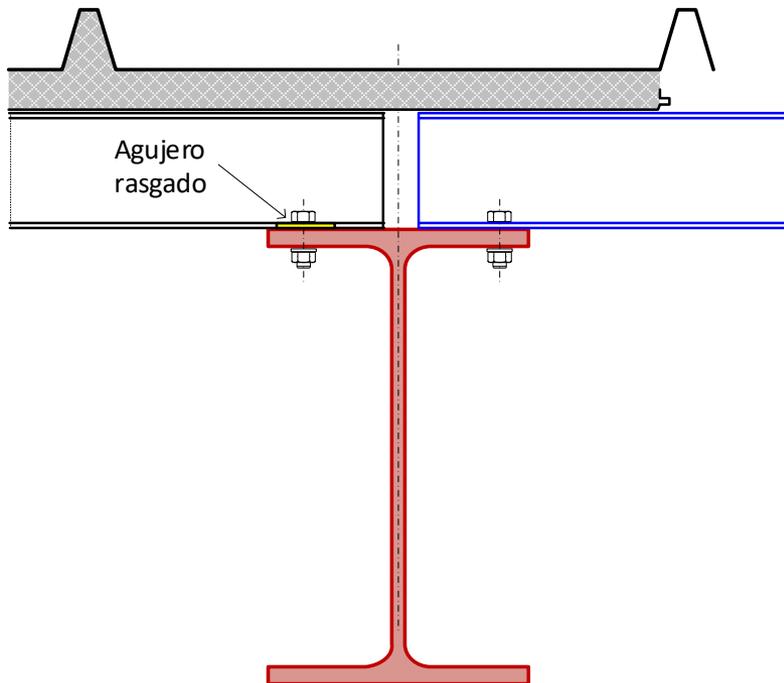
Desdoblar la estructura principal (pórtico o celosía) y sus postes. Pórtico desdoblado soporta la mitad de la carga. Cimentación no se desdobla. Correas terminan sobre cada pórtico desdoblado, sin continuidad. Solución cara.



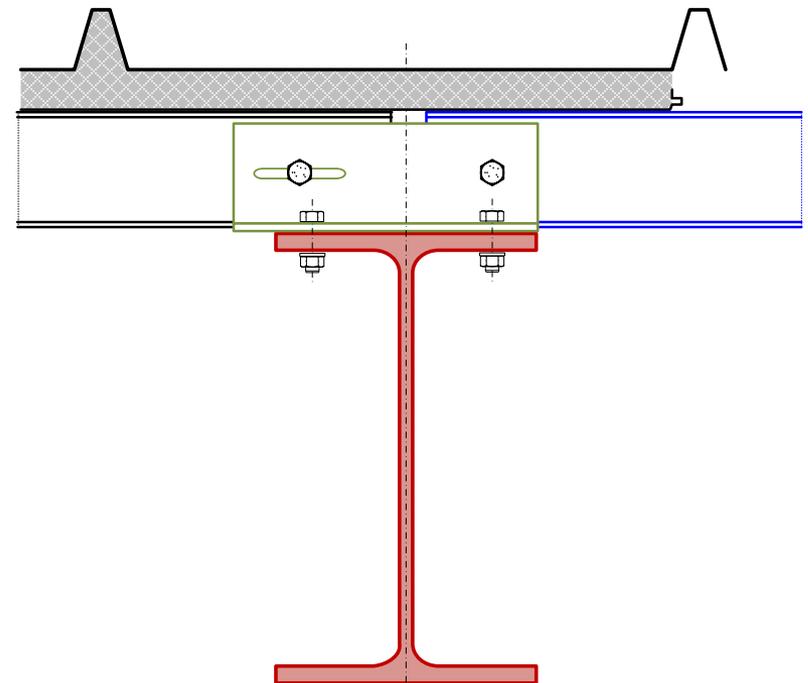
Efectos térmicos, juntas de dilatación

No desdoblarse la estructura principal (pórtico o celosía) ni sus postes.

Interrumpir correas en el plano de dilatación. Incluir apoyo que permita la dilatación



Pórtico no desdoblado
Sin abrazadera

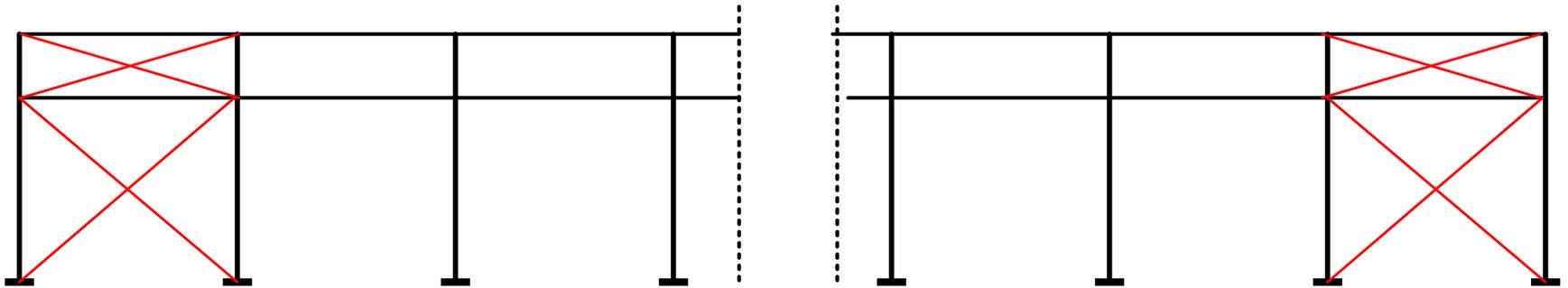


Pórtico no desdoblado
Con abrazadera

Dilatación térmica y contravientos

Arriostramientos contra viento en cubierta y fachada impiden la libre dilatación.

No situar contraviento de cubierta y fachada lateral en ambos extremos si no hay una junta intermedia, para $Long_{total} > 40 m$

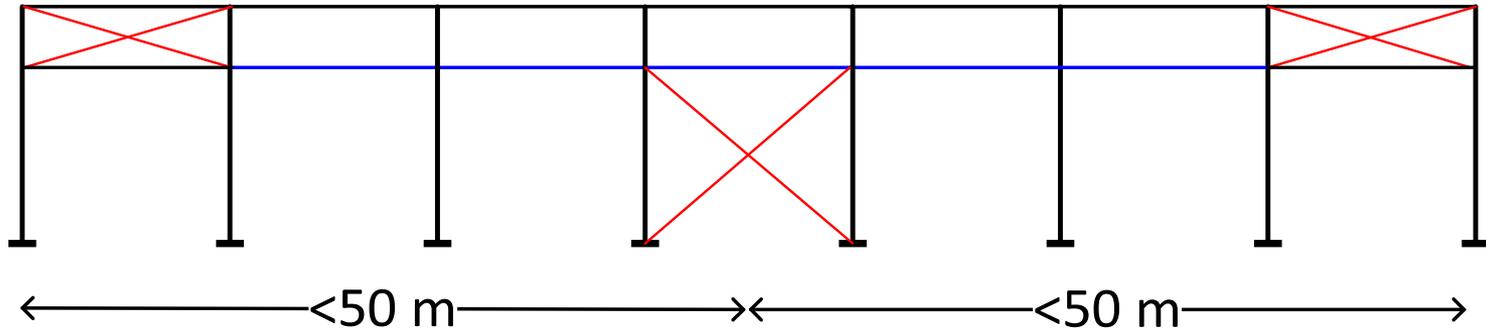


No recomendado para naves largas

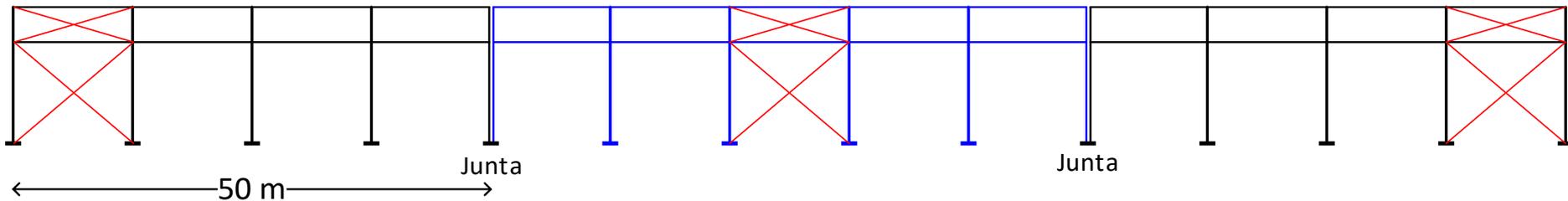
Excesiva rigidez. Dilataciones impedidas

Colocar junta en el centro

Dilatación térmica y contravientos



Contraviento en fachada lateral centrado



Nave larga con varias secciones



tecnun
Universidad
de Navarra
Escuela de Ingenieros

Naves de planta cuadrada

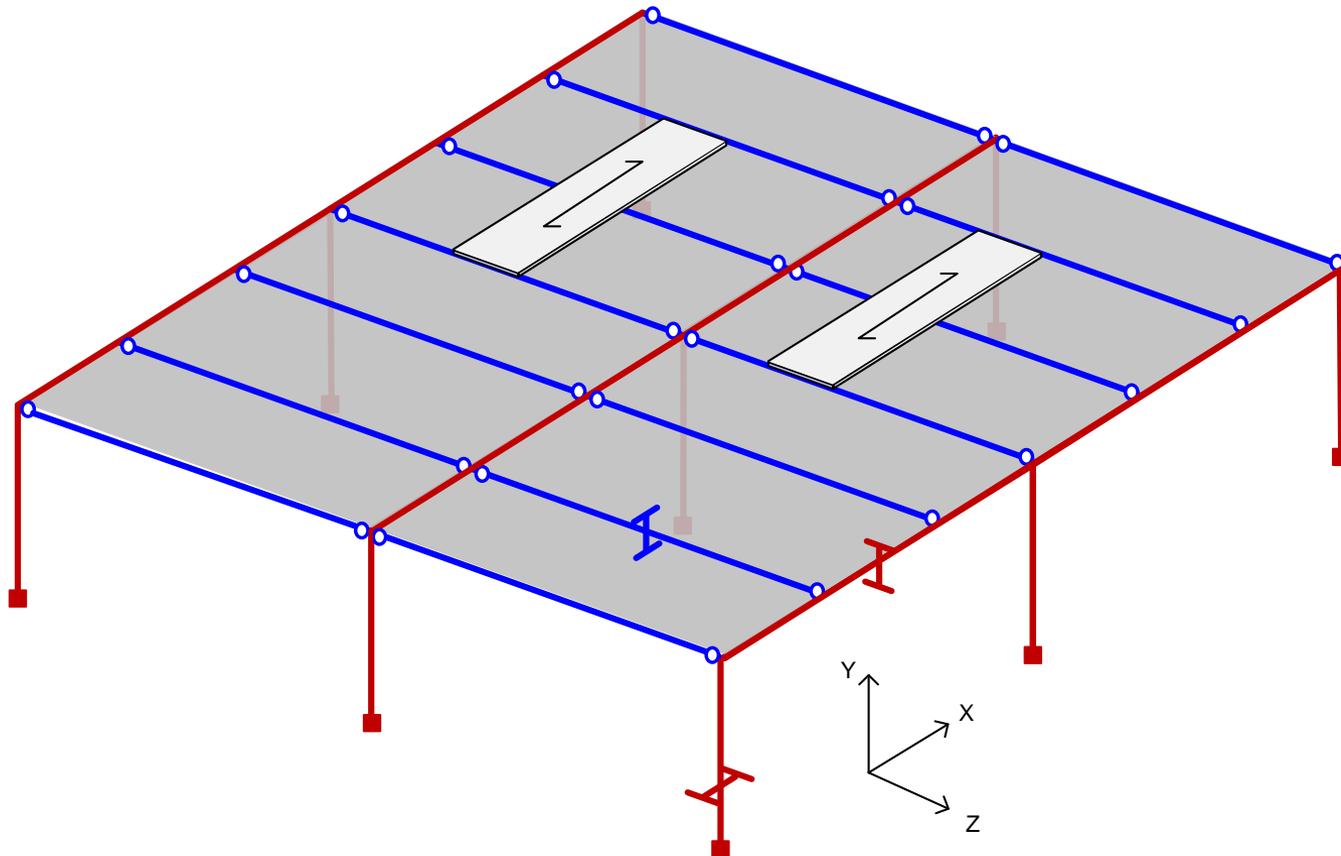
Naves de planta cuadrada

Luces similares en las dos direcciones (>10 m).

Gran superficie en planta. Una sola altura.

Retícula ortogonal de postes y vigas. Dos órdenes de vigas.

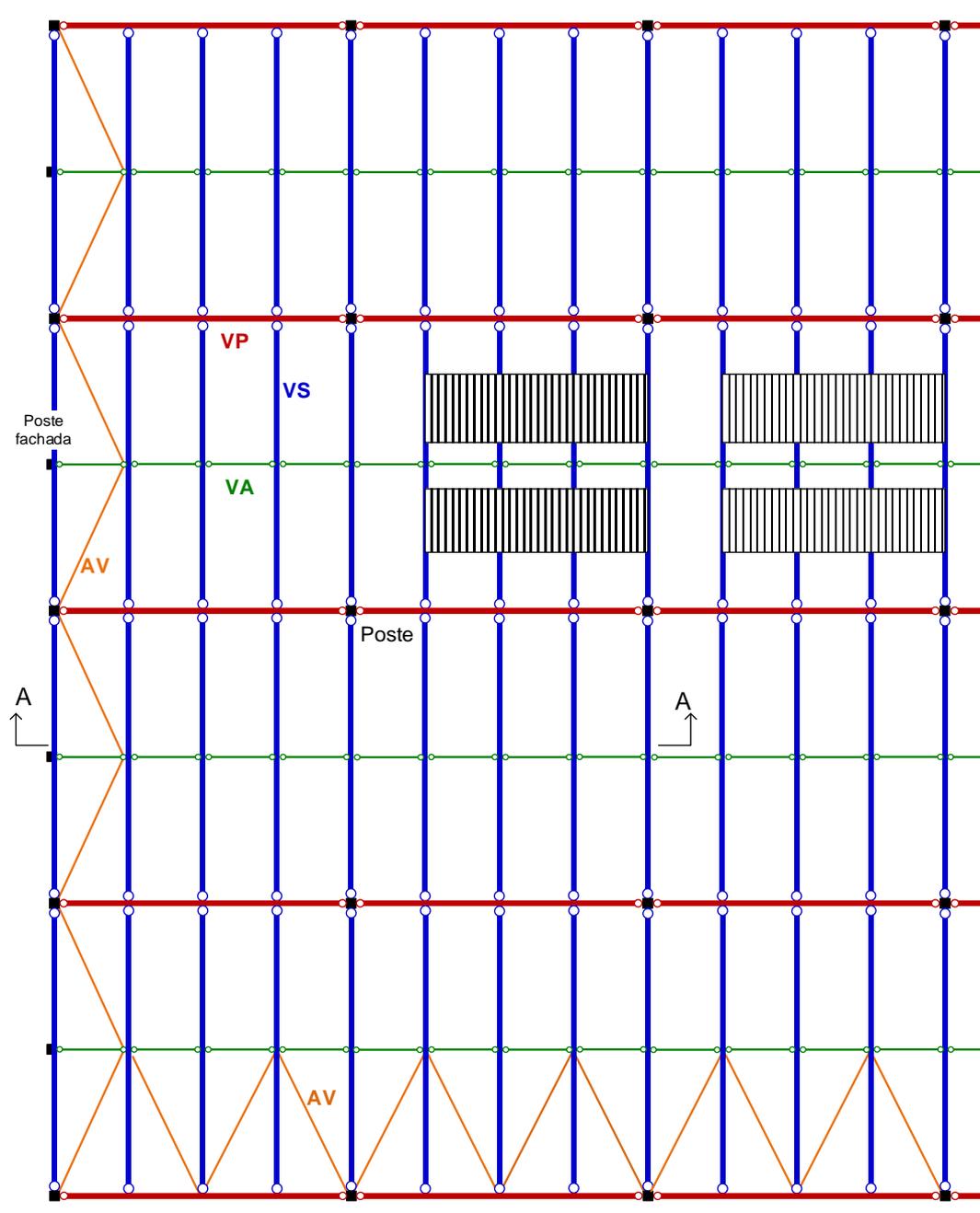
Grúas de baja capacidad o sin grúas



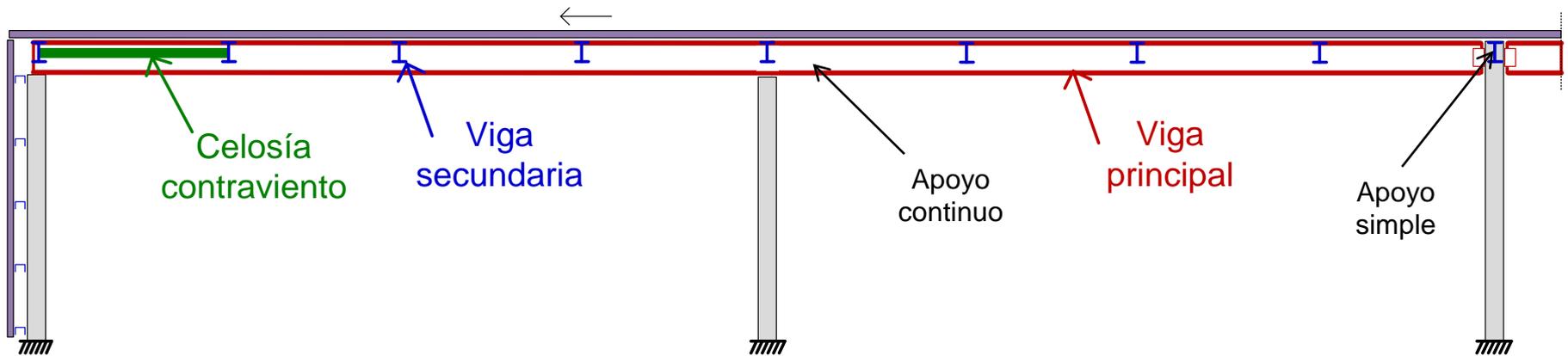
Nave de planta cuadrada

Retícula ortogonal de postes y vigas.
Dos órdenes de vigas.

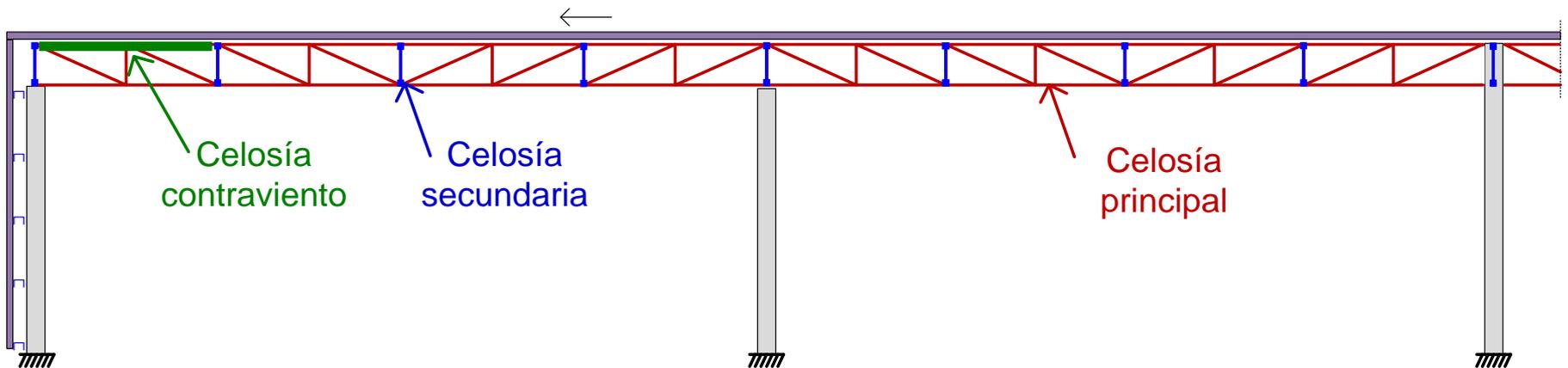
VP: viga principal
VS: viga secundaria
VA: viga auxiliar de atado
AV: arriostramientos contra viento



Nave de planta cuadrada – Alzado A-A

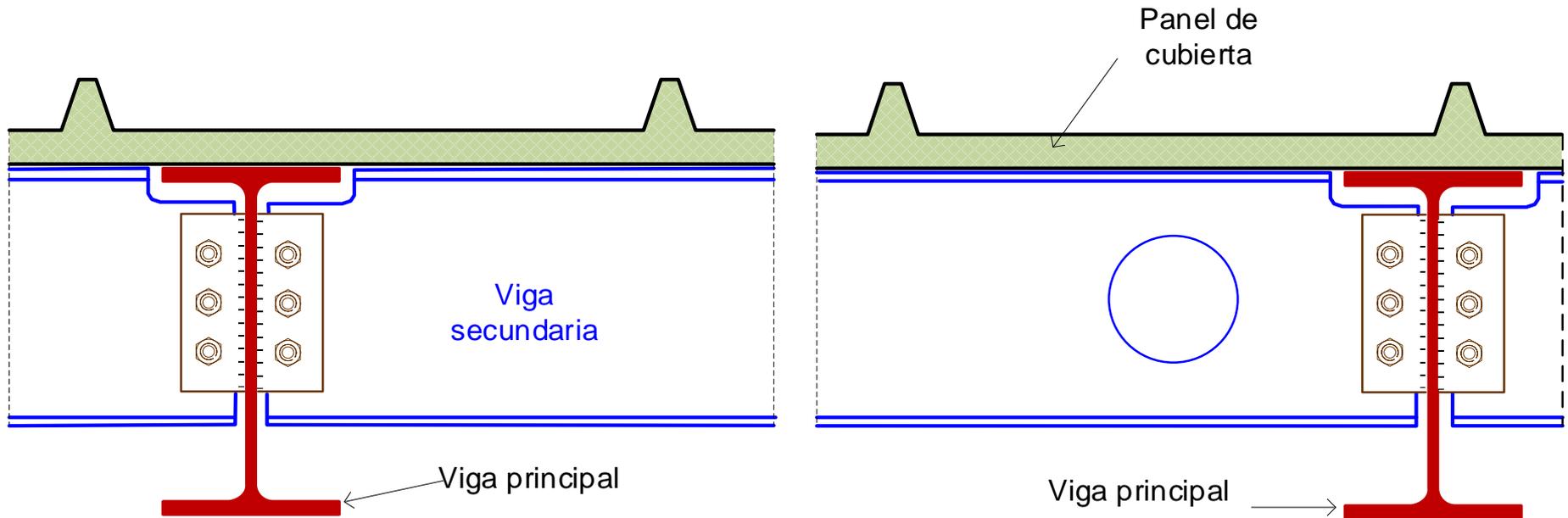


Vigas de alma llena (acero, madera, HP)



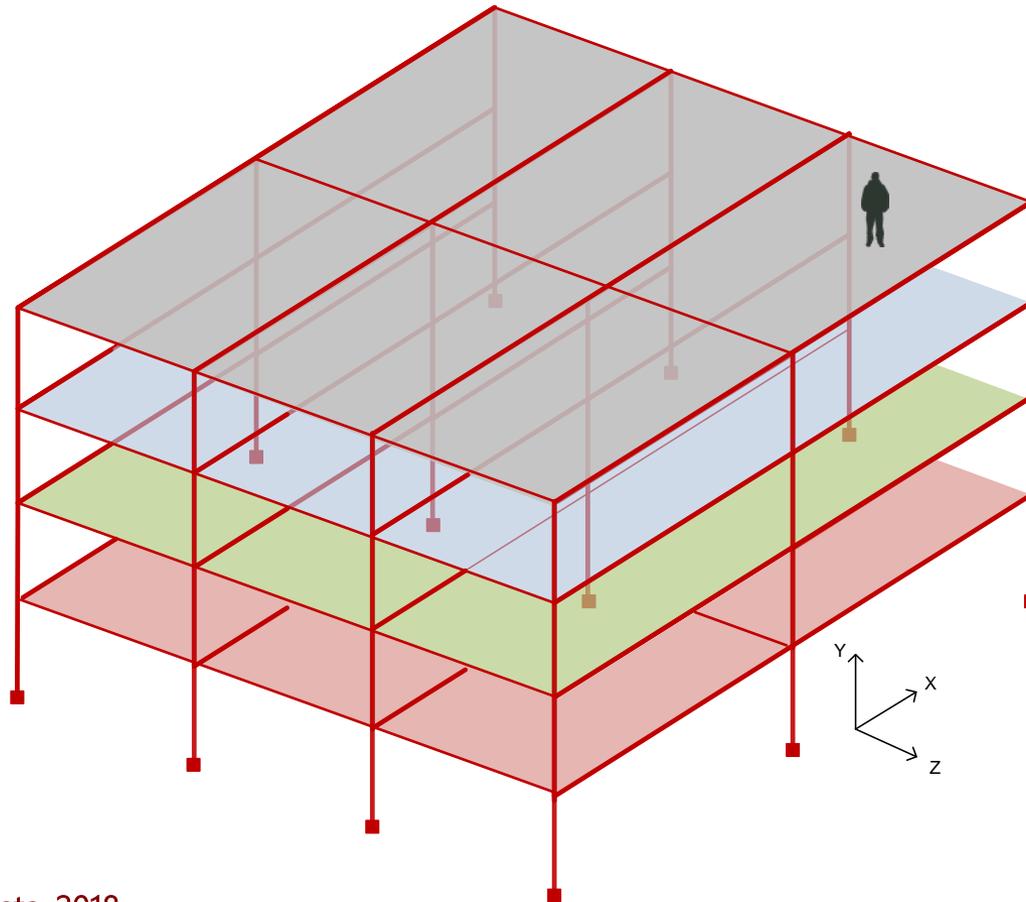
Vigas de celosía: luces grandes

Detalle de cubierta plana con dos familias de vigas



Apoyo de vigas secundarias con aleta soldada al alma de la viga principal

Estructuras para edificios de plantas en altura



Edificios de plantas en altura

Conjunto de superficies planas horizontales, muy rígidas, paralelas unas a otras, destinadas a soportar cargas verticales: forjados.

Forjados en base a hormigón armado, o chapa de acero + HA

Vigas de acero o HA

Forjados de las plantas soportados por una serie de postes y vigas de HA o acero, según una retícula \approx ortogonal regular.

Altura total $>$ dimensiones de la base

Alturas de las plantas similares

Luz horizontal de cada vano similar

Forma en planta aproximadamente rectangular

Las paredes y fachadas no son resistentes en muchos casos (hay excepciones)

Cargas:

Verticales: sobrecarga vertical de uso, peso propio, nieve.

Horizontales en fachadas: viento

Horizontales en las plantas: fuerzas de inercia (seísmo)

Organización estructural de un edificio de plantas (1)

A. Estructura resistente **principal**

A.1 Un conjunto de **pórticos planos** unidos por **vigas**. Acero, HA.

Pórticos principales planos: PT (tipo) o PA (arriostrado).

Transmiten todas las cargas a la cimentación.

Nudos rígidos y/o articulados. Diversas disposiciones

Vigas secundarias (VS) o de atado.

Perpendiculares a los pórticos.

Transmiten las cargas verticales a los pórticos principales

A.2 Un solo **pórtico espacial** tridimensional para toda la estructura

Normalmente de nudos rígidos.

Postes y vigas en 3D

Acero, hormigón armado

Organización estructural de un edificio de plantas (2)

B. **Forjado**: estructura de cada planta

Estructura horizontal plana muy rígida en su plano. Soporta las cargas verticales exteriores y las transmite a las vigas y a los pórticos. Distribuye las cargas horizontales entre los pórticos.

Material: HA o chapa de acero + HA.

Puede estar embebido con las vigas de los pórticos

C. Sistemas de **arriostramiento** contra viento y cargas laterales (AV)

Soportan las cargas horizontales y las transmiten a los pórticos.

Dan estabilidad y rigidez lateral a la estructura

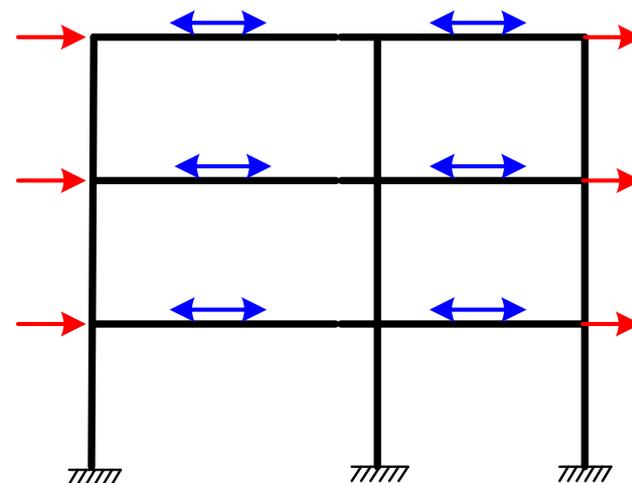
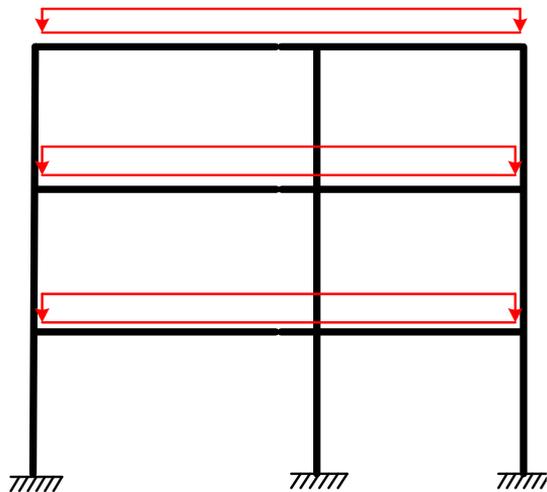
Forman parte de ellos las VS y las vigas y/o postes de los PA.

No se emplean en pórticos totalmente rígidos de poca altura.

D. **Cerramientos**: no forman parte de la estructura resistente

Pórticos tipo para edificios

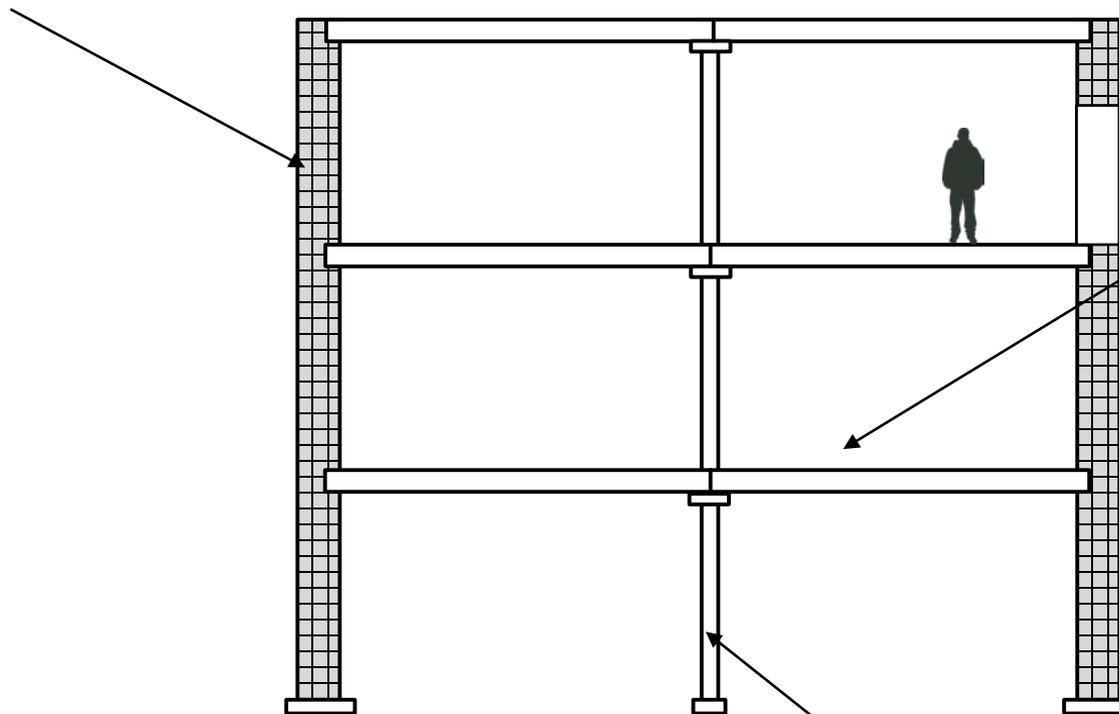
0. Muros de carga
1. Pórtico de nudos rígidos
2. Vigas articuladas a los postes + celosía contraviento
3. Vigas continuas apoyadas en postes continuos + contraviento
4. Vigas continuas apoyadas en postes articulados + contraviento
5. Vigas articuladas a ménsulas de postes
6. Pórtico rígido + pantallas macizas
7. Núcleo rígido + vigas articuladas + postes



Edificios con muros de carga. Tipo 0

Muro de carga perimetral
(piedra, mampostería)

En desuso actualmente,
salvo edificios muy pequeños



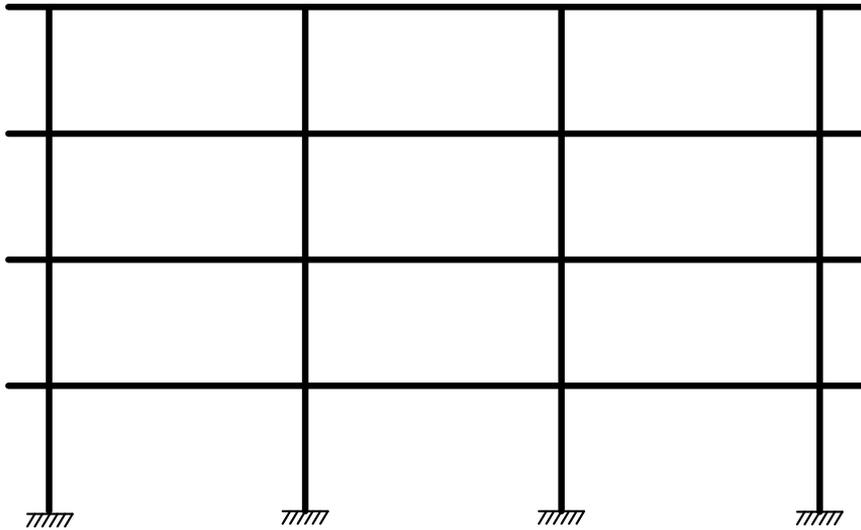
Vigas apoyadas en
muros y postes

Soporta bien las cargas verticales
Soporta muy mal las cargas horizontales

Postes no
continuos

Pórticos para edificios tipo 1. Rígidos

Totalmente **rígido** (acero, HA)

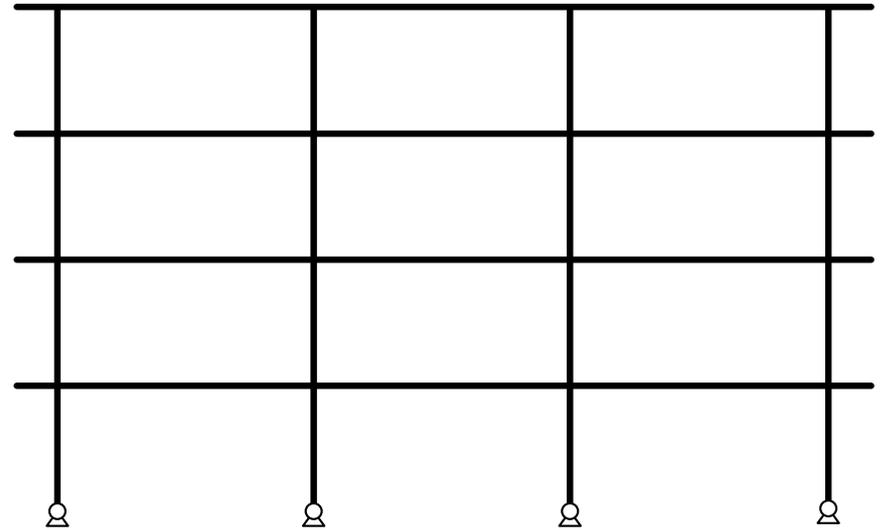


$L < 8\sim 10$ m Plantas $< 12-15$

Buena capacidad de absorber cargas verticales y horizontales.

No requiere arriostramientos si n^o plantas bajo
Sensible a movimientos de los apoyos y cargas térmicas

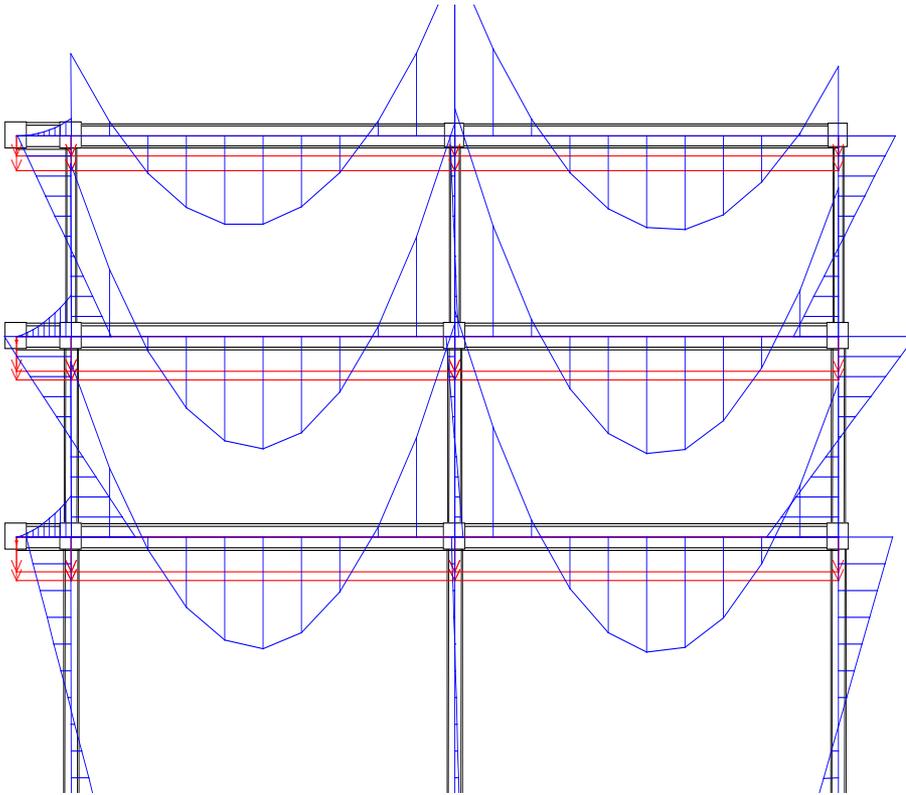
Totalmente rígido con apoyos articulados (acero)



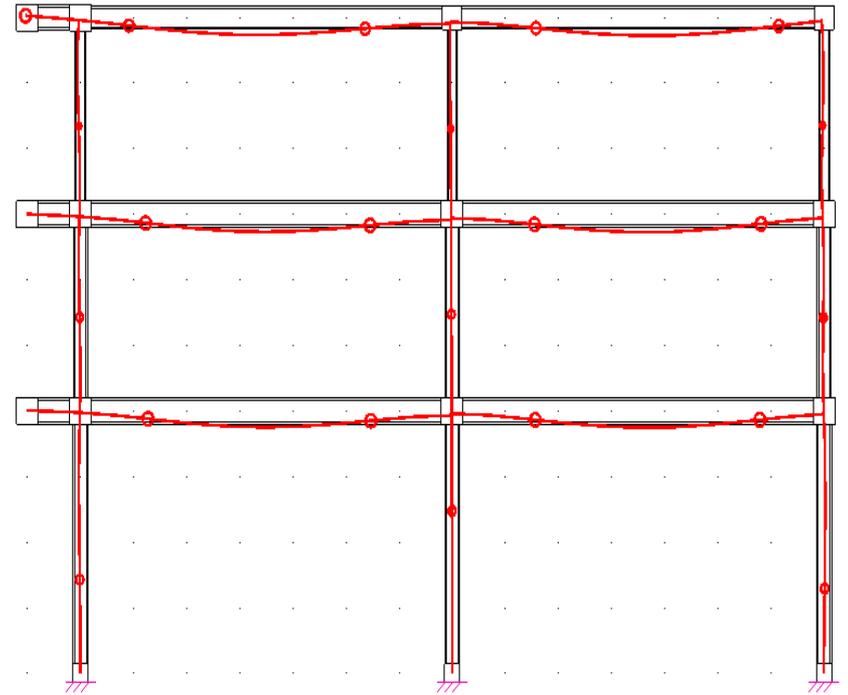
- (+) Utilización óptima del material
- (-) Cálculo complejo: h alto
- (-) Fabricación y montaje algo más complejos que otras soluciones

Pórticos para edificios tipo 1 (rígidos)

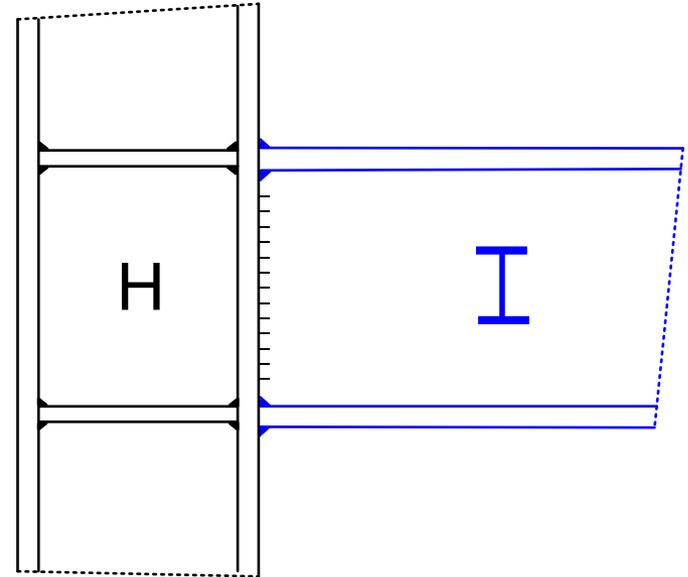
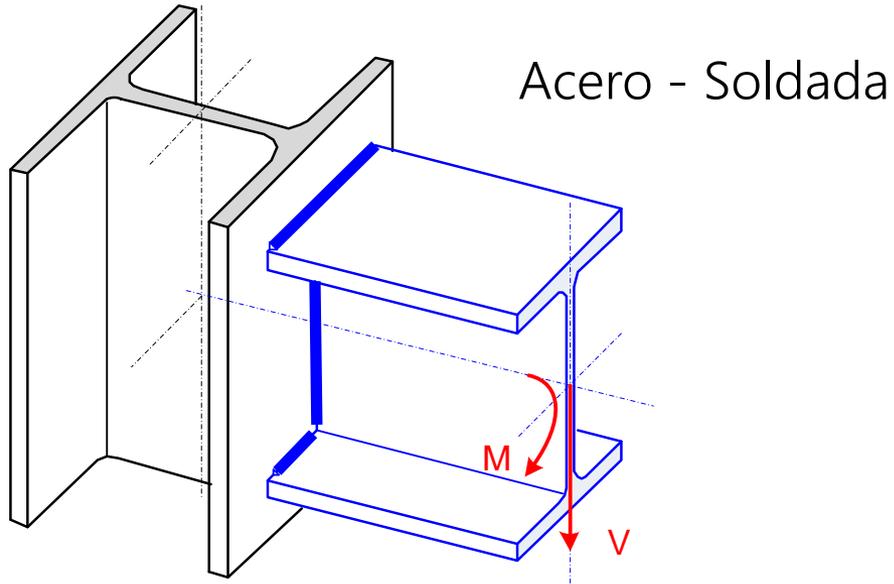
Diagrama de momentos para carga vertical



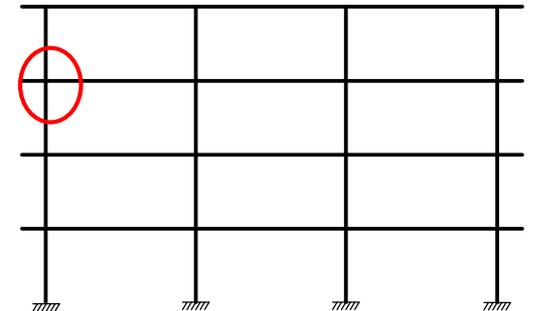
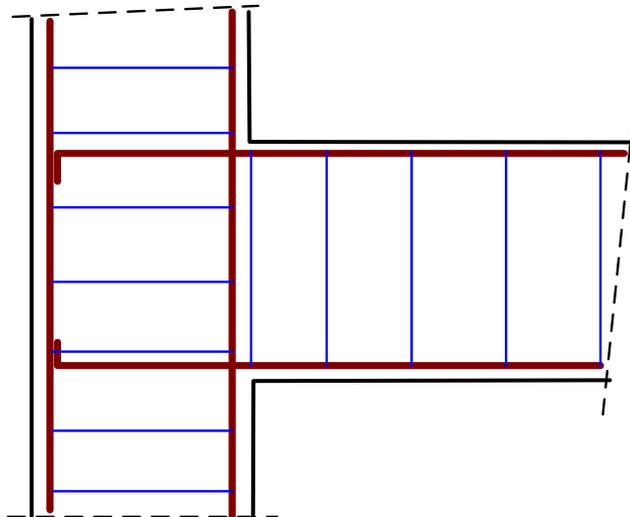
Deformada para carga vertical



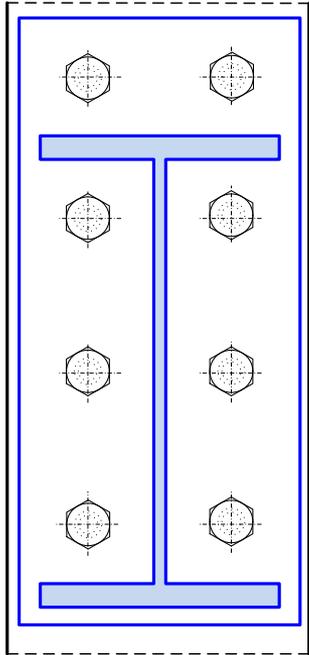
Uniones rígidas viga -poste



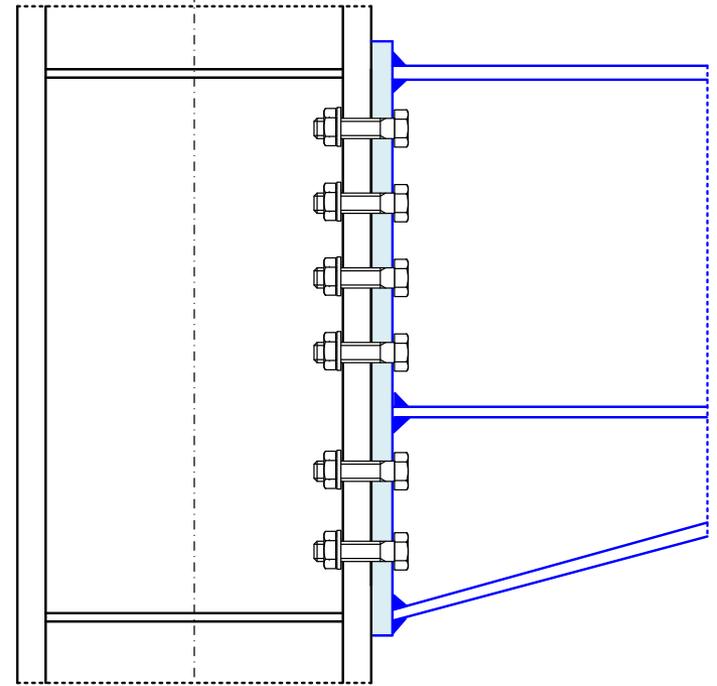
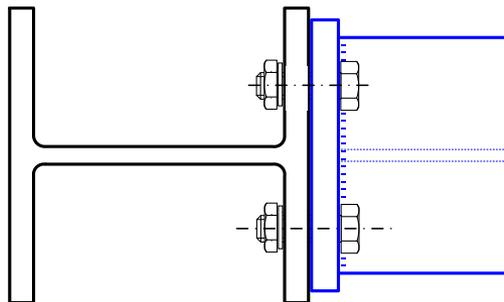
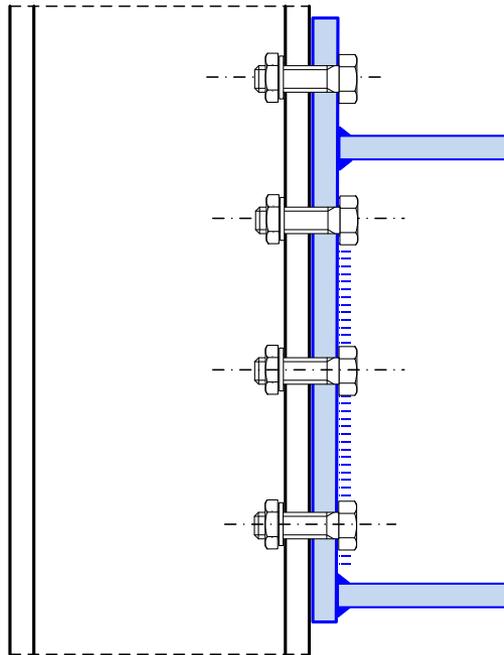
Hormigón
armado



Uniones rígidas viga – poste atornilladas

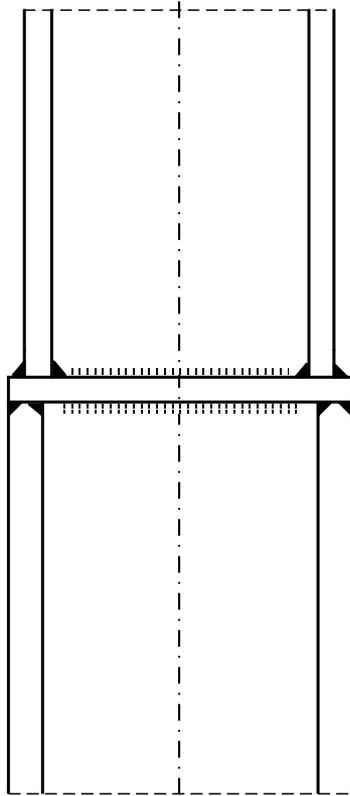


Chapa frontal extendida



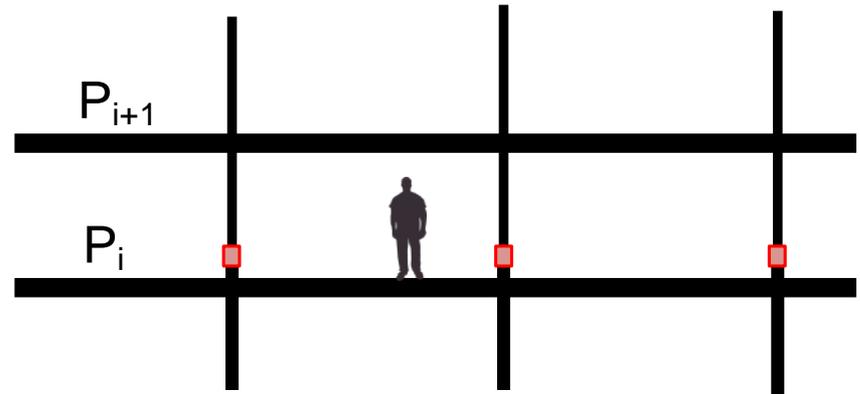
Chapa frontal + refuerzo

Uniones de continuación de pilares

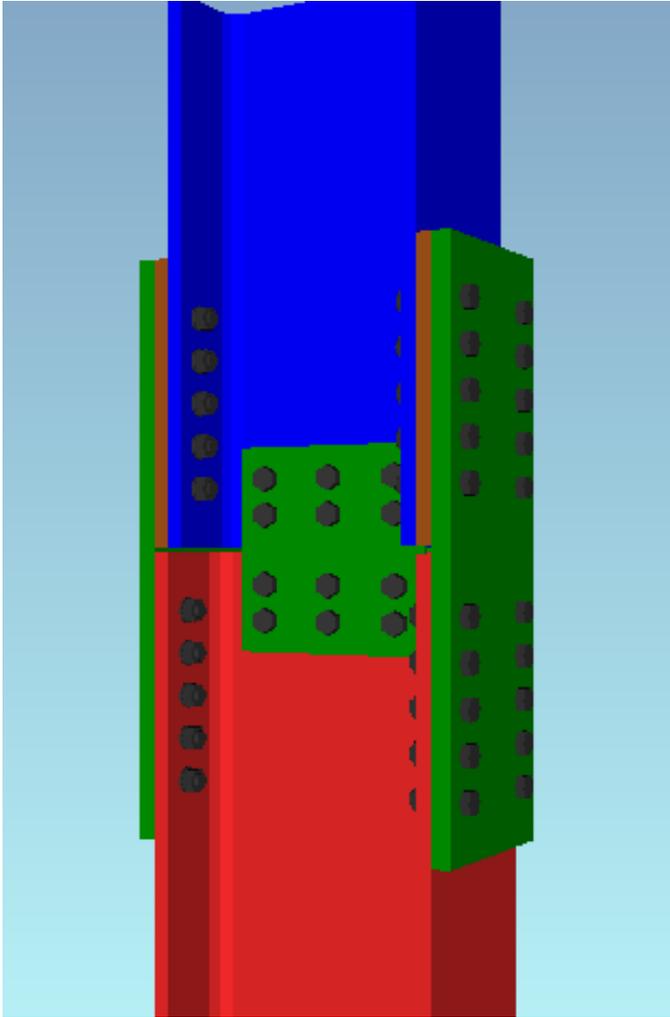


Soldada

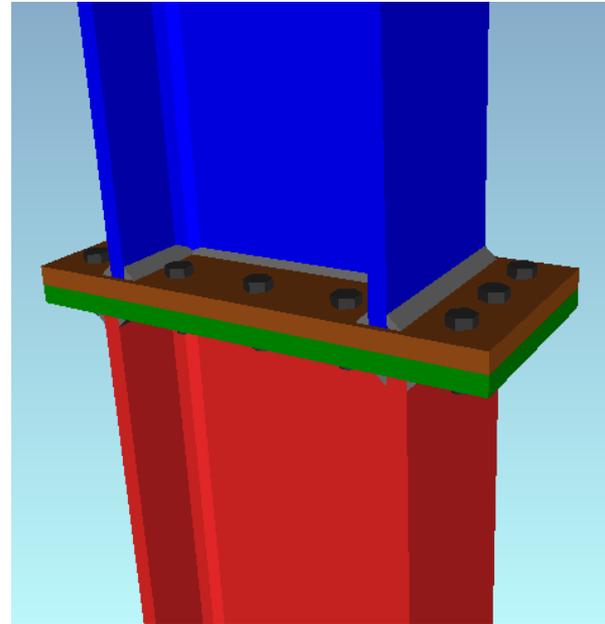
Situadas por encima del forjado,
Cada varias plantas, según longitud poste



Uniones de continuación de pilares



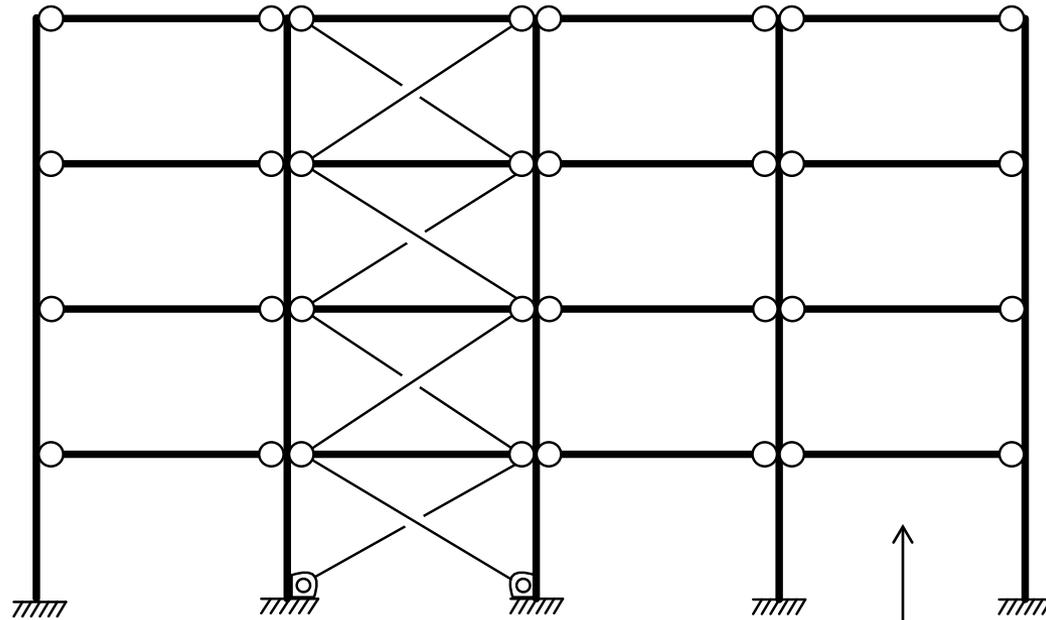
Con cubrejuntas de alma



Con chapa frontal intermedia

Pórticos para edificios tipo 2

Vigas articuladas isostáticas sobre postes + arriostramiento contra viento (acero)



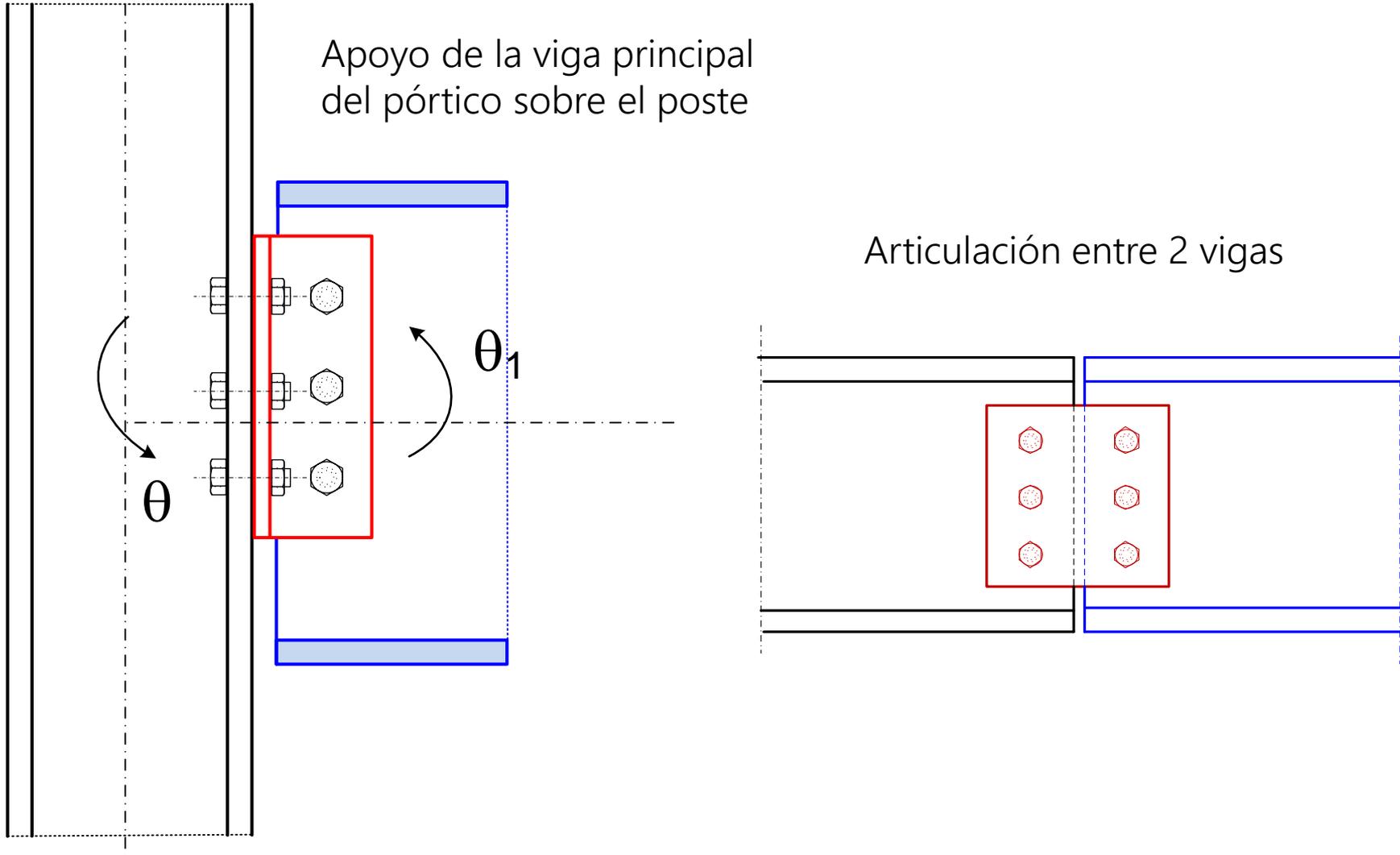
Plantas < 12-15

$L < 6$ m: alma llena (IPE, HEA)
 $L > 6$ m: especial (celosía...)

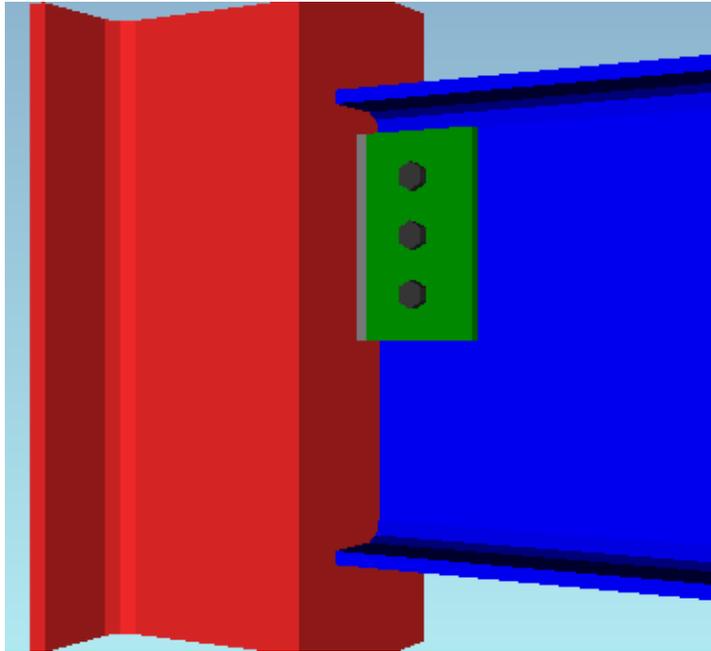
Buena capacidad de absorber cargas verticales.
Requiere arriostramientos extra para cargas horizontales

- (-) Arriostramientos: limitación arquitectónica
- (-) Utilización poco óptima del material
- (+) Cálculo sencillo (simplificado)
- (+) Poco sensible a movimientos de los apoyos
- (+) Economía y rapidez de fabricación y montaje

Uniones articuladas atornilladas en pórticos

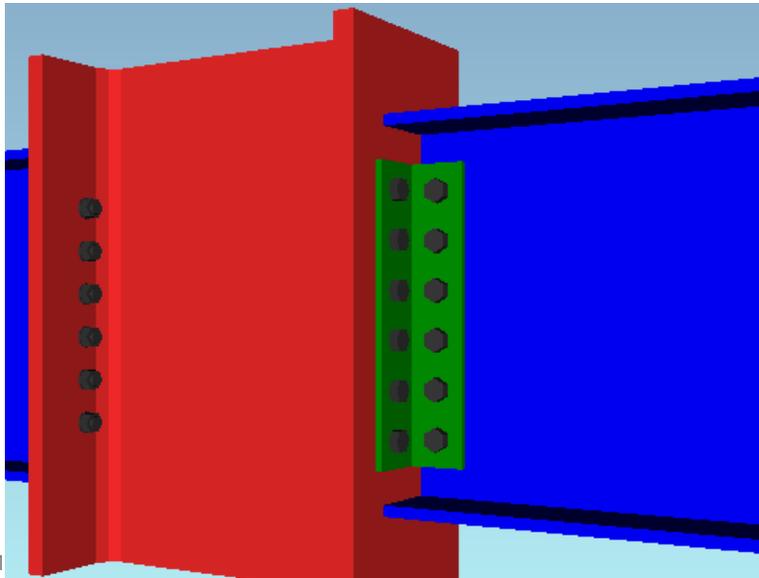
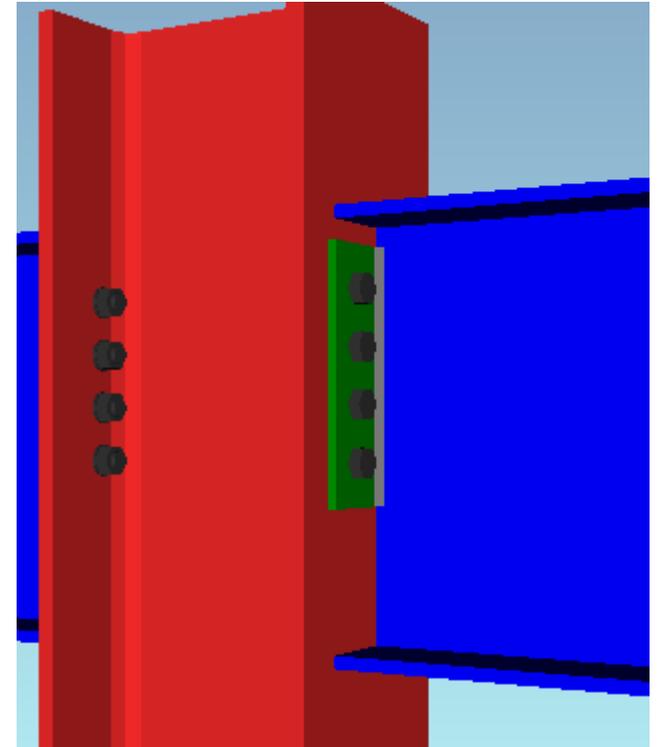


Uniones articuladas atornilladas viga - poste



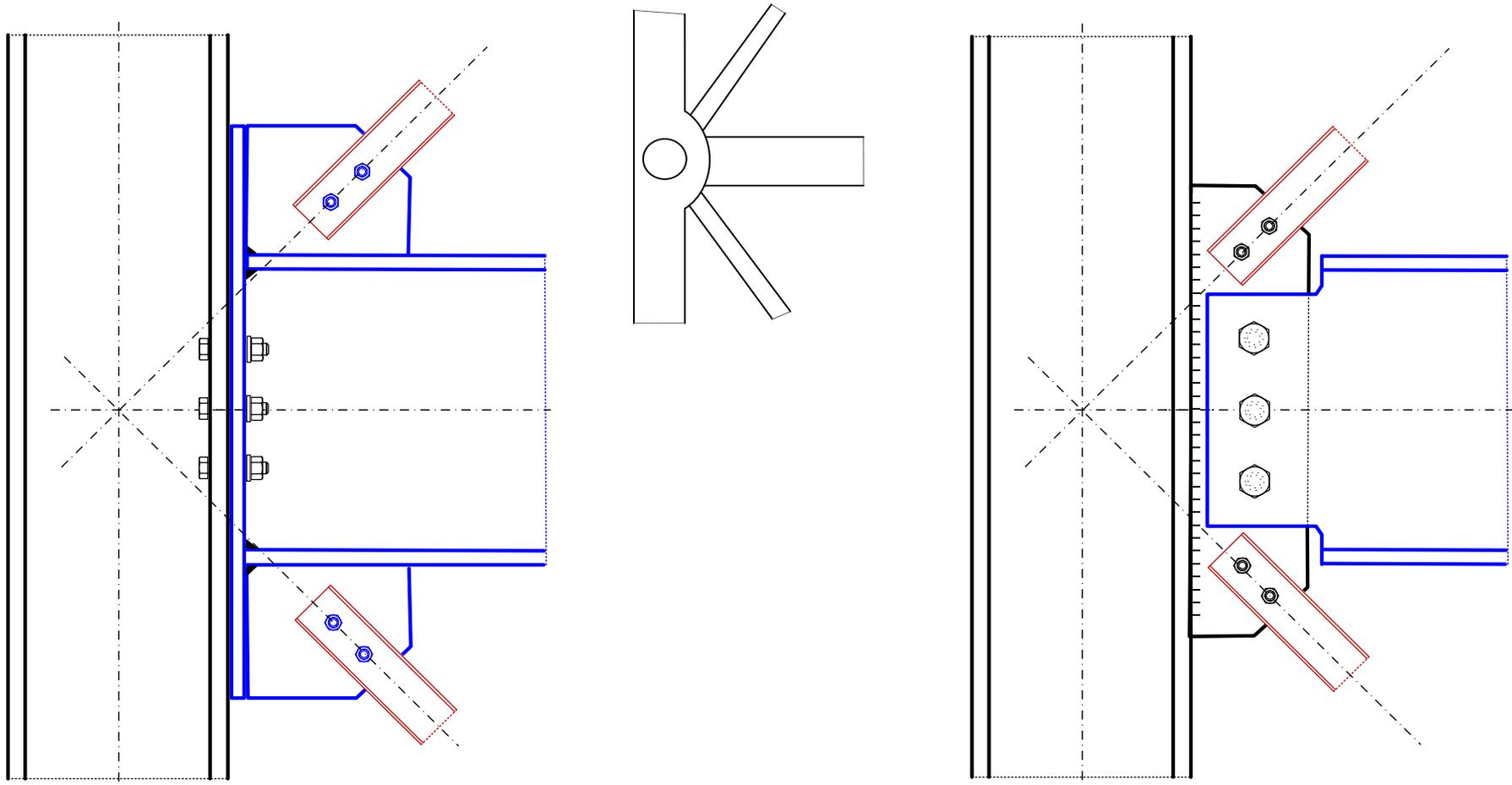
Aleta lateral

Chapa frontal de alma



Angular de alma

Viga articulada al poste + barras celosía contraviento

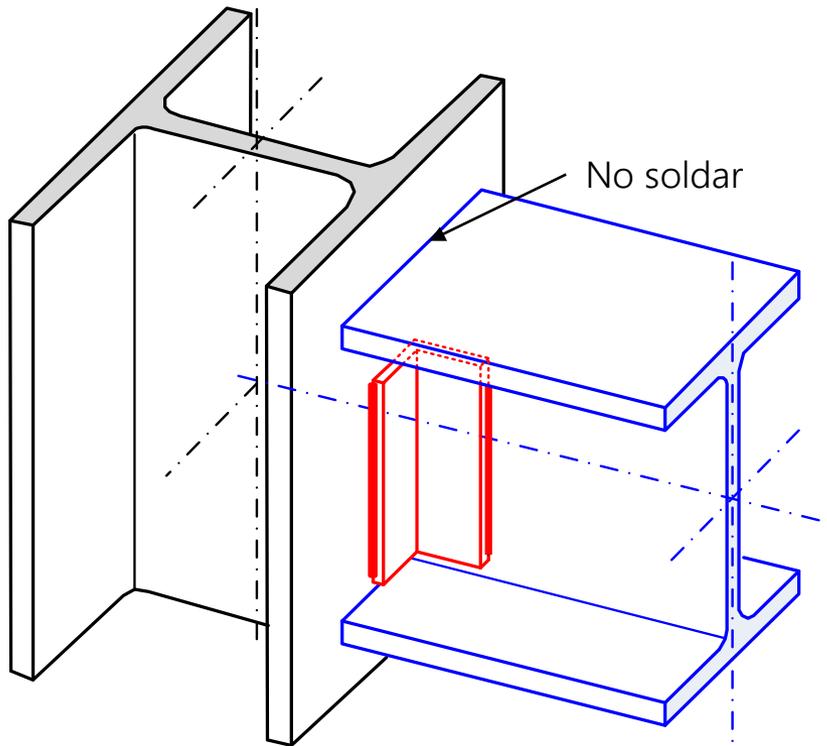


Solución con chapa frontal

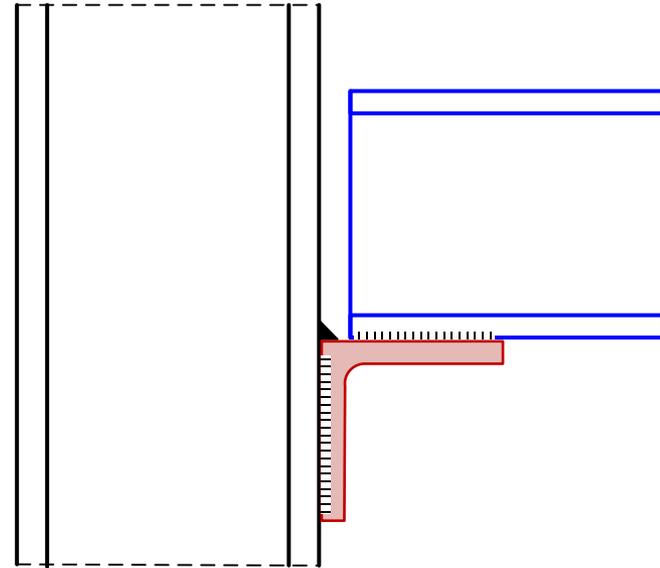
Solución con chapa lateral

Apoyos de viga en poste soldadas

Apoyo de viga sobre poste mediante casquillo L soldado al alma

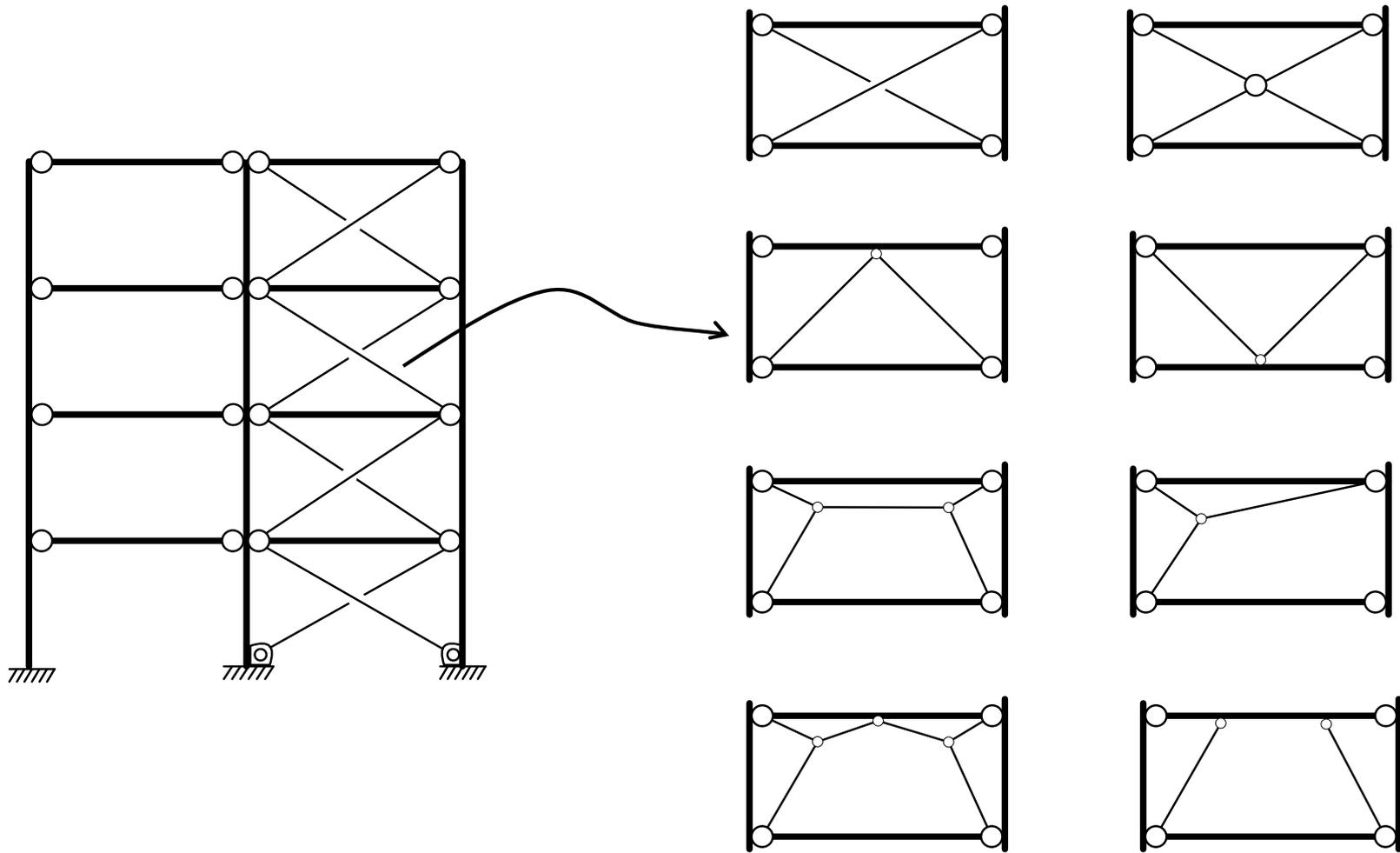


Apoyo de viga sobre poste mediante casquillo L de apoyo
Reacción vertical pequeña



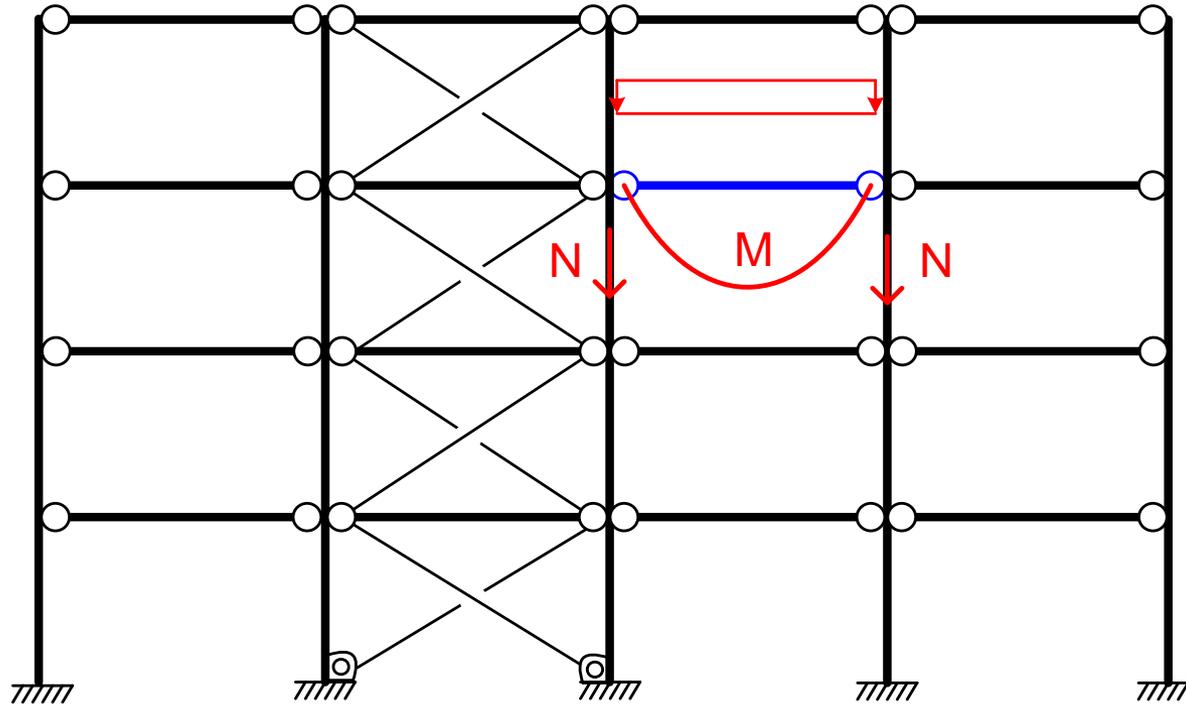
Transmiten muy poca fuerza horizontal

Triangulaciones para arriostramiento lateral



Pórticos para edificios tipo 2. Cargas verticales

Vigas isostáticas articuladas sobre postes + arriostramiento contra viento (acero)



$$M = \frac{qL^2}{8}$$

$$\Delta = \frac{5 qL^4}{384 E I}$$

$$R = \frac{qL}{2}$$

$$N = \Sigma R_{pisos}$$

Cargas verticales:

Vigas apoyadas: flexión es isostática

Límite de flecha en vigas

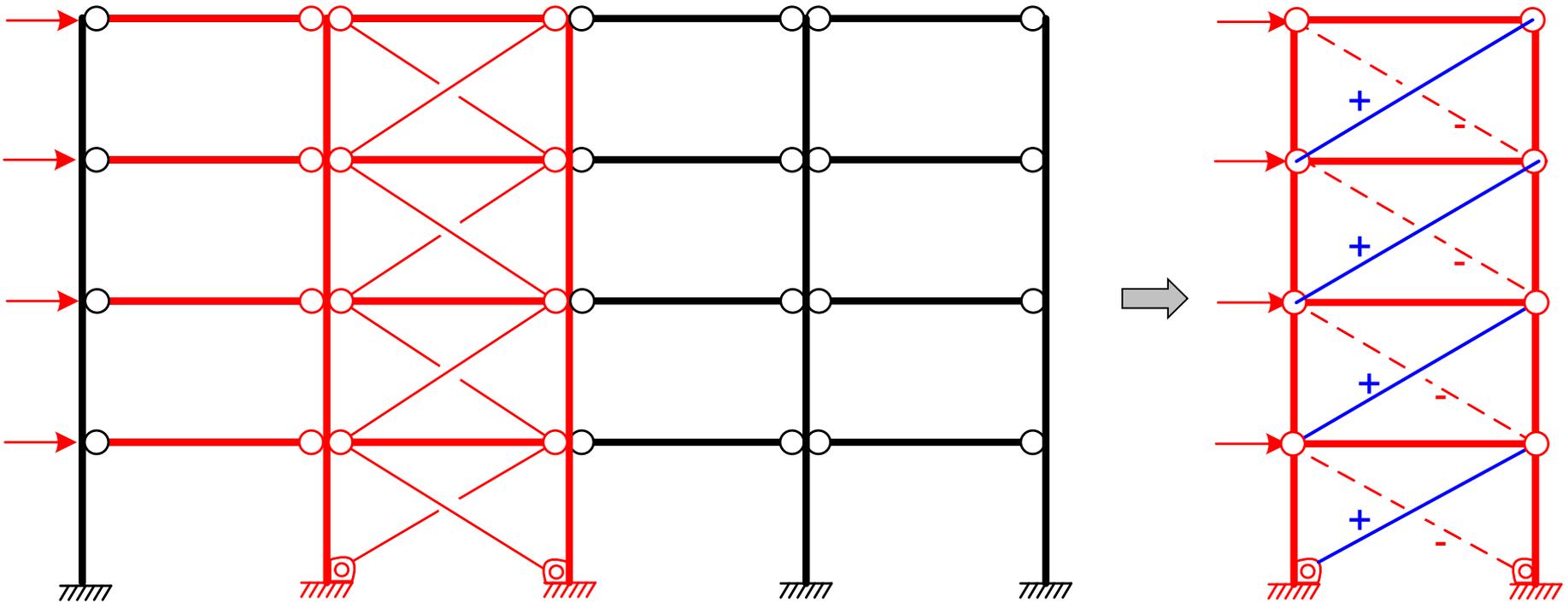
Postes sólo con esfuerzo axial

(-) Utilización poco óptima del material

(+) Cálculo sencillo

Pórticos para edificios tipo 2. Cargas laterales

Vigas isostáticas articuladas sobre postes + arriostramiento contra viento (acero)



Cargas laterales:

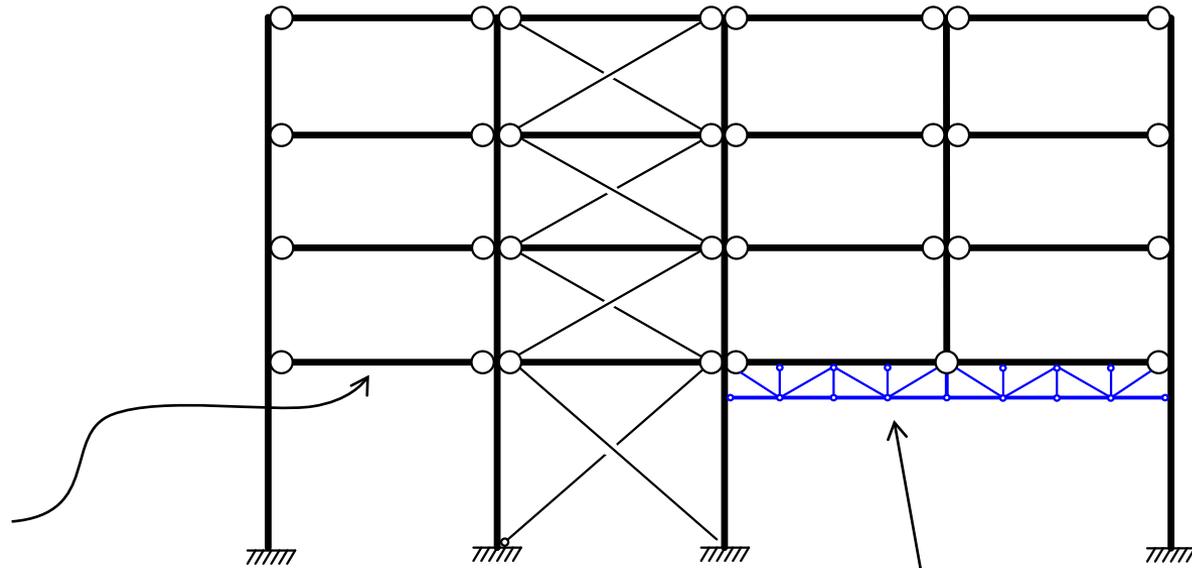
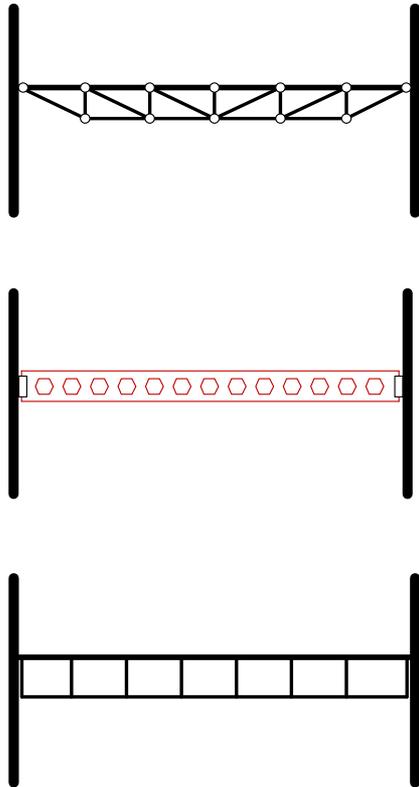
Celosía contra viento formada por elementos diagonales + postes + vigas

Cargas en fachada se trasladan a la celosía contra viento por compresión de las vigas

En realidad todos los esfuerzos axiales en las vigas son hiperestáticos, pero se suelen simplificar para cálculo manual. Los postes soportan algo de la fuerza horizontal

Pórticos para edificios tipo 2. Variantes

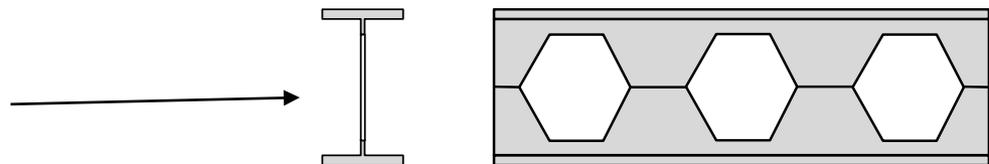
Vigas isostáticas articuladas sobre postes + arriostramiento contra viento. Variantes



Supresión de poste mediante viga de celosía de transferencia de esfuerzos

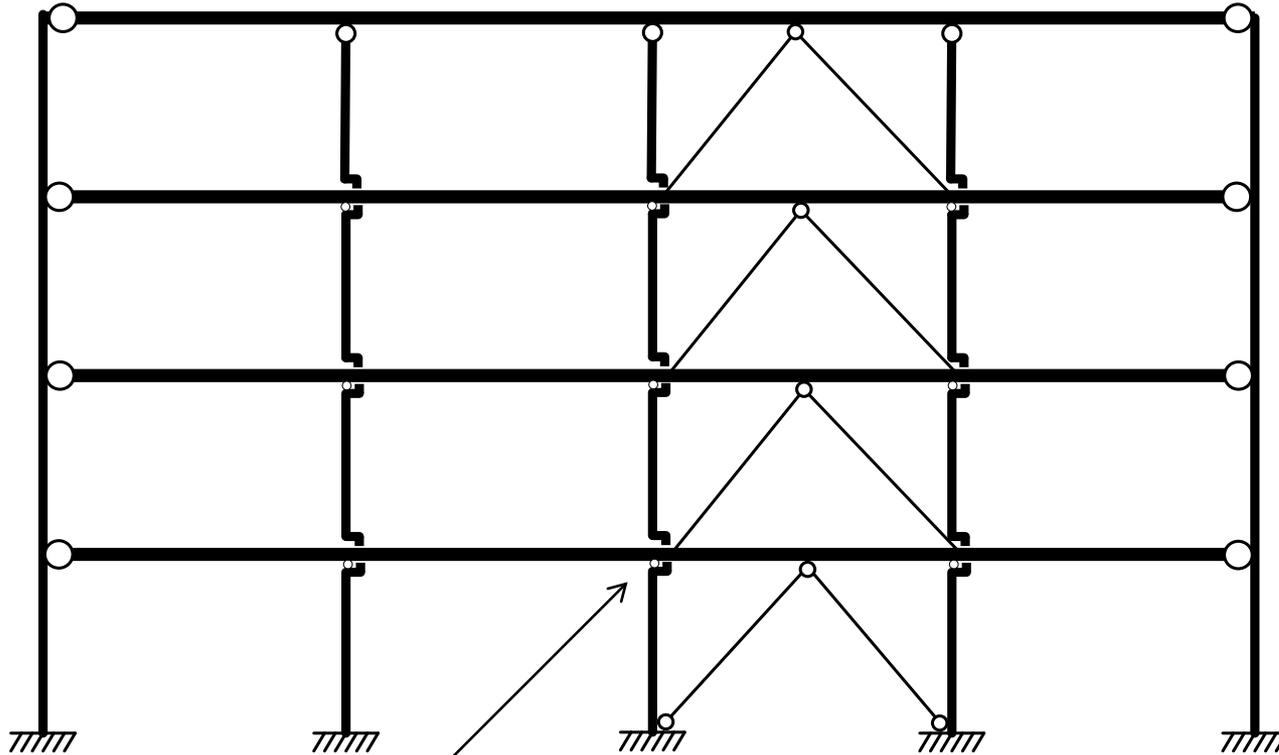
Para grandes luces:

- . Viga de celosía
- . Viga armada (chapas soldadas)
- . Viga de alma aligerada (alveolos)
- . Viga Vierendeel



Pórticos para edificios tipo 3

Vigas continuas apoyadas sobre postes continuos (acero)



$L < 8$ m
Plantas $< 12-15$

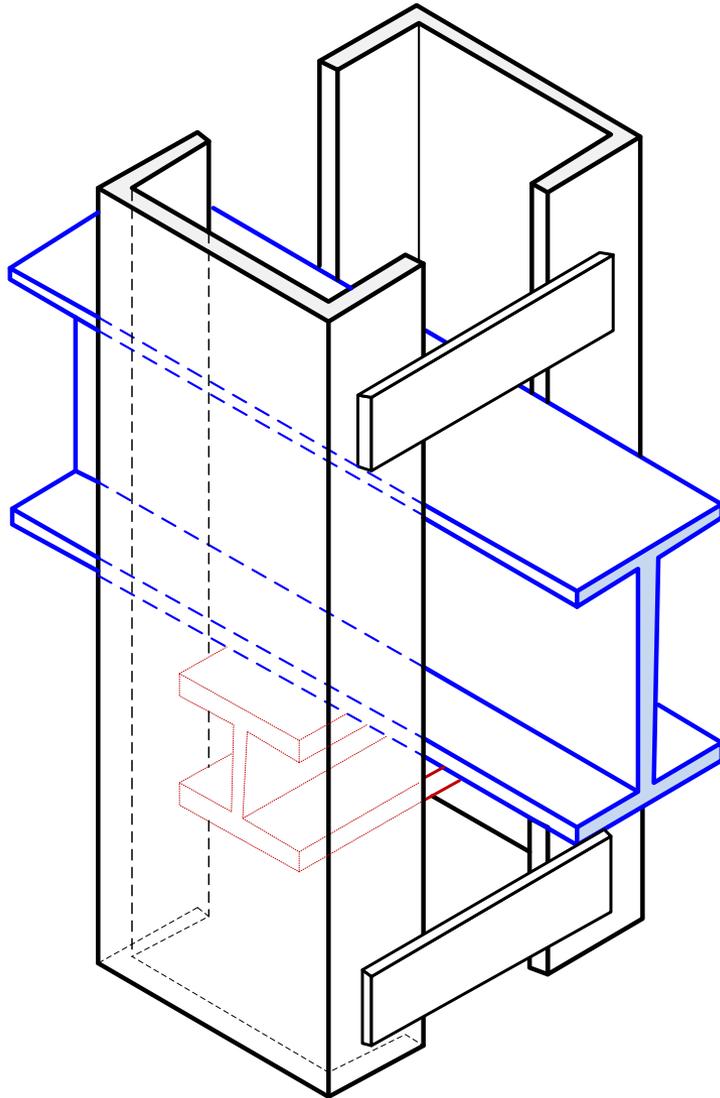
Cargas verticales:
Flexión en las vigas continuas
Postes sólo con esfuerzo axial

Cargas horizontales:
Necesita arriostramiento

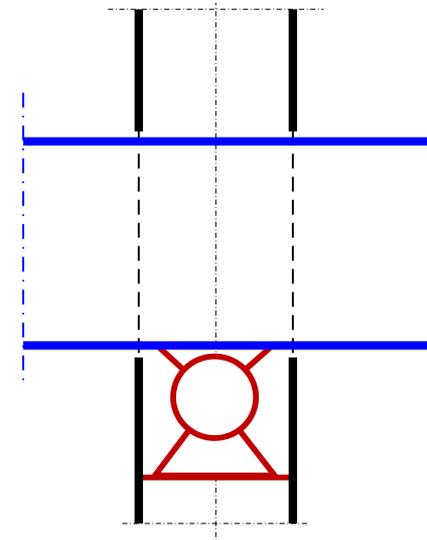
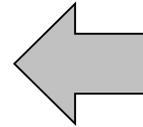
Apoyo de viga en poste sólo transmite fuerzas X, Y
No transmite momentos

Utilización bastante óptima del material
Cálculo relativamente sencillo (vigas continuas)
Fabricación y montaje sencillos

Pórticos para edificios tipo 3. Detalle de nudo. Poste desdoblado

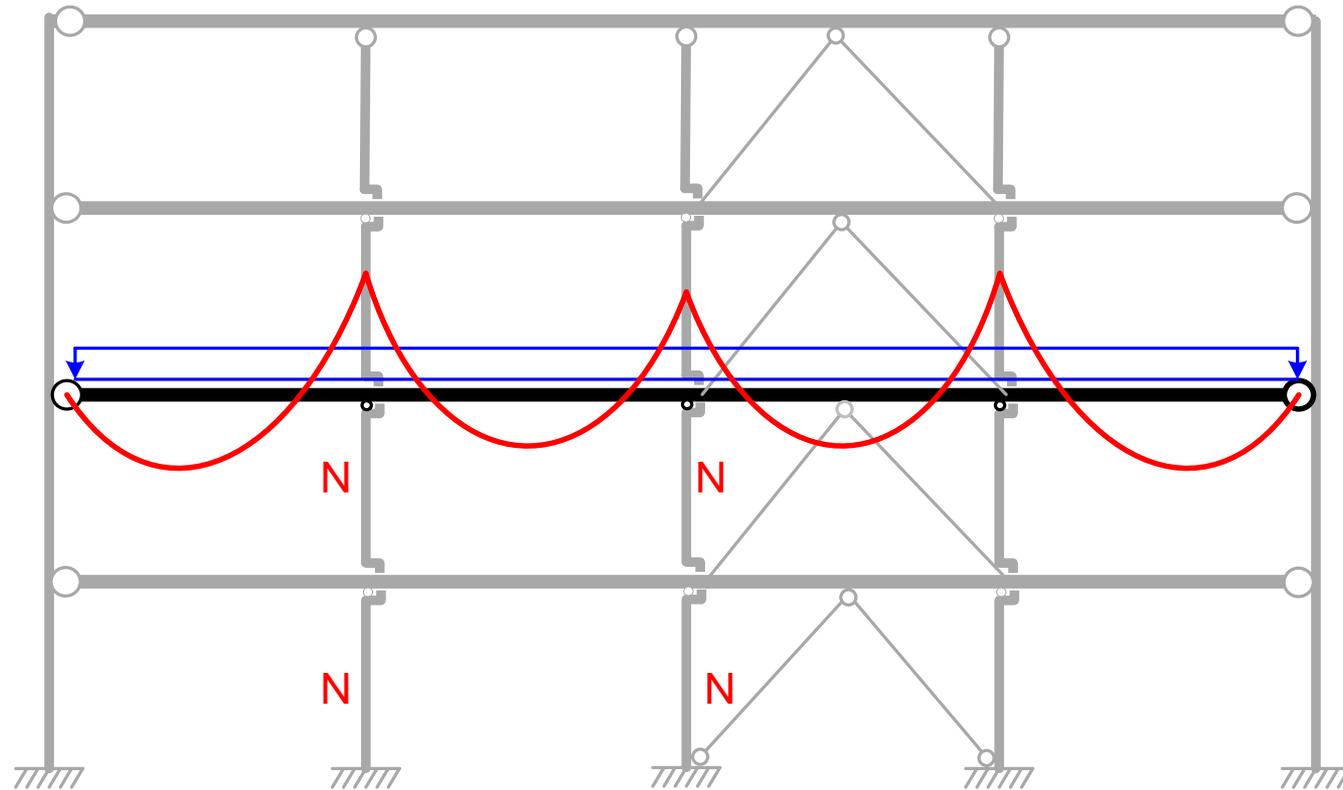


Apoyo de viga continua en H pasante sobre poste continuo desdoblado 2U



Pórticos para edificios tipo 3. Cargas verticales

Vigas continuas apoyadas sobre postes continuos (acero)



Cargas verticales:

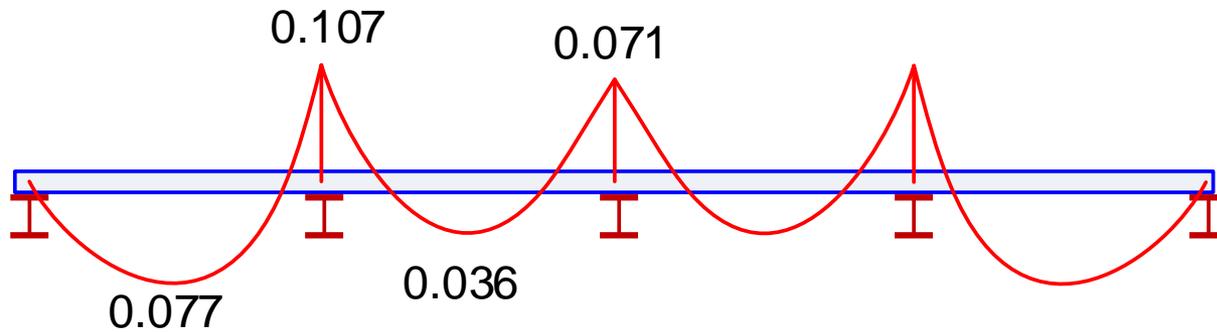
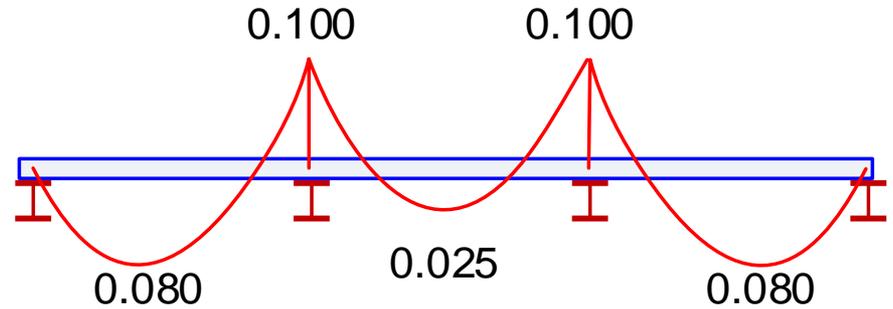
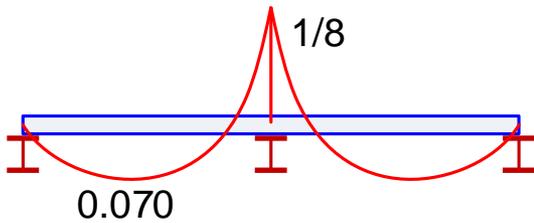
Vigas continuas ($n \leq 4$) hiperestáticas

Menor momento y menor flecha que las apoyadas (mejor aprovechamiento)

Postes sólo con esfuerzo axial: el nudo sólo transmite fuerzas verticales

Disposiciones de vigas continuas

$M(\times q L^2)$



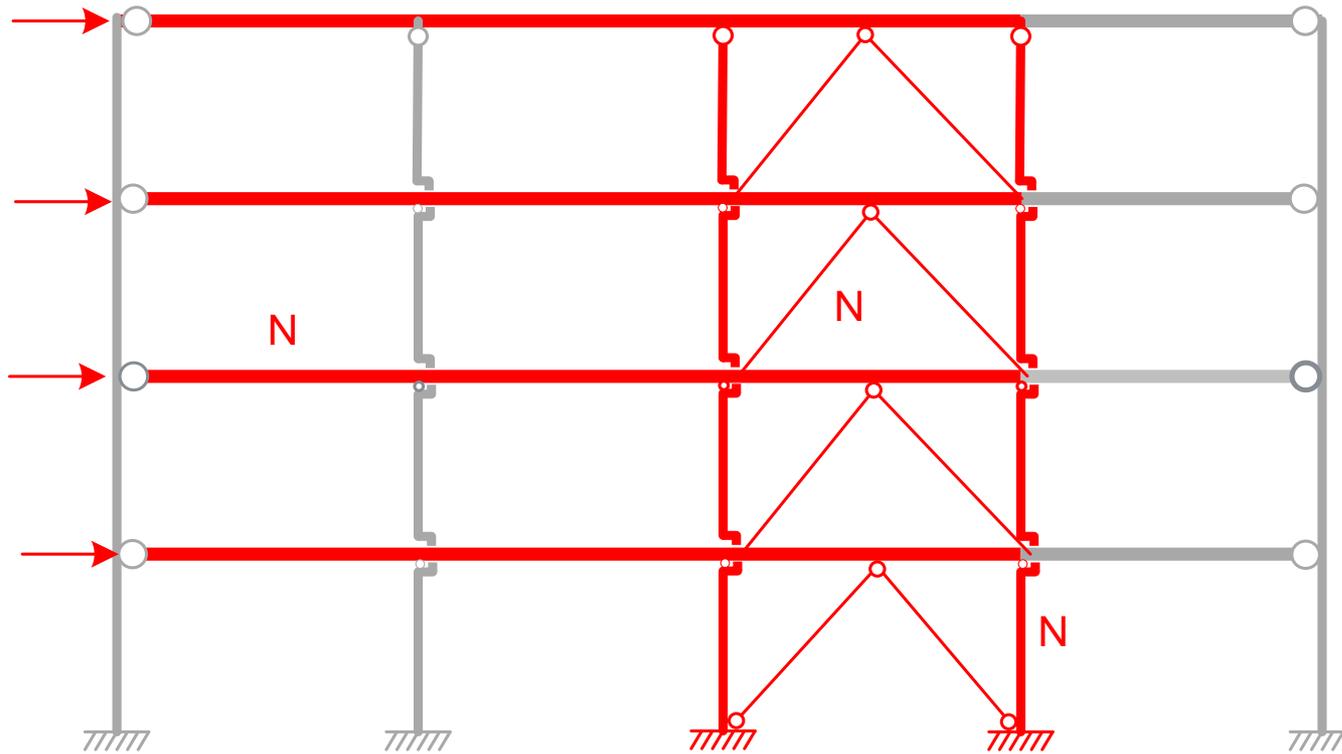
2 vanos $M_{apoyo2} = 0.125 q L^2$ $\Delta_{vano1} = 0.0054 \frac{qL^4}{E I}$

3 vanos $M_{apoyo2} = 0.100 q L^2$ $\Delta_{vano1} = 0.0069 \frac{qL^4}{E I}$

4 vanos $M_{apoyo2} = 0.107 q L^2$ $\Delta_{vano1} = 0.0065 \frac{qL^4}{E I}$

Pórticos para edificios tipo 3. Cargas laterales

Vigas continuas apoyadas sobre postes continuos (acero)



Cargas laterales:

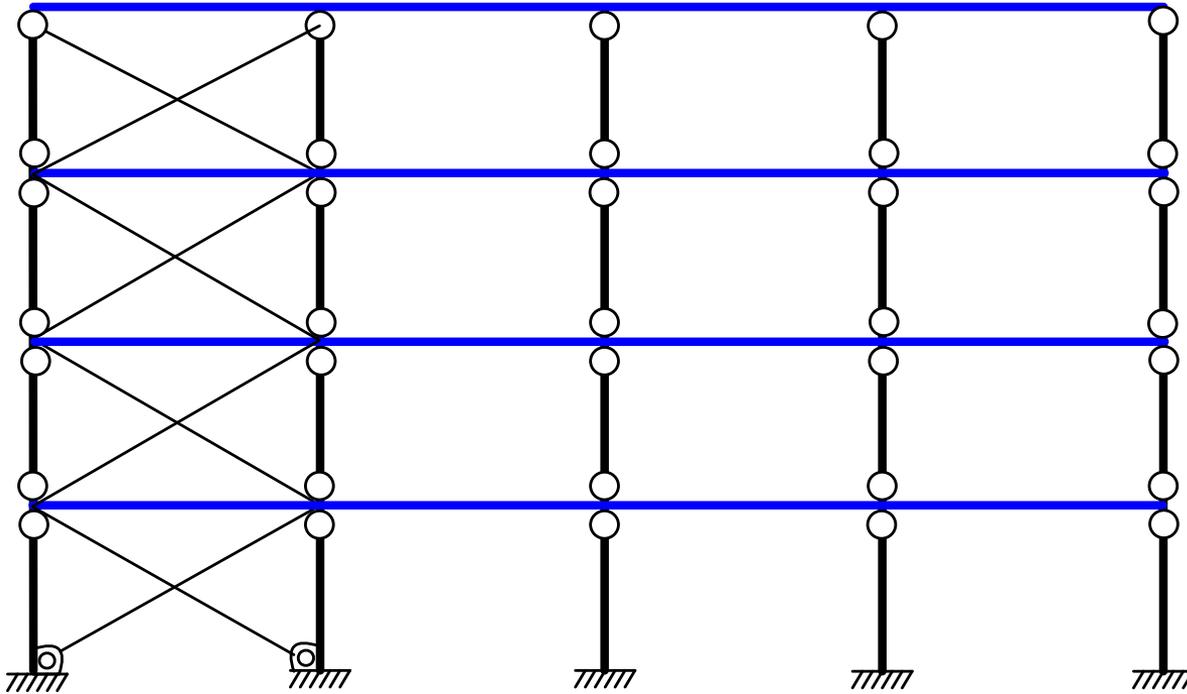
Celosía contra viento formada por elementos diagonales + postes + vigas

Cargas en fachada se trasladan a la celosía contra viento por compresión de las vigas

En realidad todos los esfuerzos axiales en las vigas son hiperestáticos, pero se suelen simplificar. Los postes soportan parte de la fuerza horizontal

Pórticos para edificios tipo 4

Vigas continuas y postes biarticulados (acero)



No usado

Cargas verticales:
Flexión en las vigas continuas
Postes sólo con esfuerzo axial

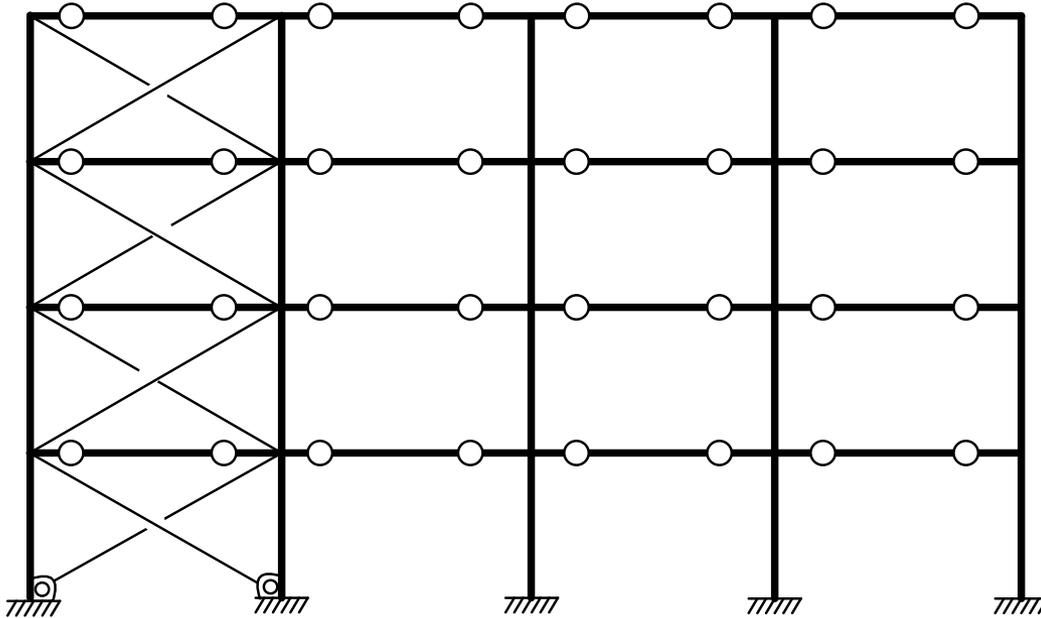
Cargas horizontales:
Necesita buen arriostramiento

Si falla un paño de la
triangulación es inestable

$L < 8 \text{ m}$ Plantas $< 12-15$

Pórticos para edificios tipo 5

Vigas articuladas a ménsulas (acero)

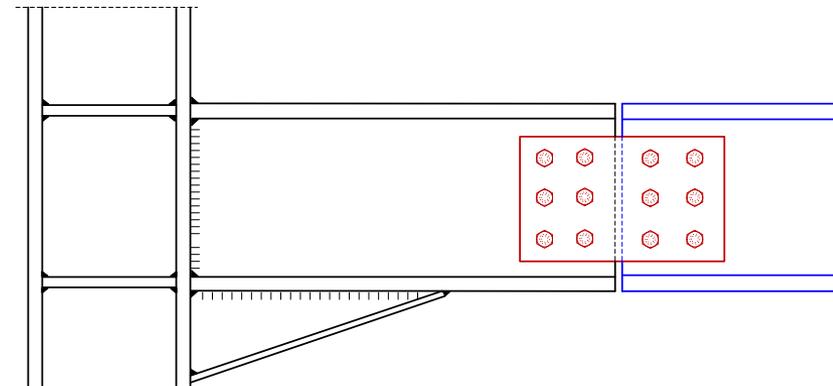
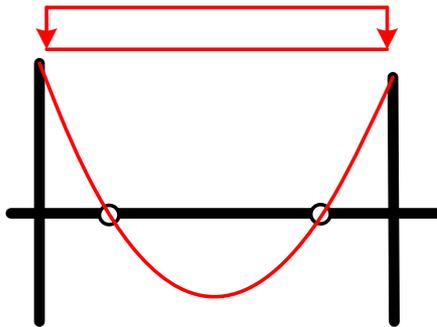


Articulaciones se sitúan ~ en los puntos de momento nulo de las vigas en un pórtico rígido ante cargas verticales ($\sim L/5$)

Vigas centrales: simplemente apoyadas

Cargas horizontales:
Necesita arriostramiento

$L < 10 \sim 12$ m Plantas $< 12-15$



Pórticos para edificios tipo 6

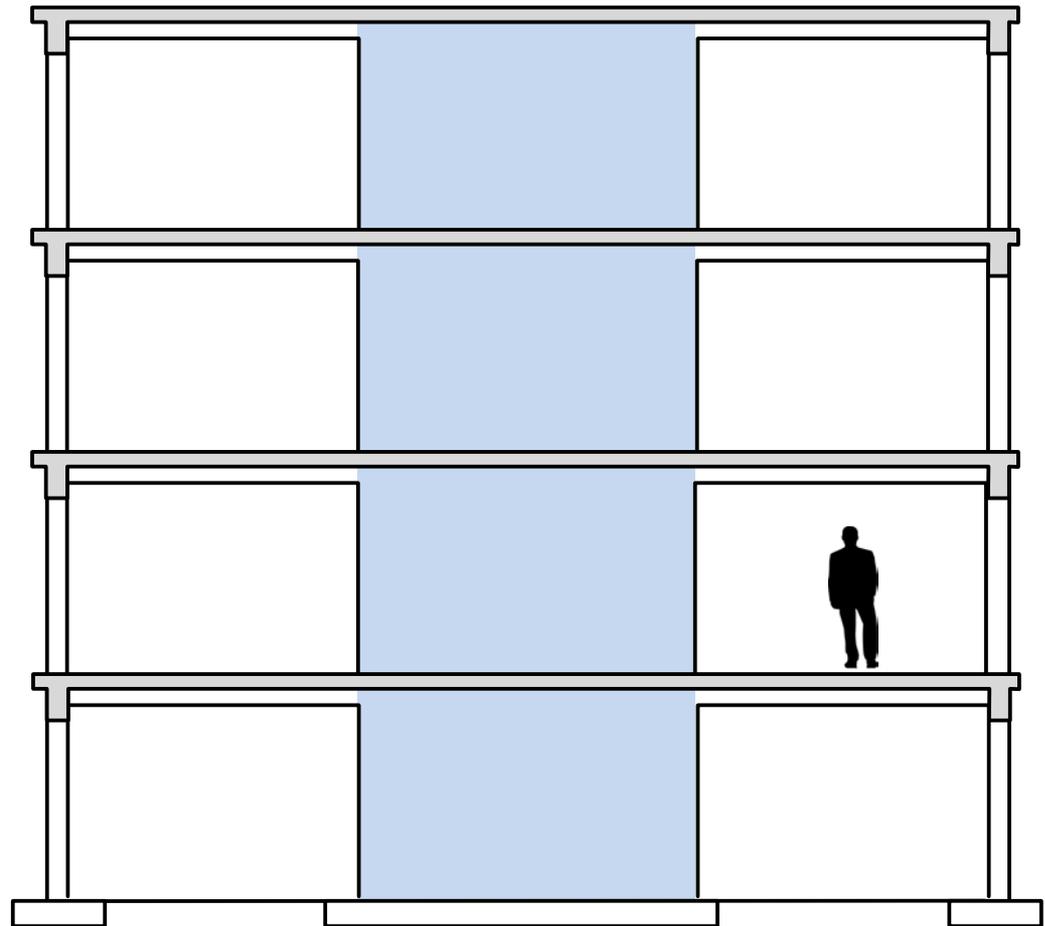
Pórtico rígido + pantallas macizas

Sustituir el arriostramiento para las cargas laterales por un núcleo rígido, de paredes macizas.

$L < 10\sim 12$ m Plantas $\sim 10-15$

Normalmente en HA.
Puede ser también en acero,
con el núcleo en HA

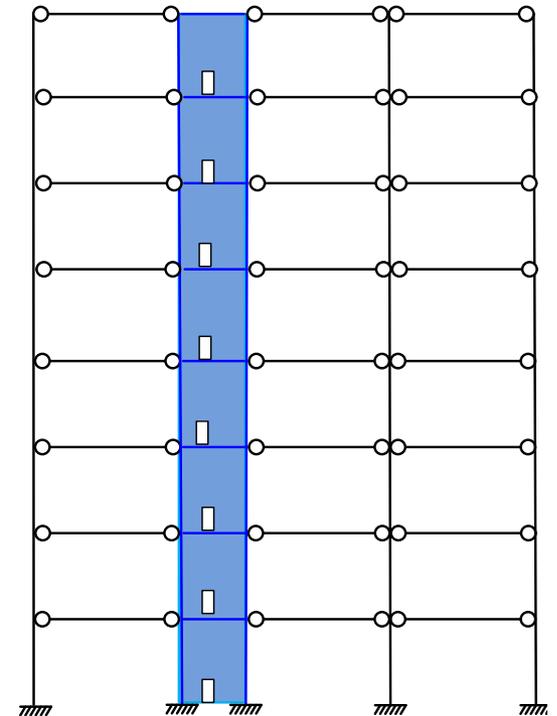
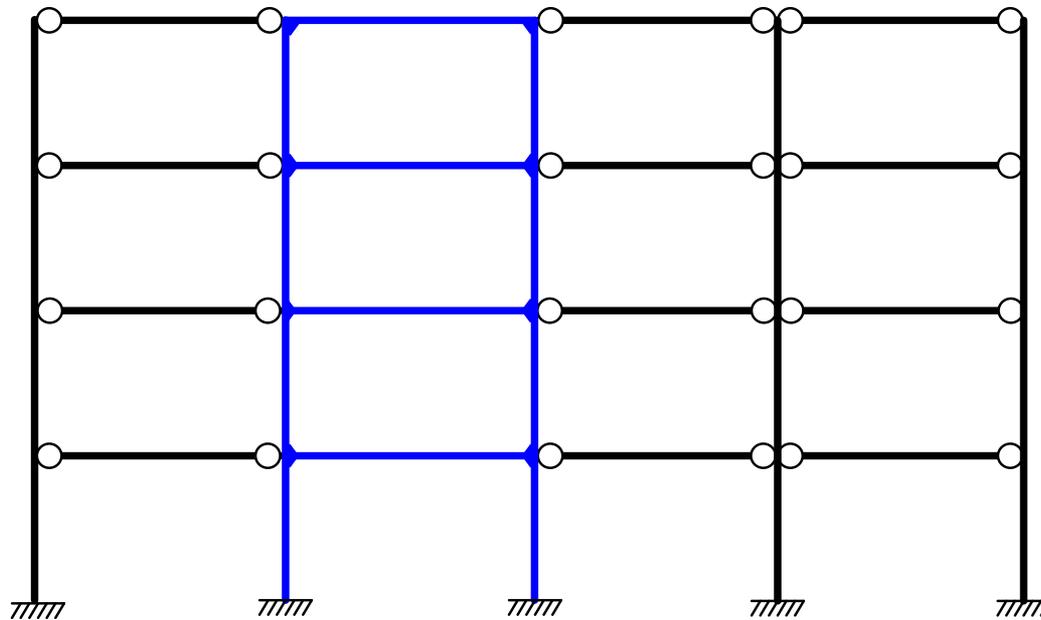
Muy buen comportamiento
ante seísmos



Pórticos para edificios tipo 7 (Acero)

Núcleo rígido + vigas articuladas sobre postes. Acero. Alturas grandes.

Sustituir el arriostramiento para las cargas laterales por un núcleo rígido, que las soporta.



El núcleo rígido puede ser un pórtico de acero o de hormigón, incluso con paredes macizas de hormigón (diafragma)

$L < 10\sim 12$ m Plantas $\sim 15\text{-}25$

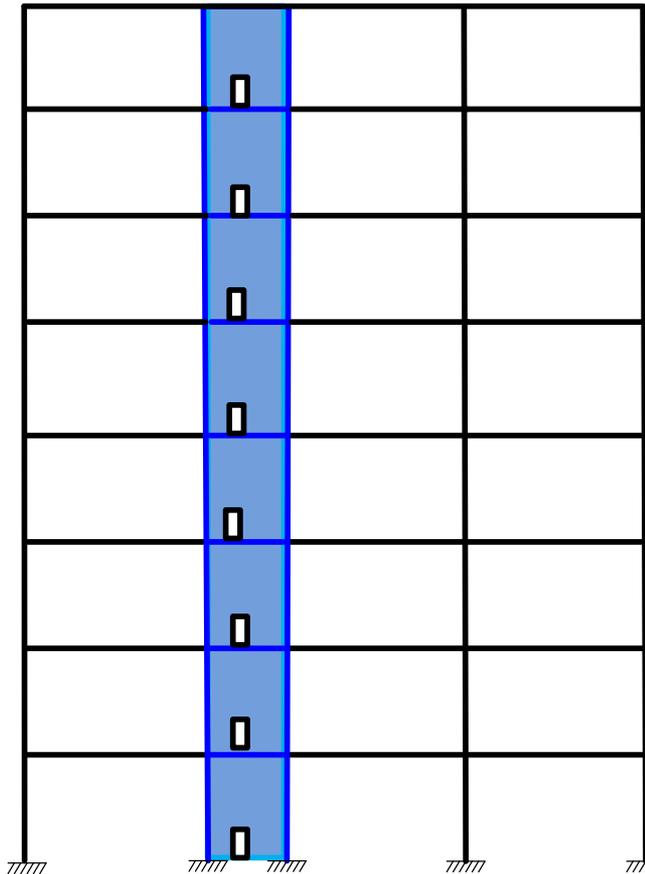
Pórticos para edificios tipo 7 (HA)

Núcleo rígido de hormigón + pórticos de hormigón. Alturas grandes.

Núcleo rígido de hormigón: paredes macizas de hormigón (diafragma)

$L < 10\sim 12$ m

Plantas ~ 15-25

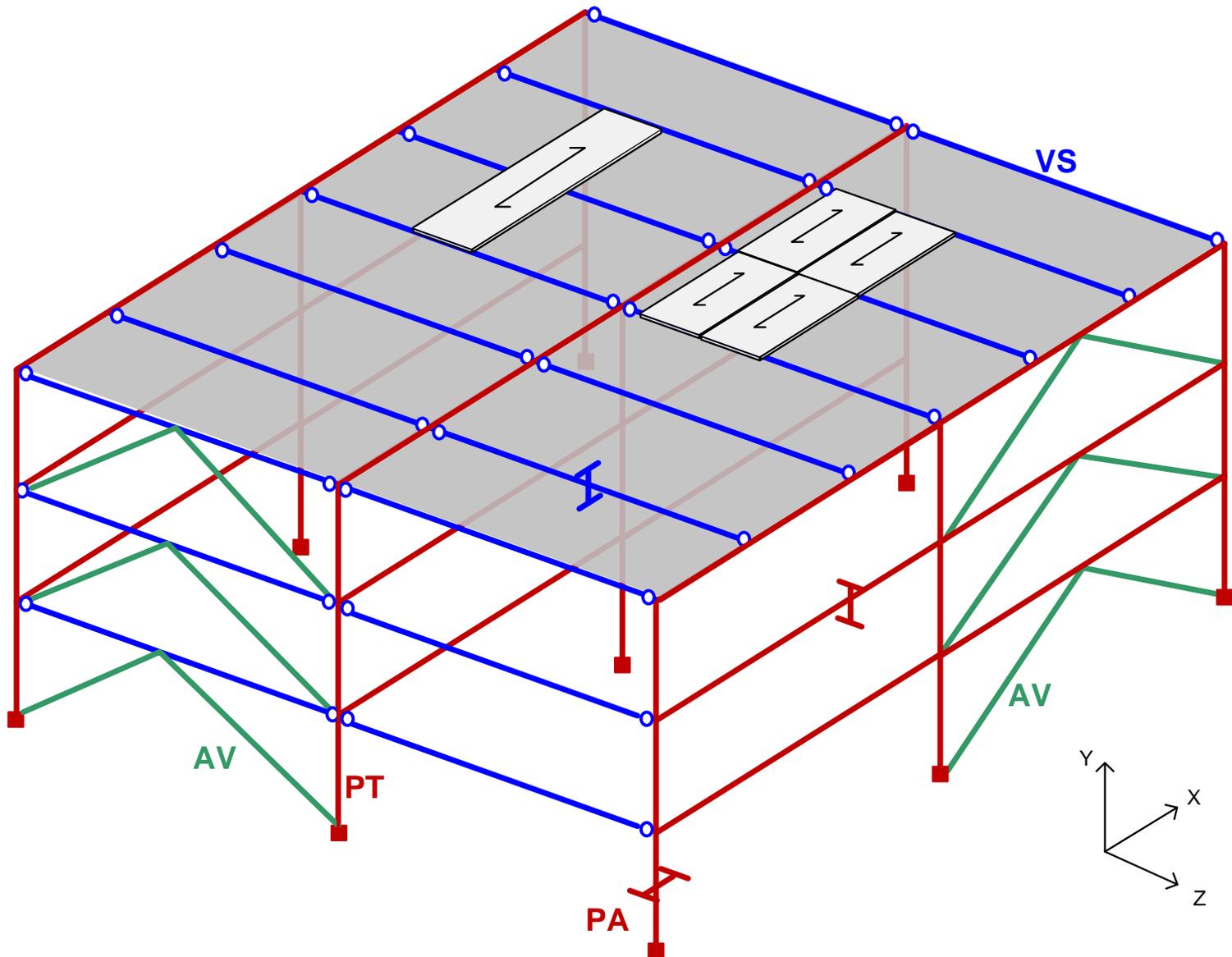




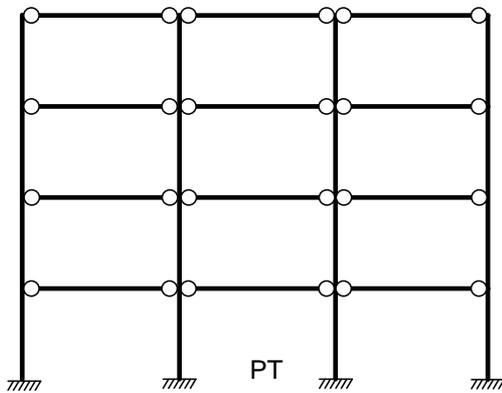
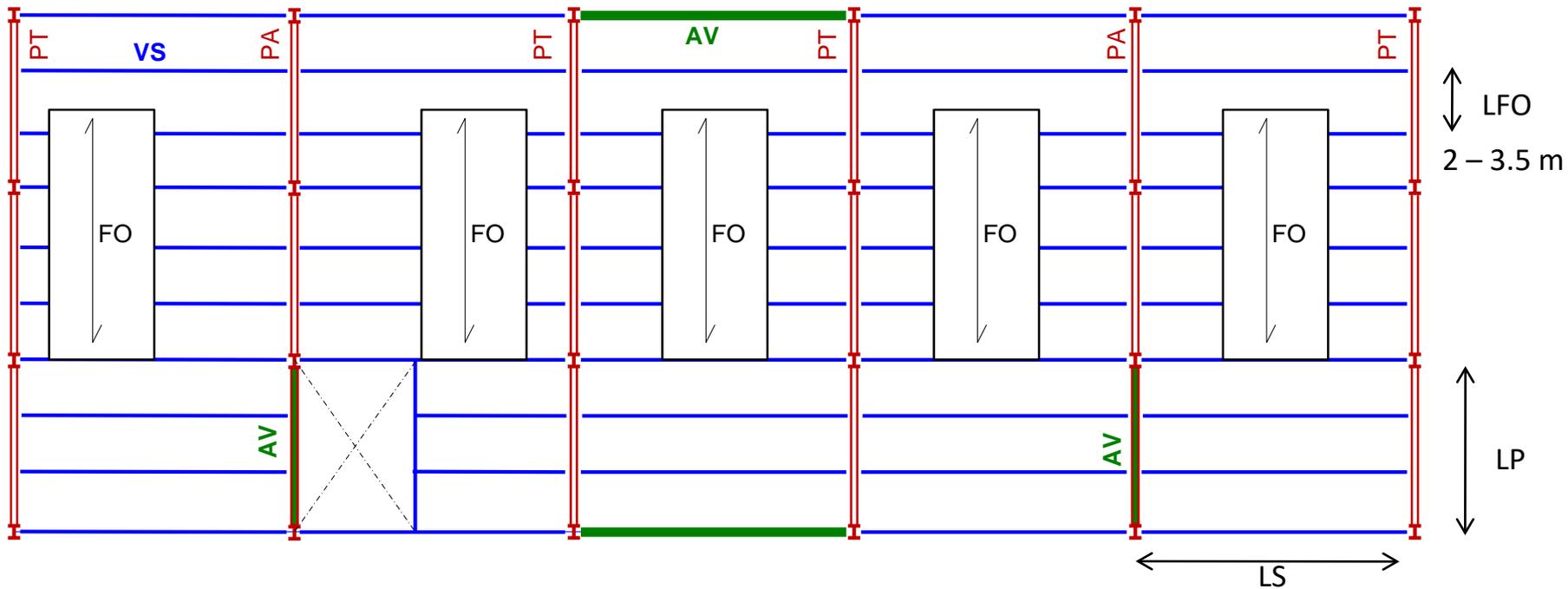
tecnun
Universidad
de Navarra
Escuela de Ingenieros

Estructuras para edificios basadas en pórticos planos y vigas

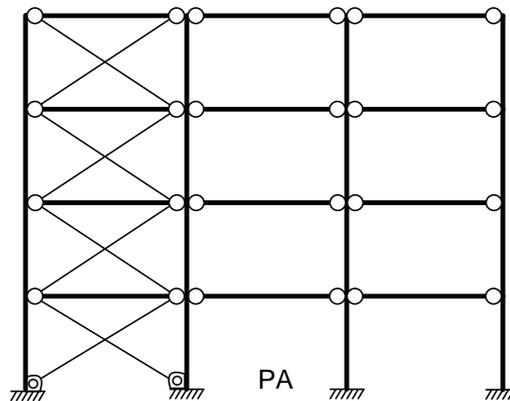
Estructura con 2 órdenes de vigas



Planta tipo con 2 órdenes de vigas



PT: pórtico tipo no arriostrado



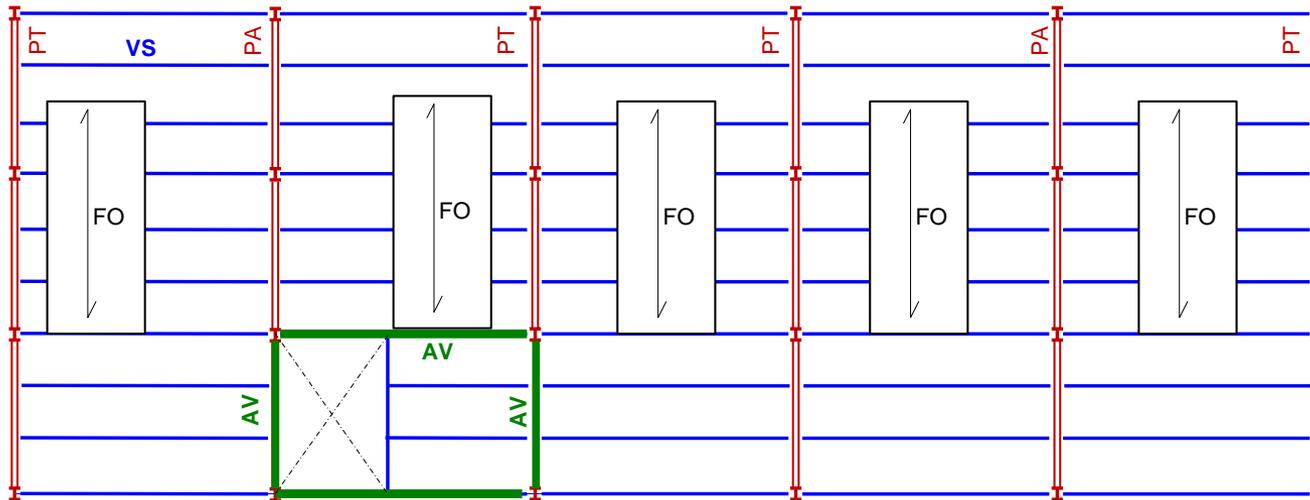
PA: pórtico arriostrado contra viento

VS: Vigas secundarias
Apoyadas en los pórticos

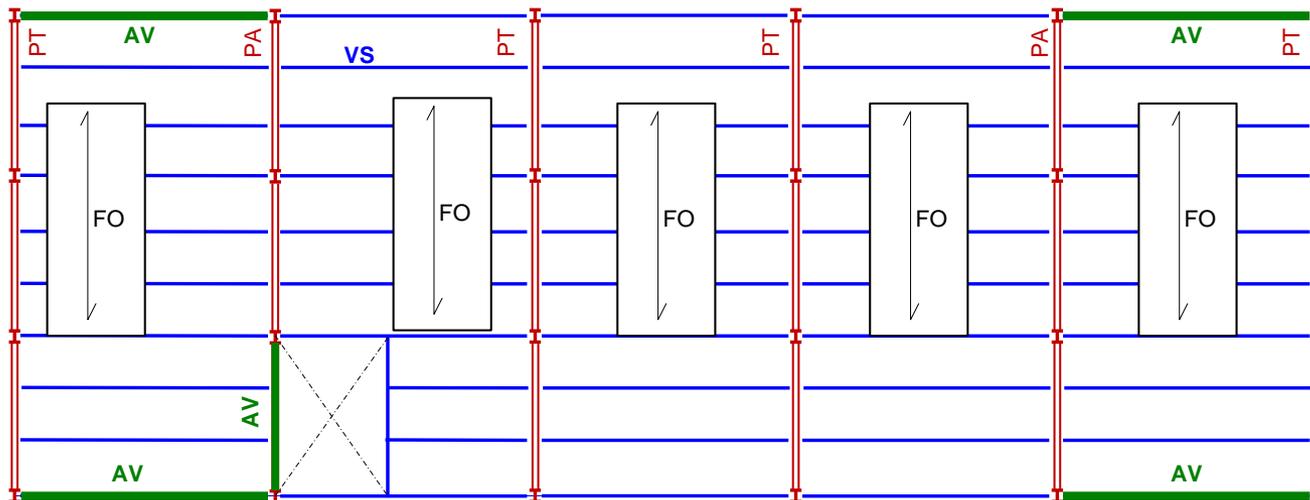
FO: forjado apoyado
en las VS

AV: arriostamiento
vertical contra viento

Disposición no adecuada de los contravientos

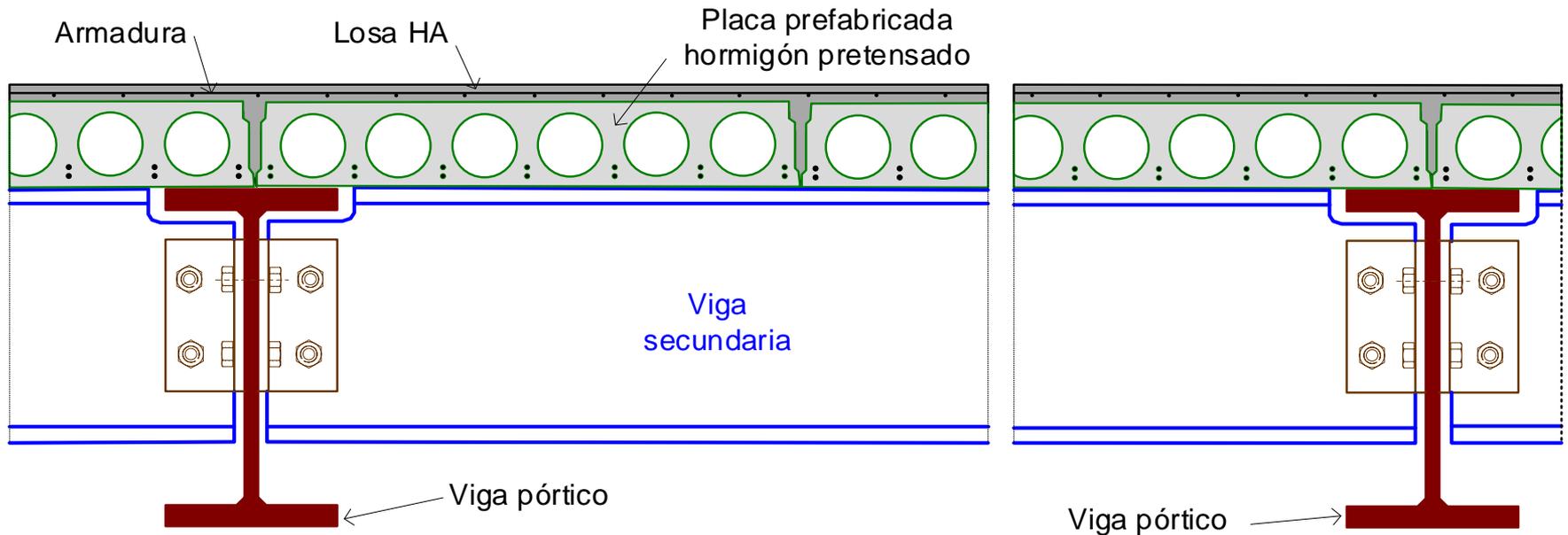
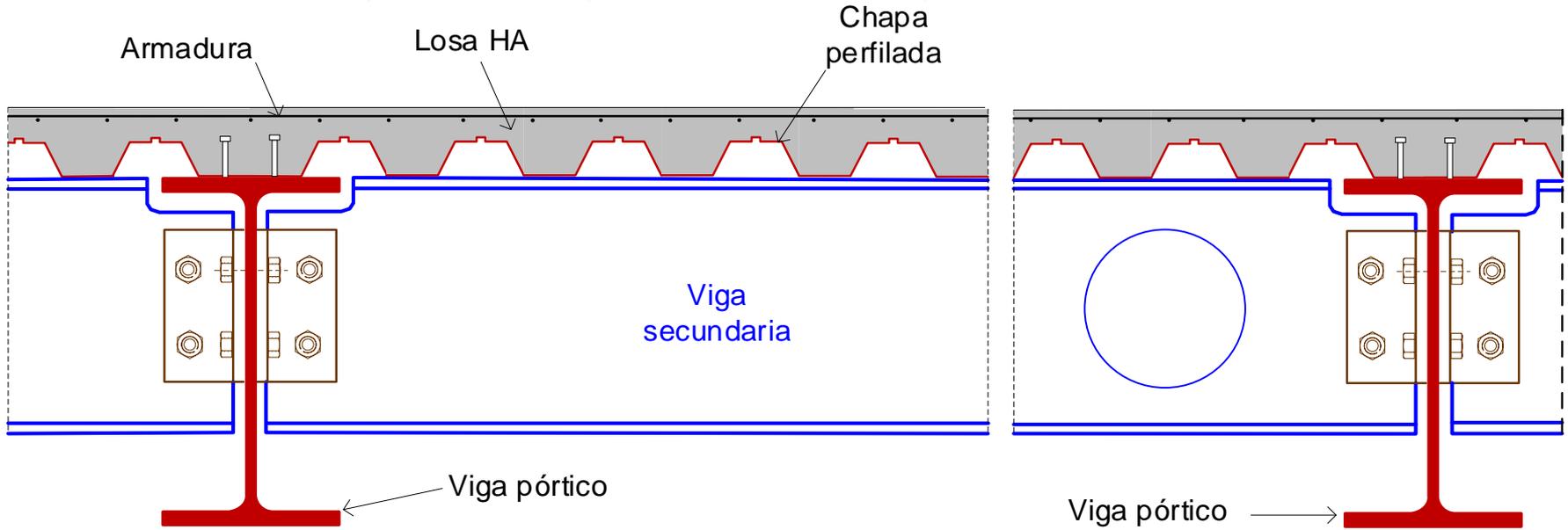


Poca rigidez a torsión

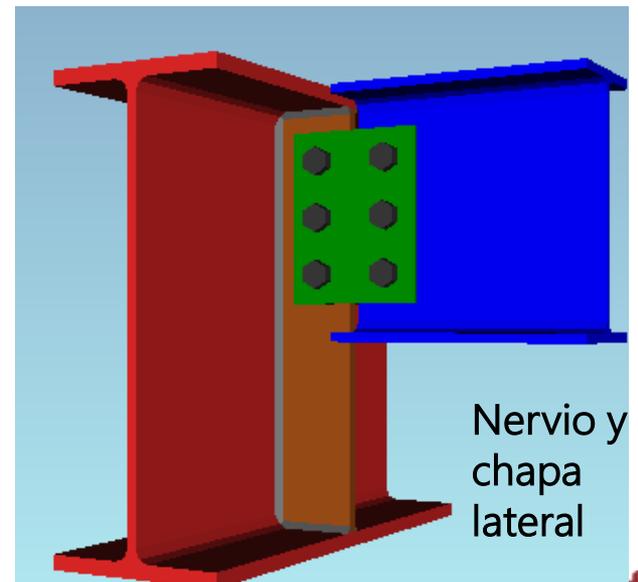
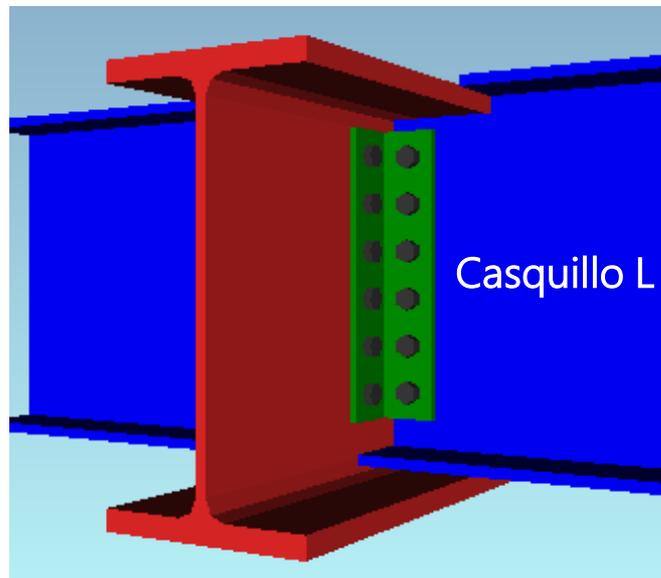
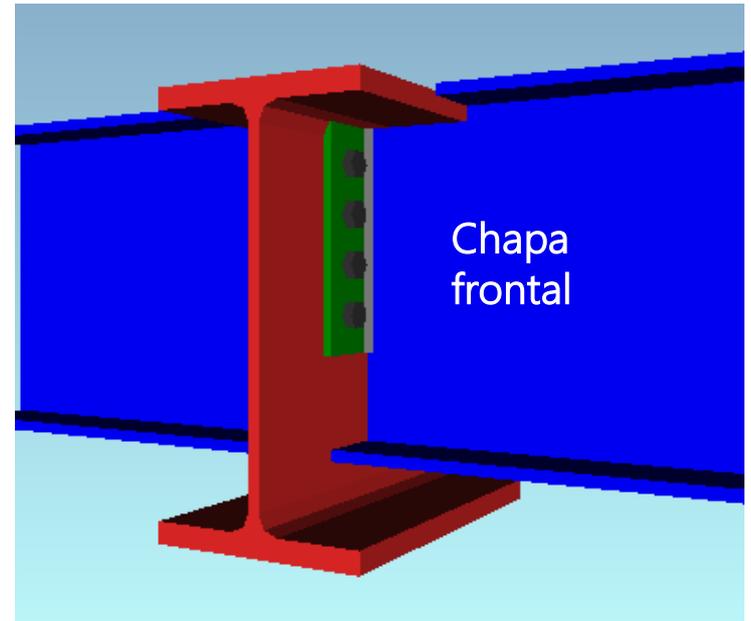
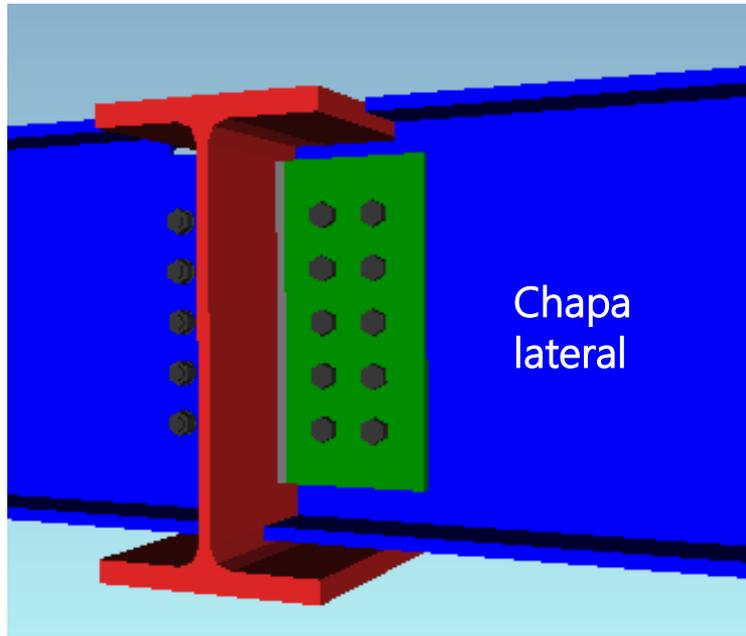


Impiden la dilatación

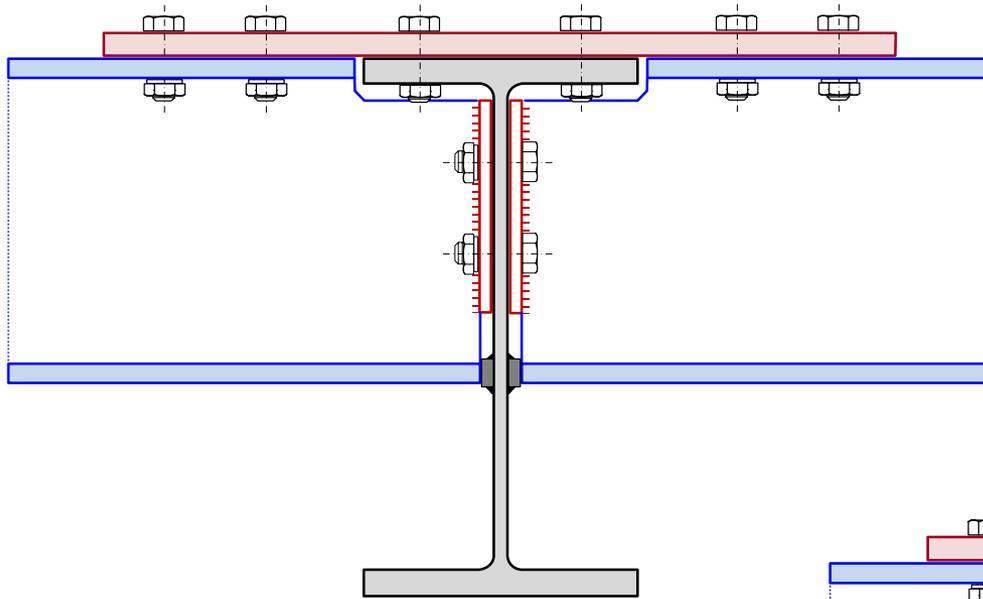
Forjado apoyado sobre vigas secundarias



Apoyo de viga secundaria en viga primaria

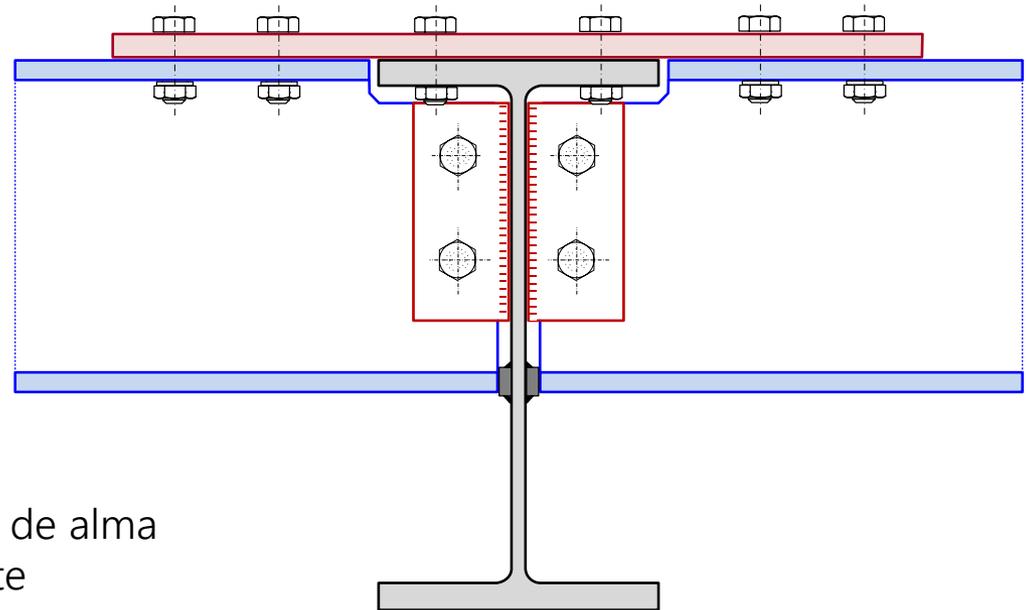


Unión atornillada de viga secundaria con continuidad



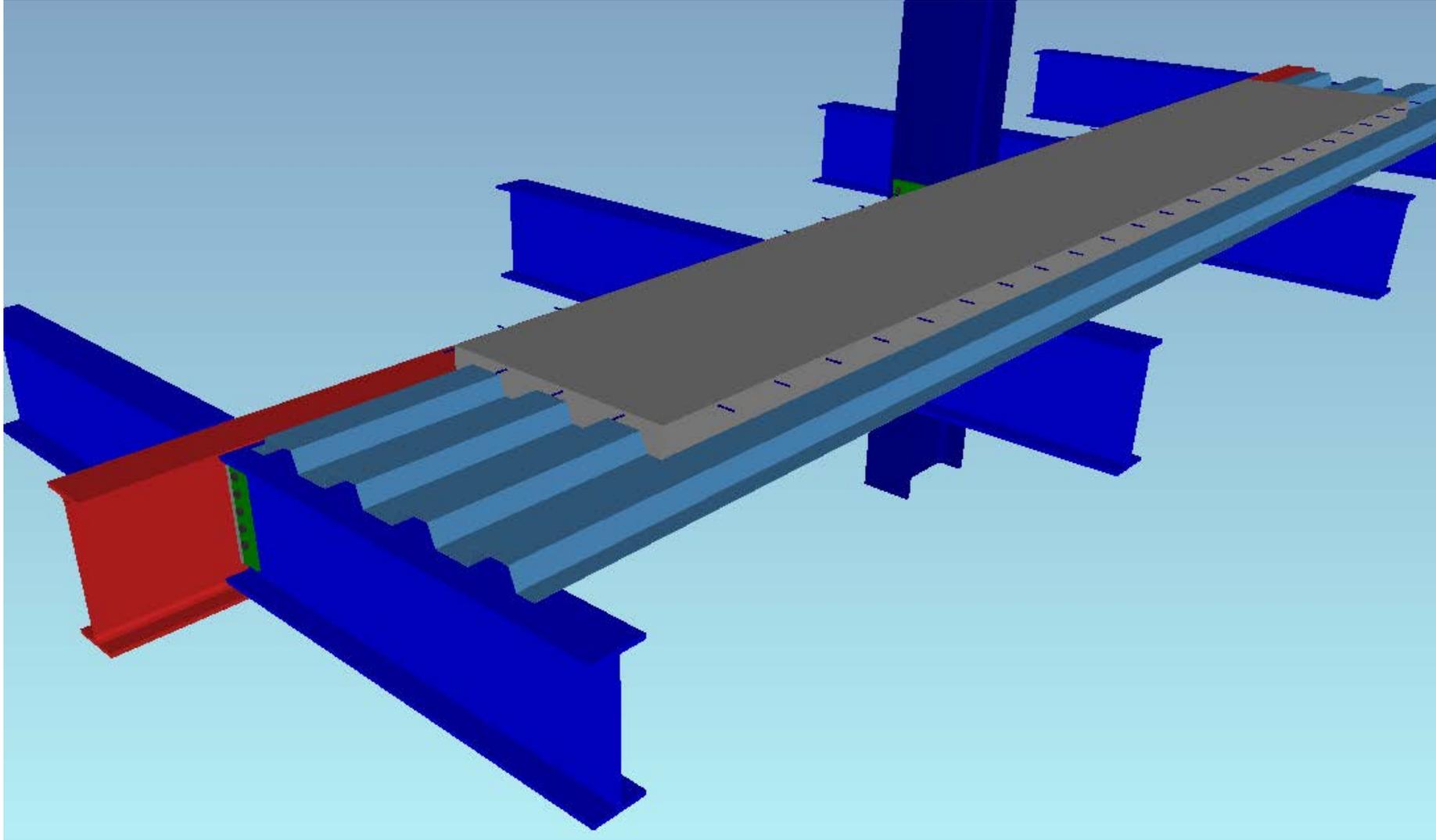
Cubrejuntas atornillado
en ala de tracción

Chapa frontal de alma
para cortante

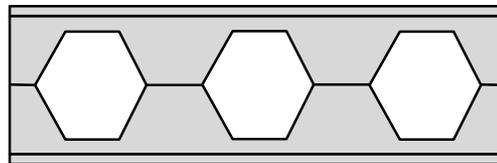
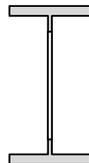
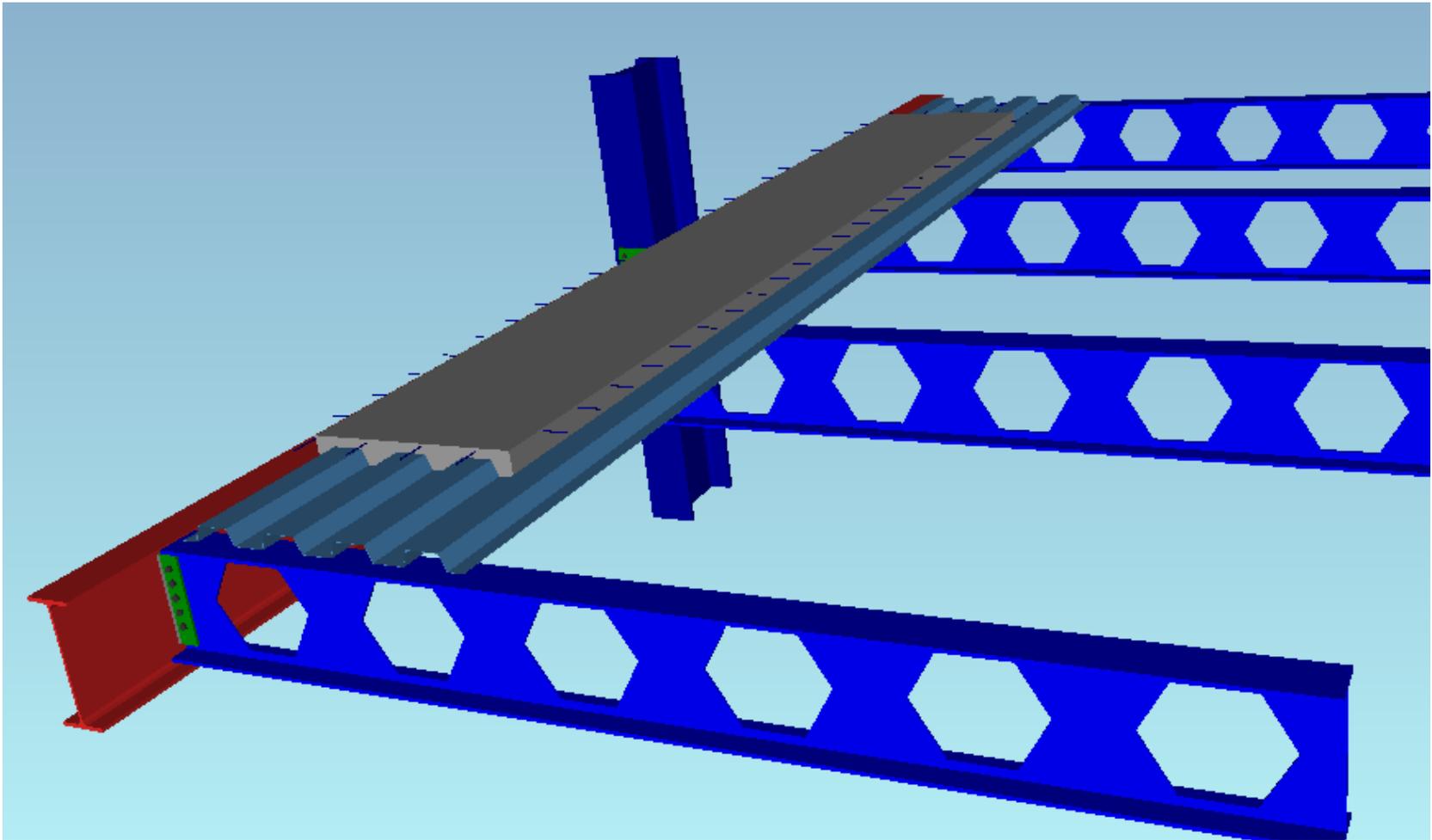


Aleta lateral de alma
para cortante

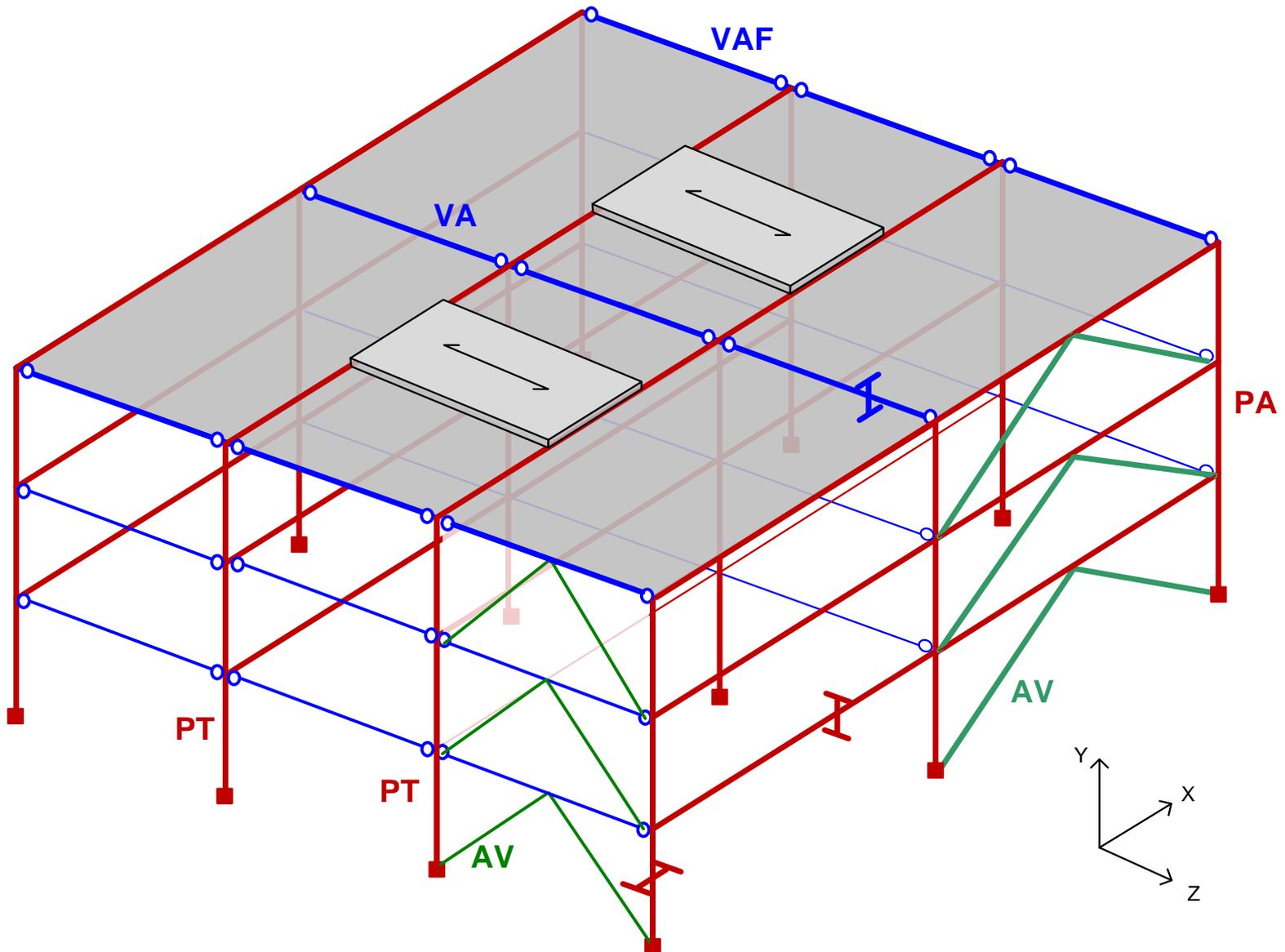
Forjado de chapa perfilada + hormigón (2 órdenes de vigas)



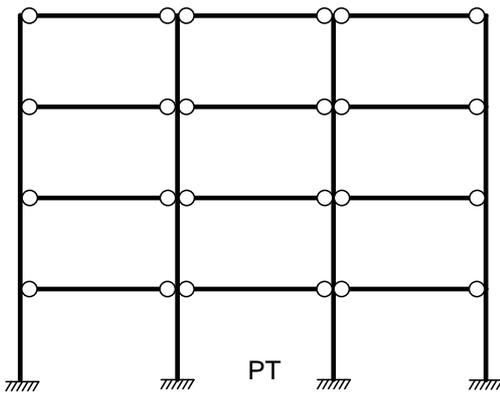
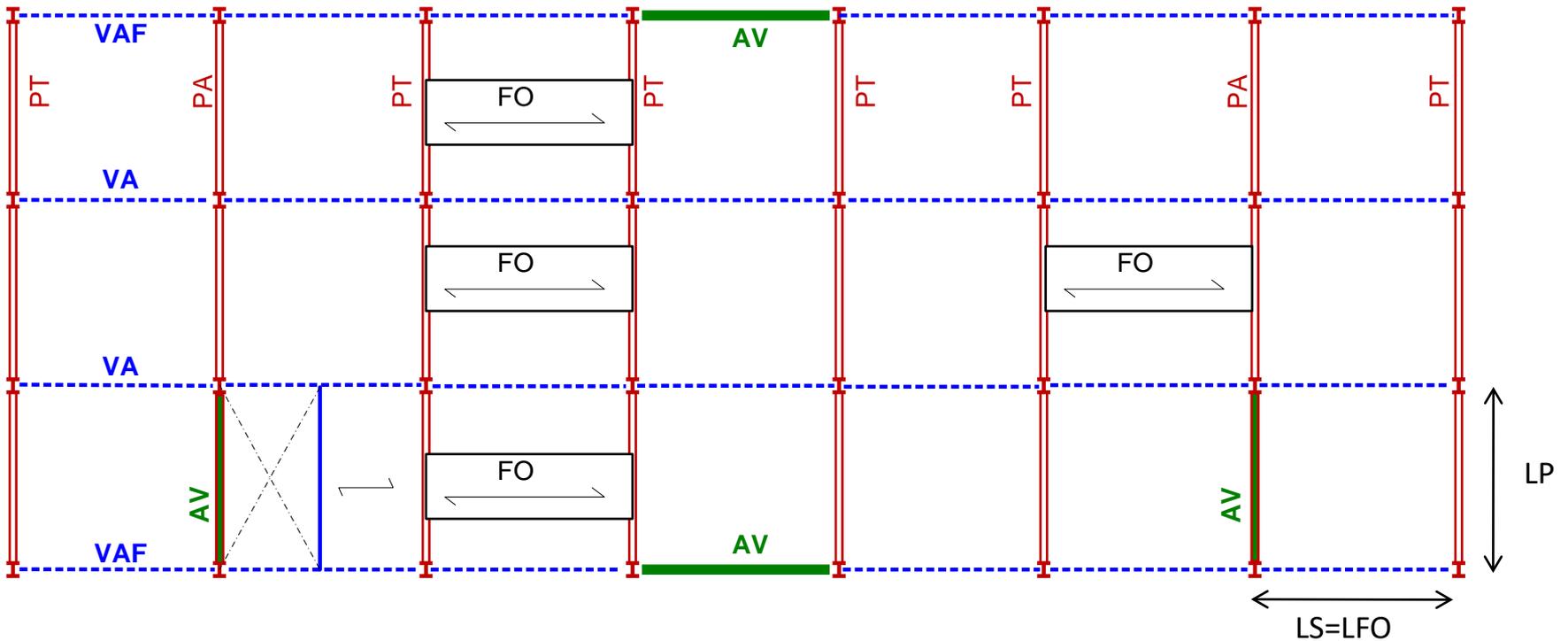
Vigas aligeradas alveolares



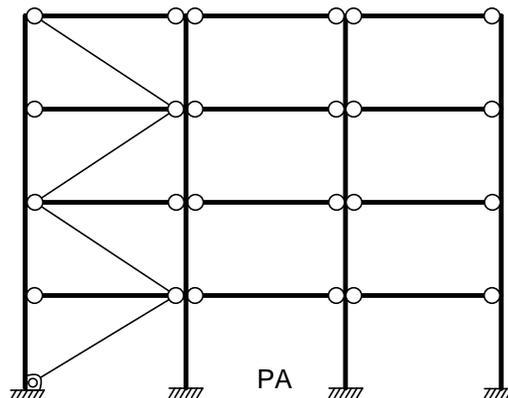
Estructura con un orden de vigas



Planta tipo con un orden de vigas



PT: pórtico tipo no arriostrado

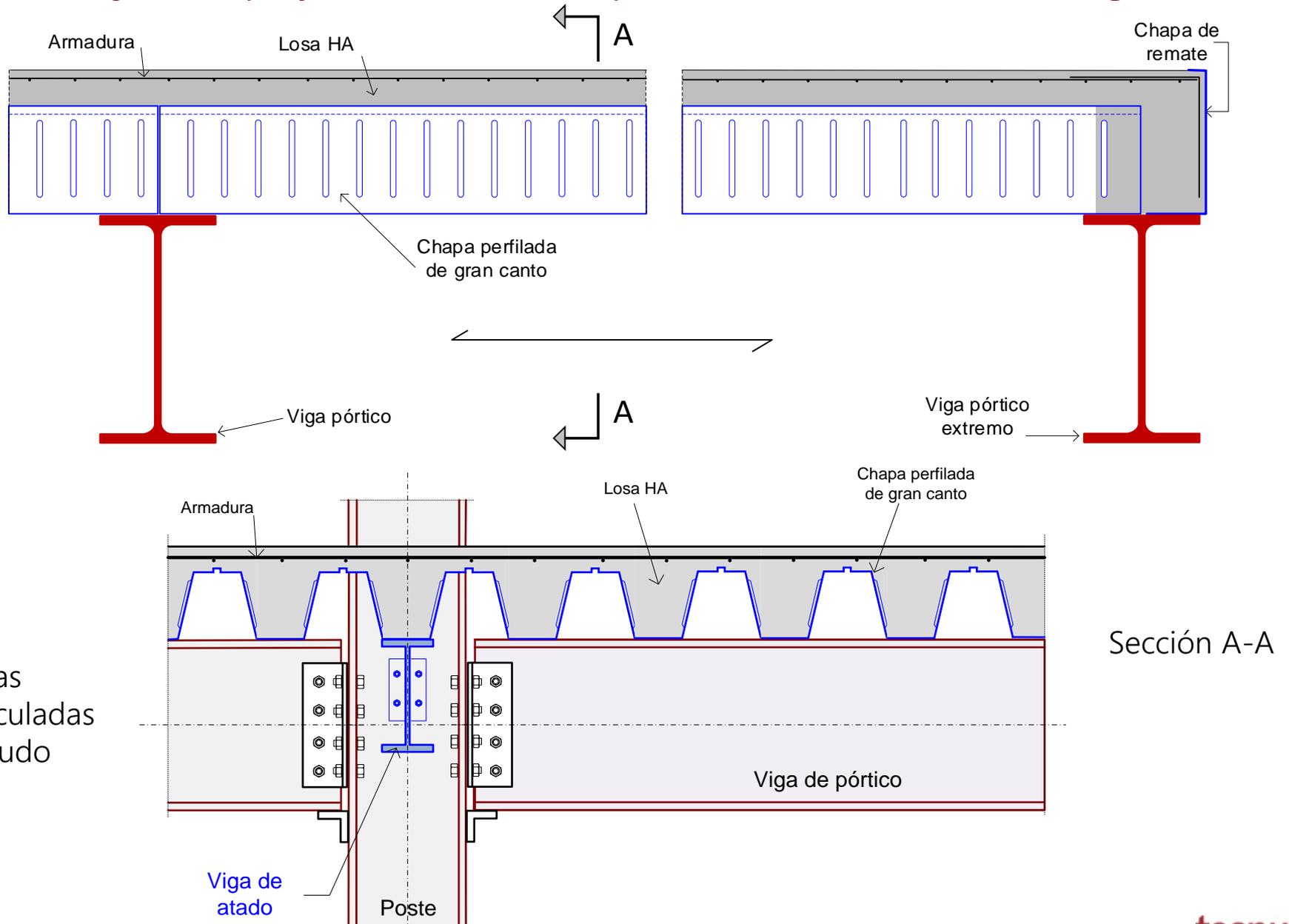


PA: pórtico arriostrado contra viento

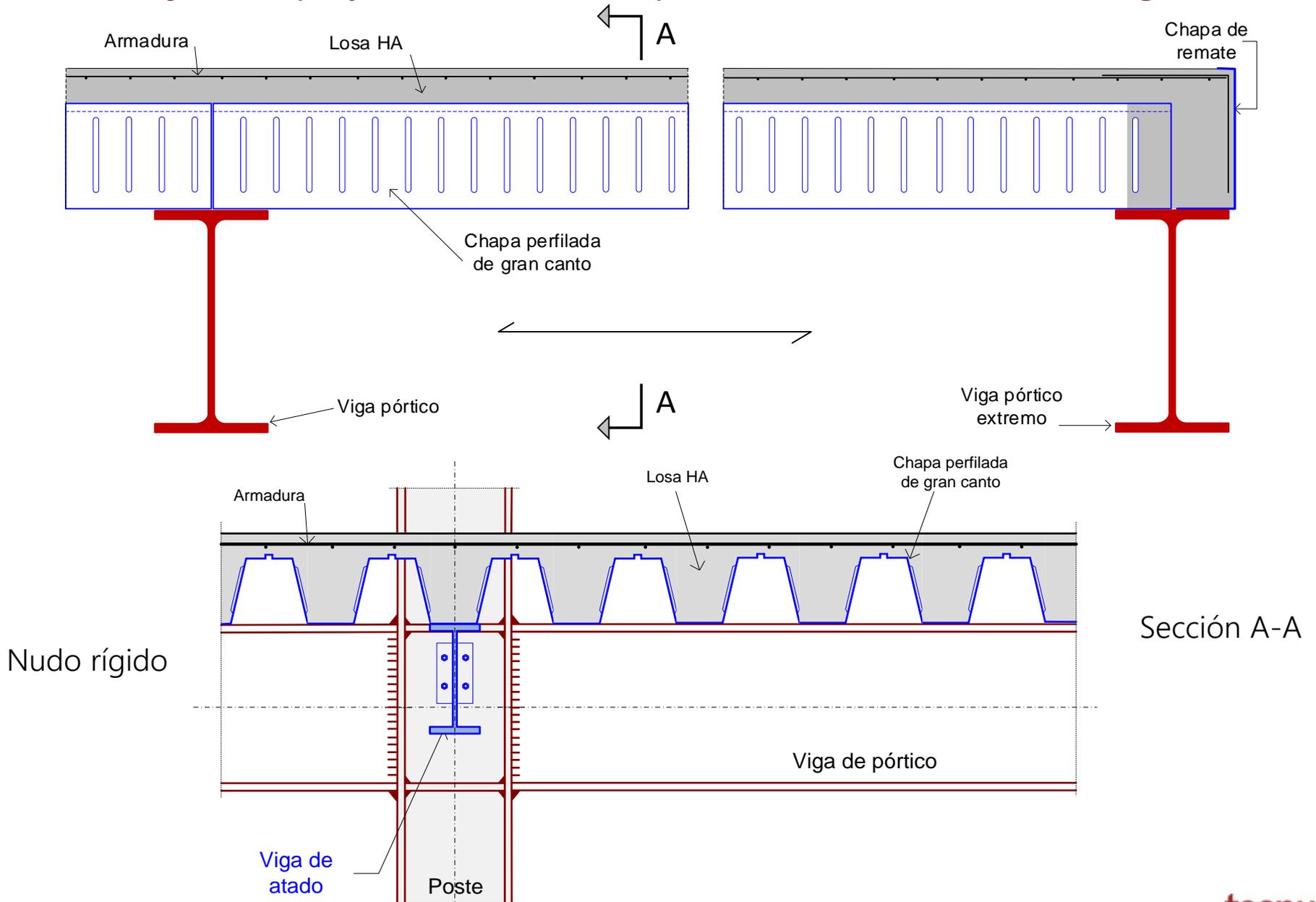
VA: Vigas secundarias de atado

AV: arriostramiento vertical contra viento

Forjado apoyado sobre los pórticos. Un orden de vigas

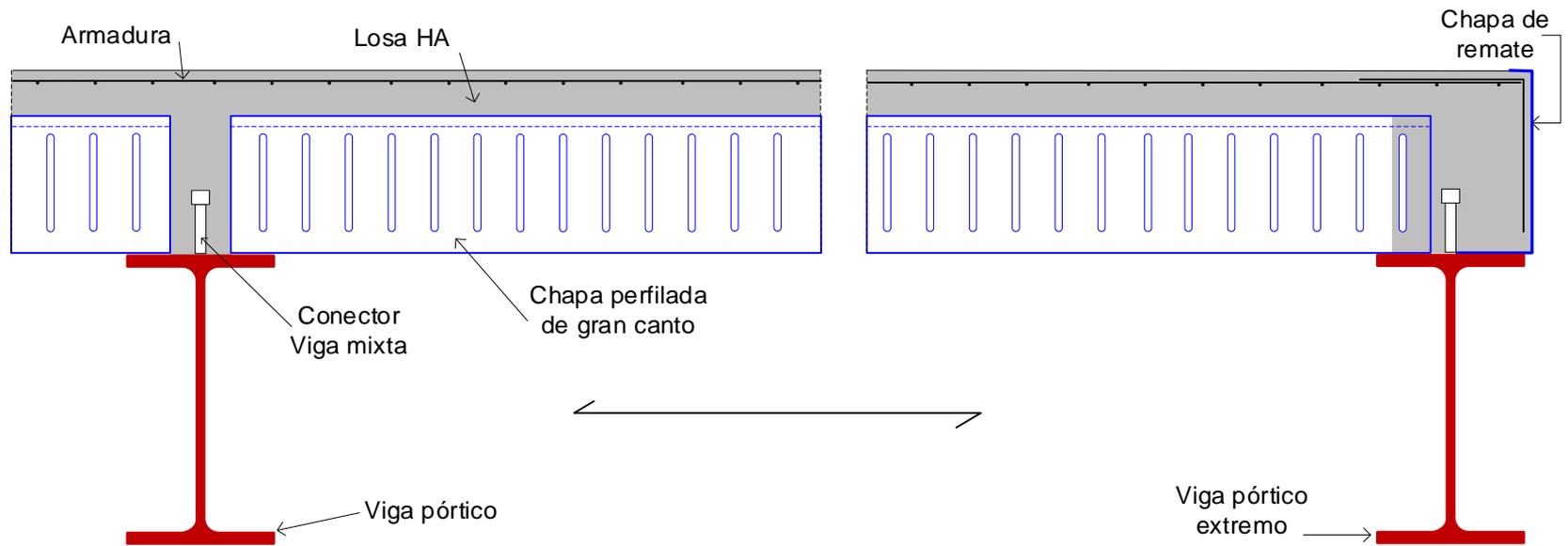


Forjado apoyado sobre los pórticos. Un orden de vigas

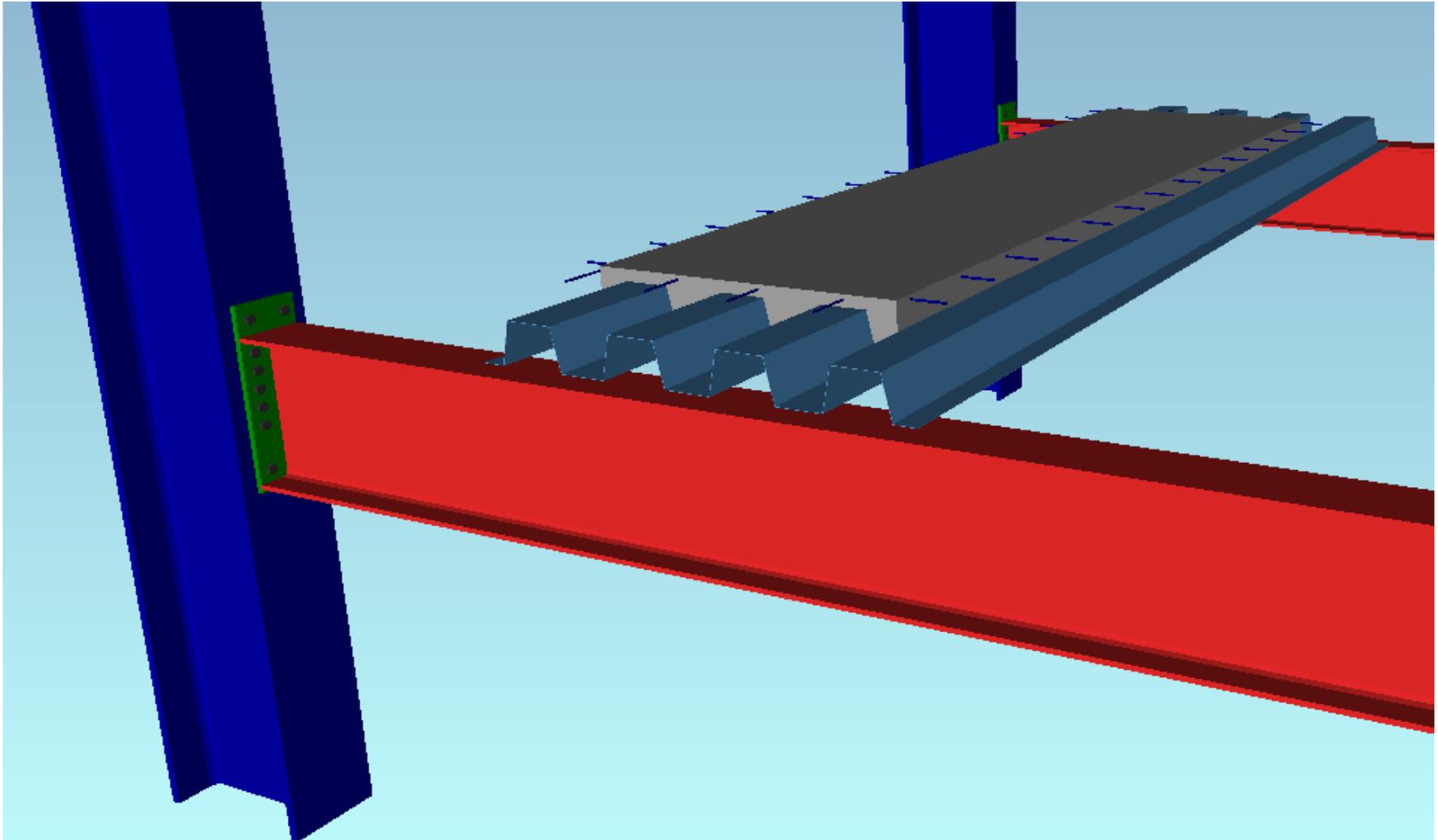


Forjado apoyado sobre los pórticos. Un orden de vigas

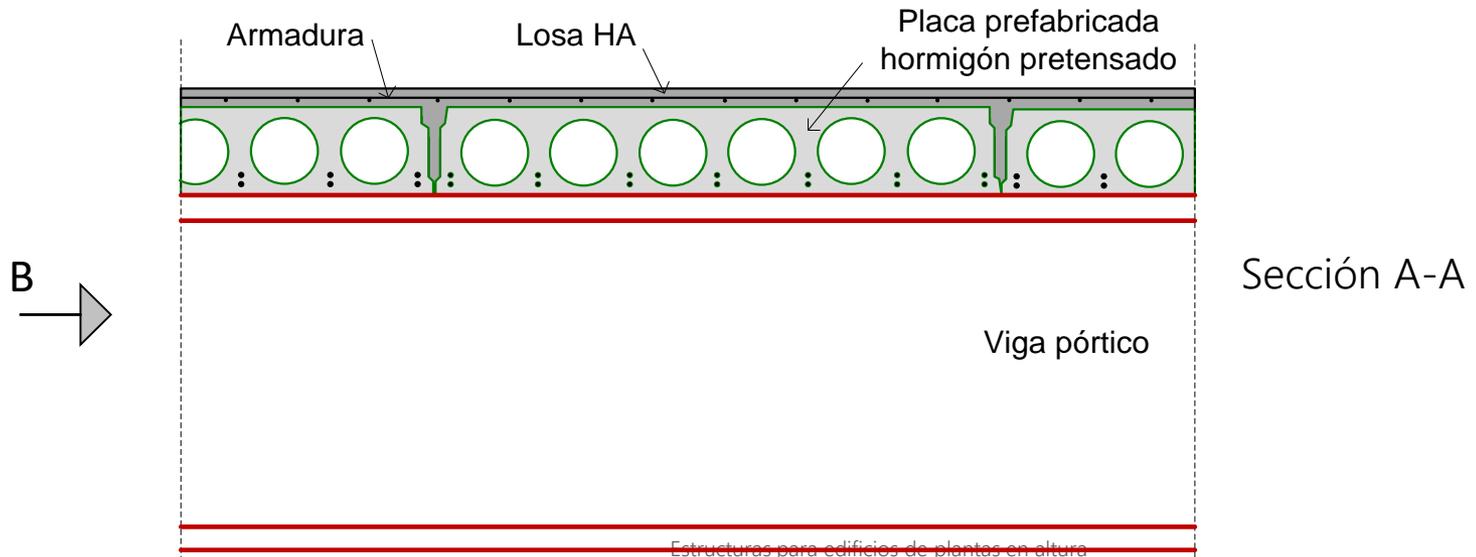
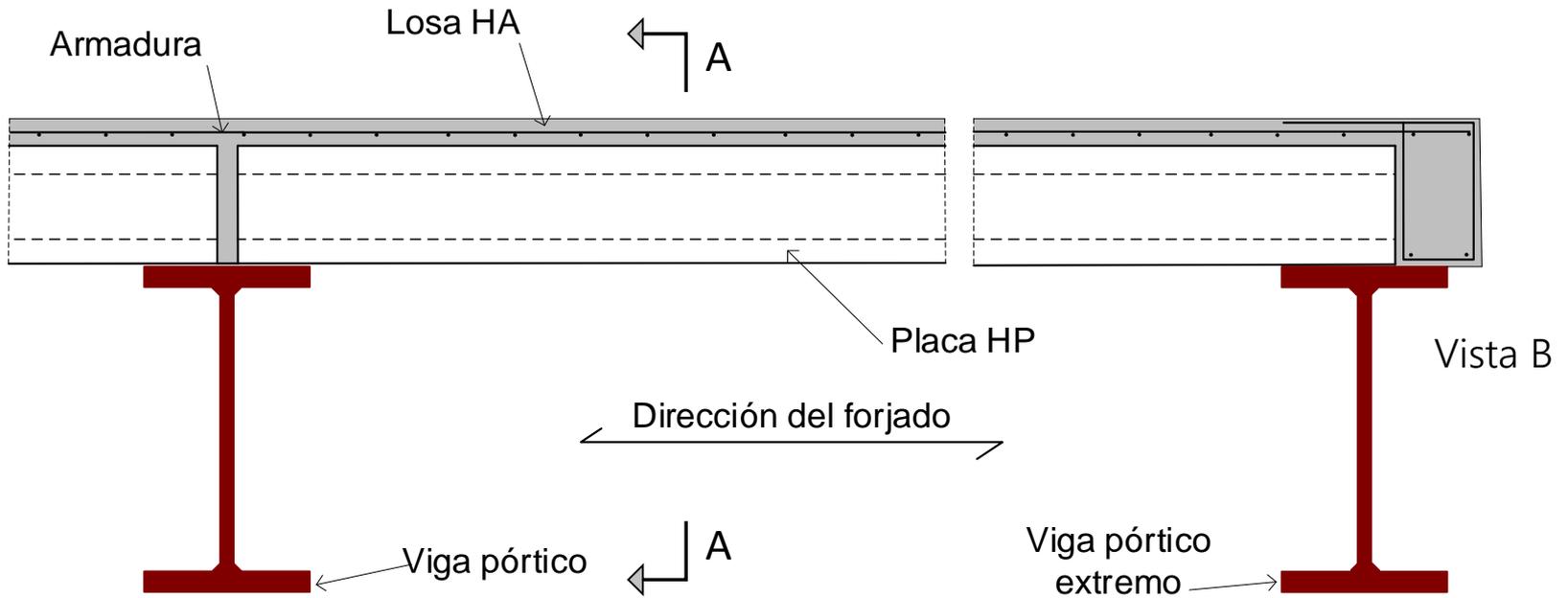
Viga principal mixta acero-hormigón



Forjado apoyado sobre los pórticos. Un orden de vigas

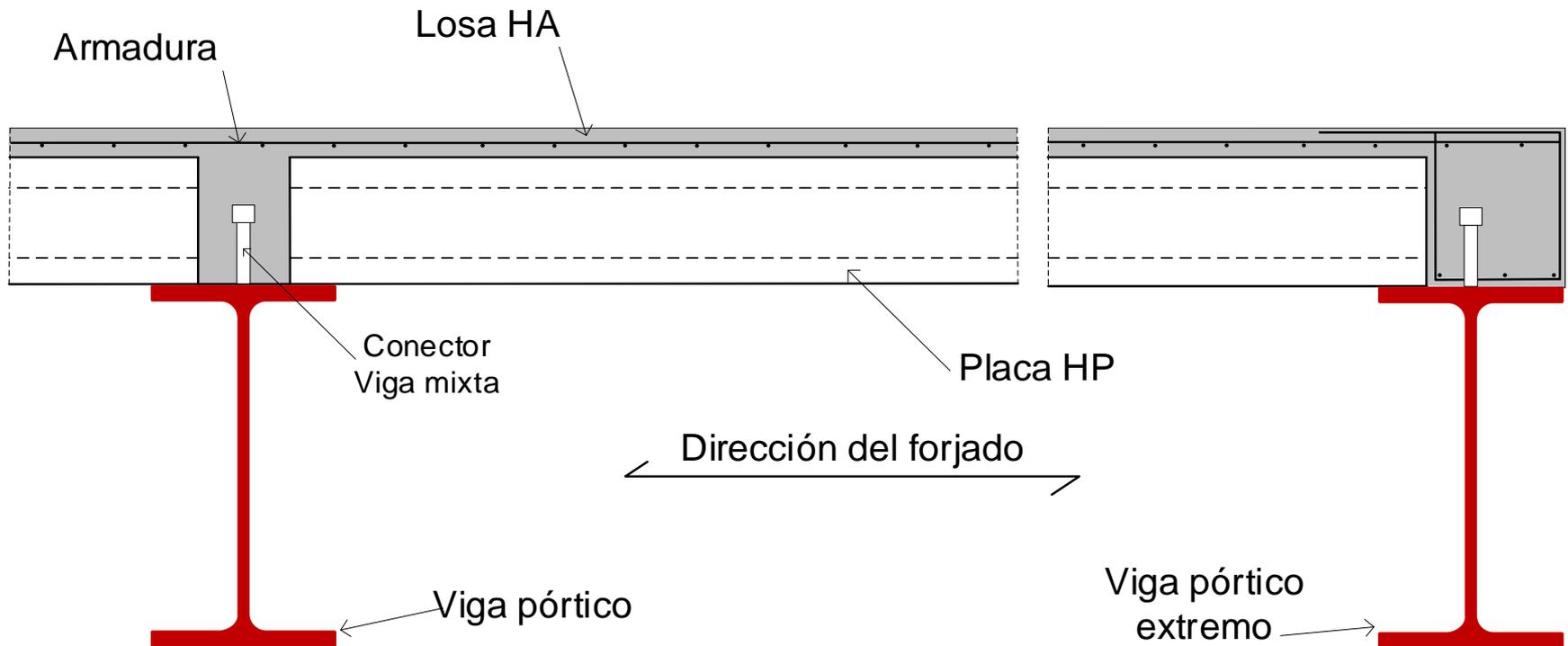


Forjado de placas de hormigón pretensado. Un orden de vigas

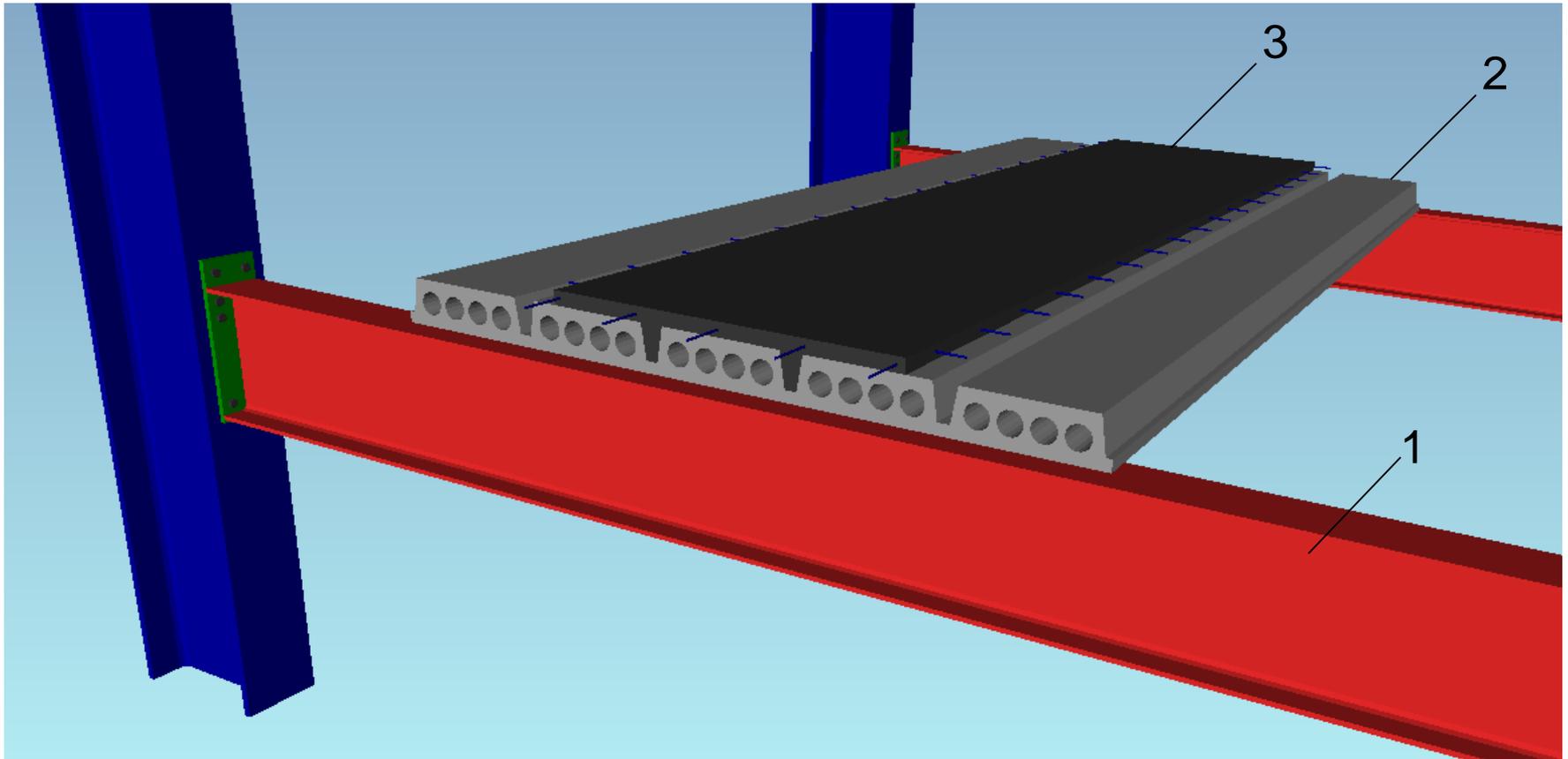


Forjado de placas de hormigón pretensado. Un orden de vigas

Viga principal mixta acero-hormigón



Forjado de placas de hormigón pretensado. Un orden de vigas

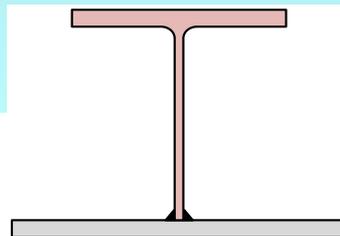
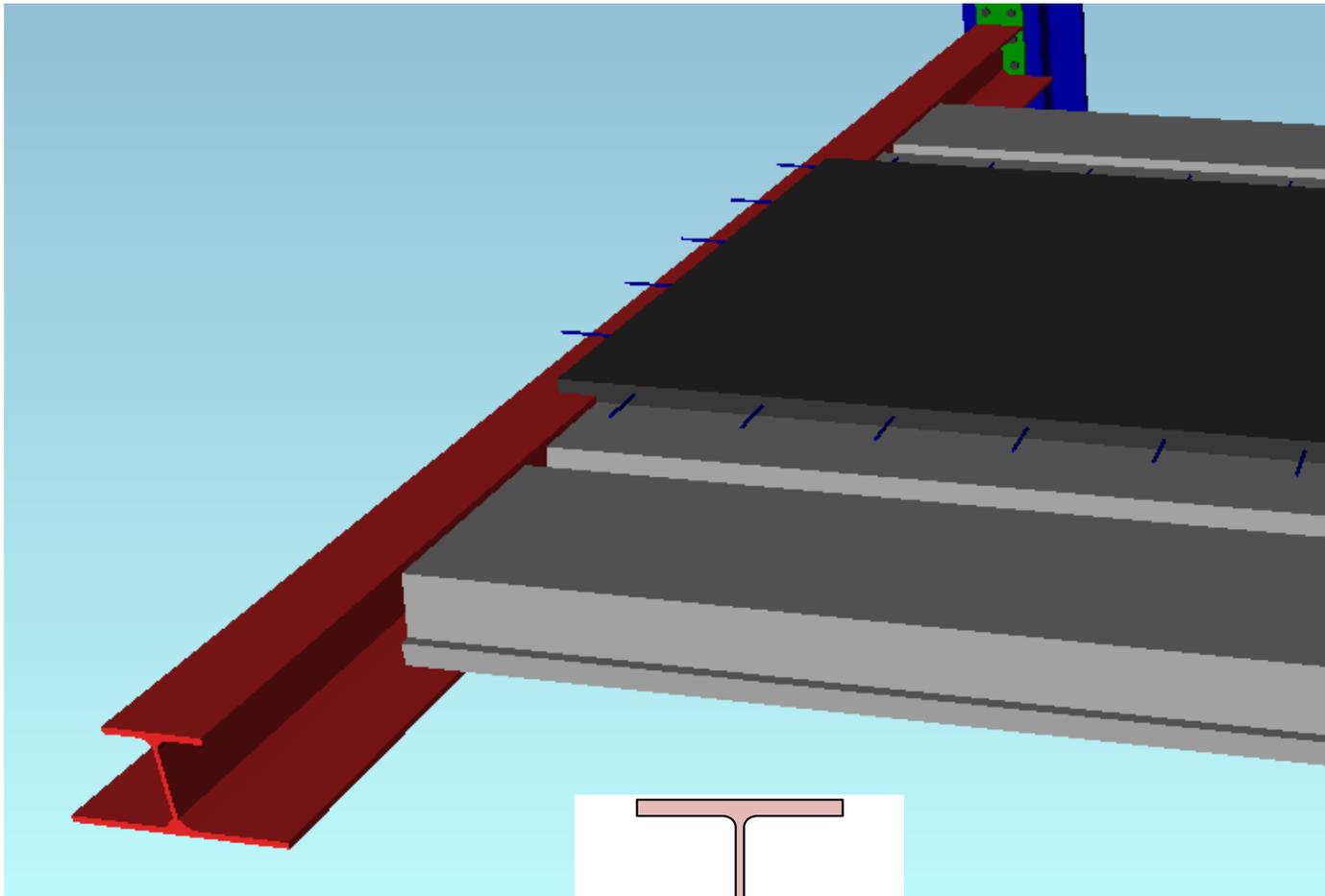


- 1 Viga primaria de acero
- 2 Placa de hormigón pretensado
- 3 Cabeza de compresión de hormigón

Forjado de placas de hormigón pretensado. Un orden de vigas

Vigas con perfil especial IFB

Menor canto total





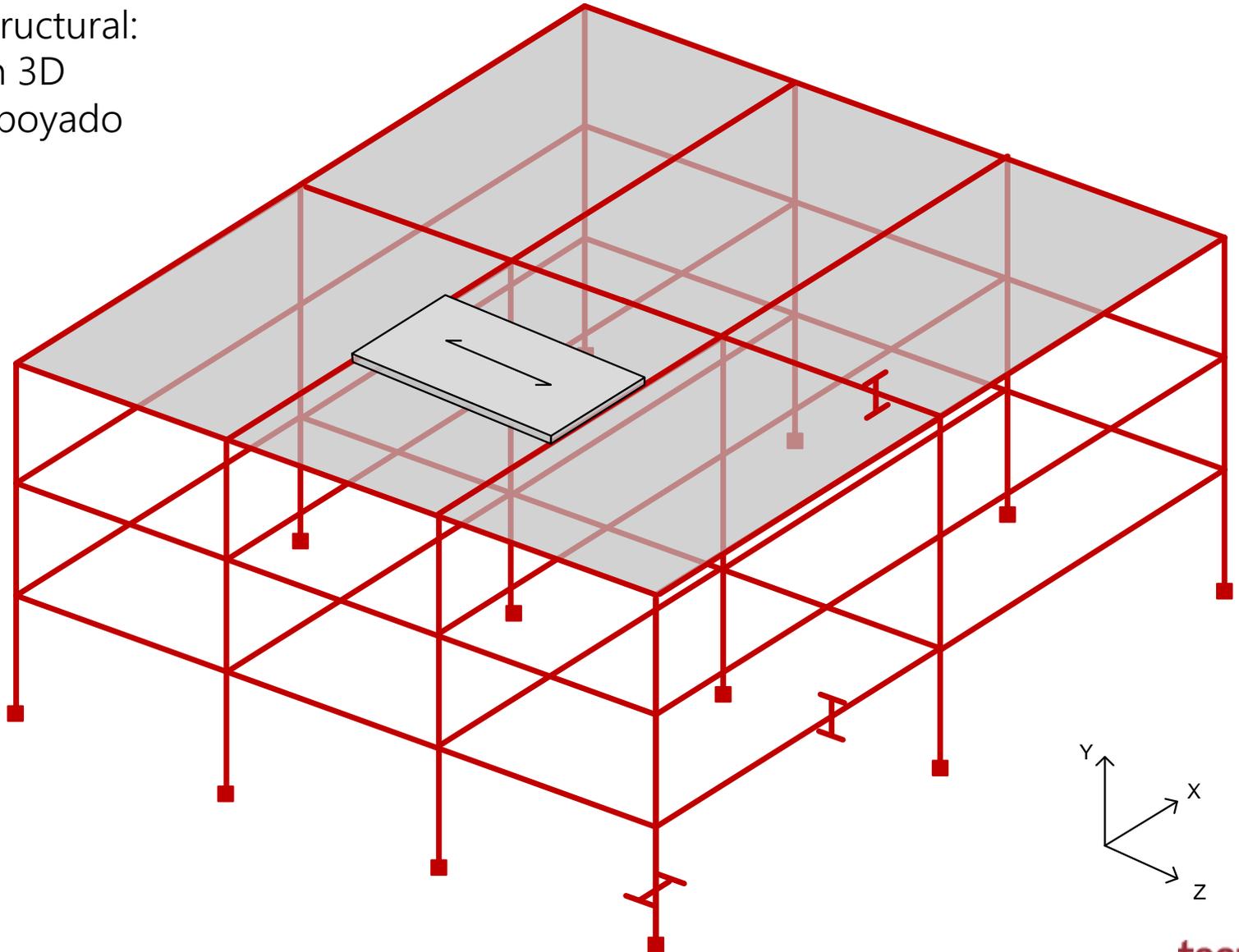
tecnun
Universidad
de Navarra
Escuela de Ingenieros

Estructuras para edificios basadas en pórticos rígidos tridimensionales

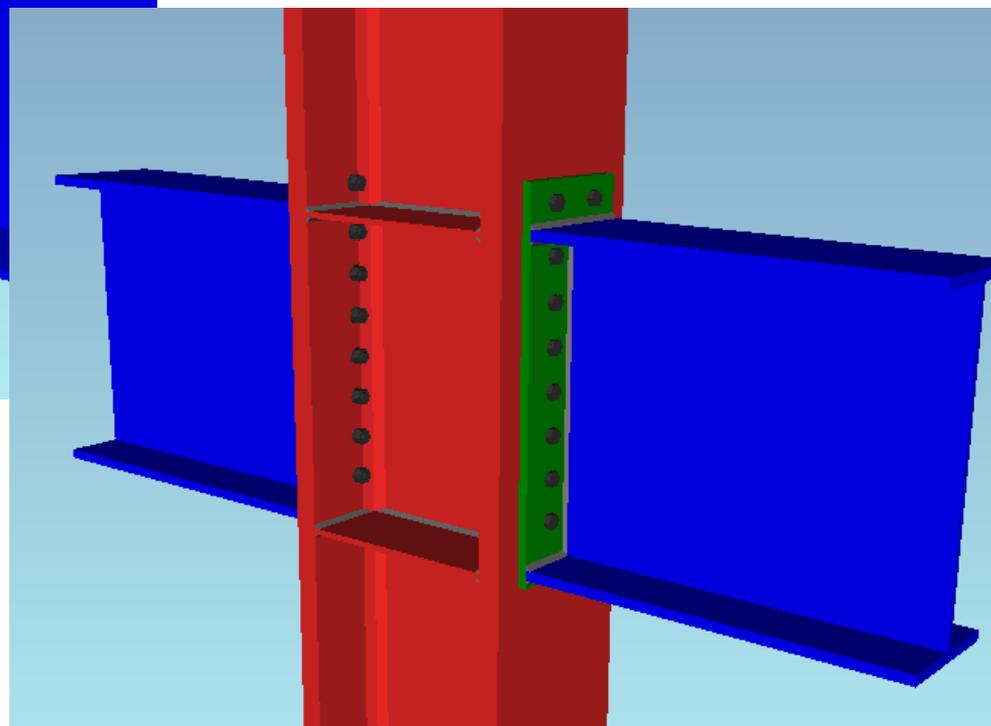
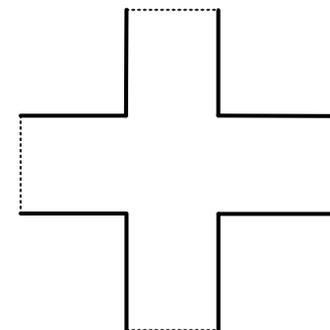
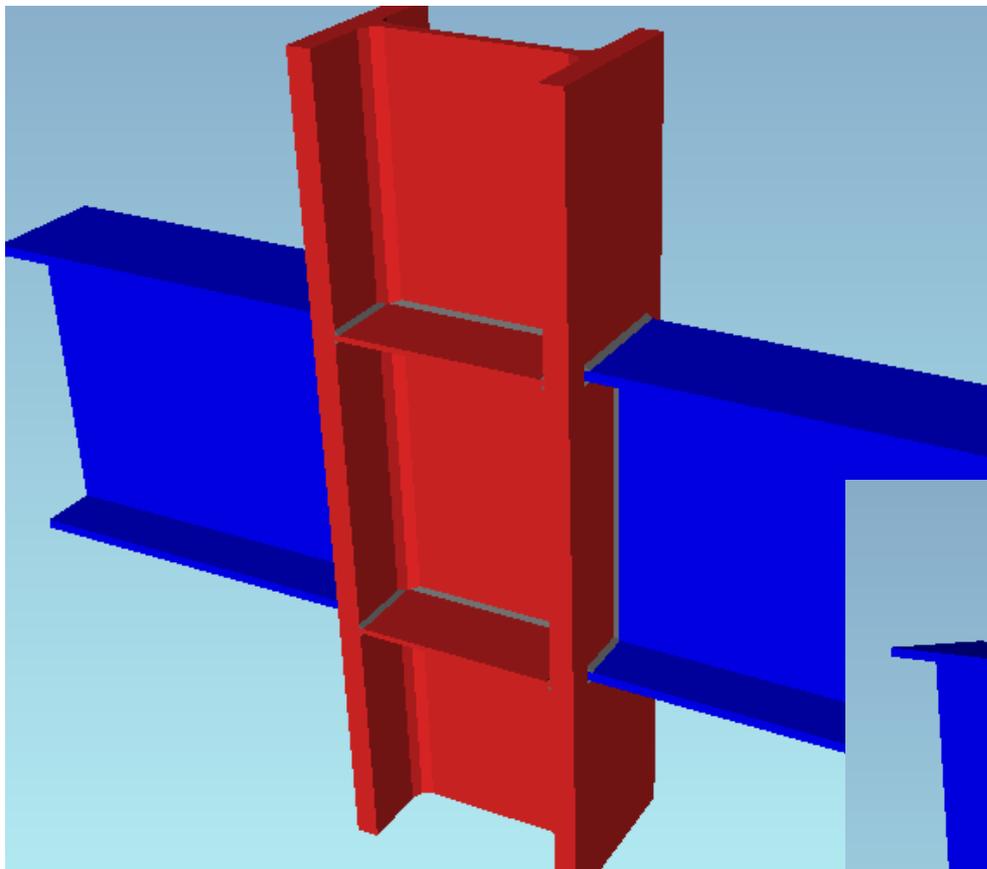
Pórtico totalmente rígido en dos direcciones en acero

Modelo estructural:

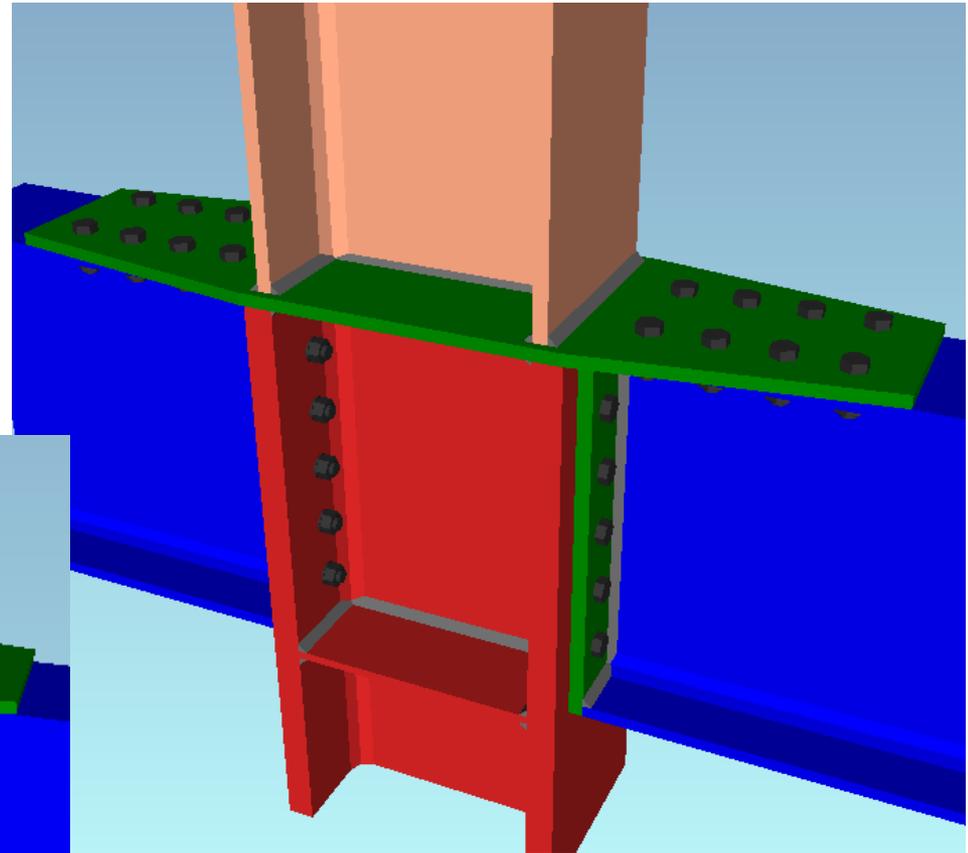
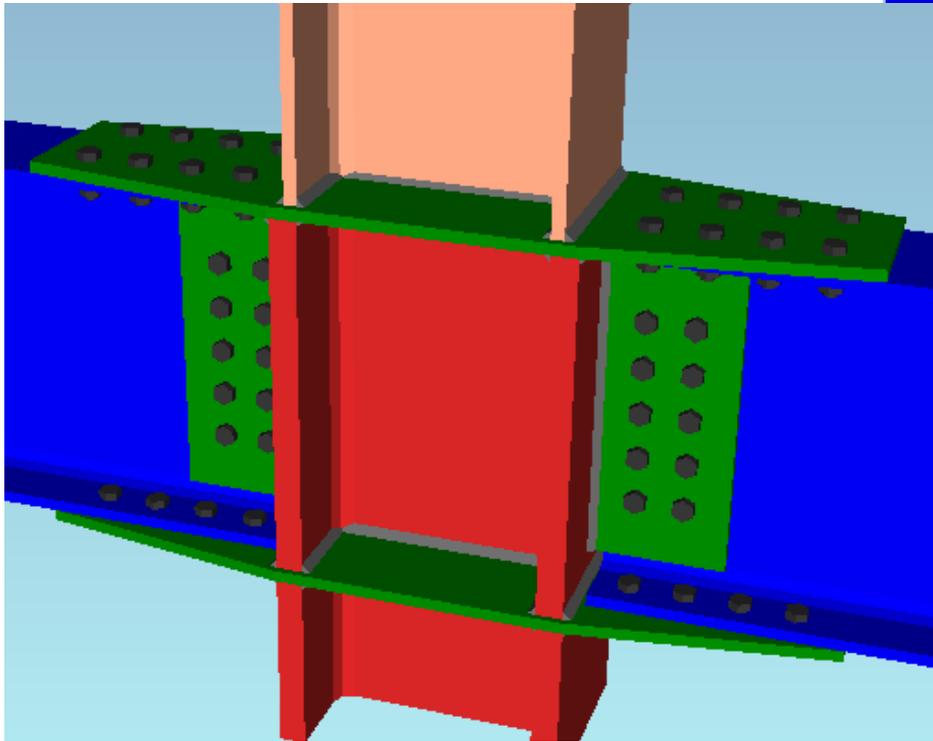
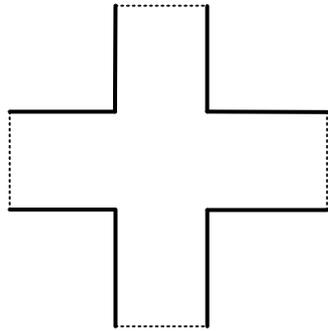
- Pórtico en 3D
- Forjado apoyado



Nudos rígidos para pórticos 3D - Acero



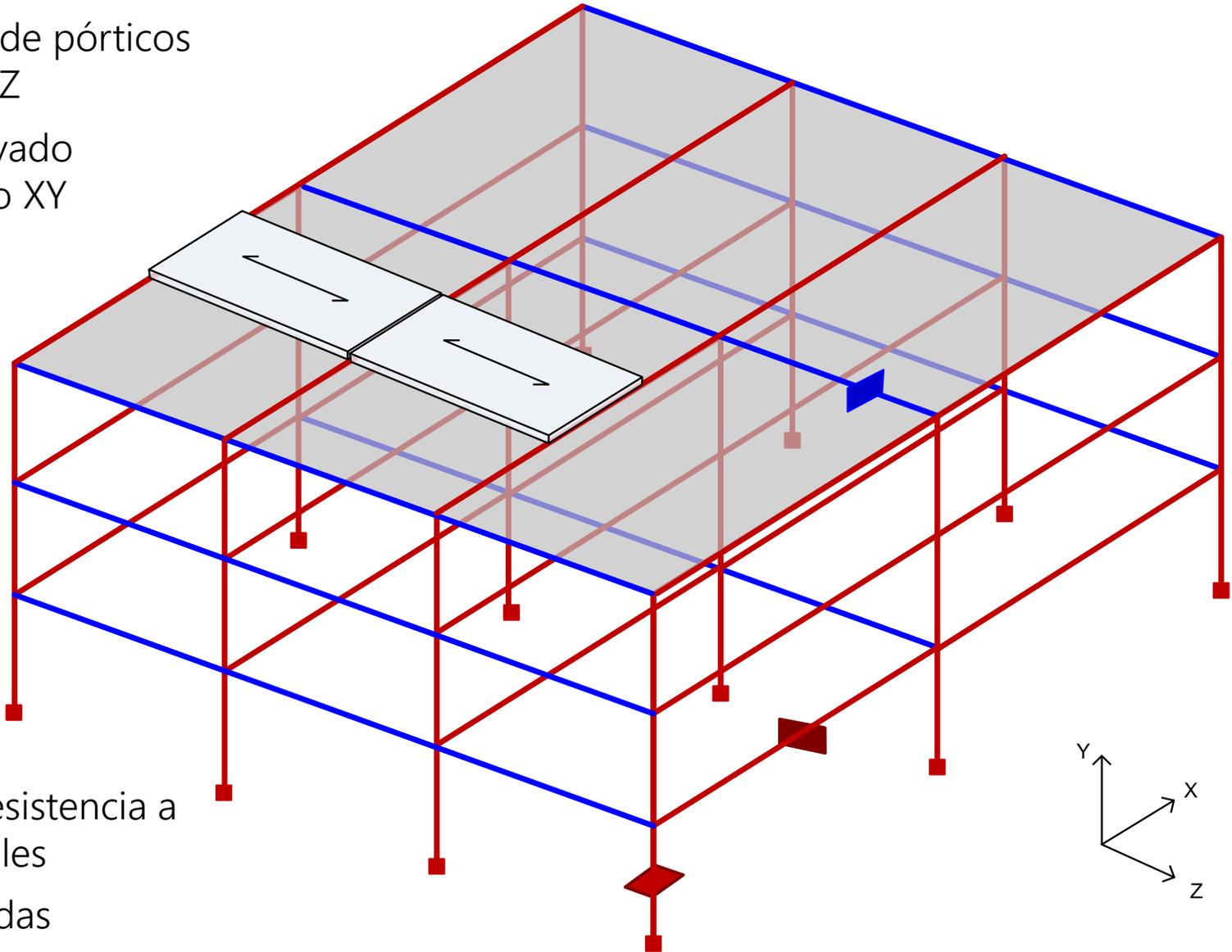
Nudos rígidos para pórticos 3D – Acero - Cubrejuntas



Pórticos de hormigón armado (rígido)

Dos familias de pórticos planos: XY, YZ

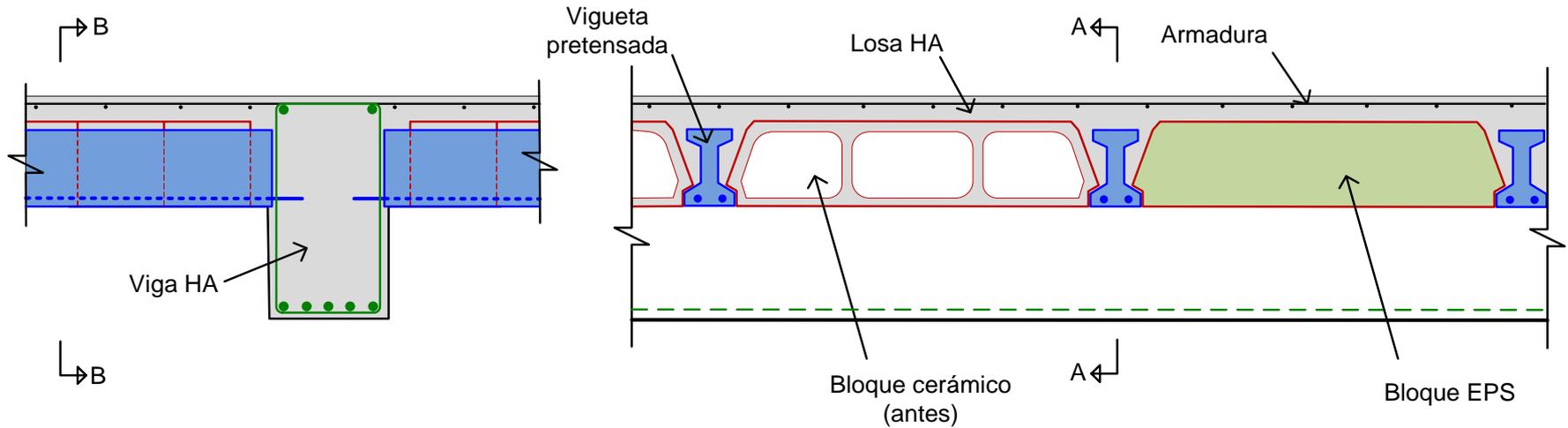
Forjado apoyado sobre pórtico XY



Muy buena resistencia a cargas verticales

Alturas limitadas

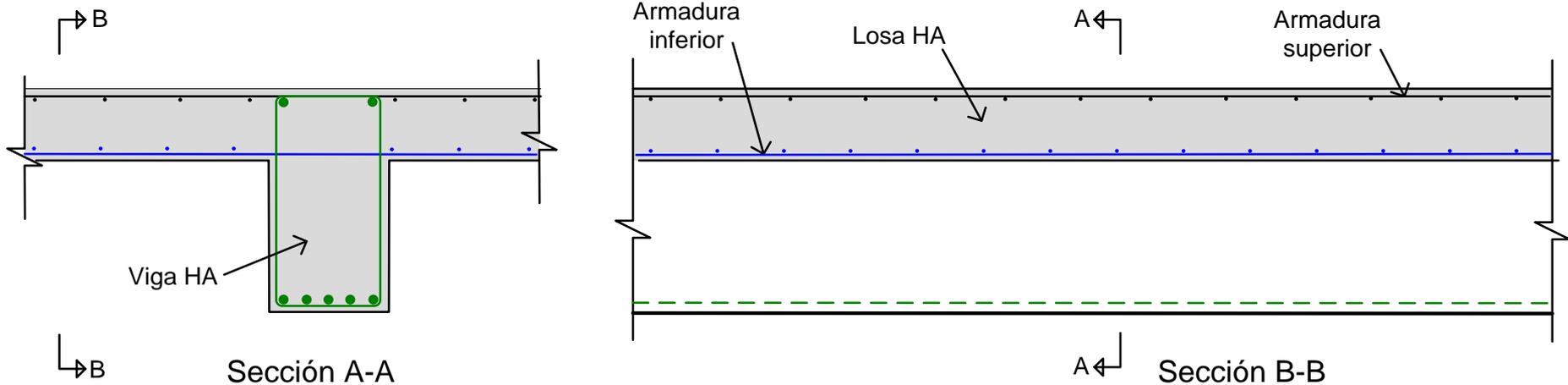
Forjados en pórticos de hormigón armado - Con vigas



Sección A-A

Sección B-B

Forjado ligero con bloque cerámico o EPS (viviendas, oficinas, servicios)

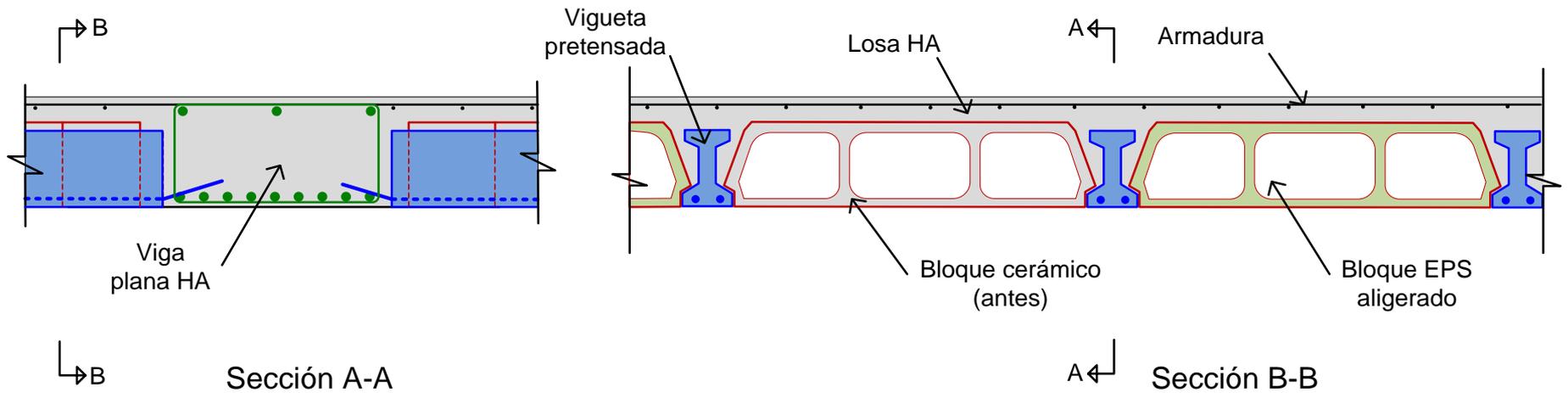
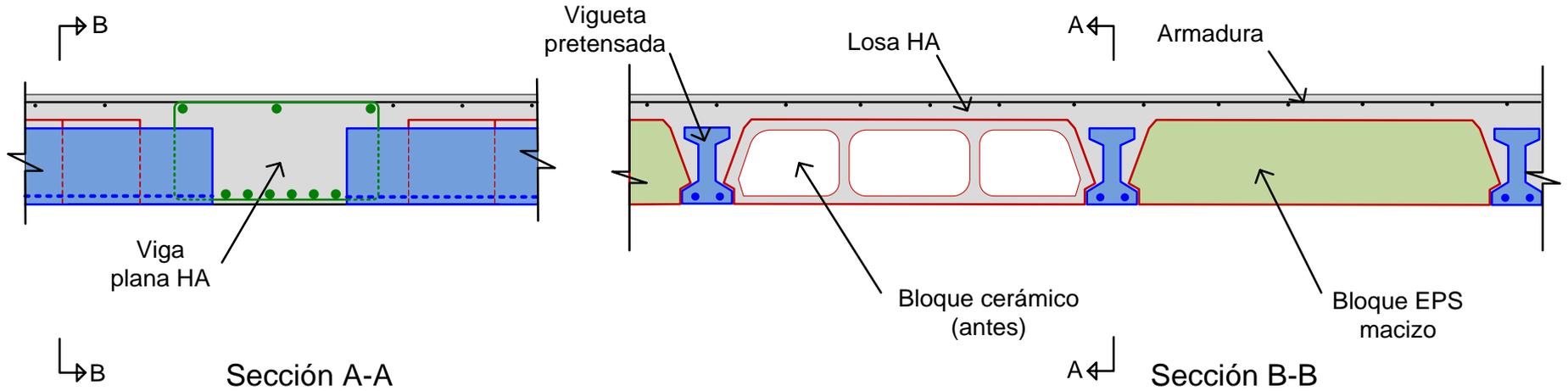


Sección A-A

Sección B-B

Forjado pesado con losa maciza (industrial)

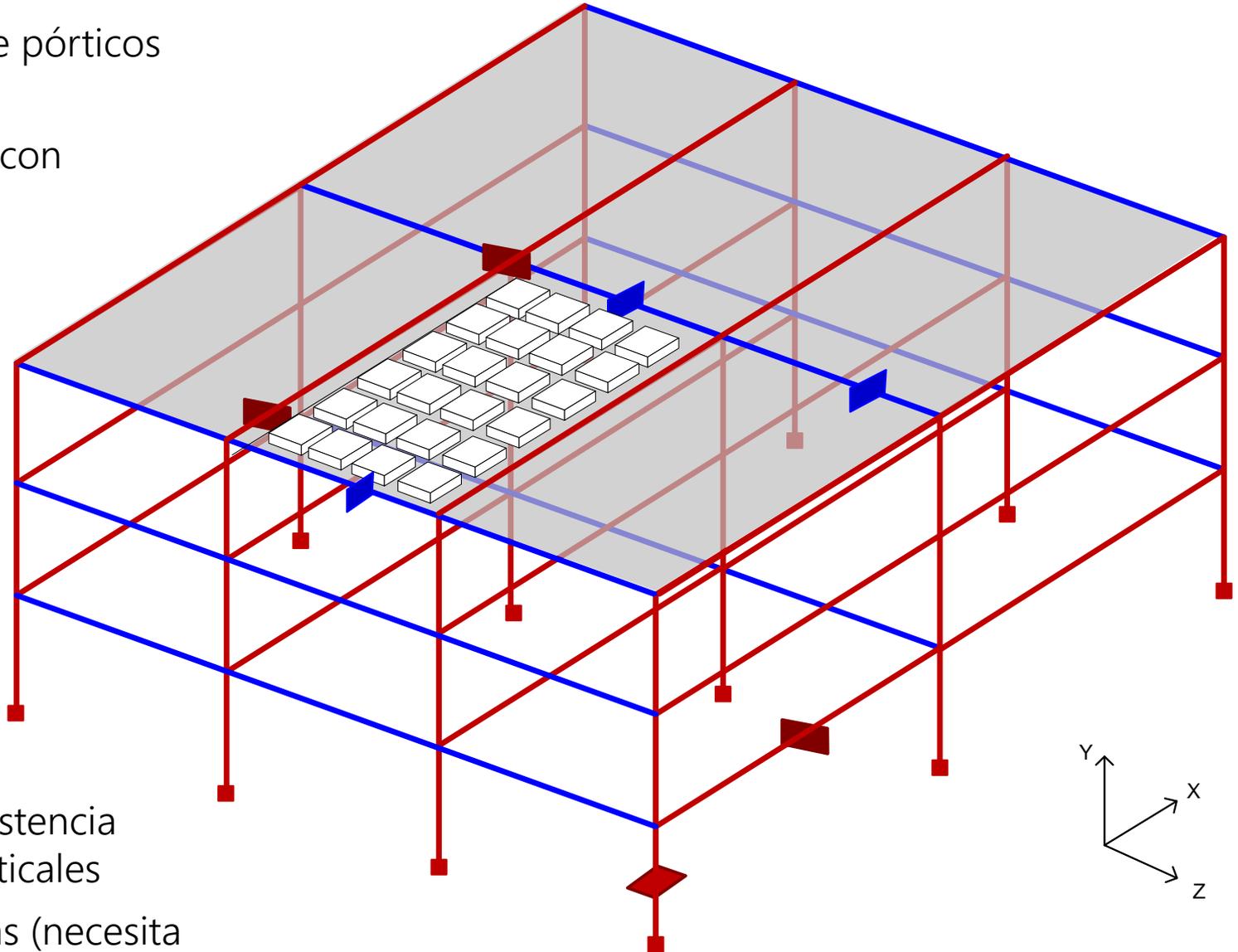
Forjados en pórticos de hormigón armado – Vigas planas



Pórtico de hormigón armado. Forjado de casetones

Dos familias de pórticos
planos: XY, YZ

Forjado plano con
casetones

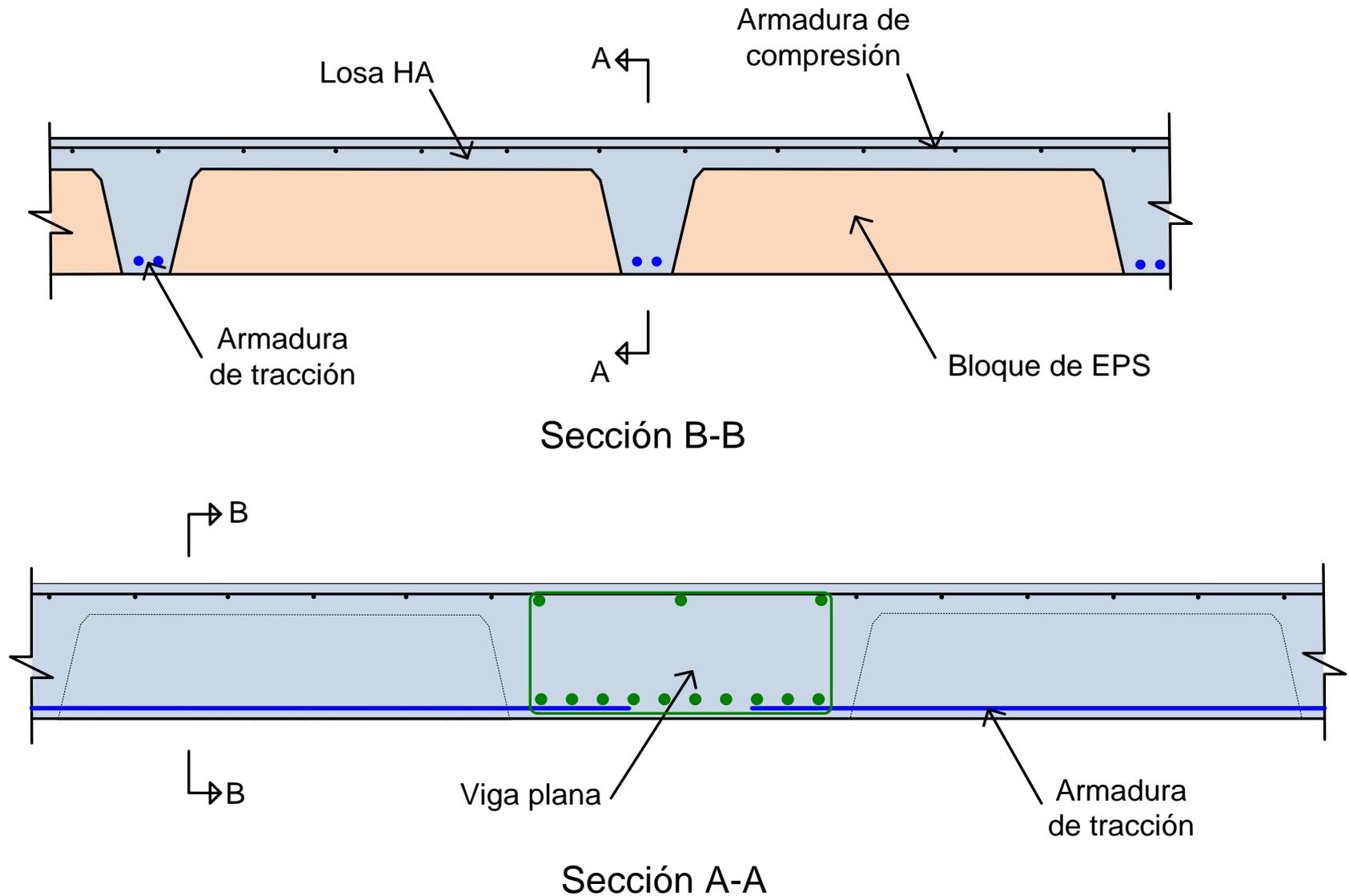


Muy buena resistencia
ante cargas verticales

Alturas limitadas (necesita
arriostramiento)

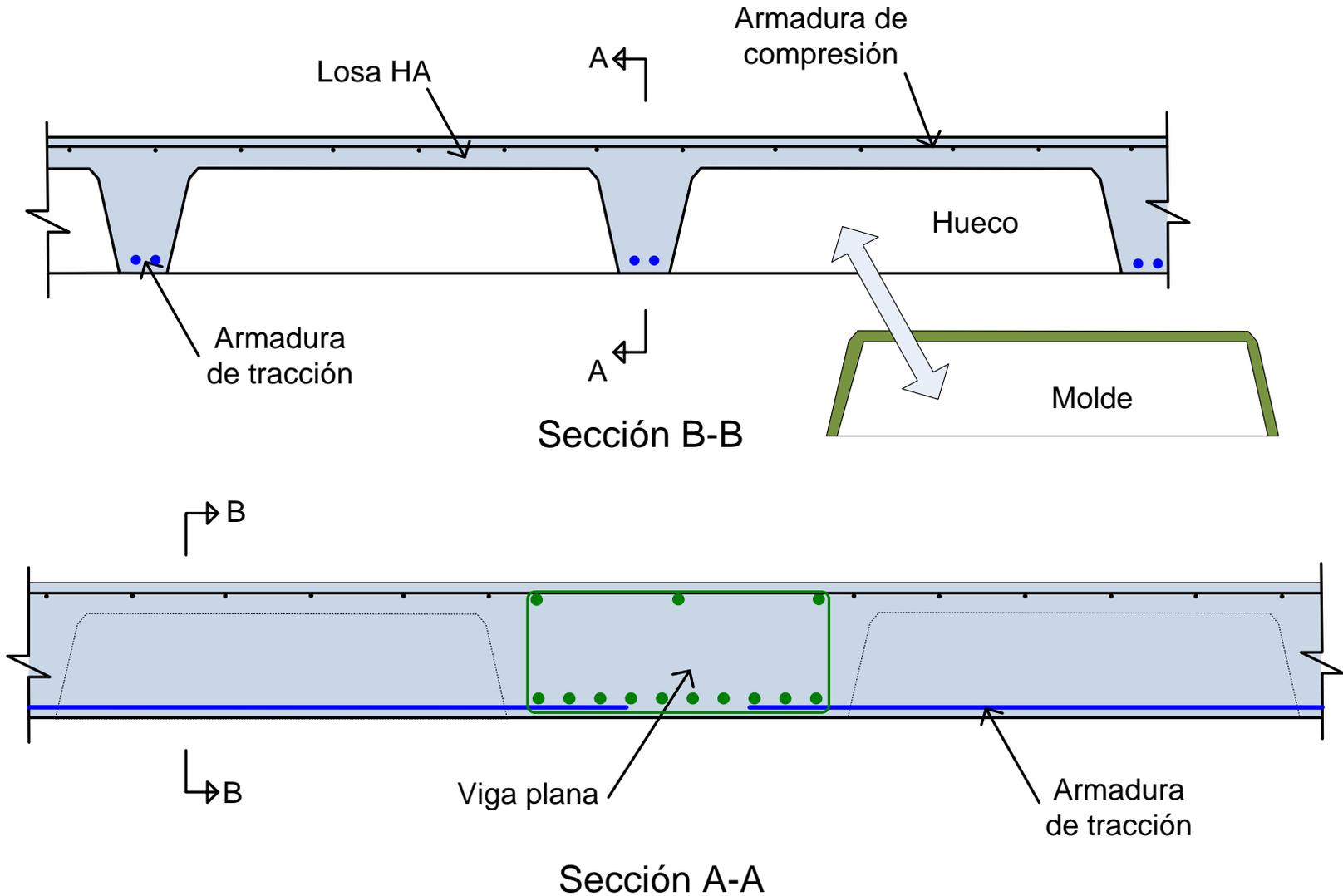
Forjados en pórticos de hormigón armado

Viga plana – Aligerados con casetones



Forjados en pórticos de hormigón armado

Viga plana – Aligerados – Hueco visto

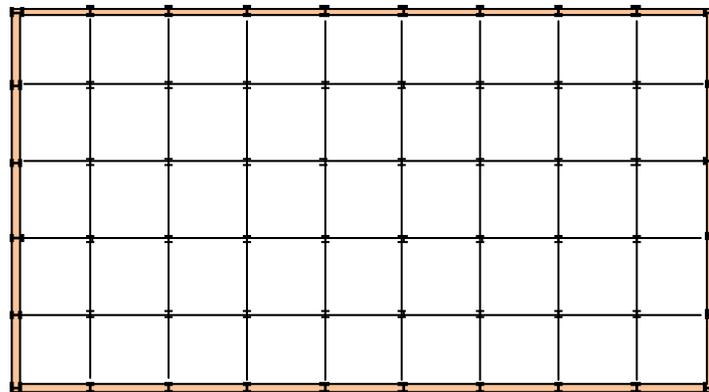


Tubo perimetral rígido

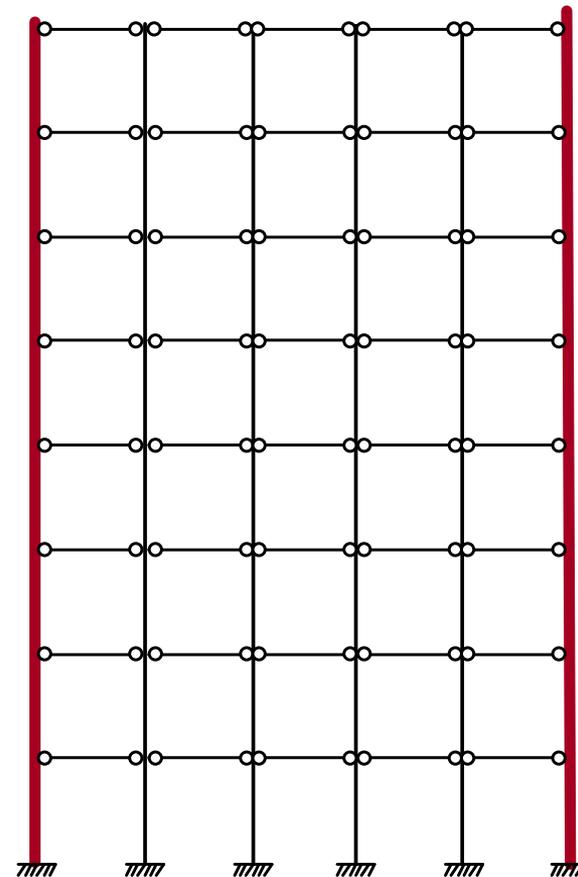
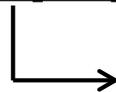
Tubo perimetral rígido + vigas articuladas sobre postes. Acero. Plantas < 50.

En todas las paredes perimetrales se forman pórticos planos. Entre todas forman un prisma rígido y el edificio está "dentro de un tubo".

Muy eficaz ante la torsión global del edificio respecto a su eje vertical



Planta

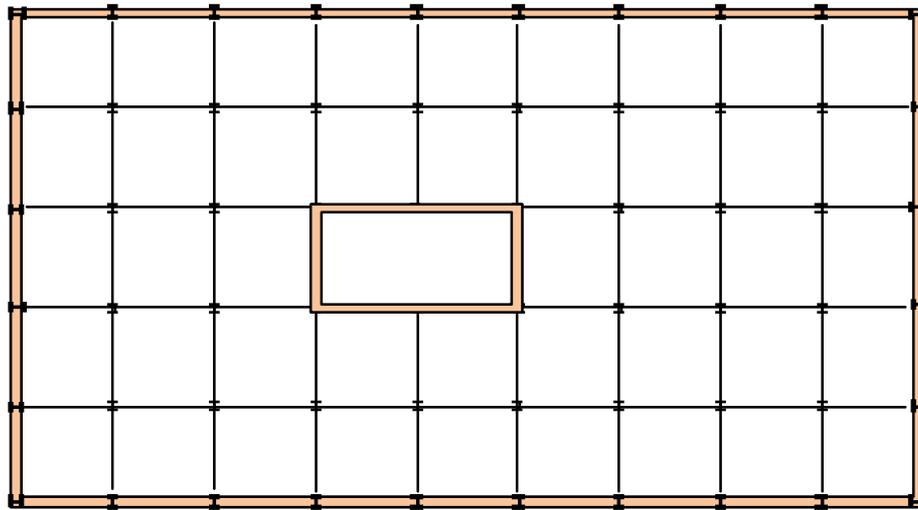


Sección -
Alzado

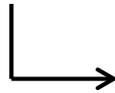
Tubo perimetral y núcleo interior rígidos

En todas las paredes perimetrales se forman pórticos planos y además se crea un núcleo rígido central

Muy grandes alturas. Muy eficaz ante la torsión global del edificio respecto a su eje vertical



Planta



Alzado -
Sección

