

Laboratorio – Parte 2
Introducción al CTE
Estructuras metálicas en naves
industriales

Máster Universitario en Ingeniería
Industrial

Complemento de Formación

Planteamiento y bibliografía

- Este tema pretende introducir los conceptos principales a tener en cuenta en la construcción de estructuras metálicas industriales:
 - Sección 1: Material y bases del proyecto.
 - Sección 2: Naves Industriales.
 - Sección 3: Uniones.
- El cálculo se realiza computacionalmente con el software METALPLA, cedido por Ramón Argüelles (UPM).
- La bibliografía consultada es:
 - RD-751-2011-Instruccion-Acero-Estructural-EAE-2011
 - <https://www.boe.es/boe/dias/2011/06/23/pdfs/BOE-A-2011-10879.pdf>
 - https://www.uclm.es/area/ing_rural/Acero/Textos/RD-751-2011-Instruccion-Acero-Estructural-EAE-2011-Comentada.pdf
 - Argüelles Álvarez, R. Estructuras de Acero - Tomos 1 (3ª Edición - 2013) y 2 (2ª Edición - 2007). Editorial Bellisco.
 - Se recomienda consultar (para Construcciones y Urbanismo Industrial):
 - Tomo 1: Temas 1 y 2.
 - Tomo 2: Temas 12, 13 y 15. Anexos O, P y Q.
 - Resto Tomo 1 si se sigue alguna especialidad relacionada con cálculo de estructuras.
 - Tutorial METALPLA.

Laboratorio – Parte 2

Sección 1: Material y bases del proyecto

Máster Universitario en Ingeniería
Industrial

Complemento de Formación

Índice

- El material.
 - Características mecánicas del acero.
 - Tensiones residuales.
 - Clases de acero.
 - Comportamiento (elástico y plástico).
- Introducción bases del proyecto.
- Criterios de seguridad.
- Acciones – Material.
- Situaciones del proyecto.
- Análisis estructural.
 - Modelos de comportamiento estructural.
 - Influencia de las uniones.
 - Imperfecciones geométricas.
 - Estructuras traslacionales e intraslacionales.
 - Métodos de análisis.

El material

- 2008 – Versiones definitivas del EUROCÓDIGO 3
- Revisión del 2013 del documento básico SE-A (Seguridad estructural – Estructuras de Acero) del CTE (Código Técnico de la Edificación) publicado en 2007
 - Se asume en la práctica la Instrucción de Acero Estructural (EAE) publicada por el ministerio de fomento y que recoge en gran medida el EUROCÓDIGO 3.
- Ensayo del material

El material

- Concentración de tensiones (causas):
 - Proceso de laminado: Enfriamiento no uniforme. En secciones en “doble T” los extremos de las alas y el centro del alma se enfrían y solidifican antes, coartando la libre contracción del resto de la pieza al enfriarse. Extremos de alas y centro del alma comprimido y resto traccionado.
 - Enderezado en frío: Fuerzas para el enderezado, curvado, introducción de contraflechas, ... genera tensiones residuales.
 - Soldadura: Zonas próximas a las soldaduras (tensiones residuales de tracción al enfriarse y no poder contraerse libremente). Zonas alejadas (comprimidas por oponerse a dicho acortamiento).
- Acero tiene capacidad de redistribuir las tensiones que tienen las secciones de acero.
- Importancia de las tensiones residuales en piezas comprimidas con riesgo de sufrir fenómenos de inestabilidad.
- Existen ensayos para determinar estas tensiones residuales (incluir extensómetros).

El material

- Clases de acero
 - Aceros no aleados laminados en caliente (EN 10025-2:2006) => S235, S275 y S355
 - La EAE también contempla los aceros establecidos en la UNE-EN 10210-2:2007 relativa a perfiles huecos estructurales de sección transversal constante, de espesor mayor o igual a 2 mm, producidos por laminación en caliente (con o sin tratamiento térmico posterior), o por conformado en frío seguido por un tratamiento térmico para obtener un resultado equivalente.
- Designación del acero:
 - Letra S seguida de un número (235, 275 o 355) que indica el límite elástico.
 - Grados JR, J0, J2 y K2 diferencian los resultados obtenidos en el ensayo de resiliencia a distintas temperaturas, así como la soldabilidad, que es creciente desde el grado JR al J2.
 - Grado JR: Utilizable en construcciones ordinarias.
 - Grado J0: Utilizable en construcciones con altas exigencias soldabilidad o de insensibilidad a la rotura frágil
 - Grado J2: Utilizable en construcciones con exigencias especiales de resistencia, resiliencia y soldabilidad.
 - Grado K2 Utilizable en construcciones con exigencias especiales de resistencia, resiliencia y soldabilidad.
 - Los más utilizados son: S275 JR, S275 J0 y S275 J2

El material

Tabla 27.1.a

Aceros no aleados laminados en caliente

Grado \ Tipo	S 235	S 275	S 355
JR	S 235 JR	S 275 JR	S 355 JR
J0	S 235 J0	S 275 J0	S 355 J0
J2	S 235 J2	S 275 J2	S 355 J2
K2	—	—	S 355 K2

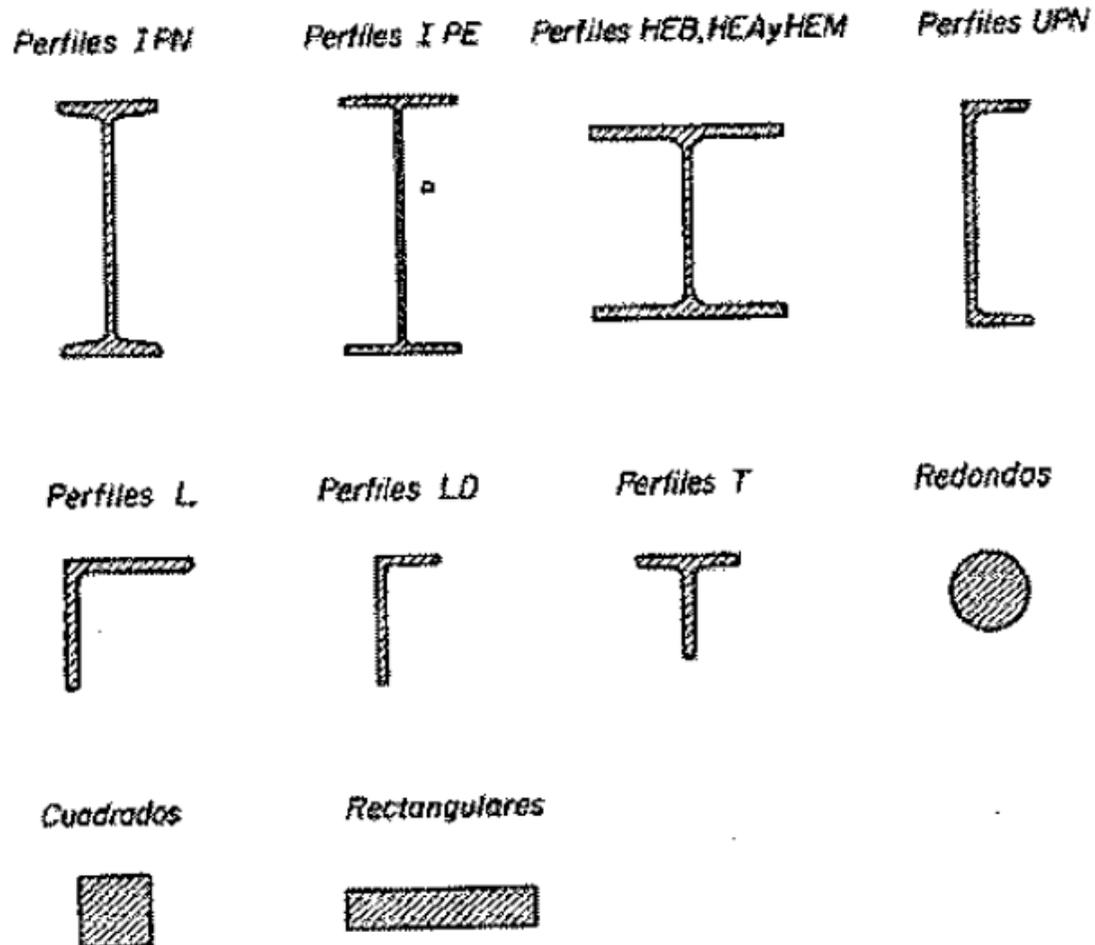
Tabla 27.1.d

Límite elástico mínimo y resistencia a tracción (N/mm²)

Tipo	Espesor nominal t (mm)			
	$t \leq 40$		$40 < t \leq 80$	
	f_y	f_u	f_y	f_u
S 235	235	$360 < f_u < 510$	215	$360 < f_u < 510$
S 275	275	$430 < f_u < 580$	255	$410 < f_u < 560$
S 355	355	$490 < f_u < 680$	335	$470 < f_u < 630$

El material

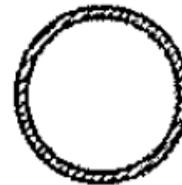
- Perfiles y chapas de sección llena laminados en caliente



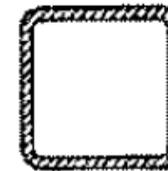
El material

- Perfiles de sección hueca conformados en frío

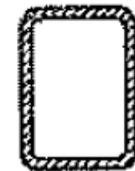
a) Circular



b) Cuadrado

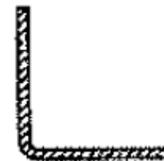


c) Rectangular



- Perfiles de sección abierta conformados en frío

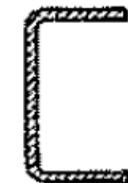
a) L (ángulo)



b) LD (ángulo desigual)



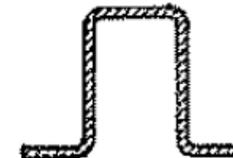
c) U (u)



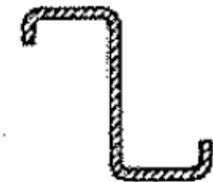
d) C



e) Ω (omega)



f) Z (zeta)



El material

Tabla 28.1

Series de perfiles y chapas de sección llena laminados en caliente

Serie	Norma de producto	
	Dimensiones	Tolerancias
Perfil IPN	UNE 36521	UNE EN 10024
Perfil IPE	UNE 36526	UNE EN 10034
Perfil HEB (base)	UNE 36524	UNE EN 10034
Perfil HEA (ligero)	UNE 36524	UNE EN 10034
Perfil HEM (pesado)	UNE 36524	UNE EN 10034
Perfil U Normal (UPN)	UNE 36522	UNE EN 10279
Perfil UPE	UNE 36523	UNE EN 10279
Perfil U Comercial (U)	UNE 36525	UNE EN 10279
Angular de lados iguales (L)	UNE EN 10056-1	UNE EN 10056-2
Angular de lados desiguales (L)	UNE EN 10056-1	UNE EN 10056-2
Perfil T	UNE EN 10055	UNE EN 10055
Redondo	UNE EN 10060	UNE EN 10060
Cuadrado	UNE EN 10059	UNE EN 10059
Rectangular	UNE EN 10058	UNE EN 10058
Hexagonal	UNE EN 10061	UNE EN 10061
Chapa (*)	UNE 36559	UNE 36559

(*) La chapa es el producto laminado plano de anchura mayor que 600 mm, utilizado principalmente como material de partida para la fabricación de elementos planos. Según su espesor t se clasifica en chapa media ($3 \text{ mm} \leq t \leq 4,75 \text{ mm}$) y chapa gruesa ($t > 4,75 \text{ mm}$).

Tabla 28.2

Series de perfiles de sección hueca acabados en caliente

Serie	Norma de producto	
	Dimensiones	Tolerancias
Sección circular	UNE EN 10210-2	UNE EN 10210-2
Sección cuadrada		
Sección rectangular		
Sección elíptica		

Tabla 28.3

Series de perfiles de sección hueca conformados en frío

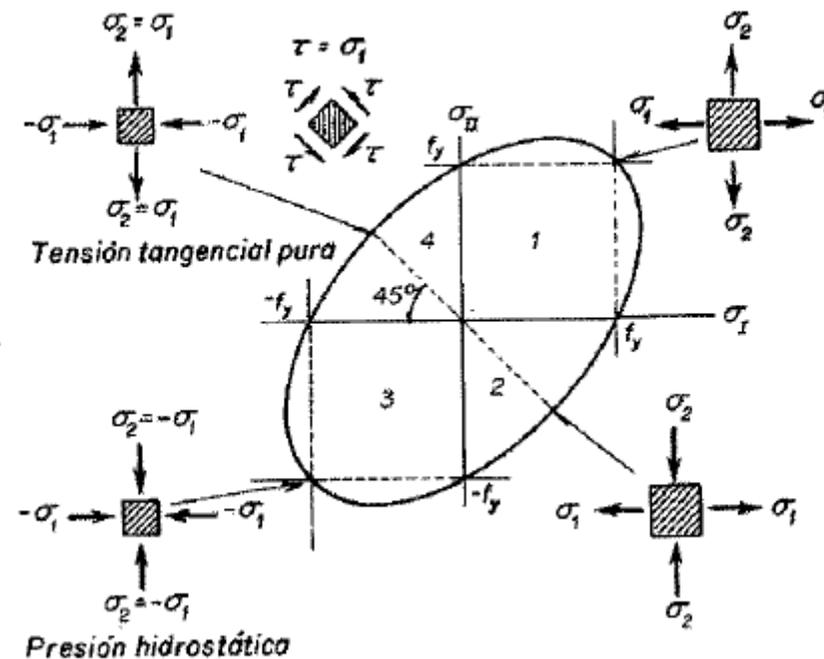
Serie	Norma de producto	
	Dimensiones	Tolerancias
Sección circular	UNE EN 10219-2	UNE EN 10219-2
Sección cuadrada		
Sección rectangular		

- Perfil L.
- Perfil U.
- Perfil C.
- Perfil Z.
- Perfil Omega.
- Perfil Tubular con bordes rejuntados.

La norma UNE EN 10162 establece las dimensiones y tolerancias de los perfiles de sección abierta conformados en frío.

El material

- Condiciones de plastificación
 - Criterios de Hencky-Huber-Von Mises



$$\sigma_{co} = \sqrt{\frac{1}{2} \left[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 \right]} \leq f_Y$$

Introducción bases del proyecto

- Lo primero que hay que tener en cuenta es:
 - Vida útil del proyecto
 - Durabilidad
 - Deterioro a lo largo de la vida útil no impida que se cumplan las prestaciones mínimas. Tener especialmente en cuenta la corrosión del acero (buena evacuación de aguas y evita contacto con otros materiales, como el aluminio y el yeso).
 - Estados límites
 - Estados límites últimos (fallo de la estructura por colapso o rotura).
 - Estados límites de servicio (no cumplen los requisitos de funcionalidad, comodidad, durabilidad o de otros aspectos requeridos).

Introducción bases del proyecto

- Estados límites:
 - Estados límites últimos:
 - Fallos por pérdida de equilibrio.
 - Fallos por pérdida de la estabilidad completa (pandeo global) o parte ellas (columnas, barras de celosía,...)
 - Agotamiento de la resistencia de la estructura o de algunas secciones.
 - Agotamiento de la resistencia de las uniones.
 - Deterioro progresivo bajo la actuación de cargas repetidas.
 - Estados límites de servicio (no cumplen los requisitos de funcionalidad, comodidad, durabilidad o de otros aspectos requeridos):
 - **Estado límite de deformaciones.**
 - Estado límite de vibraciones.
 - Estado límite de deslizamiento en uniones con tornillos de alta resistencia pretensados.
 - Estado límite de deformaciones transversales en paneles esbeltos.
 - Estado límite de plastificaciones locales.

Criterios de seguridad

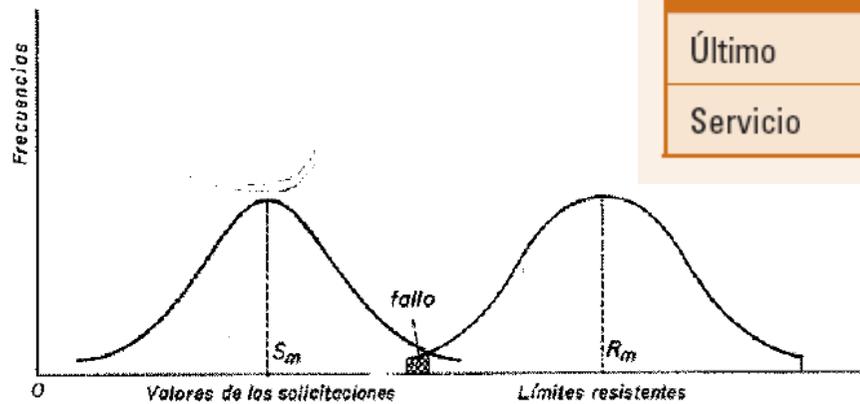
- Criterios de seguridad – Probabilidad de fallo e índice de fiabilidad.
 - Solicitaciones (S). Probabilidad de fallos debido a presencia de cargas variables, excepcionales....
 - Propiedades resistentes (R):
 - Características resistentes diferentes a las previstas.
 - Dimensiones reales de las piezas no ajustadas suficientemente a las teóricas.
 - Deterioro de la estructura debido a cargas repetidas (fatiga).
 - Corrosiones.
 - Inadecuado control de calidad.
 - Análisis de la estructura no ajustado debidamente a su comportamiento.
 - Errores e imperfecciones de los trabajos realizados en taller y en el montaje.

Criterios de seguridad

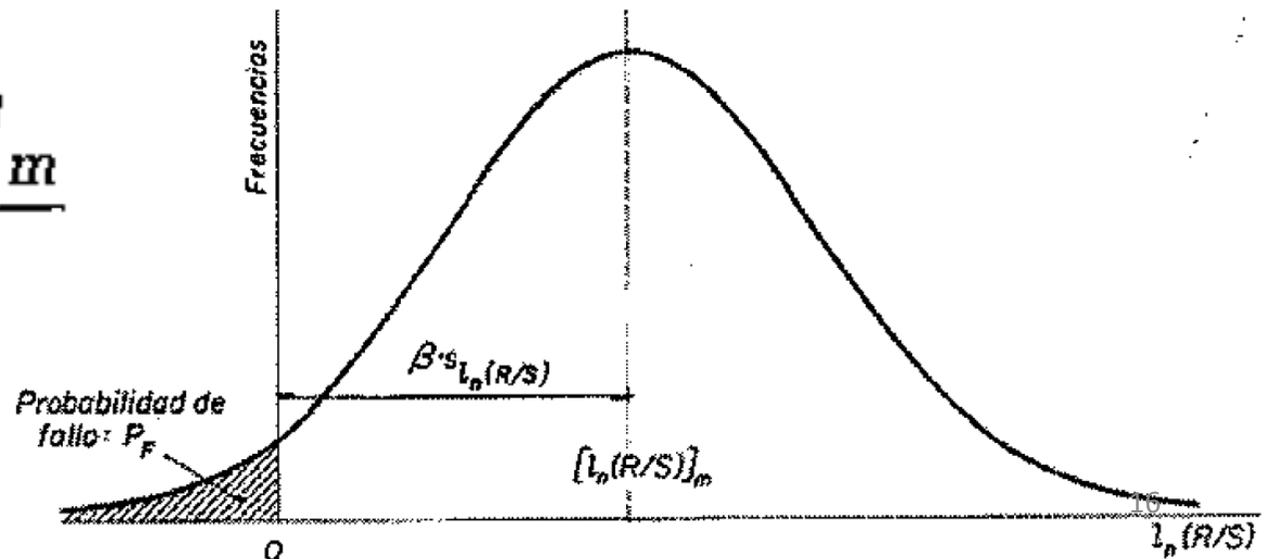
Tabla 6.1

Índice de fiabilidad y probabilidad de fallo

Estado Límite	Probabilidad de fallo p_f	Índice de fiabilidad β
Último	$7,2 \times 10^{-5}$	3,8
Servicio	$6,7 \times 10^{-2}$	1,5



$$\beta = \frac{[l_n (R/S)]_m}{S_{ln (R/S)}}$$



Criterios de seguridad

CLASE DE ELEMENTO	CLASE DE CARGA		
	P + (U o N)	P + U + V	P + U + S
Pilares, vigas, etc.	3,0	2,5	1,75
Uniones.	4,5	4,5	4,5
P	Cargas permanentes		V Cargas de viento
U	Sobrecargas de uso		S Cargas de sismo
N	Cargas de nieve		

Tabla 2.3. Valores evaluados de algunos índices de fiabilidad según ASCE

$$\sum \gamma_i \cdot S_i \leq \phi \cdot R_n$$

Criterios de seguridad

$$\sum Y_i S_i \leq \phi R_n$$

Coeficiente de ponderación que afecta a las solicitaciones

Coeficiente que minimiza la capacidad resistente

Verificación de la capacidad portante de los **estados límites últimos**

$$S_d \leq R_d$$

Solicitaciones ponderadas

Resistencia última

Verificación de la aptitud al **servicio**

$$E_{ser} \leq C_{lim}$$

Efectos de las acciones. Por ejemplo, la flecha máxima de la viga debida a la carga permanente y variable

Valor límite (por ejemplo: flecha máxima)

Acciones - Material

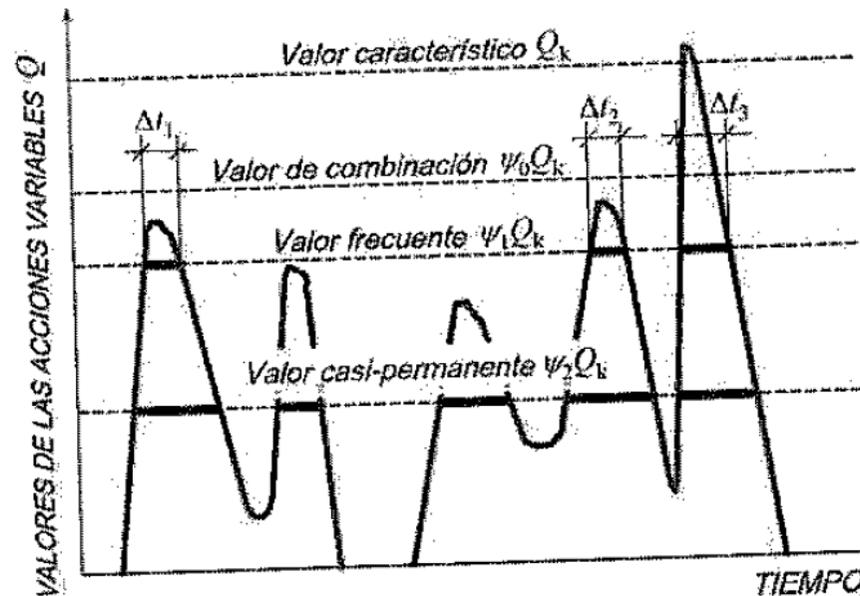
- Clasificación de las acciones
 - Por su naturaleza (EAE)
 - Acciones directas (se aplican directamente a la estructura): peso propio estructura, resto de cargas permanentes, sobrecarga de uso,...
 - Acciones indirectas (son impuestas): incremento de T^a , asientos de cimentación, desplazamientos impuestos, efectos sísmicos,...
 - Por su variación en el tiempo (EAE)
 - Acciones permanentes (G): actúan en todo momento y son constantes en magnitud y posición (peso propio estructuras e instalaciones).
 - Acciones permanentes de valor no constante (G^*): actúan en todo momento pero su valor no es constante (movimientos cimentación).
 - Acciones variables (Q). Cargas debidas a la ocupación, acciones climáticas, acciones debidas al proceso constructivo.
 - Acciones accidentales (A). Terremoto, fuego.
 - Norma UNE-EN 1991
 - Por su variación en el espacio (EAE)
 - Fijas y libres.
 - Por la respuesta estructural
 - Estáticas y dinámicas

Acciones - Material

- Valores característicos de las acciones
 - G_k : es el valor característico de una acción permanente. Por ejemplo, el acero se considera $78,5\text{kN/m}^3$.
 - Q_k : es el valor característico de una acción variable. Corresponde a un valor superior con una probabilidad prevista de no ser superado o a un valor con una probabilidad prevista de ser alcanzado durante un periodo específico de referencia. Por ejemplo, para las acciones climáticas este valor es de 0,02 (probabilidad de ser superado en un año).
- Valores representativos de las acciones y coeficientes de simultaneidad.
 - En naves industriales las acciones que se estudian son:
 - Carga permanente.
 - Carga de mantenimiento.
 - Nieve.
 - Viento.
 - Sismo (aquí no se considera por situación de la nave ejemplo).
 - Puente grúa.
 - Acciones térmicas.

Acciones - Material

- El valor de la combinación: $\Psi_0 \cdot Q_k$ (Ψ_0 coeficiente de simultaneidad para el valor de combinación de una acción variable), corresponde al valor representativo de las acciones variables que actúan simultáneamente con otra acción variable, considerada ésta como determinante, en las combinaciones poco probables.
- El valor frecuente de una acción variable: $\Psi_1 \cdot Q_k$ (Ψ_1 coeficiente de simultaneidad para el valor frecuente de una acción variable), es el valor representativo de la acción variable que solo es sobrepasado durante periodos de corta duración en la vida útil de la estructura. Es valor es superado en al menos un 1 % del tiempo de referencia.
- El valor casi-permanente de una acción variable: $\Psi_2 \cdot Q_k$ (Ψ_2 , coeficiente de simultaneidad para el valor casi-permanente), es el valor representativo de la acción variable que es sobrepasado durante una gran parte de la vida útil de la estructura (este valor es superado al menos un 50 % del tiempo de referencia).



Coeficientes de ponderación que afectan a las solicitaciones

Acciones - Material

Tabla 11.b

Coeficientes de simultaneidad para la acción de la nieve

	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
Edificios emplazados a una altitud $H > 1.000$ metros sobre el nivel del mar	0,7	0,5	0,2
Edificios emplazados a una altitud $H \leq 1.000$ metros sobre el nivel del mar	0,5	0,2	0,0

Tabla 11.c

Coeficientes de simultaneidad para la acción del viento

Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
0,6	0,2	0,0

Tabla 11.d

Coeficientes de simultaneidad para la acción térmica

Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
0,6	0,5	0,0

Tabla 12.1

Coeficientes parciales para las acciones, aplicables para la evaluación de los estados límite últimos

Tipo de acción	Situaciones persistentes o transitorias		Situaciones accidentales	
	Efecto favorable	Efecto desfavorable	Efecto favorable	Efecto desfavorable
Permanente	$\gamma_G = 1,00$	$\gamma_G = 1,35$	$\gamma_G = 1,00$	$\gamma_G = 1,00$
Permanente de valor no constante	$\gamma_{G^*} = 1,00$	$\gamma_{G^*} = 1,50$	$\gamma_{G^*} = 1,00$	$\gamma_{G^*} = 1,00$
Variable	$\gamma_Q = 0,00$	$\gamma_Q = 1,50$	$\gamma_Q = 0,00$	$\gamma_Q = 1,00$
Accidental	—	—	$\gamma_A = 1,00$	$\gamma_A = 1,00$

Tabla 12.2

Coeficientes parciales para las acciones, aplicables para la evaluación de los estados límite de servicio

Tipo de acción	Efecto favorable	Efecto desfavorable
Permanente	$\gamma_G = 1,00$	$\gamma_G = 1,00$
Permanente de valor no constante	$\gamma_{G^*} = 1,00$	$\gamma_{G^*} = 1,00$
Variable	$\gamma_Q = 0,00$	$\gamma_Q = 1,00$

Puede ser considerada 0,8 (CTE)

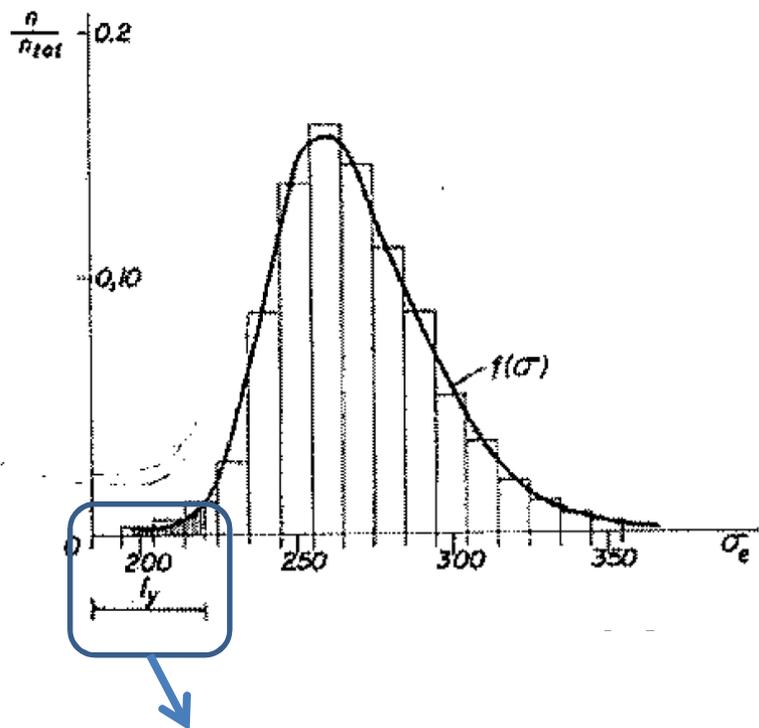
Considerar coeficientes parciales y simultaneidad. Tener en cuenta si la acción se considera favorable o desfavorable. Peso propio + viento. El viento puede succionar, siendo una situación favorable para el peso propio.

Coeficiente que minimiza la capacidad resistente

Acciones - Material

Los valores de cálculo de las propiedades de los materiales (R_d) se obtienen dividiendo los valores característicos (R_k) por un coeficiente parcial para la resistencia (γ_M):

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_M}$$



Confianza del 95 %

15.2. VALORES DE CÁLCULO

Tabla 15.3

Coeficientes parciales para la resistencia, para estados límite últimos

Resistencia de las secciones transversales.	$\gamma_{M0} = 1,05^{(1)}$
Resistencia de elementos estructurales frente a inestabilidad.	$\gamma_{M1} = 1,05^{(1), (2)}$
Resistencia a rotura de las secciones transversales en tracción.	$\gamma_{M2} = 1,25$
Resistencia de las uniones.	$\gamma_{M2} = 1,25$
Resistencia al deslizamiento de uniones con tornillos pretensados:	
— En estado límite último (uniones categoría C) (ver apartados 58.2 y 58.8).	$\gamma_{M3} = 1,25$
— En estado límite de servicio (uniones categoría B) (ver apartados 58.2 y 58.8).	$\gamma_{M3} = 1,10$

⁽¹⁾ En el proyecto de estructuras de edificación se podrá adoptar un coeficiente parcial $\gamma_{M0} = \gamma_{M1} = 1,00$ siempre y cuando se cumplan simultáneamente los siguientes requisitos:

- Tolerancias «más estrictas» según el Artículo 80.
- Garantías adicionales para el acero según el Artículo 84. Se deberá garantizar que el límite elástico del acero empleado en la obra presente una dispersión acorde con el coeficiente parcial reducido, según un análisis basado en la teoría de fiabilidad estructural.
- Control de ejecución intenso según el Artículo 89.

⁽²⁾ En el proyecto de puentes de acero se adoptará en todos los casos un coeficiente parcial $\gamma_{M1} = 1,10$.

Situaciones de proyecto

- Estados límite últimos
 - Situaciones de cálculo
 - Persistentes, relativas a los estados de carga habituales de la estructura correspondientes a las condiciones normales de uso.
 - Transitorias, relativas a condiciones aplicables durante un tiempo limitado (no se incluyen las acciones accidentales). Puede citarse como ejemplo la fase de construcción o de reparación de la obra.
 - Accidentales, relativas a condiciones excepcionales en las que se puede encontrar o puede estar expuesto un edificio.
 - Verificaciones basadas en coeficientes parciales

Para las distintas situaciones de proyecto, las combinaciones de acciones se definirán de acuerdo con las siguientes expresiones:

13.2. ESTADOS LÍMITE ÚLTIMOS

En situaciones persistentes o transitorias:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \sum_{j \geq 1} \gamma_{G^*,j} G_{k,j}^* + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

donde:

$G_{k,j}$	Valor característico de las acciones permanentes
$G_{k,j}^*$	Valor característico de las acciones permanentes de valor no constante
$Q_{k,1}$	Valor característico de la acción variable determinante.
$\psi_{0,i} Q_{k,i}$	Valor representativo de combinación de las acciones variables que actúan simultáneamente con la acción variable determinante.
$\psi_{1,1} Q_{k,1}$	Valor representativo frecuente de la acción variable determinante.

El software de cálculo calcula la estructura para cada una de las hipótesis

Situaciones de proyecto

Ejemplo: Valores de cálculo de las acciones

Variable

Combinación-nº	Permanente	Mantenimiento	Nieve	Viento A	Viento B	V. Axial
1ª	1,35	1,5	0	0	0	0
2ª	1,35	0	1,5	0	0	0
3ª	1,35	0	1,5	0,9	0	0
4ª	1,35	0	1,5	0	0,9	0
5ª	1,35	0	1,5	0	0	0,9
6ª	1,35	0	0,75	1,5	0	0
7ª	1,35	0	0,75	0	1,5	0
8ª	1,35	0	0,75	0	0	1,5
9ª	0,8	0	0	1,5	0	0
10ª	0,8	0	0	0	1,5	0
11ª	0,8	0	0	0	0	1,5

Cuadro de coeficientes de combinación de hipótesis de carga (en negrilla se indica la acción variable dominante en esa combinación)

Situaciones de proyecto

Ejemplo: Valores de cálculo de las acciones

Mantenimiento $\Psi_0 = 0$

Nieve (<1000m) $\Psi_0 = 0,5$

Viento $\Psi_0 = 0,6$

El mantenimiento es una acción variable que no se considera que pueda ser dominante y a la vez producirse de forma simultanea con viento y nieve.

Combinación 1: Mantenimiento dominante.
Combinaciones 2-5: Nieve variable dominante (vientos $1,5*0,6$).
Combinaciones 6-8: Dominante uno de los vientos (nieve $1,5*0,5$).
Combinaciones 9-11 viento dominante pero se considera succión y se reduce la carga permanente.

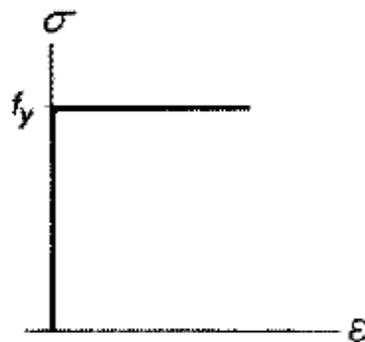
Análisis estructural

- Modelos del comportamiento estructural
 - Elástico de primer orden (linealidad geométrica y mecánica).
 - Elástico de segundo orden (linealidad mecánica y no linealidad geométrica).
 - Rígido-plástico de primer orden (deformaciones plásticas se concentran en secciones en las que se presentan rótulas plásticas).
 - Elástico-perfectamente plástico (comportamiento del material en la estructura).
 - Elástico-plástico (más preciso que el anterior).
 - No lineal mecánico y geométrico (formulación más rigurosa).

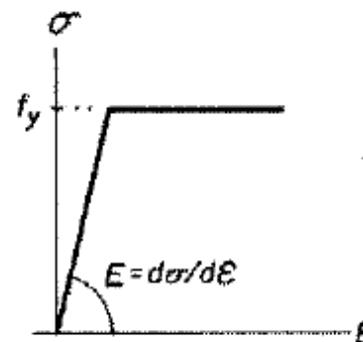
Análisis estructural

1) Diagrama tensiones deformaciones

a) Rígido-plástico

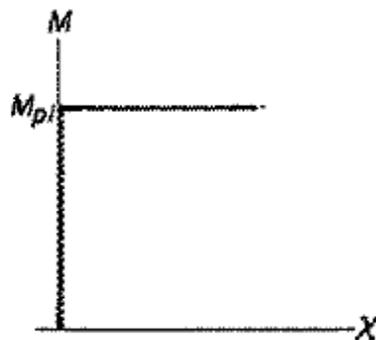


b) Elastoplástico

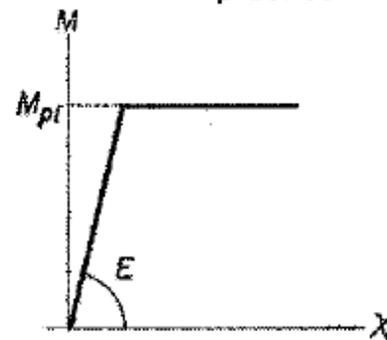


2) Diagramas momentos/curvaturas

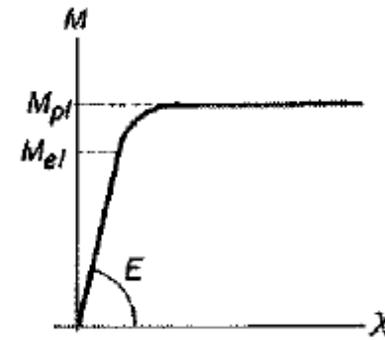
a) Rígido-plástico



b) Elástico-perfectamente plástico



c) Elastoplástico



Análisis estructural

Tabla 20.1

Clasificación de secciones transversales en relación a las comprobaciones de los estados límites últimos

Clase	Modelo de comportamiento	Resistencia de cálculo	Capacidad de rotación de la rótula plástica	Análisis global de la estructura
1		PLÁSTICA sobre toda la sección 	Importante	Elástico o plástico
2		PLÁSTICA sobre toda la sección 	Limitada	Elástico

Tabla 20.1. (continuación)

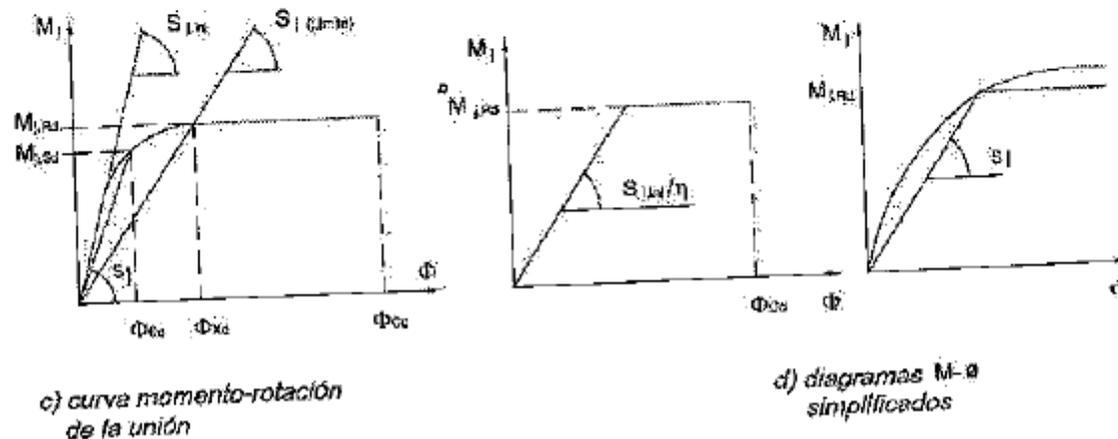
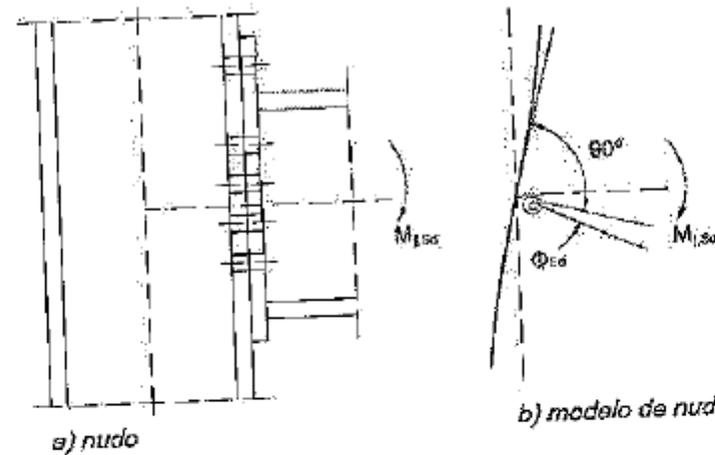
Clasificación de secciones transversales en relación a las comprobaciones de los estados límites últimos

Clase	Modelo de comportamiento	Resistencia de cálculo	Capacidad de rotación de la rótula plástica	Análisis global de la estructura
3		ELÁSTICA sobre toda la sección 	Ninguna	Elástico
4		ELÁSTICA sobre la sección reducida 	Ninguna	Elástico

Análisis estructural

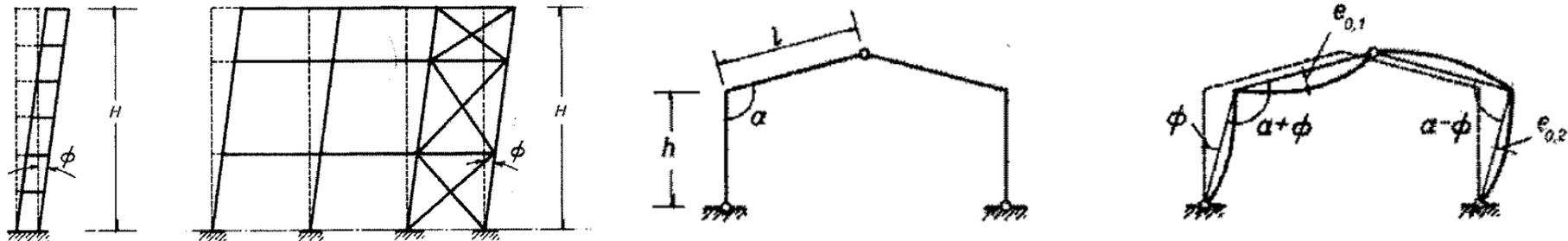
- Influencia de las uniones:
 - Unión articulada.
 - Unión rígida.
 - Unión semirrígida.

Dedicar una clase a reforzar esta parte

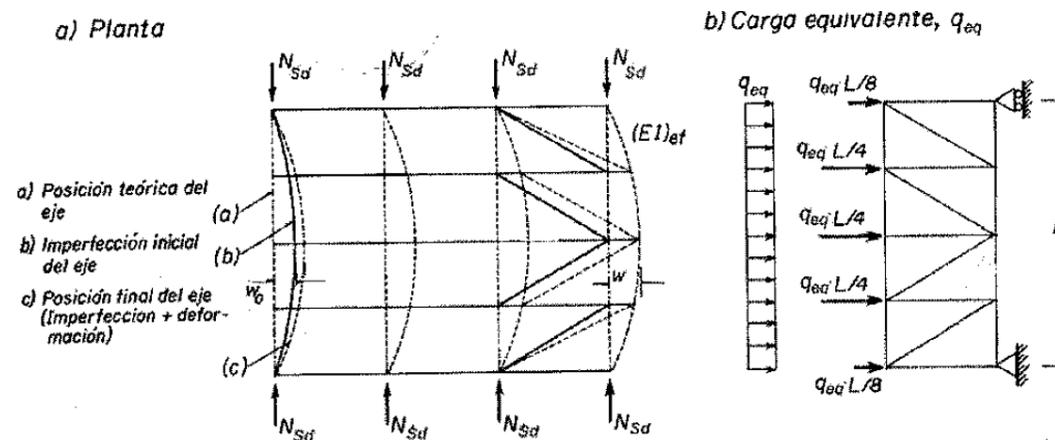


Análisis estructural

- Imperfecciones geométricas:
 - Pórticos:
 - Imperfecciones laterales globales equivalentes.
 - Curvaturas iniciales equivalentes en los elementos comprimidos (combaduras).
 - **Fuerzas transversales equivalentes** a las imperfecciones locales y globales.



- Imperfecciones para el análisis de los sistemas de arriostramiento.



Análisis estructural

- Criterios para la clasificación de las estructuras en intraslacionales o traslacionales.
 - Una estructura puede clasificarse como intraslacional cuando su rigidez lateral es suficiente para que la influencia de los efectos de segundo orden pueda ser considerada despreciable.
- Métodos de análisis:
 - DB SE-A del CTE.
 - Análisis global elástico salvo para las comprobaciones de estado lineal último de vigas continuas, donde se contempla el análisis global plástico.
 - En la última versión del DB SE-A sólo se contemplan los pórticos intraslacionales (o arriostrados) y ligeramente intraslacionales (análisis simplificado que no precisa de análisis de segundo orden).
 - Estabilidad global de la estructura según EAE.
 - Estabilidad de los elementos aislados individuales según EC 3.

Laboratorio - Parte 2

Sección 2: Naves industriales

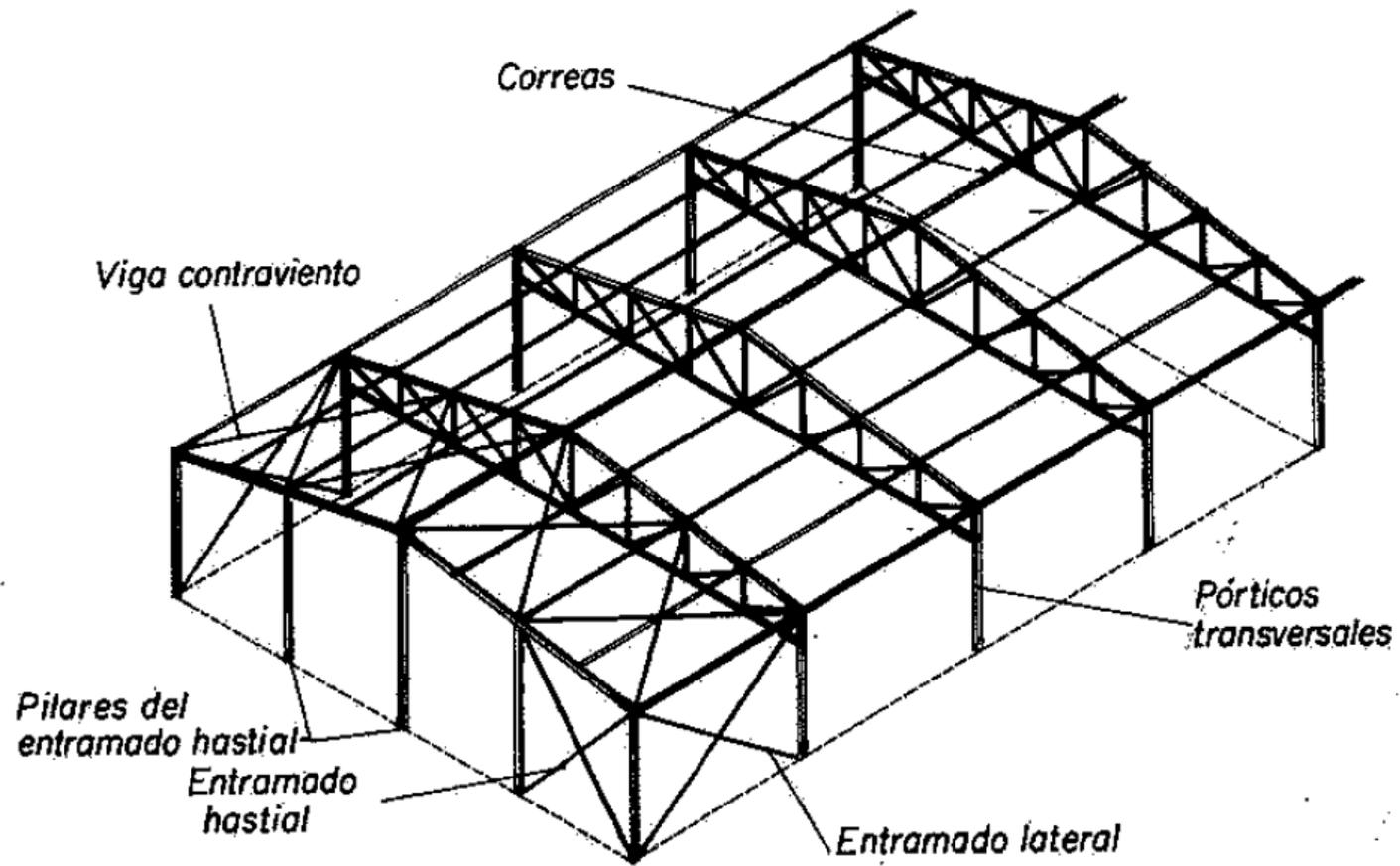
Máster Universitario en Ingeniería
Industrial

Complemento de Formación

Índice

- Organización constructiva.
- Correas.
- Pórticos principales.
- Vigas contraviento y entramados.
- Introducción al programa METALPLA.

Organización constructiva

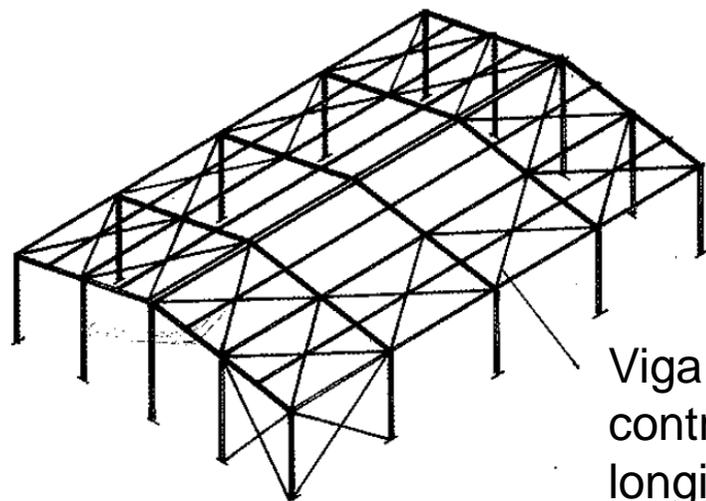


Organización constructiva

- **Correas**: Son vigas formadas, en general, por perfiles metálicos laminados, o conformados en frío que reciben directamente la cubierta propiamente dicha transmitiendo su peso y cargas (nieve, viento, etc) a los pórticos transversales.
- **Pórticos**: Formados por un sistema de vigas de celosía y pilares, o por pórticos a dos aguas construidos con piezas de alma llena o de sección constante o variable. Resistencia las cargas transmitidas por las correas, y también, las cargas de viento perpendiculares al eje longitudinal de la nave recogidas por los pilares.
- **Vigas contraviento**: Se organizan añadiendo una celosía en cruz de San Andrés o en K que enlaza los cordones superiores de las cerchas o de las vigas que forman los dinteles de los pórticos. Se disponen en los módulos extremos o intermedios de la nave. Su misión es inmovilizar transversal y puntualmente los cordones comprimidos de las vigas de celosía o las alas de las vigas principales.

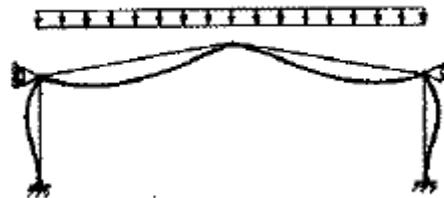
Organización constructiva

- **Entramados hastiales**: Reciben las acciones debidas al viento transversal y longitudinal del viento y el peso propio del entramado incluido su cerramiento. Las acciones debidas al viento se concentran en los pilares del entramado hastial que las transmiten a las vigas contraviento y, también, directamente a la cimentación.
- **Vigas carril**: Si la nave dispone de puente grúa, reciben las cargas de la viga puente transmitiéndolas a los pórticos principales y a los entramados laterales.



Viga
contraviento
longitudinal

b) Pórtico indesplazable



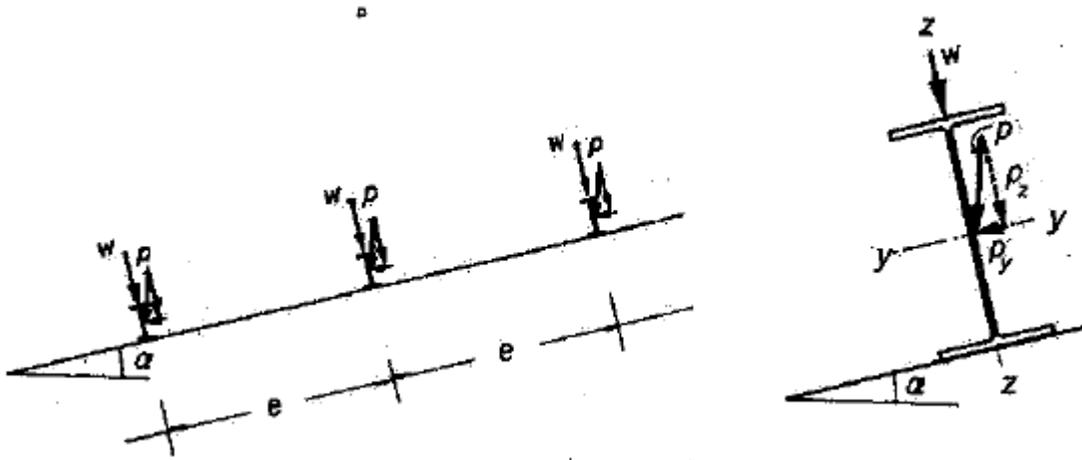
c) Pilares con el extremo superior indesplazable.



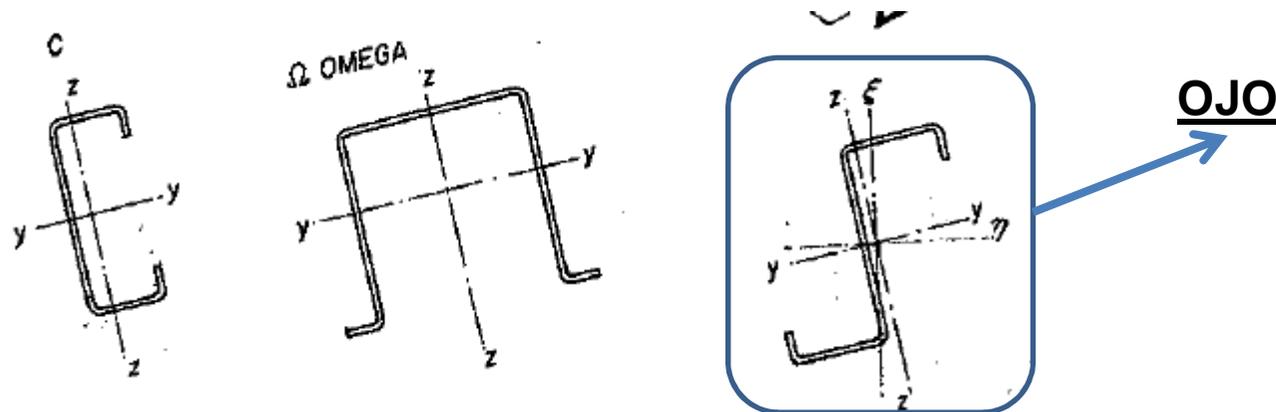
Correas

- Cálculo:
 - Se proyectan y calculan como vigas continuas cuyos apoyos coinciden con los pórticos transversales o armaduras.
 - Las cargas que deben soportar son:
 - Carga permanente: Peso propio correas y material cubierta (vertical).
 - Sobrecarga de mantenimiento (vertical). Se puede considerar uniformemente repartida o puntual (si resulta muy desfavorable).
 - Sobrecarga de nieve (vertical).
 - Efecto del viento (normal al plano del faldón).

Correas



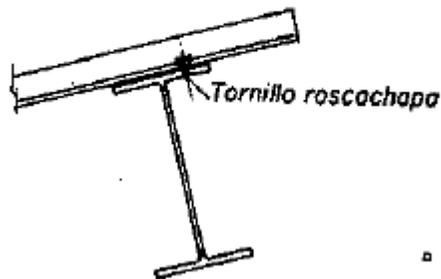
- Las cargas verticales se descomponen en los ejes vertical y horizontal de las secciones.
- En función del perfil se tiene en cuenta el límite plástico (clases 1 y 2) o elástico (clases 3 y 4).
 - Ver transparencia 29.
- La componente “y” produce flexión. Por tanto, es recomendable emplear perfiles con buena rigidez transversal.



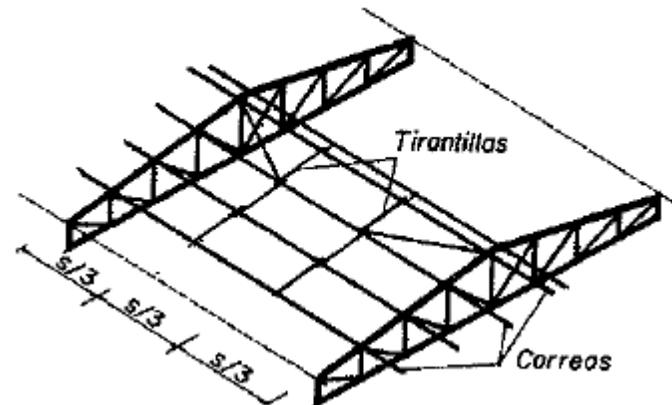
Correas

- También se recomienda:
 - En cubiertas de chapa metálica unida firmemente a las correas mediante tornillos de roscachapa, la propia chapa puede absorber directamente la componente, siempre que las uniones estén proyectadas adecuadamente para esta función.
 - Disponer de tirantillas que reduzcan la longitud del vano de la correa según el eje débil.

a) Chapa metálica y tornillos roscachapa



c) Tirantillas



Correas

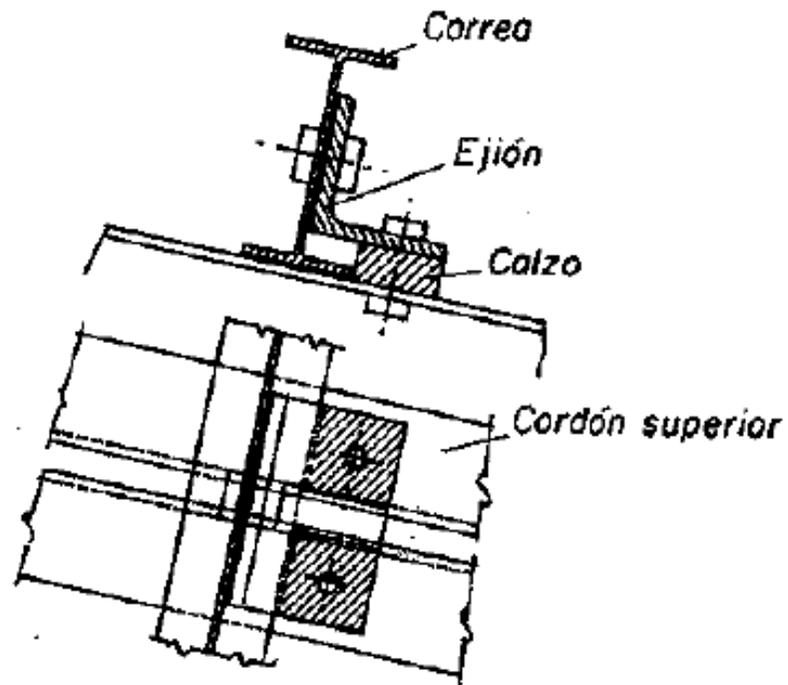


Esquema de cargas en las correas donde se han empleado tirantillas para reforzar en las cargas contenidas en el plano del faldón. Recordar que, además de garantizar la resistencia del material, también hay que tener en cuenta la flecha máxima ($L/300$).

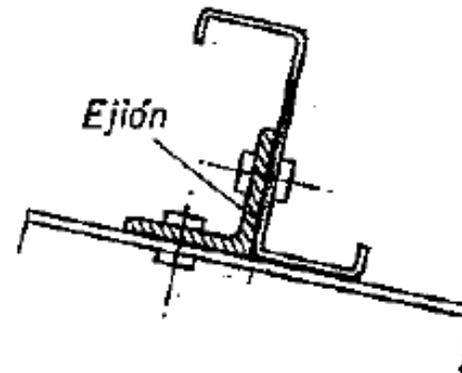
Correas

El apoyo de las correas se hace directamente sobre los cordones de las vigas de celosía o sobre los dinteles de los pórticos. En las figuras se muestra cómo se puede hacer este apoyo con vigas de perfil laminado y conformado.

a) Correa de perfil laminado



b) Correa de perfil conformado



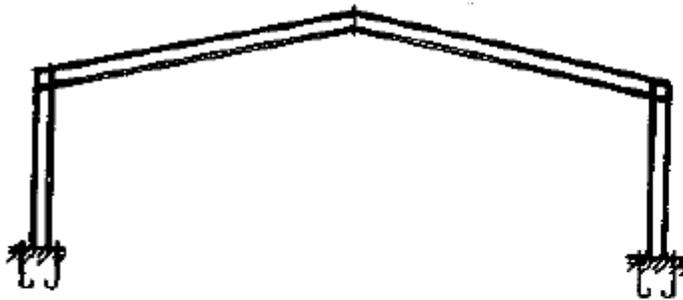
Pórticos principales

- Pórtico de alma llena y uniones rígidas
 - Tipos de pórtico. Las soluciones que suelen adoptarse son:
 - Pórtico biempotrado (sección constante donde pueden reforzarse las vigas y los pilares).
 - Pórtico biarticulado (sección constante con refuerzos o sección variable).
 - Pórtico triarticulado (sección variable con refuerzos).
 - Luces pequeñas - menos de 15 m - (sección constante).
 - Luces moderadas – hasta 25/30 m - (acartelamientos).
 - Grandes luces (barras de sección variable).

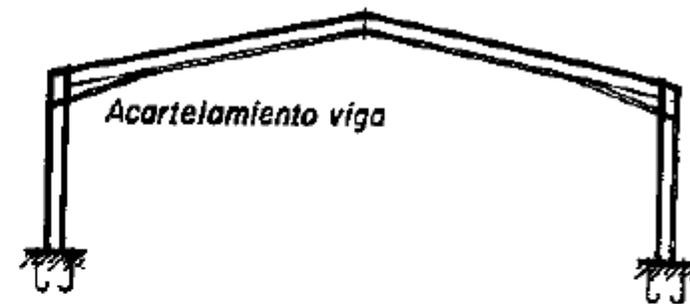
Pórticos principales

1) Pórticos biempotrados

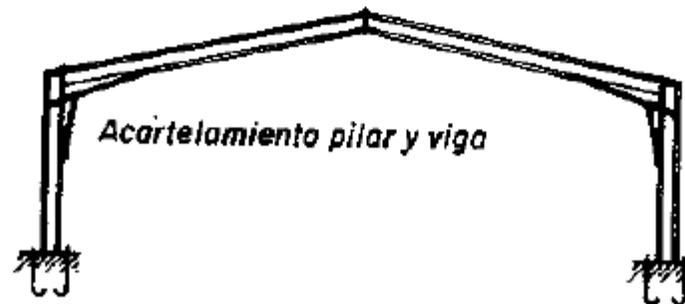
a) Sección constante



b) Sección constante con refuerzos



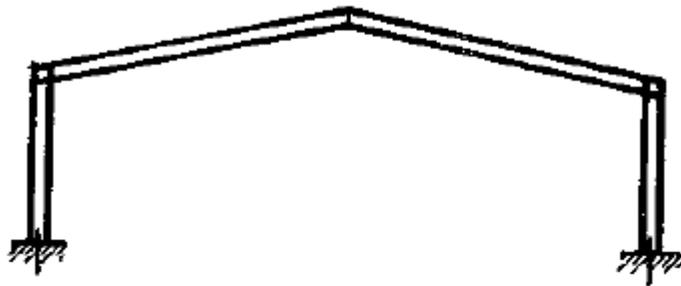
c) Sección constante con refuerzos



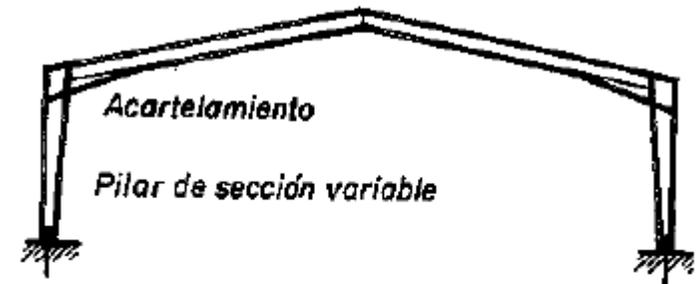
Pórticos principales

2) Pórticos biarticulados

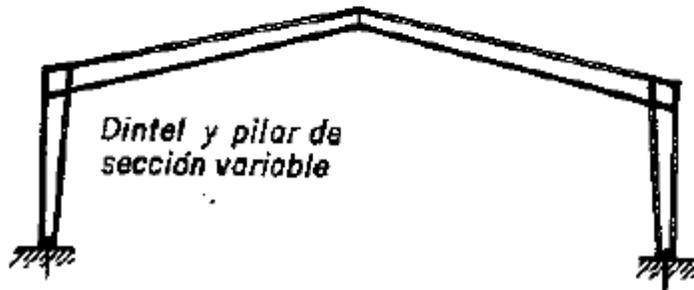
a) *Sección constante*



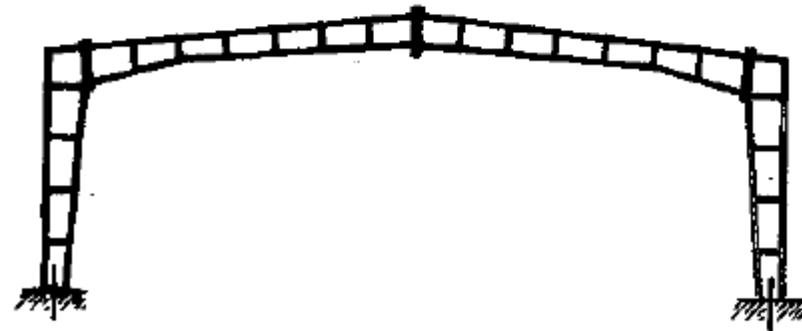
b) *Sección variable y refuerzos*



c) *Sección variable*



d) *Sección variable grandes luces*



Pórticos principales

- Cálculo
 - La restricción de desplazamiento suele ser más restrictiva, lo que evita aprovechar la propiedad de redistribución de esfuerzos del acero (modelos elastoplásticos o plásticos). Por tanto, el cálculo se hace teniendo en cuenta un modelo plástico y la teoría de segundo orden (tener en cuenta el pandeo global).
 - Respecto a la cimentación:
 - Cimentación que garantiza el empotramiento de las bases de los pilares reduce los momentos máximos y consigue una rigidez transversal mayor frente a cargas como viento, puente grúa, sismo,... Pero incrementa las solicitaciones de cimentación.
 - Una cimentación que deriva en una base de pilar articulada reduce las solicitaciones. Por el contrario, los momentos y desplazamientos son mayores en los elementos del pórtico.
 - Un pórtico triarticulado presenta los desplazamientos y momentos mayores. La ventaja que presentan es que resisten mejor las tensiones debidas a variaciones en la temperatura y a asientos diferenciales en los apoyos.

Esquema de pórticos

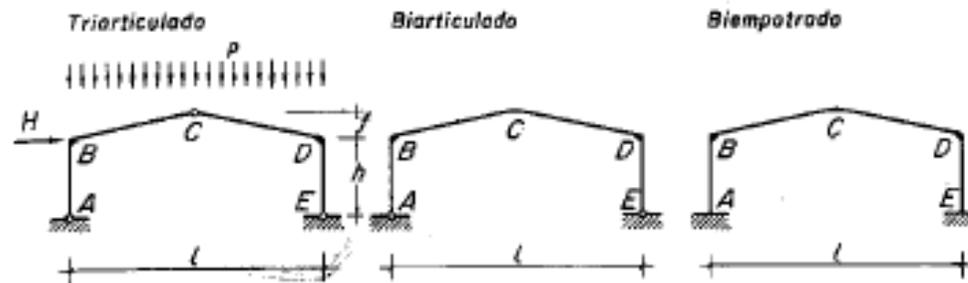


Diagrama de momentos flectores y empujes provocados por la carga "p"

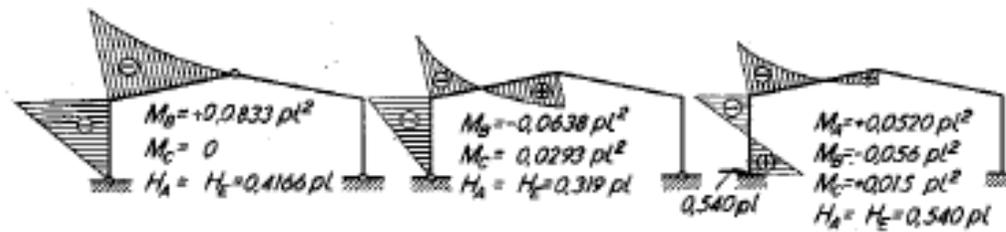


Diagrama de momentos flectores y empujes debidos a la fuerza lateral "H"

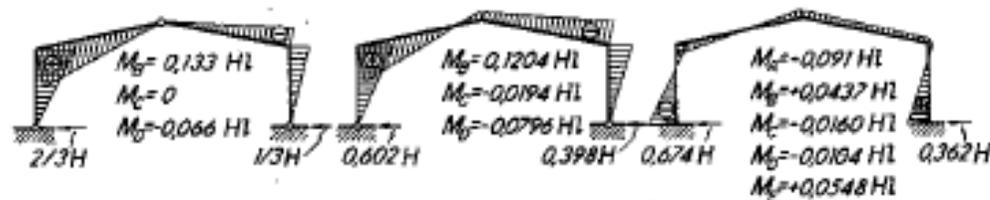
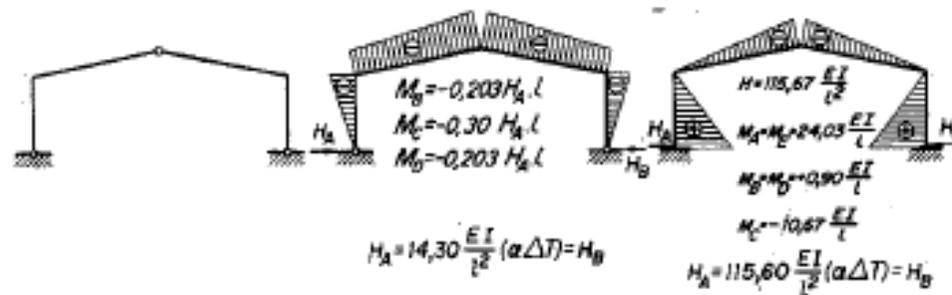


Diagrama de momentos flectores y empujes debidos a una variación de temperatura Δt



Pórticos principales

- Longitudes de pandeo (pandeo global)
 - Según normativa, la nave industrial se puede aproximar como:

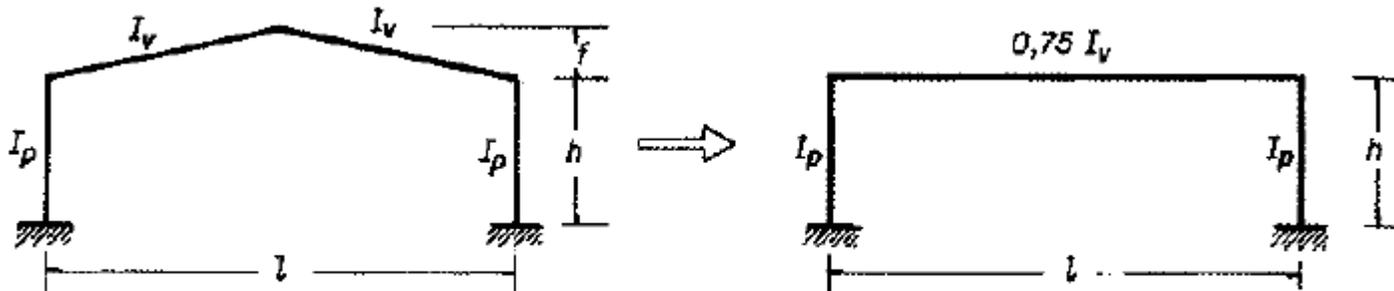
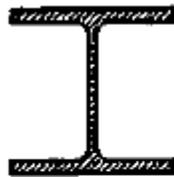


Figura 15.5.6. Naves. Pórtico virtual utilizado para estimar las longitudes de pandeo de los pilares de pórticos a dos aguas

Pórticos principales

- Disposiciones constructivas
 - Secciones de las barras
 - Pilares: Si no están lo suficientemente arriostrados (pandeo por flexión y torsión), Vigas en H o en cajón. Si lo están, se puede ir a vigas más económicas (perfiles en doble t).
 - Dinteles: Si es posible, perfiles laminados. También se pueden emplear secciones armadas (grandes luces) y excepcionalmente se pueden emplear secciones en cajón armadas.

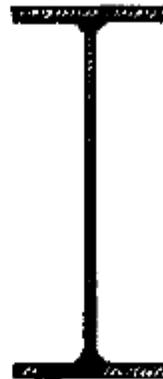
a) Perfil H



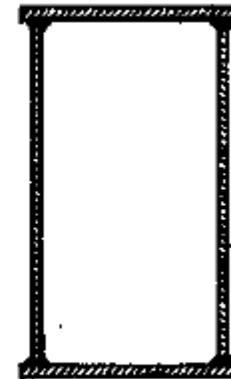
b) I PE



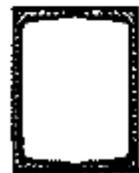
c) Sección armada en I



d) Sección en cajón armada



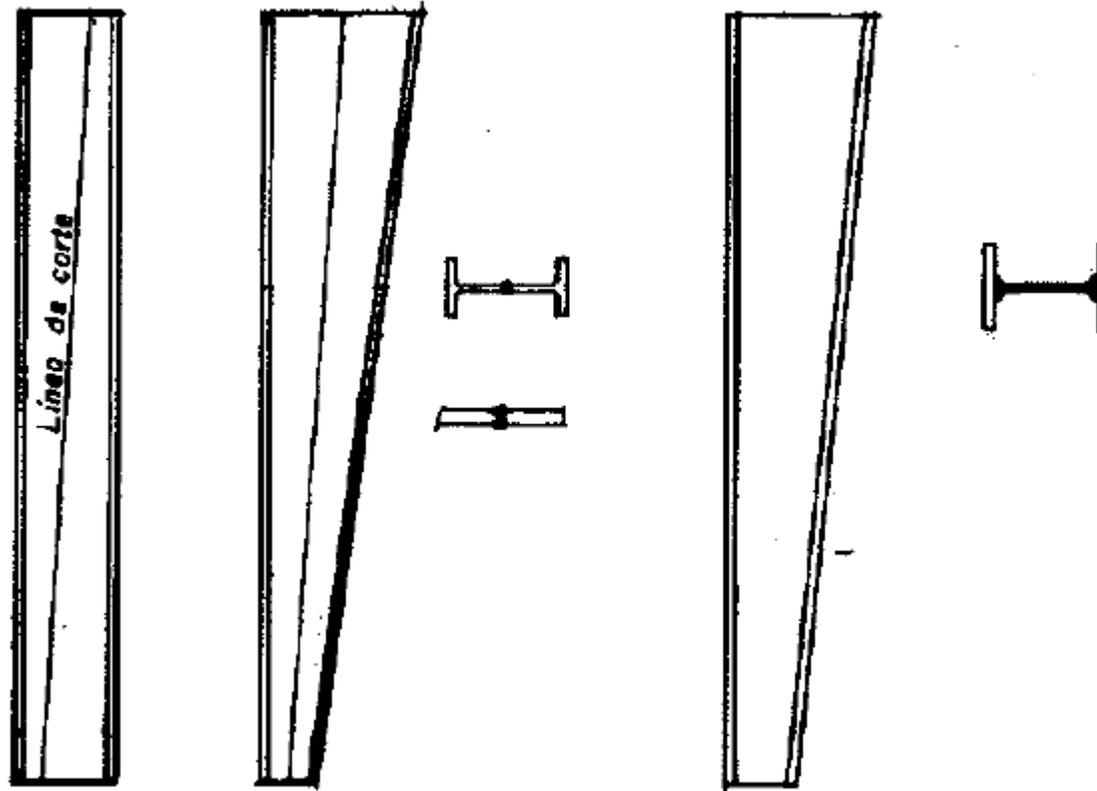
e) Cajón de EJ



Pórticos principales

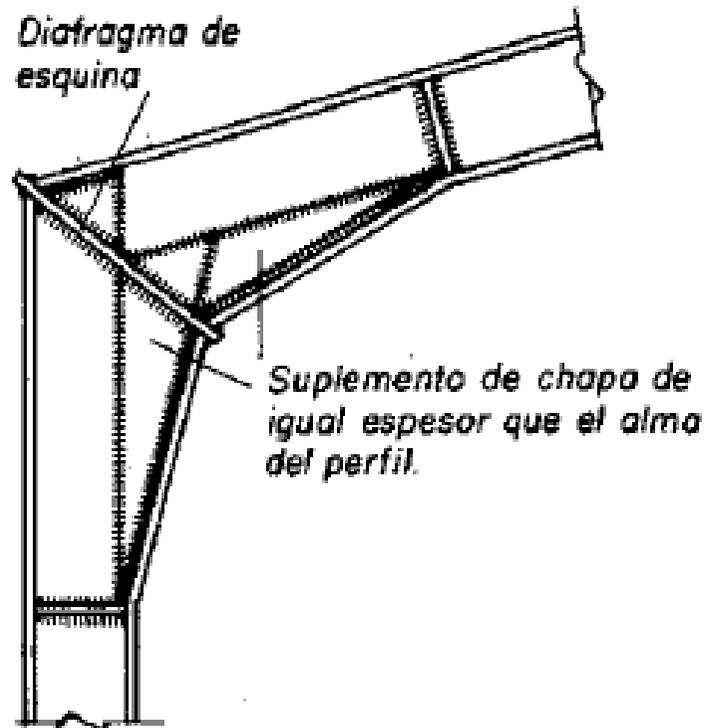
- Disposiciones constructivas
 - Secciones variables. Se fabrican en taller como se indica en la figura.

Importante la relación de altura entre cantos



Pórticos principales

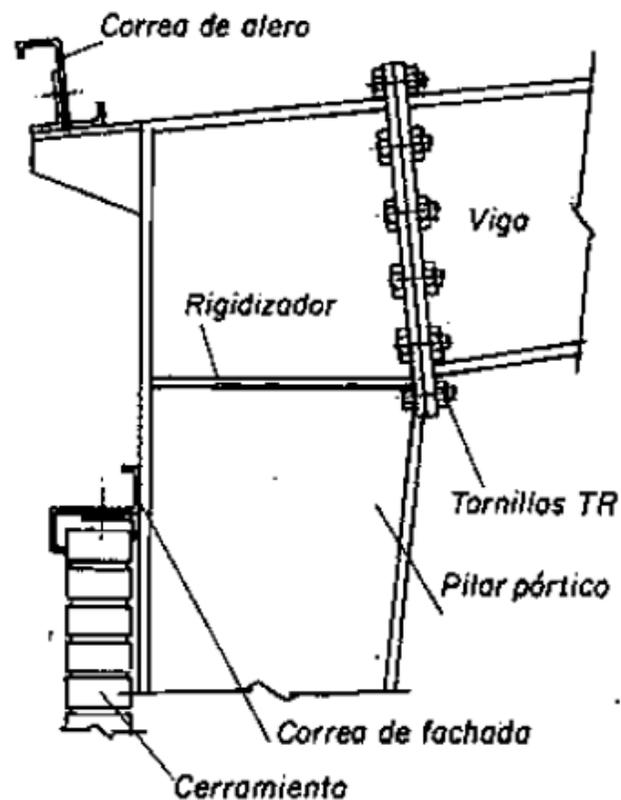
- Disposiciones constructivas:
 - Refuerzos.



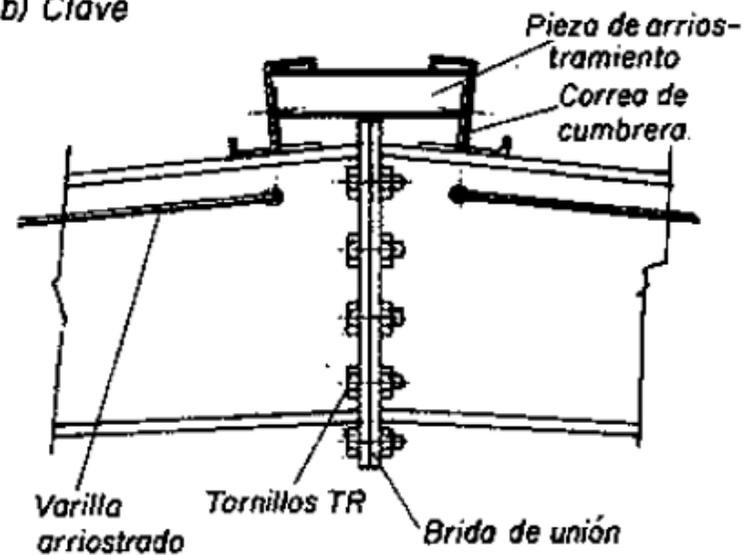
Pórticos principales

- Disposiciones constructivas:
 - Uniones y empalmes.

a) Nudo de esquina

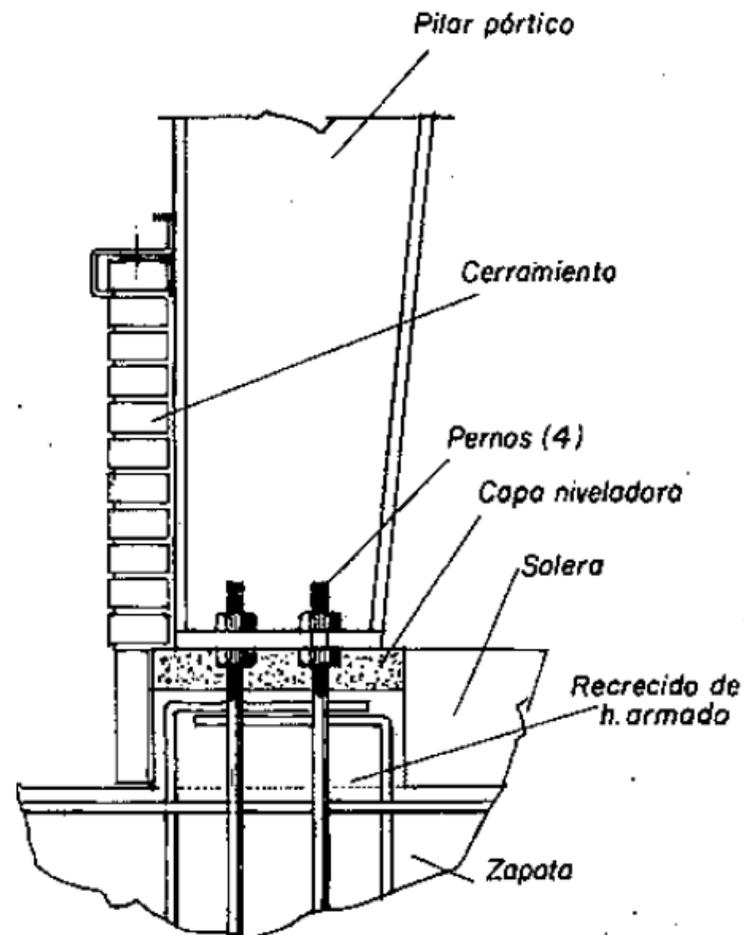


b) Clave



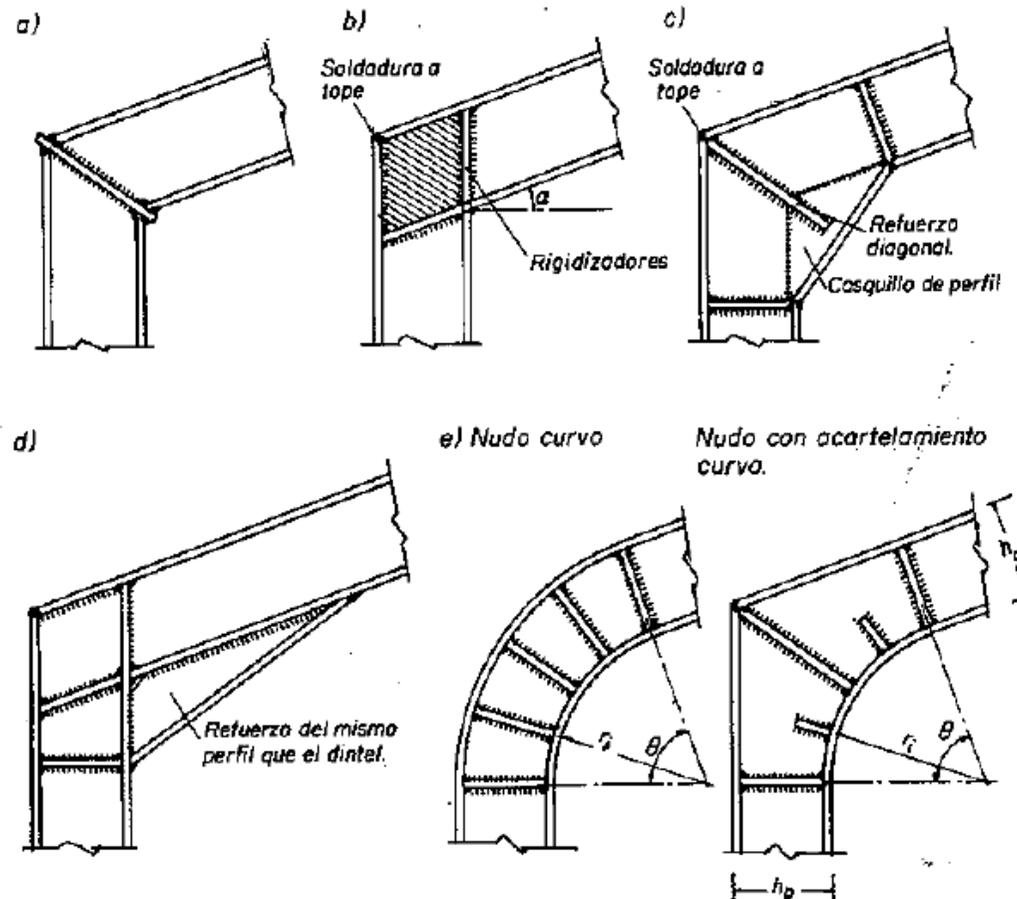
Pórticos principales

- Disposiciones constructivas:
 - Basas.



Pórticos principales

- Disposiciones constructivas:
 - Nudos de esquina.



Pórticos principales

- Disposiciones constructivas:
 - Clave.

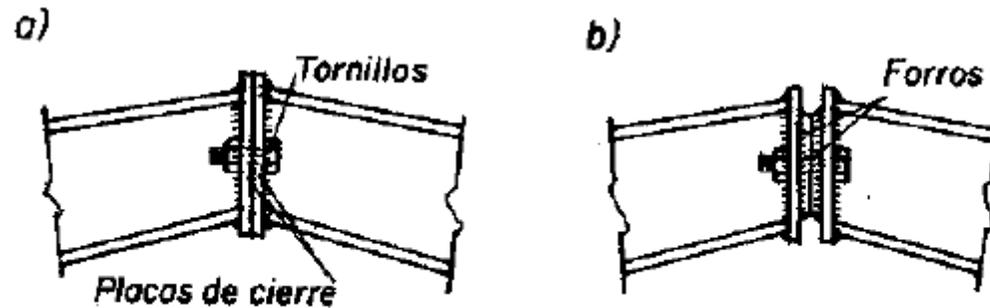


Figura 15.5.13. Naves. Nudos de cumbrera articulados

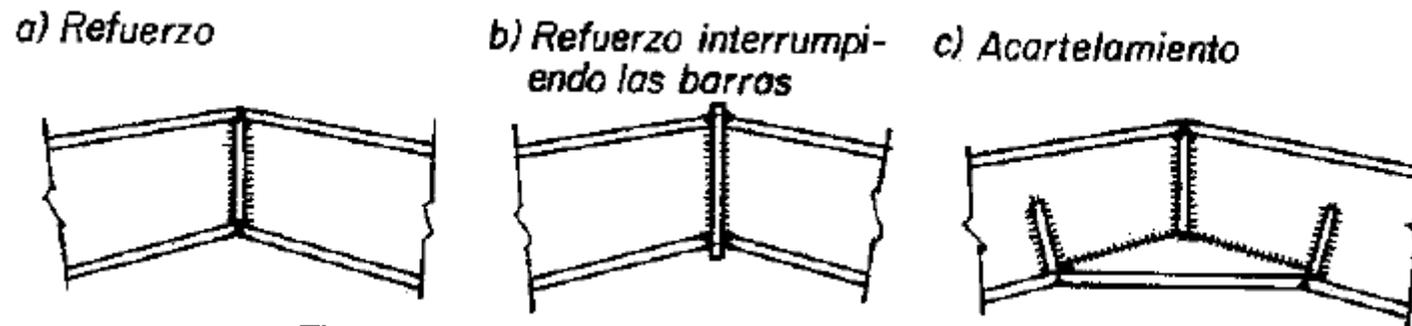
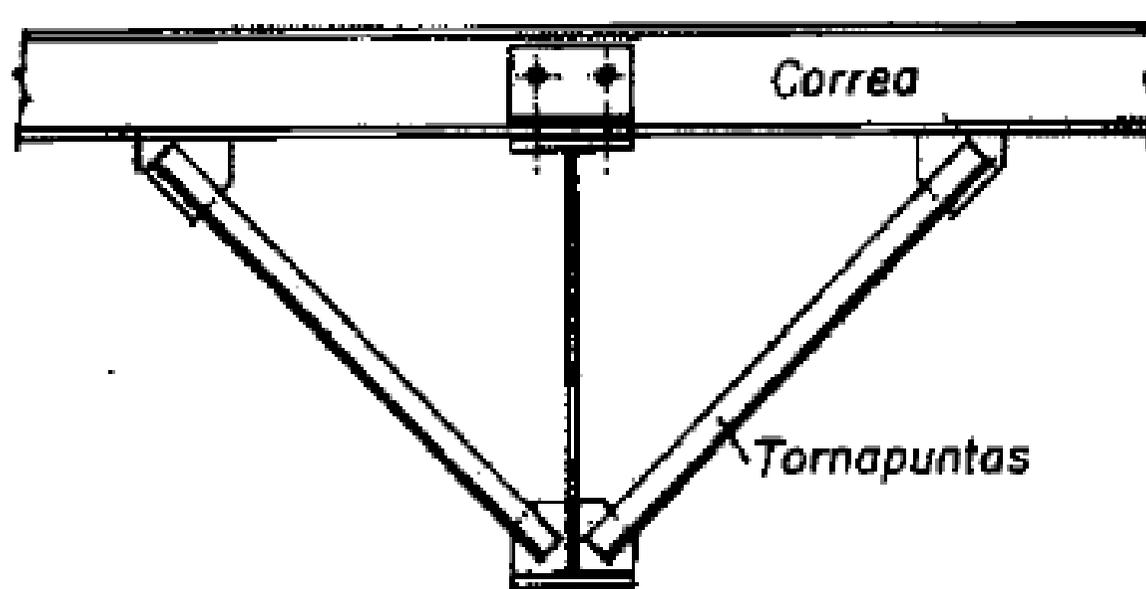


Figura 15.5.14. Naves. Nudos de cumbrera soldados

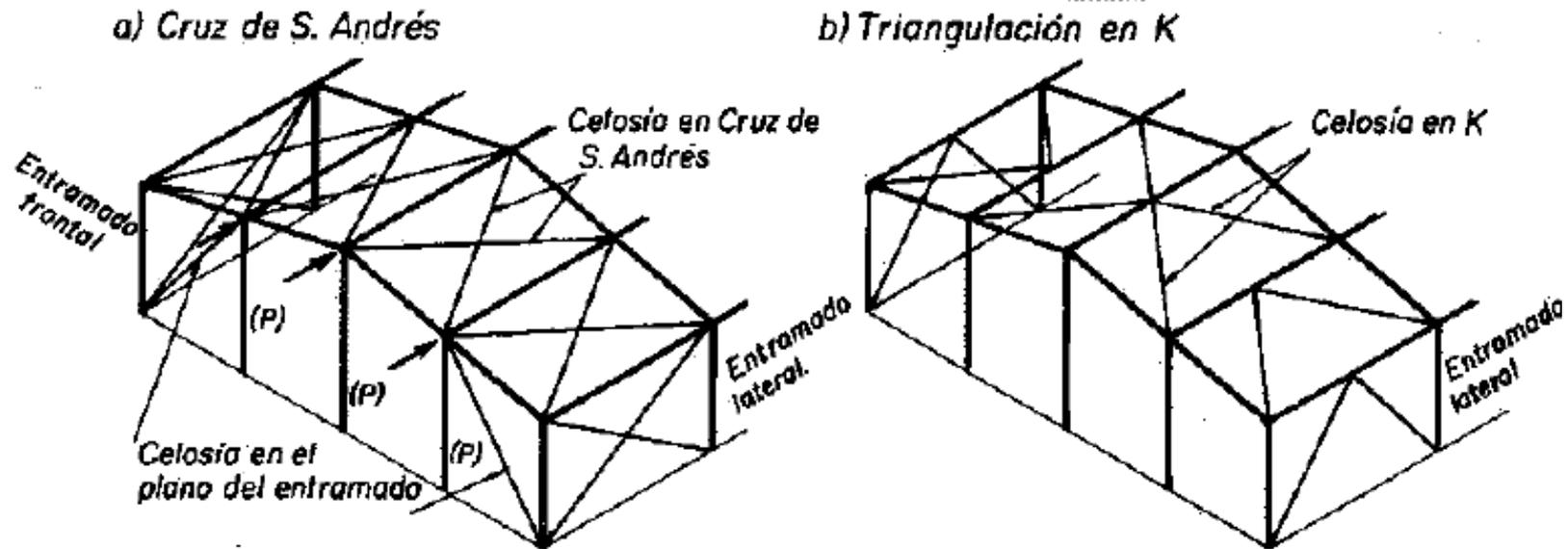
Pórticos principales

- Disposiciones constructivas:
 - Arriostramiento del ala inferior del dintel:



Vigas contraviento y entramados

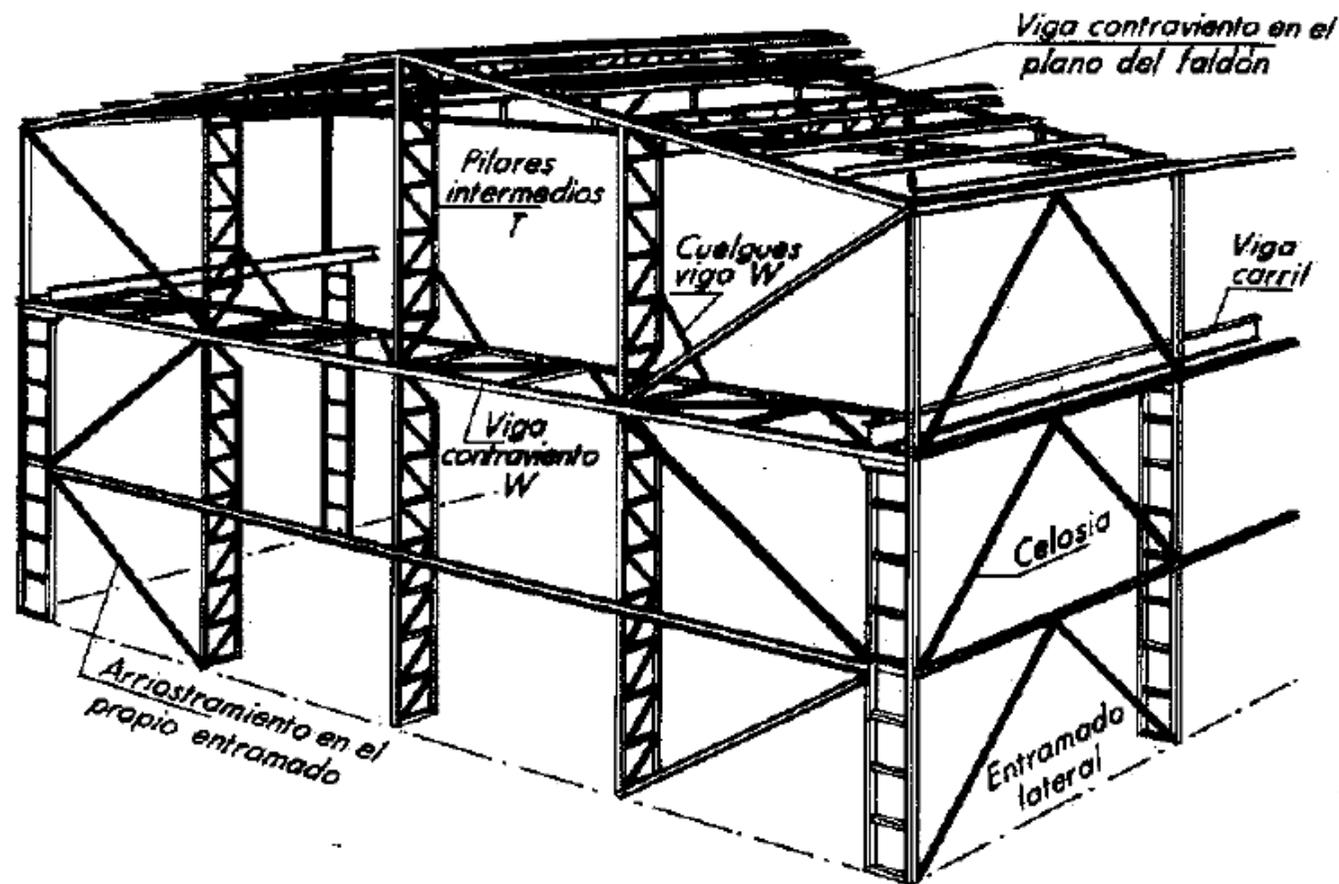
- Entramados frontales
 - Viga contraviento acompañada de los entramados laterales: Sistema estable para resistir las cargas longitudinales e impedir los desplazamientos, también longitudinales, de la nave, inmovilizando además en las secciones arriostradas las cabezas de las vigas o los cordones superiores de las celosías de los pórticos.



Pared hastial formada por los pilares intermedios

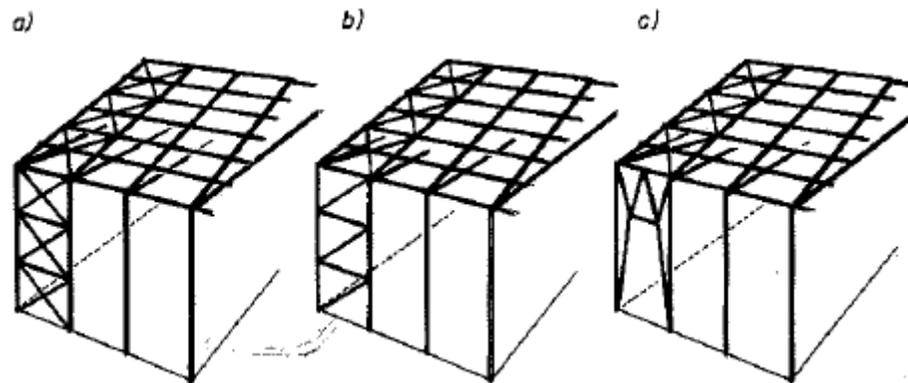
Vigas contraviento y entramados

Pared hastial con altura considerable. También facilita la instalación de la viga carril en el caso de que hay puente grúa.

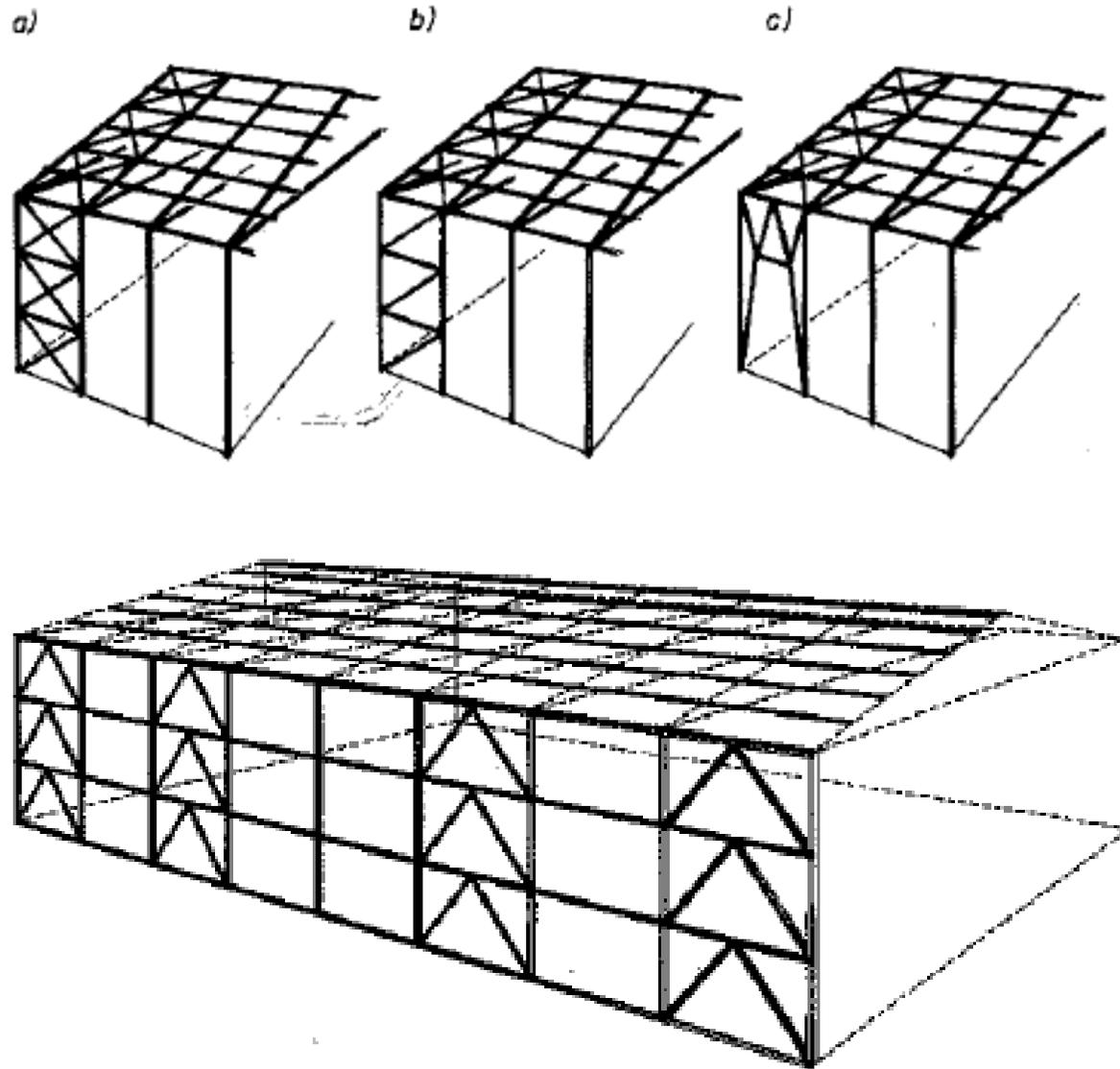


Vigas contraviento y entramados

- Entramados laterales
 - Las acciones del viento sobre los muros frontales y las fuerzas de frenado longitudinal del puente grúa deben ser absorbidas por las paredes laterales.
 - Son recomendables cuando el cerramiento a emplear es ligero o bien la fábrica de cierre no es capaz de resistir las sollicitaciones antes mencionadas.
 - Se suelen poner dos vanos arriostrados (extremos). Si la nave es muy larga, se emplean también vanos intermedios.



Vigas contraviento y entramados



Vigas contraviento y entramados

- Cargas horizontales que deben resistir las vigas contraviento:
 - Viento transversal y longitudinal sobre los pilares de los entramados hastiales.
 - Imperfecciones en la construcción de la estructura.

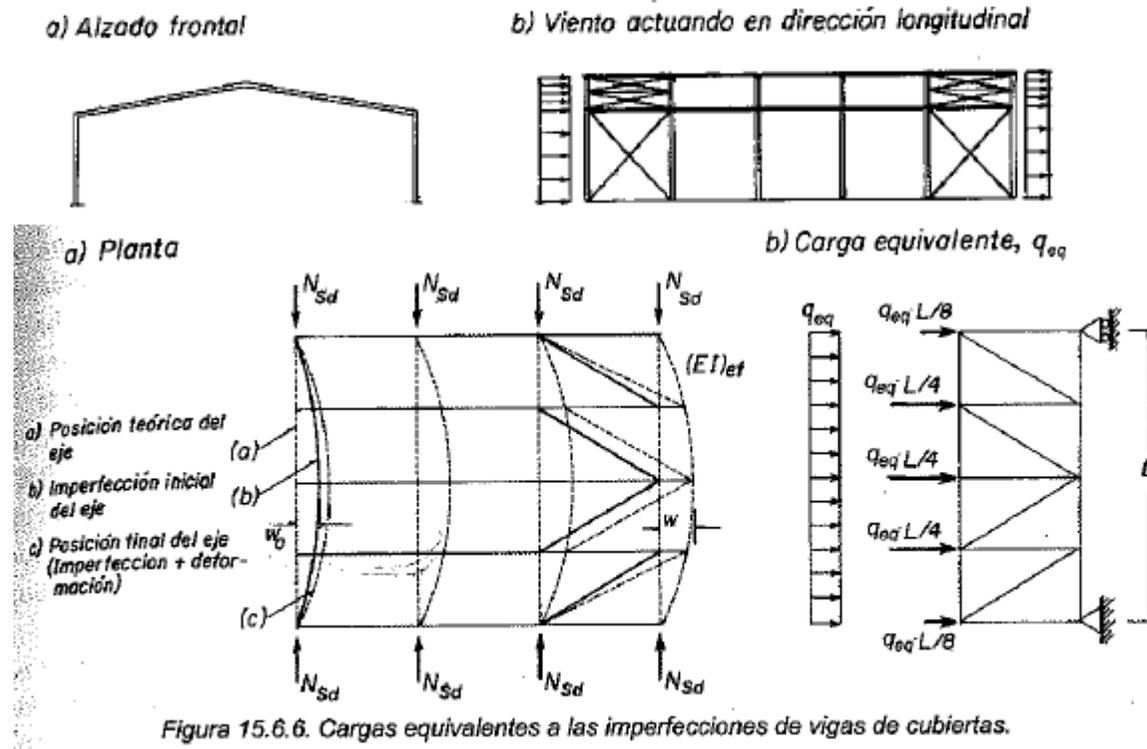
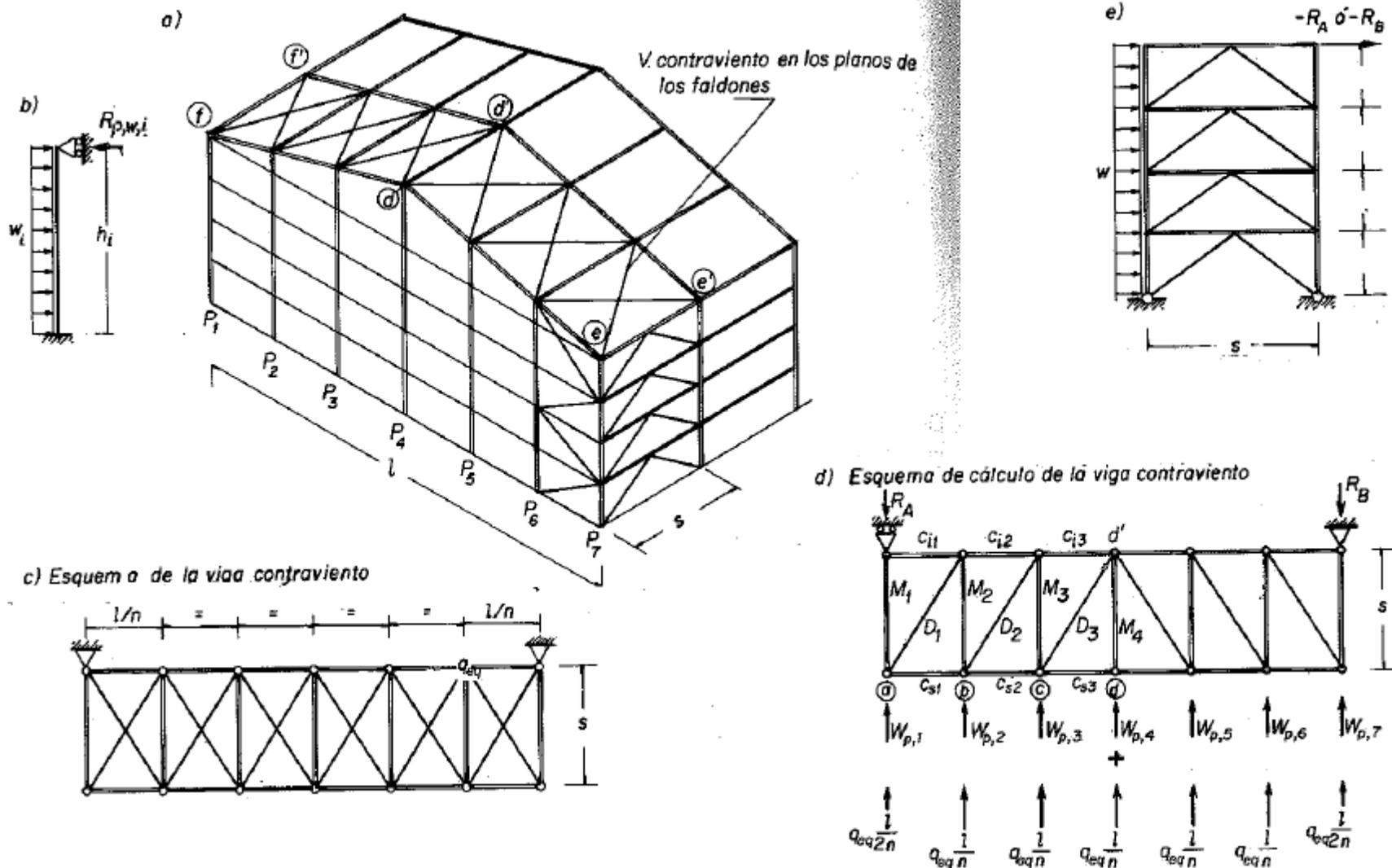


Figura 15.6.6. Cargas equivalentes a las imperfecciones de vigas de cubiertas.

Vigas contraviento y entramados

- Solicitaciones que reciben las barras de los entramados frontales y laterales:
 - Descomponer la estructura espacial en modelos sencillos en el plano-
 - Carga de viento del pilar del entramado hastial (columna empotrada-apoyada)
 - Si la triangulación es por cruz de San Andrés, se puede asimilar a una estructura articulada tipo Pratt.
 - Los entramados laterales se calculan también como sistemas en celosía.

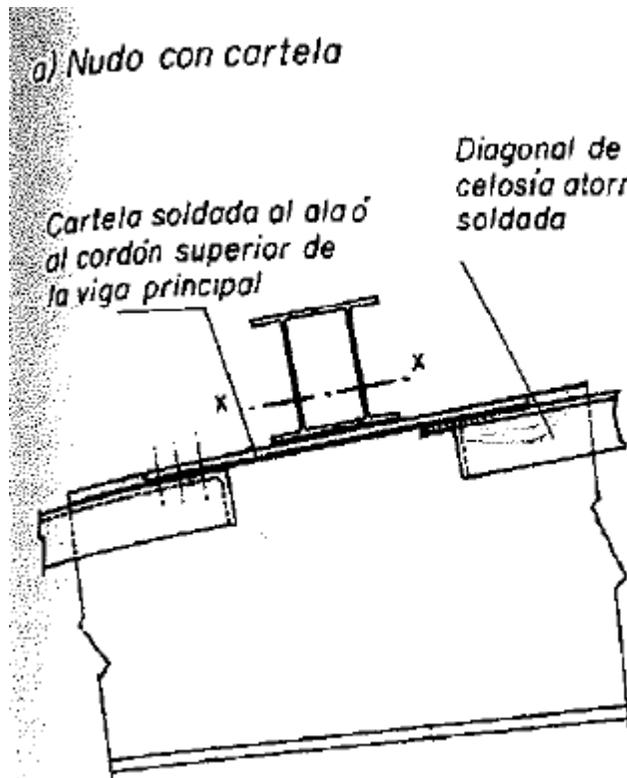
Vigas contraviento y entramados



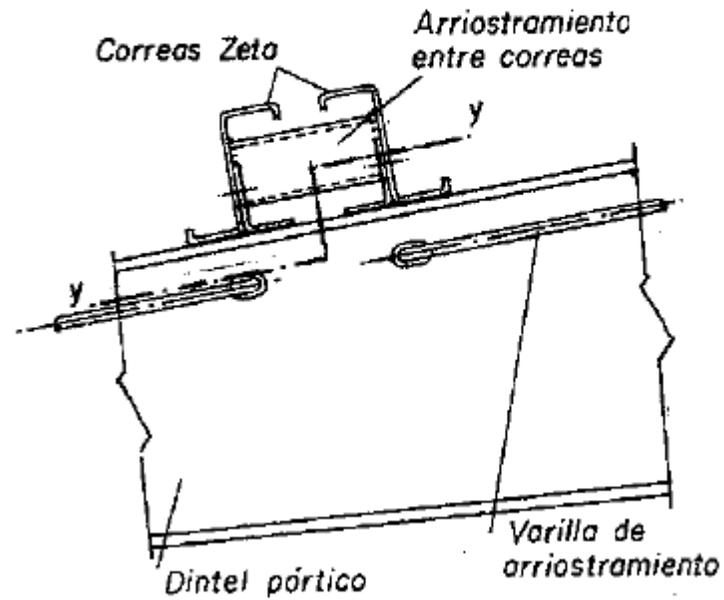
Vigas contraviento y entramados

- Disposiciones constructivas:
 - Para las diagonales de la celosía en cruz de San Andrés se utilizan varillas tensadas de redondo de 16 a 25 mm diámetros o ángulos de 45,5 o superiores. Cualquier modelo, puede cambiar el sentido generado de solicitaciones (compresión y tracción), requiere de sección preferentemente en cajón o perfiles en doble T o de ala ancha.
 - Si se produce compresión se recomienda reforzar adosando otro perfil o substituir el perfil IPE por otro de ala ancha de igual altura
 - Los nudos de unión de los montantes, diagonales y cordones se forman soldando una cartela al cordón de la celosía o al ala superior de la viga de alma llena atornillando o soldando las diagonales de la celosía. El plano de arriostamiento se sitúa por debajo de las alas de las correas.
 - Los pilares intermedios son de doble T si están los suficientemente arriostrados por la pared o las correas de fachada.
 - Para las triangulaciones de los entramados hastiales se recomienda las disposiciones constructivas de los sistemas de celosía.

Vigas contraviento y entramados

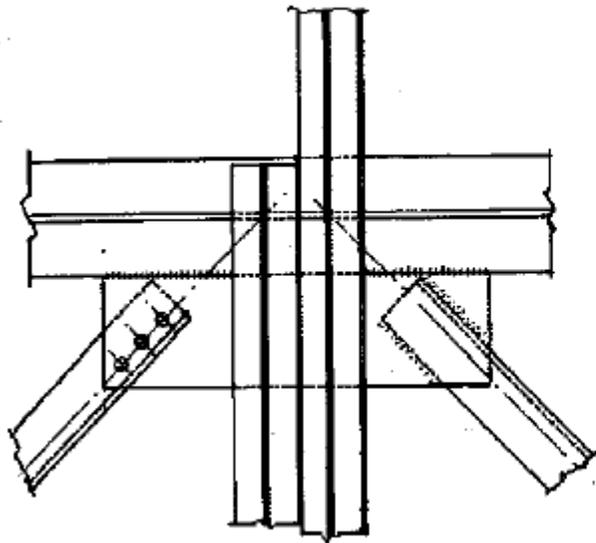


b) Nudo sin cartela



Vigas contraviento y entramados

Planta por x-x



Planta por y-y

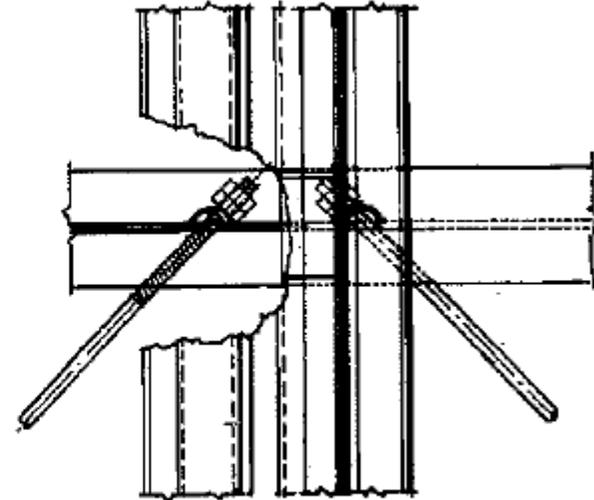
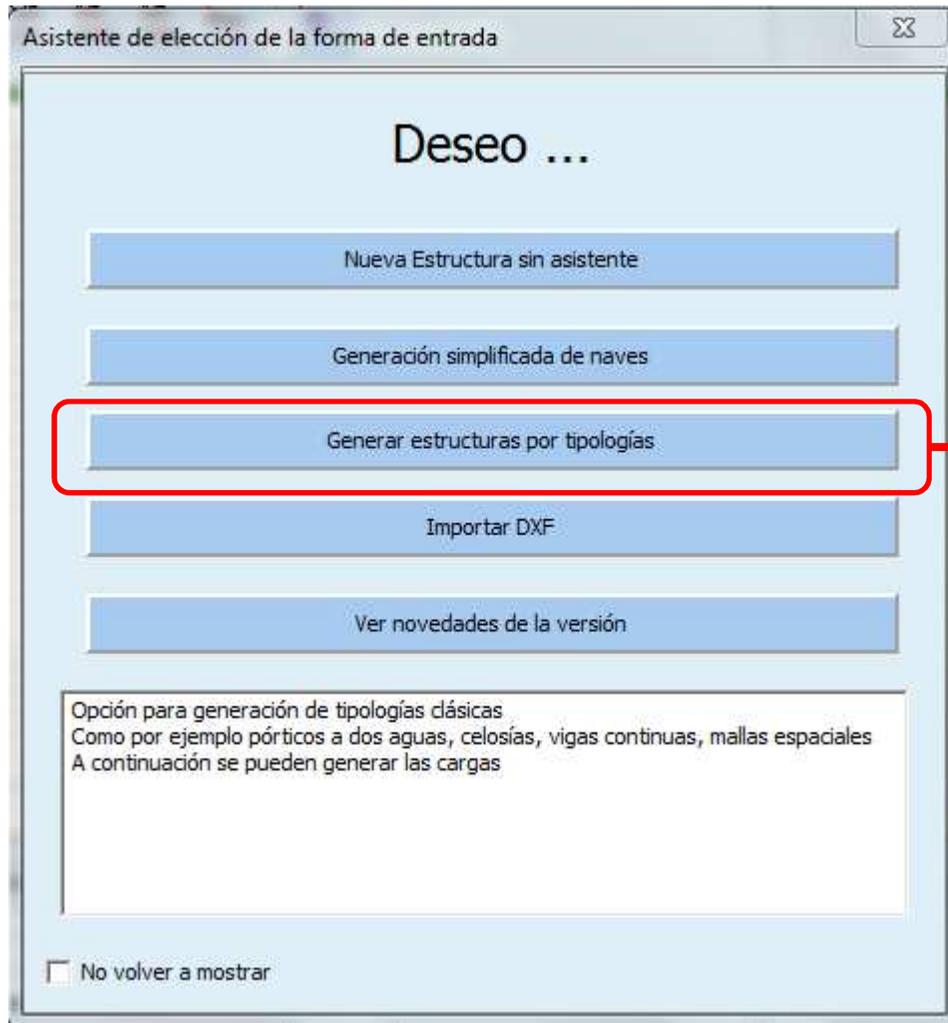


Figura 15.6.11 Nudo de viga contraviento

Introducción al programa METALPLA



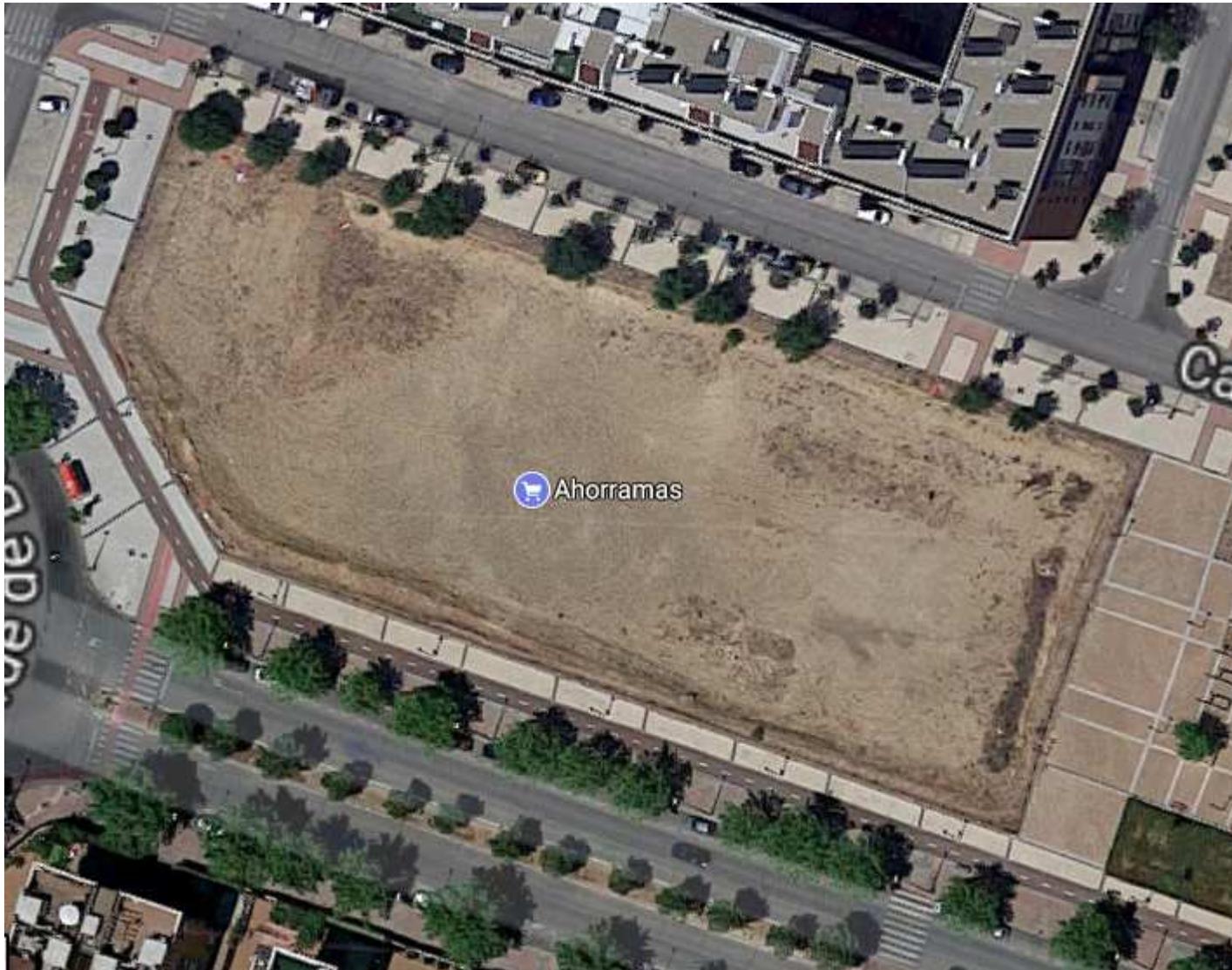
Opción para generación de tipologías clásicas

Como por ejemplo pórticos a dos aguas, celosías, vigas continuas, mallas espaciales

A continuación se pueden generar las cargas

* Recomendable empezar por aquí para configurar las hipótesis de carga. Desde un ejemplo generado se pueden saber los valores de viento, nieve,...

Nave AHORRAMÁS

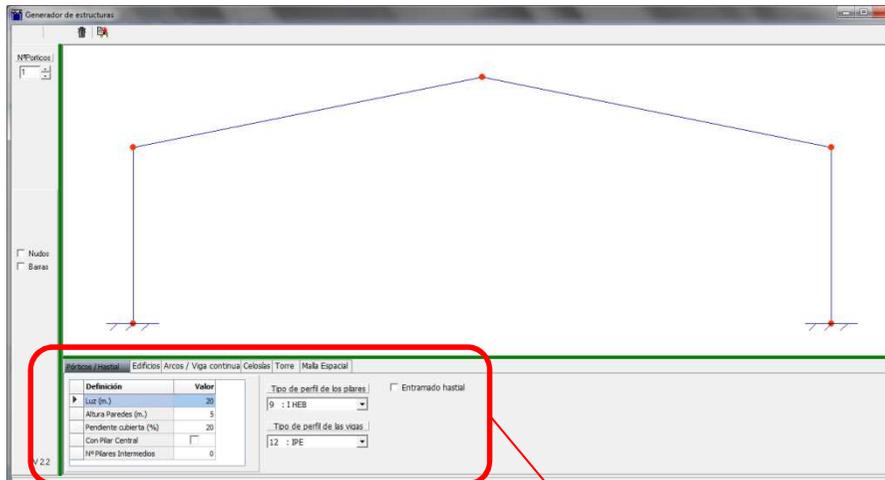






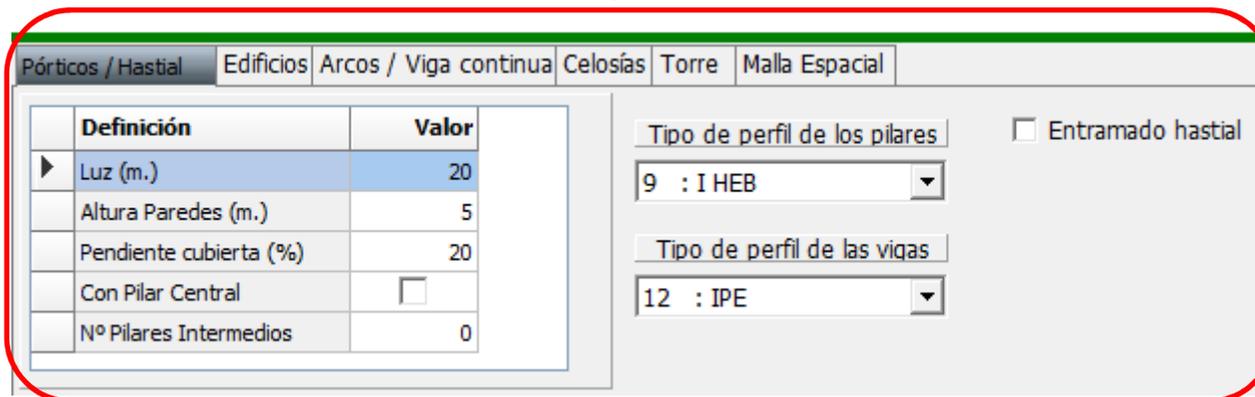


Introducción al programa METALPLA



Número de pórticos en la dirección del eje X

Las secciones de pilares y vigas tienen que ser coherentes con las recomendaciones teóricas.



Se puede generar un pórtico con pilares intermedios (útil para el pórtico principal). También se pueden generar el entramado hastial.

Introducción al programa METALPLA

Estos datos son útiles para dimensionar las correas de una nave estandar

Acciones Climáticas

Longitud total (m.)
40

Luz del vano (m.)
5

Pendiente faldón (%):
20

Altura (m.):
5

Luz (m.):
20

Generar Datos Geometría

Generar hipótesis y combinaciones

Nieve
Zona: Zona 1 ?
Altitud (m.): 660

Viento
Aspereza: Grado IV ?
Velocidad: Zona A ?

Huecos en la edificación
 Sin Huecos Con huecos (Valores máximos)
 Con huecos

Siguiente Cancelar

Ayuda a configurar las acciones climáticas en función de la zona donde estará ubicada nuestra nave

Introducción al programa METALPLA

Estos datos son útiles para dimensionar las correas

The screenshot displays the 'Acciones Climáticas' software interface. At the top, a 3D model of a roof structure is shown with various dimensions and labels: 'Longitud total (m.)' is 40, 'Luz del vano (m.)' is 5, 'Altura (m.)' is 5, 'Luz (m.)' is 20, and 'Pendiente faldón (%)' is 20. The roof is supported by columns labeled F, G, H, I, and J. Below the model, there are several input fields and buttons:

- Generar Datos Geometría** (button)
- Generar hipótesis y combinaciones** (checkbox, checked)
- Datos Correas** section:
 - Material: Acero S-275
 - Flecha Total 1/: 300
 - Tipo sección: IPE
 - Flecha Activa 1/: 300
- Otros datos para generar cargas** section:
 - Peso mat. cubierta: 0,15 kN/m²
 - Nº Vanos: 10
 - Posición pórtico: Tipo
- Buttons: Anterior, Cancelar, Aceptar

Introducción al programa METALPLA

Datos de la Nave



Autodimensionado de las correas.

Cargas		Datos de Construcción		Resultado
Peso Material (kN/m ² /Cub)	0,150	Material Correa	Acero S-275	Tamaño <input type="button" value="..."/>
(* Peso Mantenimiento	0,4	Tabla correa ó b x h (mm)	12 - IPE	I. Resistencia
(* Peso Nieve (kN/m ² /ph)	0,960	Separación correas (cm.)	100	I. Fl. Total
Viento.Mayor Presión (kN/m ² /Cub)	0,088	Posición (Vertical/Normal)	Normal	I. Fl. Activa
Viento.Mayor succión (kN/m ² /Cub)	-0,469	Número de Tirantillas / Puntales	Sujeta	
Carga puntual mantenimiento (kN)	1,000			

*: Estos valores nominales se modifican internamente en función de la pendiente del faldón

Imprimir pantalla Cancelar Generar cargas

Introducción al programa METALPLA

General

Proyecto

Título

Fecha 24/10/2015

Material

Tipo de estructura

Plano (2D) Espacial (3D)

Cálculo Primer Orden

El programa incluye el peso propio de la estructura SI

Notas

- Realizar análisis de primer y segundo orden. Ver diferencias.
- Tener en cuenta el peso de la estructura
- Se puede configurar el cálculo a fuego (justificar cuando Héctor aborde el tema)
- No consideramos el cálculo a sismo por la zona donde se ubica la nave.

General Nudos Barras Hipótesis de carga Cargas Nudos Cargas Barras Combinaciones Zapatas V. Cálculo Precios Desplazamiento nudos Viga Carril

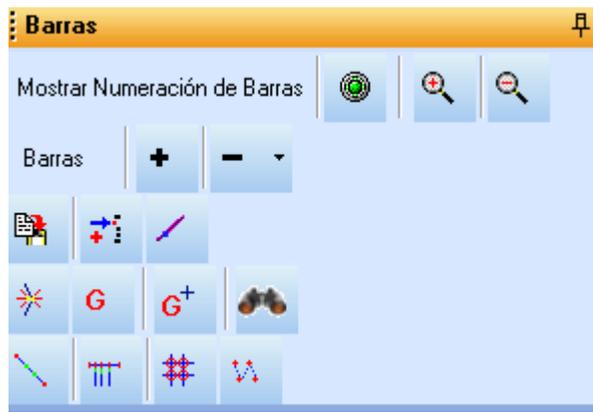
Cálculo a fuego

Situación normal Situación de incendio

Sismo

Cálculo a sismo ?

Introducción al programa METALPLA



De momento:

- Añadir barras para conectar los nuevos nudos
- Especificar refuerzos o sección variable
- En el caso de sección variable indicar B. Sec. Variable
- Opcional: Vuelco, Pandeo,...
- Fuego: Esperar al tema correspondiente

General	Nudos	Barras	Hipótesis de carga	Cargas Nudos	Cargas Barras	Combinaciones	Zapatas	V. Cálculo	Precios	Desplaza
Barra	Menor	Mayor	Anula	Enlace extremos	Clase	Autodim(...)	T.S.	Tamaño	Modelo:	Grupo
8	8	9	<input type="checkbox"/>	Sin enlaces ...	Viga	<input type="checkbox"/>	12 - IPE	80	Sección	2
9	9	10	<input type="checkbox"/>	Sin enlaces ...	Viga	<input type="checkbox"/>	12 - IPE	80	Sección	2
10	11	13	<input type="checkbox"/>	Sin enlaces ...	Pilar	<input type="checkbox"/>	9 - I	100	Sección	1
11	12	17	<input type="checkbox"/>	Sin enlaces ...	Pilar	<input type="checkbox"/>	9 - I	100	Sección	1

General	Nudos	Barras	Hipótesis de carga	Cargas Nudos	Cargas Barras	Combinaciones	Zapatas	V. Cálculo	Precios	Desplazamiento nudos	Viga Carril	Correas	Sismo			
Barra	Bz (Coef. Pandeo β)	By (Coef. Pandeo β)	Flecha - Integridad (1/)	Flecha - Confort (1/)	Flecha	Contraflech	S.Perf	Ref.Menor	Ref.Mayor	B.Sec.Varia	Presillas	Material	Beta	Long. Ef. Vuelco (m)	Fuego	Coef. C1
8	0	0	0	0	250	0	0	0x0x0 ...	0x0x0 ...	1	0x0x0-0 ...	Material	0	0	No	1
9	0	0	0	0	250	0	0	0x0x0 ...	0x0x0 ...	1	0x0x0-0 ...	Material	0	0	No	1
10	1	1	0	0	0	0	0	0x0x0 ...	0x0x0 ...	1	0x0x0-0 ...	Material	0	0	No	1
11	1	1	0	0	0	0	0	0x0x0 ...	0x0x0 ...	1	0x0x0-0 ...	Material	0	0	No	1

Introducción al programa METALPLA



No lo vamos a emplear de momento

General							
General	Nudos	Barras	Hipótesis de carga	Cargas Nudos	Cargas Barras	Combinaciones	Zapatas
Nudo	Hipótesis	Comp.X	Comp.Y	Comp.Z (kN)	MX (kNm)	MY (kNm)	MZ (kNm)

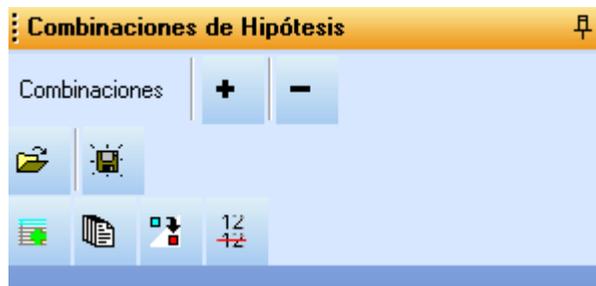
Introducción al programa METALPLA



Si añadimos más barras tenemos que poner las mismas cargas en función del tipo de elemento (entramado, pilar o viga).

General	Nudos	Barras	Hipótesis de carga	Cargas Nudos	Cargas Barras	Combinaciones	Zapatas	V. Cálculo	Precios	Desplazamiento nudos	Viga Carril
Barra	...	Hipótesis	Ejes	Tipo	Comp.X (kN)	Comp.Y (kN)	Comp.Z (kN)	Distancia	L.Ap. (m) ó %		
6	...	1	Ejes Generales	Carga Uniforme	0	-0,838	0	0	0		
7	...	1	Ejes Generales	Carga Uniforme	0	-0,838	0	0	0		
8	...	1	Ejes Generales	Carga Uniforme	0	-0,838	0	0	0		
9	...	1	Ejes Generales	Carga Uniforme	0	-0,838	0	0	0		
6	...	2	Ejes Generales	Carga Uniforme	0	-2,191	0	0	0		
7	...	2	Ejes Generales	Carga Uniforme	0	-2,191	0	0	0		
8	...	2	Ejes Generales	Carga Uniforme	0	-2,191	0	0	0		
9	...	2	Ejes Generales	Carga Uniforme	0	-2,191	0	0	0		
6	...	3	Ejes Generales	Carga Uniforme	0	-3,067	0	0	0		
7	...	3	Ejes Generales	Carga Uniforme	0	-3,067	0	0	0		
8	...	3	Ejes Generales	Carga Uniforme	0	-3,067	0	0	0		

Introducción al programa METALPLA



Las combinaciones las genera automáticamente el programa.

General	Nudos	Barras	Hipótesis de carga	Cargas Nudos	Cargas Barras	Combinaciones	Zapatas	V. Cálculo	Preci
	Combinación	Permanente	Mantenimien	Nieve	Viento	Viento	Viento	Pandeo	Dinámico
	1	1,35	0	0	0	0	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	2	1,35	1,5	0	0	0	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	3	1,35	0	1,5	0	0	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	4	1,35	0	0	1,5	0	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	5	1,35	0	0	0	1,5	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	6	1,35	0	1,5	0,9	0	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	7	1,35	0	1,5	0	0,9	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	8	1,35	0	1,5	0	0	0,9	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	9	1,35	0	0,75	1,5	0	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	10	1,35	0	0,75	0	1,5	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	11	1,35	0	0,75	0	0	1,5	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	12	0,8	0	0	1,5	0	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	13	0,8	0	0	0	1,5	0	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

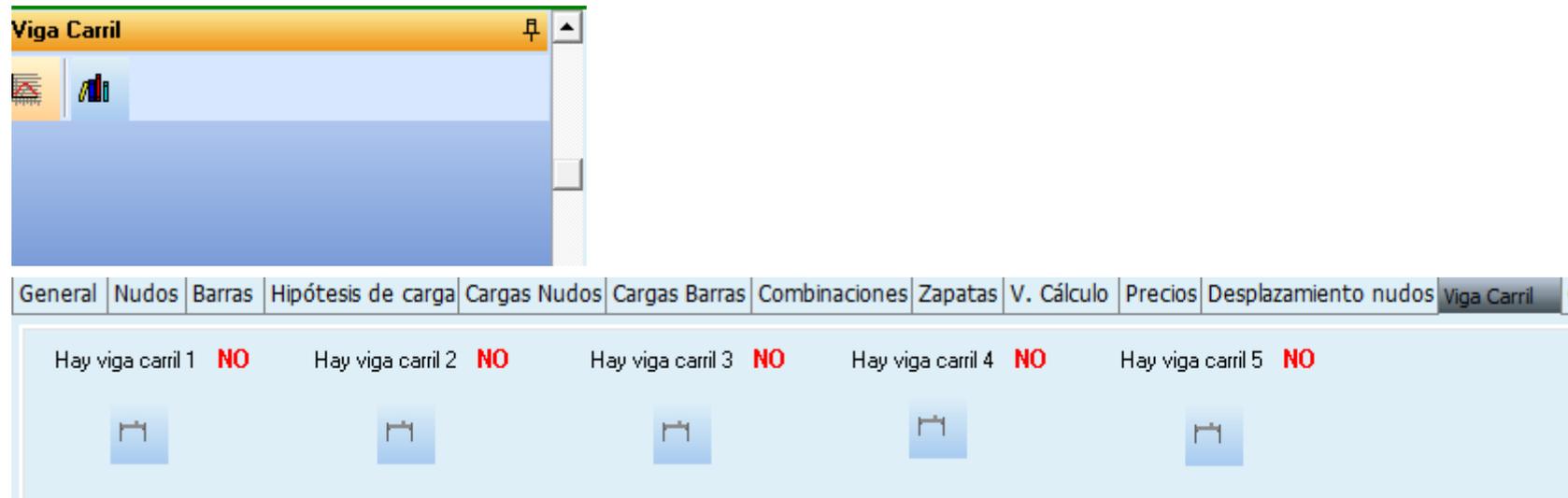
Introducción al programa METALPLA



Las correas también las podemos calcular aquí.

General	Nudos	Barras	Hipótesis de carga	Cargas Nudos	Cargas Barras	Combinaciones	Zapatas	V. Cálculo	Precios	Desplazamiento nudos	Viga Carril	Correas
Flecha Total 1/	<input type="text" value="300"/>		Longitud Total Nave (m.)	<input type="text" value="40"/>		Altitud topográfica (m)	<input type="text" value="660"/>					
Flecha Activa 1/	<input type="text" value="300"/>		Luz vano correa (m.)	<input type="text" value="5"/>		Pend. faldón (%)	<input type="text" value="17,63"/>	<input type="button" value="?"/>				
			Nº Vanos continuos	<input type="text" value="3"/>								

Introducción al programa METALPLA



También se puede incluir puente grúa

Introducción al programa METALPLA

Viga Carril

Luz del Puente: 10,00

Separación entre pórticos: 10,00

Porcentaje flecha admisible: 1: 750

Distancia nudo menor i (m.): 0,00

Distancia nudo menor j (m.): 0,00

Descentramiento i (cm.): 0

Descentramiento j (cm.): 0

Potencia (kN): 10,00

Alzado

Pilar i

Pilar j

Tipo:

- Monorrail
- Birrail

Tipo de viga carril:

Opción:

- Autodimensiona
- Comprueba

Coeficientes:

Impacto: 1,25

Empuje Transversal: 0,10

Peso propio: 1,10

Generar Cargas

Carga Menor por rueda: 0,00

Carga Mayor por rueda: 0,00

Distancia entre ruedas: 0,00

Planta

Material:

Hipótesis: 5

Imprimir

Cancelar

Aceptar

Laboratorio – Parte 2

Sección 3: Uniones

Máster Universitario en Ingeniería
Industrial

Complemento de Formación

Índice

- Comportamiento de las uniones.
- Uniones resistentes a la tracción.
- Uniones resistentes a la compresión.
- Uniones resistentes a la flexión.
- Uniones articuladas.
- Uniones rígidas Viga-Pilar.
- Nudos acartelados de pórticos de nave.

Modelado de la unión

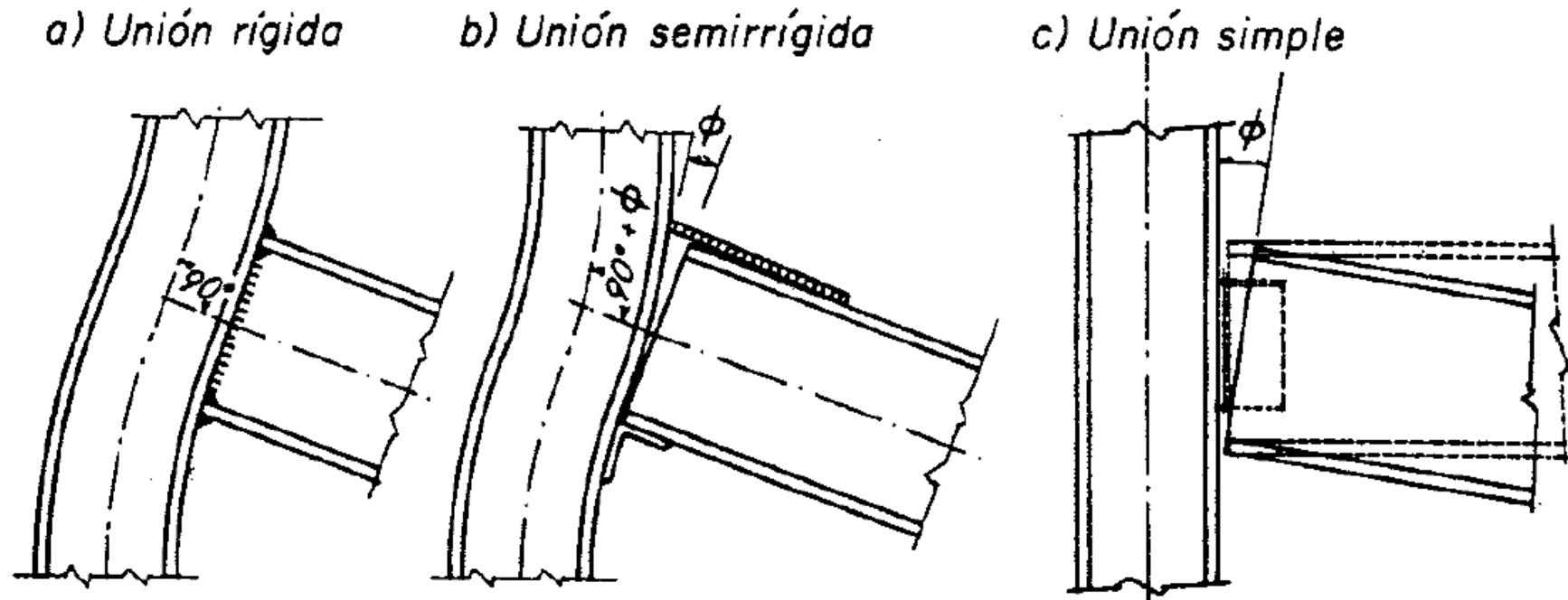


Figura 1 - Modelos de comportamiento vigas-columna

Unión rígida: su deformación no tiene influencia en las leyes de esfuerzo globales de la estructura.

Unión simple (articulada): No son capaces de transmitir momentos apreciables

Unión semirrígida: No pueden clasificarse en ninguno de los casos anteriores.

Instrucción EAE

En función de su rigidez relativa con respecto a las de las piezas a unir, las uniones se clasifican en:

- Articulaciones. Son aquellas uniones que no son capaces de transmitir momentos apreciables, $M_{Rd} < 0,1 \times M_{pl.Rd}$ que puedan afectar negativamente al comportamiento de alguna pieza de la estructura, y cuya rigidez cumple la condición:

$$S_j \leq \frac{EI_b}{2L_b}$$

siendo I_b el momento de inercia de cada viga y L_b la luz (entre ejes de pilar) de cada viga.

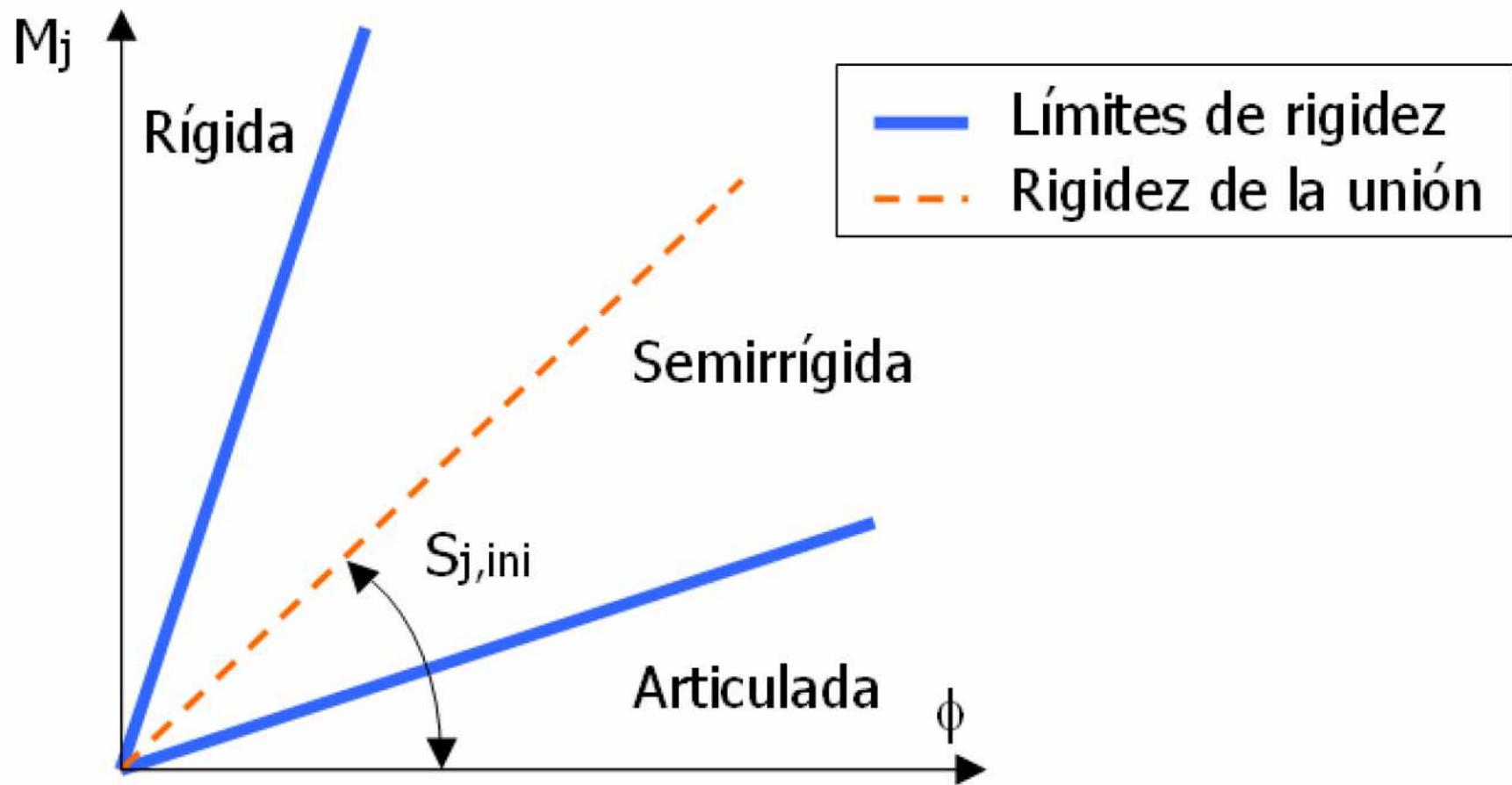
- Uniones rígidas o empotramientos. Son aquellas uniones en las que su deformación no tiene influencia apreciable en las leyes de esfuerzos globales de la estructura ni en la deformabilidad general de la misma. Se clasificarán como tales aquellas uniones en las que la rigidez inicial $S_{j,ini}$ de su diagrama momento-rotación cumpla la condición:

$$S_{j,ini} \geq k_b \frac{E \cdot I_b}{L_b}$$

en donde k_b se tomará igual a 8 si la viga pertenece a un pórtico intraslacional o igual a 25 si pertenece a un pórtico traslacional.

- Uniones semirrígidas, que son aquellas que no pueden ser clasificadas como articulaciones ni como uniones rígidas. Se considerarán también como semirrígidas todas las uniones que no sean articulaciones y que pertenezcan a pisos de pórticos en los que se cumpla que:

$$\frac{K_b}{K_c} < 0,1$$



Código Técnico

El Código Técnico también clasifica las uniones según su rigidez en nominalmente articuladas, rígidas y semirígidas.

A diferencia de la Instrucción EAE, donde ésta indica "pórticos intraslacionales" y "traslacionales", el CTE dice "estructuras arriostradas frente a acciones horizontales" y "el resto de pórticos".

El CTE considera como rígidas las siguientes uniones:

- Uniones soldadas de vigas en doble T a soportes en las que se materialice la continuidad de las alas a través del pilar mediante rigidizadores de dimensiones análogas a las de las alas.
- Uniones de pilares interiores realizados con perfiles laminados I o H en pórticos de estructuras arriostradas, en las que las vigas que acometen a ambos lados del nudo, realizadas también con perfiles I o H, de luces no muy diferentes entre sí y esbeltez geométrica mayor a 24, se unen a las alas del pilar mediante soldadura de resistencia completa, aunque no se precise disponer rigidizadores en el pilar.

A diferencia de la EAE, CTE sí indica que se considere rigidez infinita para cualquier componente rigidizado de una unión, pero explicita que la rigidez de la unión deberá comprobarse. Además, también indica las condiciones necesarias para considerar como una unión rígida las basas de pilares.

2.3.2.1. Esfuerzos en la unión

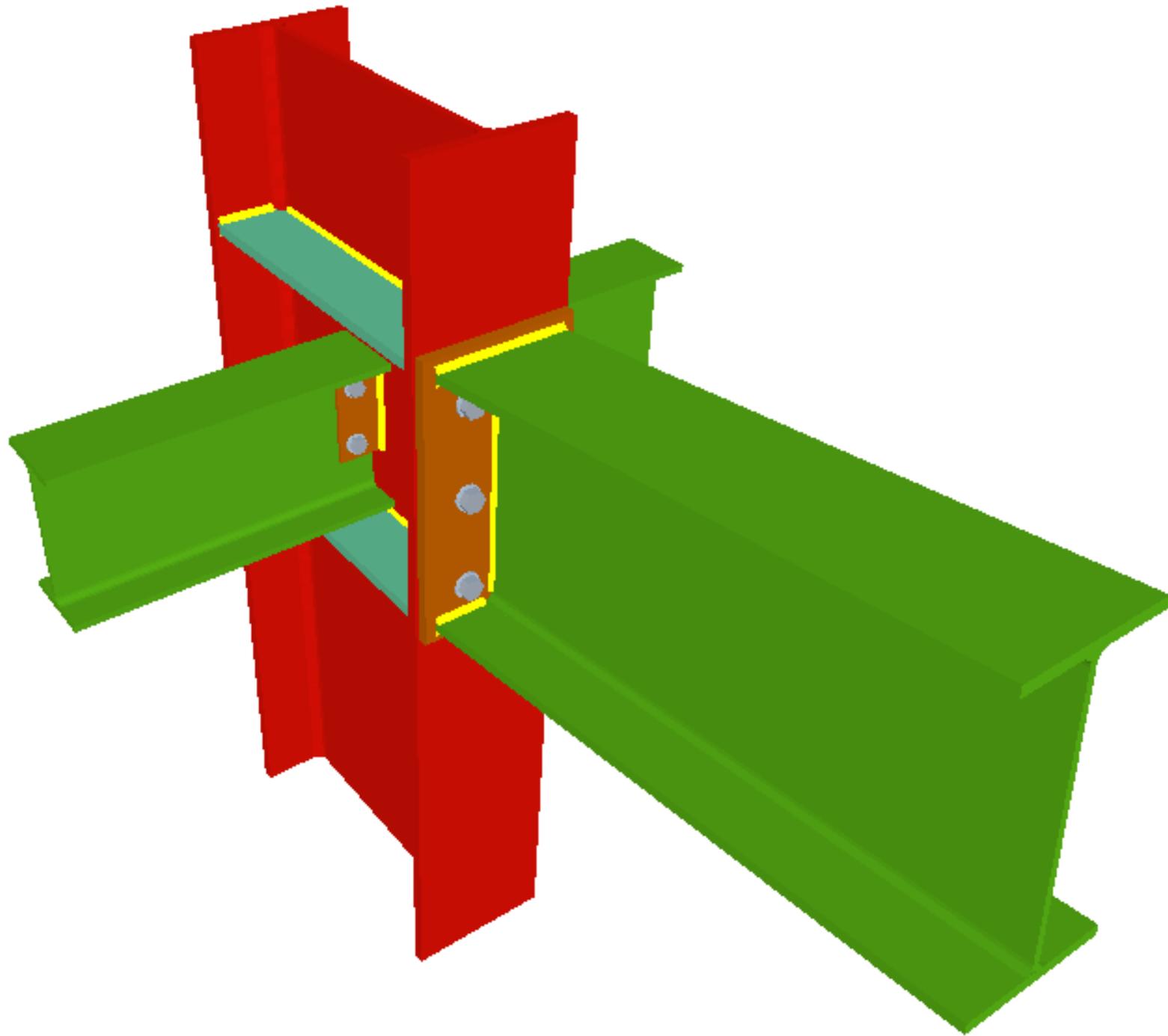
Como ya se ha indicado en el apartado 2.1. los esfuerzos que se presentan en una unión dependen de su propia rigidez. En las normativas se fijan los esfuerzos de diseño que se han de considerar en función del tipo de solicitaciones que recibe la pieza.

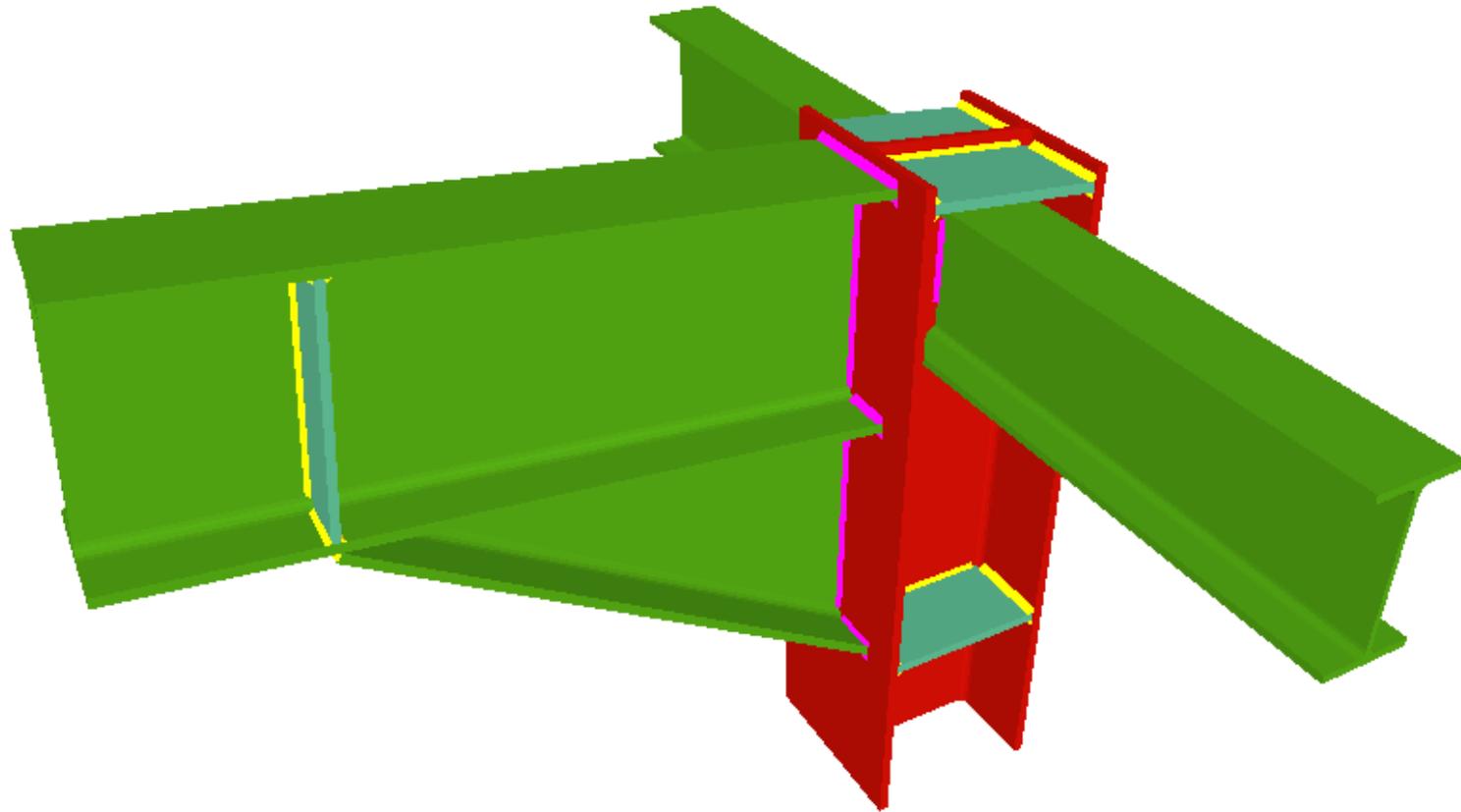
Instrucción EAE

Las uniones se dimensionarán para resistir, al menos los esfuerzos que reciben, calculados según el análisis global de la estructura. En ningún caso los esfuerzos a considerar, N_d , M_d ó V_d se tomaran como inferiores a:

- La mitad del esfuerzo axial plástico de la sección de la pieza, $N_d = 1/2 \times N_p = 0,5 \times A_x f_y$, en piezas sometidas predominantemente a esfuerzos axiales, tales como soportes, tirantes, piezas de celosías, etc.
- La mitad del momento elástico de la sección de la pieza, $M_d = 1/2 \times M_e = 0,5 \times W_{el} x f_y$ y una tercera parte del cortante plástico de la misma, $V_d = 1/3 \times V_p \approx 0,2 \times A_w x f_y$, en puntos interiores de piezas flectadas. Si la unión se encuentra a una distancia inferior a dos cantos del lugar donde se preve la formación de una rótula plástica, se sustituirá la mitad del momento elástico M_e por el momento plástico completo, $M_d = M_p = 2S_y x f_y$, salvo estudio detallado.
- Una tercera parte del cortante plástico de la sección de la pieza $V_d = 1/3 \times V_p \approx 0,2 \times A_w x f_y$, en extremos articulados de piezas flectadas.

Esta instrucción recomienda dimensionar las uniones para los máximos esfuerzos que las piezas puedan transmitir.





Tipos de uniones

- http://uniones.cype.es/uniones_atornilladas.htm
- http://uniones.cype.es/uniones_soldadas.htm

