

MONTEVIDEO 5 JULIO 2016



NAVES INDUSTRIALES CON ACERO

Alfredo Arnedo Pena

Introducción

- Esta ponencia está dedicada al diseño de las estructuras de acero de naves industriales . Hay otros tipos de edificios cuya estructura comparte muchos aspectos con la de una nave industrial y por otra parte en las naves prefabricadas de hormigón también hay temas comunes.
- En el proyecto de un edificio son esenciales la funcionalidad y la economía y los condiciones que impone un determinado emplazamiento, la estructura siempre es subsidiaria de esos factores y en la mayoría de los casos solamente supone una quinta parte de la inversión total. .

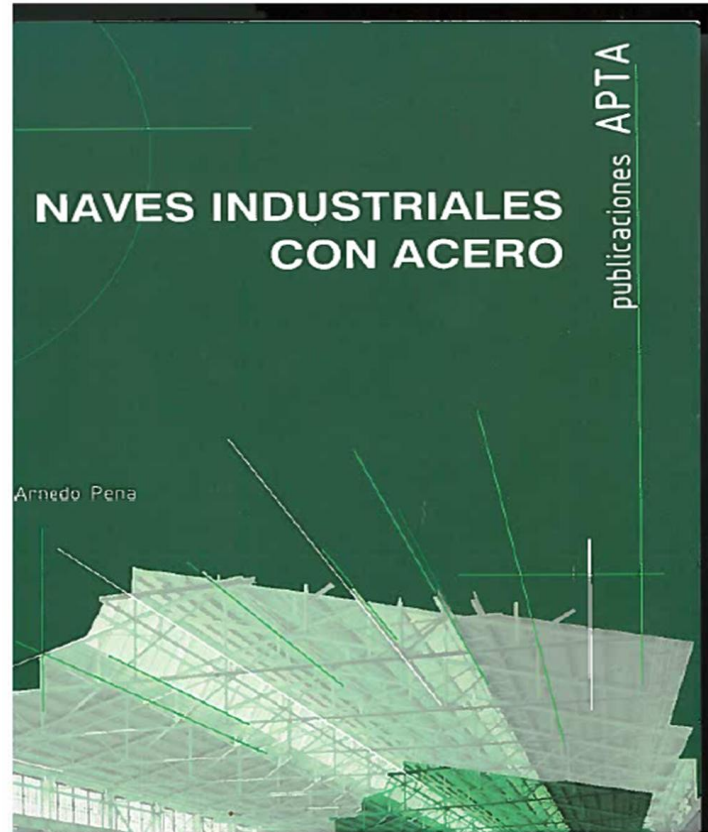
Introducción

- La estructura es el objeto de esta ponencia y valga esta introducción para delimitar su alcance, ya que dependiendo de las instalaciones, accesos y pavimentos, cimentación y acabados arquitectónicos junto con el plazo de ejecución, ésta deberá plantearse de forma distinta.
- Una de las ventajas de la construcción en acero es su versatilidad, su adaptación a cambios de uso, implantación de nuevas instalaciones, ampliaciones y modificaciones en general. Las naves industriales constituyen el ejemplo clásico de todo esto, son edificios que pueden servir para muchos usos.
- Se han construido muchas y buenas naves de acero en los dos siglos pasados en situaciones muy diferentes de las actuales y creemos que en el presente vale la pena seguir haciéndolo.

Introducción

La mayor parte de los contenidos que aquí se exponen se han tomado del libro de APTA

“ Naves industriales con acero”



Introducción

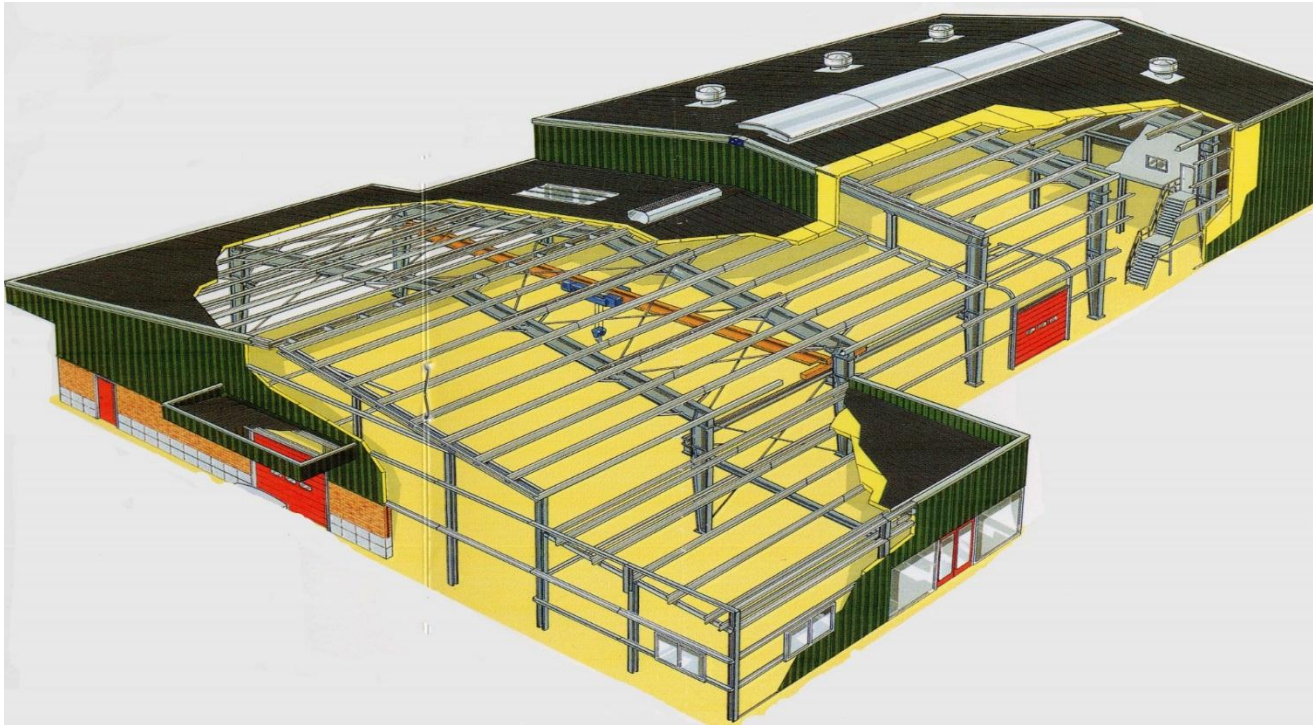
- El conjunto de normas, lo que se ha dado en llamar “normativa”, es un tema complejo y en ocasiones controvertido , especialmente en un entorno internacional.
- En ese libro no se sigue ninguna norma en particular por lo que respecta a cálculo y diseño. Deliberadamente se ha tratado de huir de posiciones que proclaman la oportunista adaptación a alguna de ellas.
- Las normas deben servir para ayudar y definir requisitos mínimos y no ser obstáculos a superar.
- Cuando se diseña, se calcula y se construye bien se cumple cualquier norma.

Bases de diseño

El uso de acero en naves industriales

- En los edificios con grandes separaciones entre pilares es siempre un aspecto decisivo el peso propio de la estructura, especialmente cuando la sobrecarga es reducida, que es lo que suele darse en las cubiertas. Las naves industriales están en ese caso.
- A partir de unos 20 metros de luz entran en competencia los sistemas de construcción prefabricada de hormigón y de acero, para valores de 30 metros en adelante la balanza se suele inclinar a favor de la construcción en acero.

Bases de diseño



Bases de diseño

La principal propiedad del acero es su resistencia.

En naves con perfiles laminados en Europa se usa acero S275 o S355, si se trata de secciones armadas de canto variable casi exclusivamente S355.

En Europa suele compensar usar acero S355.

- Ventaja en uniones, sobre todo con chapa frontal
- Hay que pedir requisito suplementario Z15-Z20-Z25 (UNE 10164) frente a desgarro laminar
- Se mejora en soldadura, uniones atornilladas (aplastamiento , desgarro)

Su alta relación resistencia/peso hace que las naves de acero sean adecuadas para grandes luces, terrenos con débil capacidad portante, emplazamientos con acciones climáticas o sísmicas elevadas y cuando hay puentes grúa.

Bases de diseño

Tanto el material como el esquema resistente que puede conseguirse permiten otra ventaja muy difícil de lograr con el hormigón como es la **ductilidad**.

Las uniones de pilares y dinteles del pórtico transversal (el elemento mas importante) pueden desarrollar una ley carga-desplazamiento o carga-giro mas allá de la fase elástica lineal.

Por lo tanto se tiene una seguridad muy superior en caso de acciones extremas (contemplada en muchas normas) y es válido usar cálculo plástico con el consiguiente ahorro económico que implica.

Bases de diseño

Otra ventaja de las naves de acero reside en el hecho de que su material de cobertura y sus fijaciones se comportan muy bien frente a asientos diferenciales.

Las juntas de dilatación pueden distar entre ellas más de cien metros.

Para terrenos con problemas de asientos las naves de acero, además de imponer cargas más ligeras, son menos vulnerables si se disponen apoyos en las bases articulados, algo prácticamente imposible en pórticos de hormigón prefabricado.

Otro ejemplo de versatilidad y adaptación es el uso de pórticos triarticulados,



Bases de diseño

.

No menos importante es la rigidez .Si bien el módulo de elasticidad es de 6 a 10 veces el del hormigón las dimensiones de sus secciones habituales hacen que muchas veces la flecha admisible sea la determinante del diseño.

Con adecuados contravientos y arriostrados las naves de acero pueden tener una rigidez muy elevada en sentido longitudinal, de **forma económica** (ya que los arriostramientos trabajan a tracción) e **independiente** (no son necesarios paneles o paños de obra de fábrica).

En pórticos de canto variable o con dinteles a base de cerchas y celosías la flecha no suele ser un problema.

Bases de diseño

.

En cuanto a comportamiento estructural el acero es lineal y simétrico, con un diagrama tensión-deformación ejemplar. Excepto en secciones esbeltas (de clase 4 en Eurocódigo 3) esa linealidad se traslada a la secciones y a las piezas.

No hay pérdidas por fisuración y como veremos mas adelante la corrosión puede ser controlada.

Las naves de acero tienen una gran versatilidad . Los perfiles metálicos pueden ser usados tanto como vigas como pilares. Siempre se pueden suplementar mediante soldadura o atornillado para modificar su propiedades geométricas.

Esa ventaja es decisiva en el caso de ampliaciones, cambios de uso e incluso de errores.

Un pórtico o una cercha siempre se pueden reforzar de forma menos aparatosa que una estructura de hormigón.

Bases de diseño

.

La fabricación de la estructura, al igual que la de las naves prefabricadas de hormigón, se suele llevar a cabo en taller.

El grado de control de producción e inspecciones es el propio de una fábrica, se puede y se debe asegurar la calidad de todo componente antes de su traslado a obra.

El montaje y acopio de elementos resulta mas fácil que en naves de hormigón y además ya se ha apuntado las posibilidad de introducir cambios sobre la marcha, ya sea para adoptar modificaciones o bien para corregir eventuales errores.

Bases de diseño

Condicionantes y requisitos previos

Es esencial respetar las dimensiones libres que deben tener las áreas de almacenamiento y trabajo que requiere el edificio.

A partir de las limitaciones y condicionantes urbanísticos deben quedar establecidas la dimensiones exteriores (entre fachadas extremas), la altura total en aleros y cumbrera, y las cotas de entradas o muelles de carga.

En las naves con puentes grúa es importante delimitar la zona de acceso del gancho, que suele implicar una franja de zona muerta contigua a las fachadas.

Para disposición de estanterías también deben quedar establecidas desde el principio las zonas de pasillos y las alturas libres, al igual que en las naves convencionales.

Bases de diseño

Condicionantes y requisitos previos

No menos importante es todo lo relativo a las condiciones climáticas que influirán en la elección de las pendientes de los faldones de la cubierta, el espesor de los cerramientos, la existencia o no de marquesinas y los remates de canalones en aleros.

Los requisitos de luminosidad también han de ser considerados al decidir la magnitud y tipo de lucernarios y ventanas

Las instalaciones pueden tener mucha influencia en el proyecto de la estructura de la nave, especialmente las de ventilación y aire acondicionado.

La mayoría de las naves sólo disponen de ventilación natural que se diseña teniendo en cuenta el régimen de vientos, el salto térmico y los requisitos de renovaciones/hora acordes con la actividad (desde 3 en almacenes hasta 50 en talleres de pintura).

Bases de diseño

Condicionantes y requisitos previos

El material a almacenar o la actividad que se desarrollará en la nave implican una densidad de carga de fuego, que junto con la configuración física del recinto determinan los requisitos de protección activa (instalaciones) y pasiva (estructura) que debe cumplir el proyecto.

En un caso puede implicar dispositivos de detección y conductos para rociadores y en el otro la exigencia de una determinada resistencia al fuego RF considerando la curva ISO 834.

Las naves deben también satisfacer una serie de requisitos acústicos para garantizar un nivel de ruido máximo aceptable a los usuarios y para no afectar desfavorablemente a las zonas habitadas próximas.

Esto es particularmente importante en edificios con locales de pública concurrencia

Bases de diseño

Condicionantes y requisitos previos

Existen cerramientos para cubiertas y fachadas que conjugan el aislamiento térmico y acústico, junto con la indispensable estanqueidad de una forma conjunta y teniendo en cuenta la resistencia al fuego.

En general es más importante el efecto de la cubierta en todos estos requisitos, básicamente por su mayor extensión y masa propia.

Aquí son esenciales los detalles constructivos y los remates, sobre todo en las entregas y uniones techo-pared y esquinas.

El proyecto completo de una nave debe prever todos esos factores.

Otro punto importante es la influencia de lucernarios, puertas y ventanas donde se pueden perder las ventajas de sistemas de cubierta deck o sándwich por fugas, puentes térmicos o acústicos.

Criterios de diseño resistente

-

La dimensión transversal es determinante para elegir el tipo de estructura. En naves a base de pórticos a dos aguas, en términos generales, puede afirmarse que 30 o 40 metros de luz son valores frecuentes, incluso se ha llega a superar 100 metros .

Para almacenes de carbón se han construido naves de 160 metros (Algeciras).

Obviamente un pilar intermedio permite reducir el coste del elemento de dintel de cubierta de forma considerable. Es la funcionalidad del proceso de trabajo o almacenamiento la que dictará la conveniencia de partir la luz.

La separación entre pórticos determina en gran medida el coste de la estructura.

En muchas naves logísticas este valor está fijado por necesidades de recepción de mercancías en 9 metros.

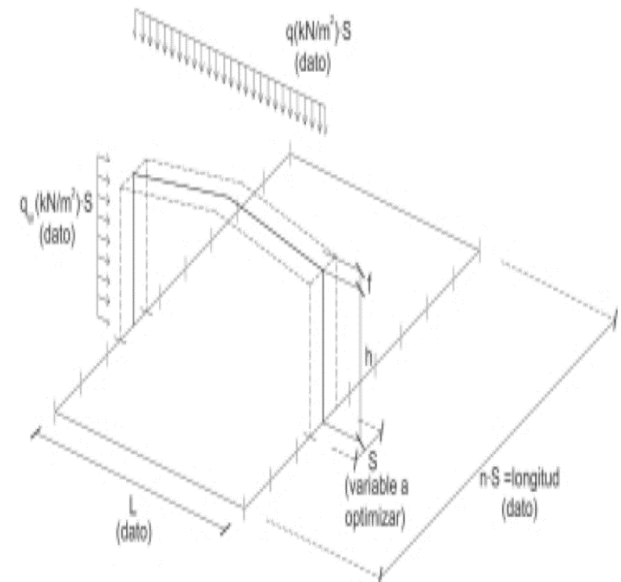
Criterios de diseño resistente

Con separaciones menores entre pórticos se obtiene un diseño más económico de las correas pero se encarecen los pórticos.

No hay recetas mágicas, para optimizar una estructura hay que basarse en la experiencia de casos parecidos y proceder por tanteos.

Si las dimensiones están fijadas (luz y número de pilares e intereje de pórticos) no hay más que iniciar el cálculo, caso contrario es recomendable tantear interejes del orden del cuarto de la luz.

En el sur de Europa *hay muchas naves de acero con intereses de pórticos del orden de 9 metros y luces de 40 metros con un peso de acero alrededor de 30 kg/m^2 e incluso menor en zonas de carga de nieve o sobrecarga de uso en cubierta de $0,40 \text{ kN/m}^2$*



Criterios de diseño resistente

-

Para una luz superior a 48 metros no es aconsejable la recomendación anterior de disponer de intereje un cuarto de ese valor, ya que a partir de los 12 metros el sistema de correas se encarece enormemente.

En la elección del esquema resistente influye la cimentación . Terreno flojo implica bases articuladas , el terreno competente permite bases empotradas y por ende ofrece mayor economía en la estructura.

En terrenos de débil capacidad portante, sobre todo si la cimentación es pilotada es preferible recurrir a bases articuladas, especialmente si no hay requisitos exigentes de rigidez transversal. Con alturas reducidas no se penaliza excesivamente el diseño de pilares.

Cuando la nave está dotada de puente grúa influye el requisito de rigidez aplicable a las carrileras. Entonces es mejor empotrar las bases para no penalizar la estructura.

Obviamente , en la mayoría de los casos siempre hay que hacer tanteos previos y comparar.

Criterios de diseño resistente

.

Se puede establecer tres características que tipifican los pórticos: el tipo de bases, los nudos de hombro y el tipo de dintel

A) Pórticos con pilares empotrados en pie.

1. Pilares articulados en cabeza a un dintel de tipo cercha.
2. Pilares doblemente conectados en cabeza a un dintel de tipo cercha
3. Pilares donde el hombro es un nudo rígido con dintel tipo viga.

B) Pórticos con pilares articulados en pie.

1. Pilares doblemente conectados en cabeza a un dintel de tipo cercha.
2. Pilares donde el hombro es un nudo rígido con dintel tipo viga.

Los pilares en todos estos tipos pueden ser perfiles laminados simples, piezas compuestas (en celosía o empresillados) y también perfiles armados de chapa de canto variable.

Criterios de diseño resistente

Los arriostrados, también llamados contravientos, son elementos esenciales en la estructura del conjunto de la nave.

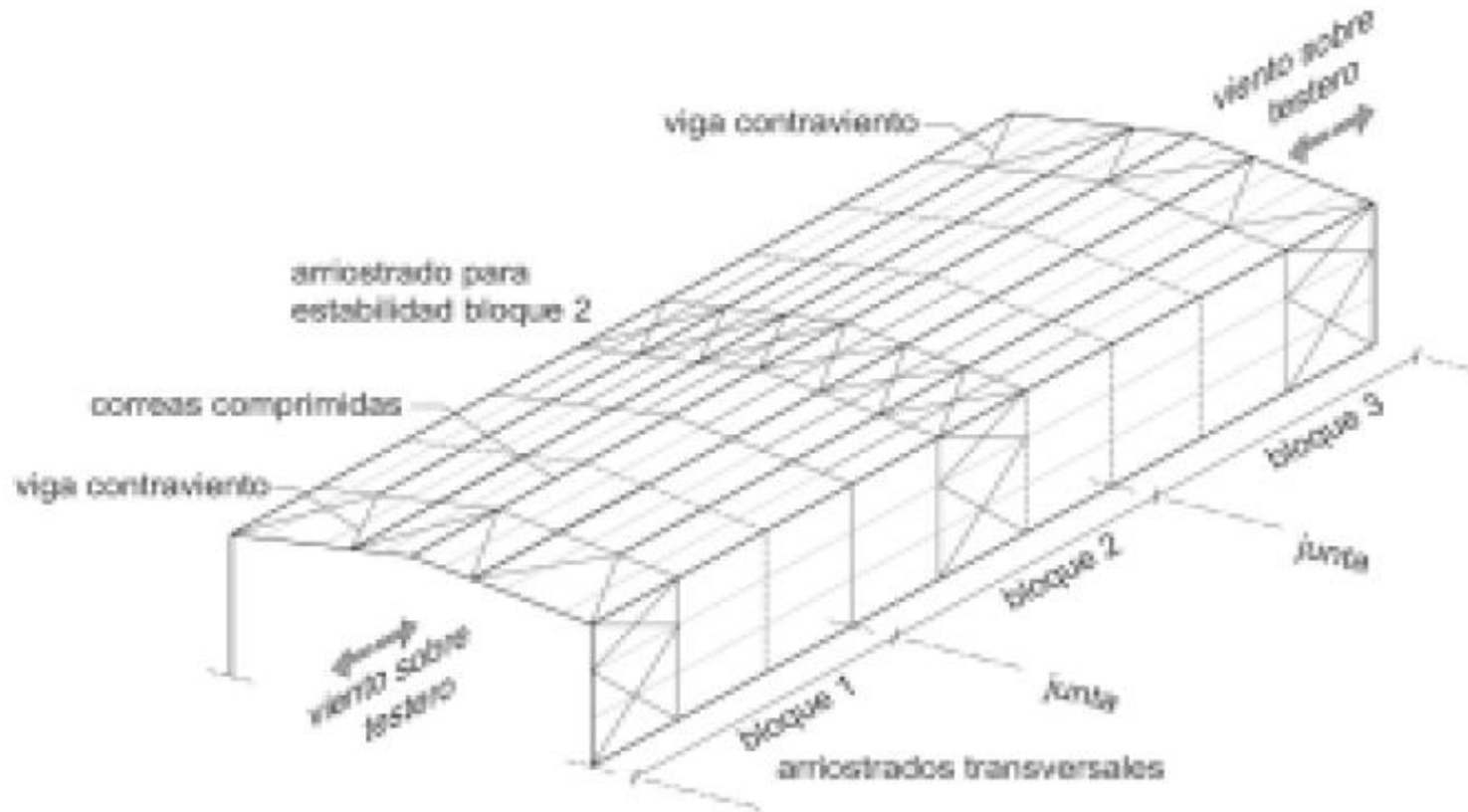
Su función es tanto la de proporcionar rigidez como la de establecer los puntos fijos que determinarán las longitudes de pandeo y por lo tanto ofrecer estabilidad.

La nave debe tener una rigidez adecuada en cada uno de los tres planos.

En el transversal son los pórticos los encargados de resistir las acciones laterales de viento y sismo.

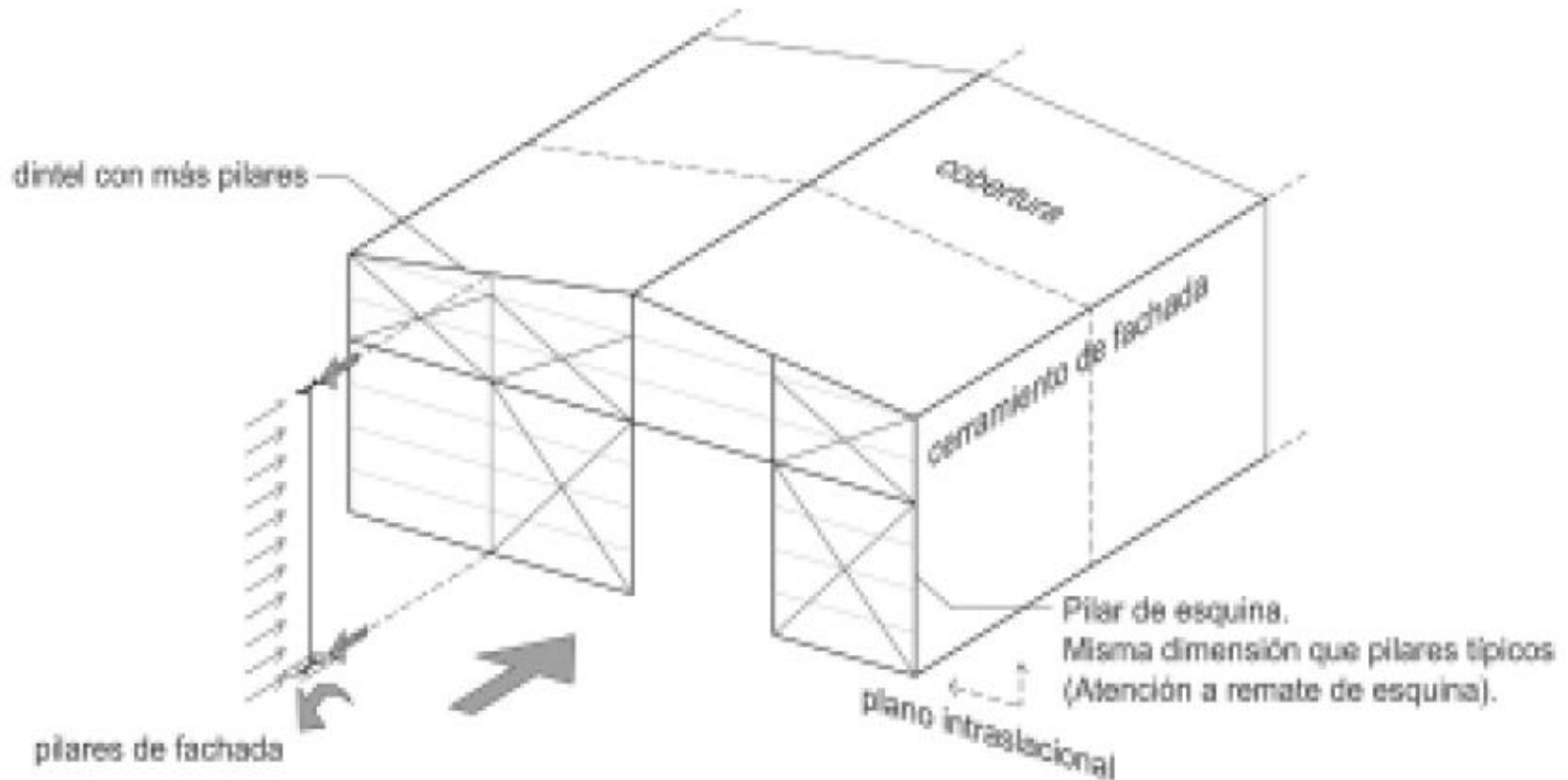
En el plano longitudinal debe haber módulos o núcleos de rigidez en cada fachada para dar rigidez, evitando el trabajo a flexión de los pilares en lo que sería su plano débil y fijando la longitud de pandeo de los mismos.

Criterios de diseño resistente



Criterios de diseño resistente. Pórtico testero.

Pórtico piñón o testero



Criterios de diseño resistente

-

En el plano de los faldones debe existir también una organización de vigas planas (independientes o no de las correas) que absorba las reacciones de viento en fachadas de los testeros y las dirija a las fachadas longitudinales. Al mismo tiempo estos contravientos de cubierta marcan la longitud de pandeo lateral de dinteles.

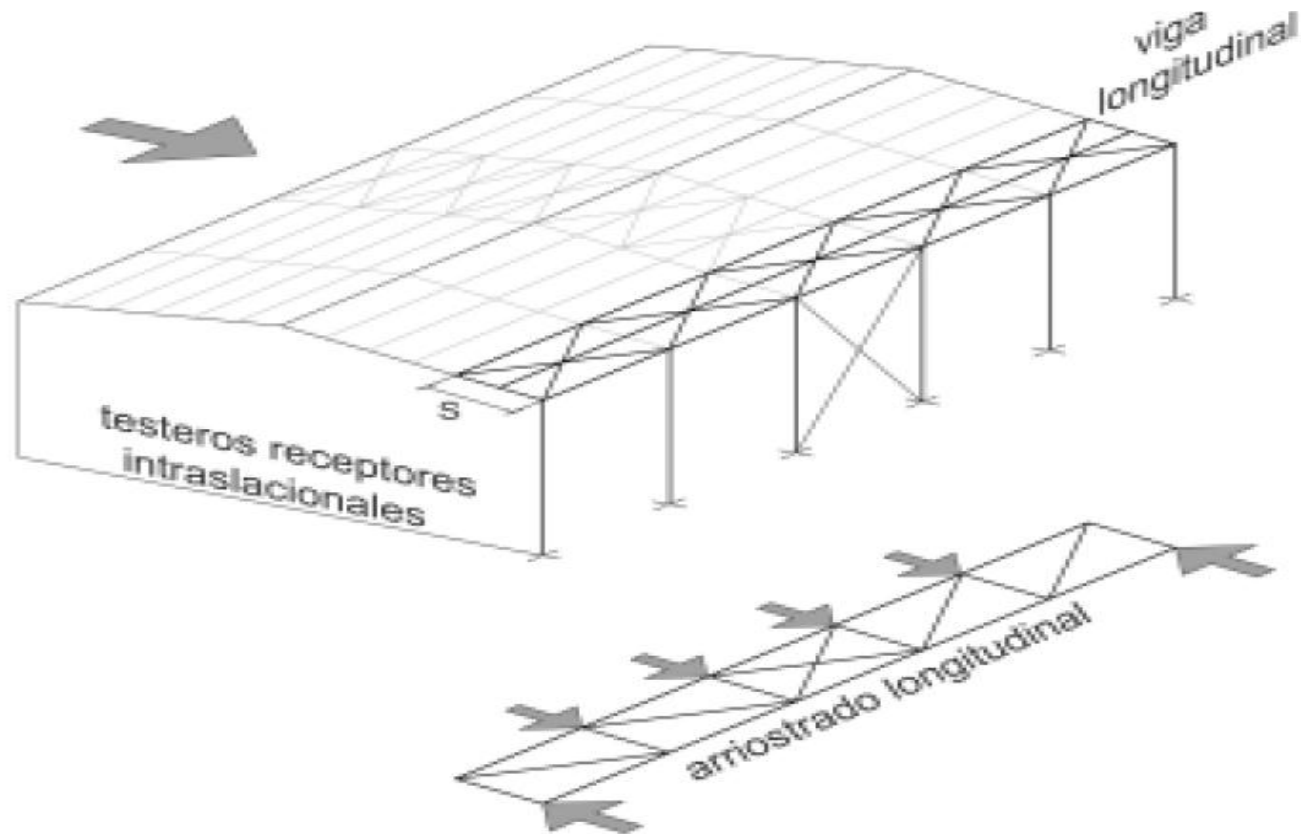
Cabe la posibilidad de establecer contravientos en cubierta en sentido longitudinal para solidarizar a los pórticos transversales en cabeza.

Las fachadas de testeros casi siempre se pueden arriostrar y son por lo tanto mucho más rígidas horizontalmente que los pórticos, por eso en naves no muy largas los contravientos del párrafo anterior pueden ser muy interesantes.

En resumen, la función de los arriostrados es proporcionar un esquema tridimensional de la nave.

Criterios de diseño. Arriostrado longitudinal.

Sistema de arriostrado “especial”



Sistemas de montaje

.

El montaje de la estructura de la nave debe ser rápido y seguro, cumpliendo con los requisitos adecuados a la denominada “Clase de ejecución” (en Europa) que se trata más adelante, las tolerancias y el programa de obra.

Para lograr esos objetivos es necesaria una estrecha colaboración con la ejecución de la cimentación, la fabricación en taller y el transporte a obra.

Por lo general conviene acabar la estructura y los cerramientos para poder hormigonar los pavimentos interiores en buenas condiciones.

Según como sean las instalaciones interiores hay que prever huecos de acceso en fachadas o cubierta.

Sistema de montaje

.

Es mejor montar primero los núcleos de rigidez de las fachadas longitudinales, es decir una pareja de pórticos con sus dinteles y arriostrados mutuos.

Si por problemas de acceso, programa o áreas disponibles para acopios se comienza por pórticos típicos (no del núcleo) hay que estudiar y disponer el arriostramiento adecuado.

Otra regla de oro es facilitar el montaje diseñando las uniones en obra atornilladas, tendiendo a usar más bien pocos tornillos de mayor diámetro que al contrario en pórticos y cuidando la fijación y el cosido del cerramiento.

En la fase selección de contratistas es muy importante que el constructor entienda bien la estructura y los requisitos del Pliego de Condiciones

Sistema de montaje

Precauciones

No todas las naves son iguales. Algunos puntos importantes son :

1. Atención a pilares que se diseñan articulados en pie. Estarán un tiempo sin el mortero de nivelación y deben ser estables.
2. Atención a las uniones de correas que sirvan provisionalmente de atado longitudinal para arriostrar.
3. Estudiar la conveniencia de izar conjuntos de correas con o sin dinteles.
4. Prever las flechas de montaje en proyecto con las adecuadas contraflechas.
5. No escatimar medios de protección. El plan de Montaje debe ser ante todo seguro.

Protección contra la corrosión

.

El mayor inconveniente de la estructura metálica es su vulnerabilidad a la corrosión.

Se estima que la corrosión atmosférica en España asciende anualmente a 100 millones de euros.

La pintura supone un **importante porcentaje del coste**.

Las naves deben ser protegidas tanto interior como exteriormente de **forma adecuada**, es decir de acuerdo con la severidad del ataque que indica la clase de exposición y la durabilidad, o sea el programa de mantenimiento que se desee.

Protección contra la corrosión

.

En España se usa la norma UNE-EN ISO 12944-2 dónde se establecen las clases de exposición .Es de una gran utilidad ya que indica la pérdida de masa y la pérdida de espesor del acero sin protección.

Dependiendo de la humedad los interiores de las naves son de clase de exposición C2 o C3.

En los exteriores se puede llegar a la clase C5-M, si bien este ambiente sólo podrá atacar al material del cerramiento ya que la estructura está protegida por éste, excepto en alguna porción de aleros o marquesinas.

De acuerdo con la clase de exposición . la durabilidad deseada y el tipo de piezas componentes (perfiles laminados abiertos, tubulares, vigas armadas) se debe seleccionar el sistema de protección.

Protección contra la corrosión

-

Hay tres grados de durabilidad de los sistemas de protección, que no implican un periodo de garantía sino que son indicativos para el programa de mantenimiento :

Durabilidad baja :..... de 2 a 5 años.

Durabilidad media:..... de 5 a 15 años

Durabilidad alta:..... más de 15 años.

La primera fase consiste en la preparación de la superficie, después la aplicación de la capa de pintura de imprimación, que protegerá la estructura en una primera etapa, y posteriormente las capas de pintura intermedias y de acabado.

En grandes talleres se suele granallar y aplicar 50 μ de imprimación compatible con la soldadura al inicio de la fabricación. En otros casos se da ese primer tratamiento al final, justo antes del envío a obra . Cabe la posibilidad de completar todo el tratamiento en taller y dejar para el final del montaje la última capa o simplemente retoques.

Clasificación de naves. Especificaciones técnicas.

.

La fabricación y el montaje de la estructura deben ser acordes con la importancia de la obra.

Tan injusta es la postura temeraria de rebajar el nivel de requisitos a una estructura importante como la contraria de exigir requisitos fuera de lugar a otra más modesta.

El objetivo de las Clases de Ejecución es clasificar los elementos constitutivos de la estructura para atribuirles, de acuerdo con ella, requisitos de fabricación, montaje, inspección y ensayos apropiados.

En el Eurocódigo 0 se definen los niveles de riesgo de las estructuras según las consecuencias que podría tener su fallo estructural. Considerando además el tipo de servicio de la estructura y la forma de construcción según su categoría de ejecución se aplica la norma EN 1090-2 para obtener la Clase de Ejecución de la estructura.

Acciones, cargas y sobrecargas

.

Las acciones a las que se ve sometida una nave vienen fijadas por las norma, reglamentos o instrucciones.

Las normas establecen qué acciones hay que considerar, cuáles son valores de las mismas y cómo se combinan.

No obstante, debe entenderse que éstos son requisitos mínimos y que en muchas ocasiones puede resultar ventajoso, con un pequeño coste adicional, sobredimensionar ligeramente la estructura para tener un margen suplementario en caso de cargas accidentales imprevistas.

Ese criterio de sobredimensionamiento puede resultar muy útil en la verificación de la estructura en caso de incendio y es muy conveniente en uniones de arriostrados, al lograr un comportamiento dúctil.

Acciones, cargas y sobrecargas

.

En una nave industrial hay que tener en cuenta el tipo de producción o almacenamiento a que se destina y todos los aspectos funcionales.

En general no se tratan las cargas debidas a soportes de equipos o de tuberías o sobrecargas de depósitos, acopios, etc. ya que la estructura propia de la nave se considera separada.

No obstante ha de considerarse la posibilidad de que existan elementos comunes (pasarelas de acceso, barreras o pantallas para acopios, apoyos de cintas transportadoras etc.)

Acciones, carga y sobrecargas

.

La base de la teoría de los estados límites es probabilística y por lo tanto se establecen no sólo coeficientes parciales de seguridad sino también coeficientes de combinación de acciones.

En las naves industriales sin puente grúa suele resultar determinante la sobrecarga de cubierta y en menos medida el viento, con estas acciones es la limitación de flecha de correas y de clave de dintel de pórtico el parámetro decisivo.

En las naves con puente grúa las limitaciones de flexibilidad tanto del pórtico, como de la fachada longitudinal son las que condicionan el diseño.

Acciones, carga y sobrecargas

.

En el denominado Estado Límite de Servicio se valoran los aspectos de uso, estética, durabilidad y mantenimiento de la estructura.

Las acciones no se mayoran y el cumplimiento de este estado límite se hace calculando las flechas máximas horizontales y verticales y comprobando que son inferiores a las admisibles.

En el Estado Límite Último se valora la seguridad. Las acciones están mayoradas y la resistencia de las secciones, barras y uniones de la estructura se minoran.

Acciones, carga y sobrecargas

.

Las acciones permanentes en las naves son casi exclusivamente el peso propio de la cobertura y el del acero de la propia estructura.

Excepto en el caso de cubiertas tipo deck este suele ser muy pequeño ($0,12 \text{ kN/m}^2$) a menos que se dispongan aislamiento de lana de roca ($0,20 \text{ kN/m}^2$ o más).

En las cubiertas deck el espesor de gravilla de protección puede producir cargas importantes (del orden de $0,70 \text{ kN/m}^2$ con protección pesada y $0,25 \text{ kN/m}^2$ con ligera).

La influencia de los falsos techos es muy importante caso de que se utilicen y especialmente si deben tener requisitos de resistencia al fuego.

En los catálogos de fabricantes se dan los datos de peso propio a los que hay que añadir falso techo y pavimento.

Acciones, carga y sobrecargas

.

La posición de Eurocódigo 1 ha ido cambiando lo largo de sus ediciones. En las zonas donde hay sobrecarga de nieve elevada éstas resulta determinante y no hay ningún dilema (países del norte de Europa).

En España hasta no hace mucho se proyectaban cubiertas de naves en una misma zona con criterios tan diferentes como el de prescindir de cualquier tipo de sobrecarga vertical descendente que no fuese la consabida carga de nieve de $0,40 \text{ kN/m}^2$ o bien el de usar 1 kN/m^2 como en azoteas.

Un valor recomendable es $0,75 \text{ kN/m}^2$, que no se combina más que con el peso propio cuando es la acción predominante. Así se está a cubierto de acopios de material de reparaciones y de equipos ligeros y operarios trabajando en la cubierta.

Una carga análoga es la “carga de línea” de 2 kN/m sobre la chapa de la cubierta, actuando perpendicularmente a los nervios de la cobertura (es decir paralela a las correas). Esta acción suele ser determinante para el diseño de la chapa.

Acciones, carga y sobrecargas

.

Debe tenerse en cuenta el conjunto de instalaciones previstas o incluso futuras que pueden cargar directamente o colgar de la cubierta:

- Paneles solares.(cargas del orden de $0,20 \text{ kN/m}^2$)
- Sistemas contra incendios.
- Depósitos o tanques para equipos interiores.
- Exutorios y ventiladores.
- Conductos de aire acondicionado.
- Sistemas de megafonía.
- Conductos y bandejas de cables.

Con un valor de $0,15 \text{ kN/m}^2$ se cubren las instalaciones habituales en una nave de almacén (iluminación, contra incendios y megafonía)

Acciones, carga y sobrecargas

.

Las acciones climáticas. Viento Q_W . Nieve Q_N . y Temperatura son propias de cada zona y país.

En las naves industriales su efecto depende de cómo se diseñe la cubierta, qué pendientes, petos y marquesinas estén presentes.

Tres advertencias :

1. Atención a las cargas ascendentes. Las naves de acero son ligeras y casi siempre se da la inversión de esfuerzos.
2. Atención a la fijación de la chapa de cobertura. Los tornillos rosca-chapa trabajando a extracción han de comprobarse debidamente (En Europa EC3 parte 1.3).
3. Atención a las configuraciones de puertas abiertas

Acciones, carga y sobrecargas

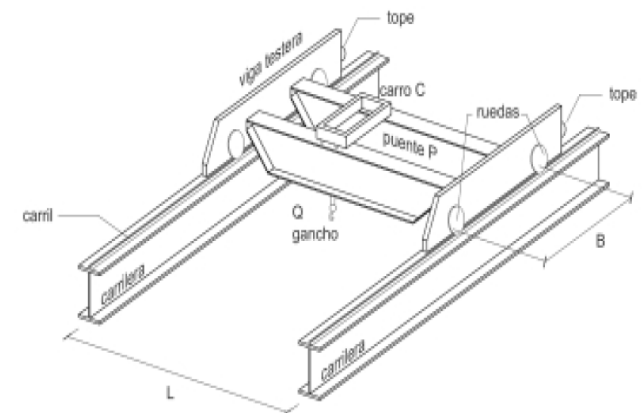
.

El puente grúa , si existe, es determinante en la estructura.

La magnitud de las acciones depende del equipo, fundamentalmente caracterizado por la carga nominal de izado en el gancho, la luz de la nave y el modo de operar.

En el anejo B del libro citado , se detalla la naturaleza y modo de obtención de las acciones debidas a la operación de puentes-grúa en naves. También se incluyen datos de fabricantes de equipos.

Los requisitos de rigidez para poder operar de forma eficiente y segura la cargas en altura, con movimientos transversales y longitudinales, así como las fuerzas de carácter dinámico con influencia del fenómeno de fatiga hacen de este tipo de naves una de las más complejas, difíciles y atrayentes estructuras.



Acciones, carga y sobrecargas

.

Las acciones accidentales tienen una **baja probabilidad** de actuación a lo largo de la vida útil de la estructura pero son de una **magnitud importante**.

Las mas importante son las debidas a impactos, explosiones, incendios y sismo . El anejo A del libro se dedica a las naves sometidas a incendio.

Es importante señalar que las situaciones accidentales entran dentro del campo de análisis de riesgos y que tanto su probabilidad como sus efectos pueden ser mitigados o eliminados con concepciones integrales, globales y multidisciplinarias de lo que debe ser un “diseño total”. Todo lo concerniente a circulación, áreas de carga y descarga, control de accesos etc., en áreas logísticas es un buen ejemplo de ello.

Un aspecto importante en el diseño de una nave industrial, al igual que en pabellones polideportivos y construcciones similares, es el uso que puede hacerse de ellas en situaciones de emergencia.

Acciones, carga y sobrecargas

.

Las cargas de impacto en Europa se rigen por EC1 parte 1.7

En las naves donde pueden acceder camiones se debe considerar una carga de 50 kN actuando a 0,60 m. de altura sobre el pavimento.

En pilares de fachada, cuando no existen muelles de carga ni otros obstáculos se toma 50 kN. en la dirección del tráfico y 25 kN. en perpendicular no simultáneos a 0,50 m. de altura del pavimento en el caso de automóviles. Si el tráfico se debe a vehículos de más de 3,5 t. se toma 150 kN. y 75 kN. respectivamente con altura de impacto de 0,50 m. a 1,50 m.

A veces se utilizan carretillas transportadoras, “forklift trucks” o “toros”, que pueden impactar con pilares interiores. A menos que se dispongan barreras debe considerarse una fuerza equivalente de cinco veces la suma del peso del equipo y la carga, aplicada a 0,75 del suelo.

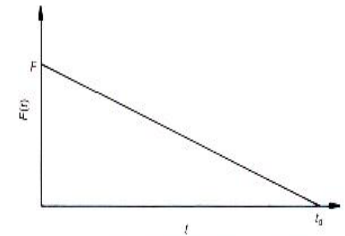
Acciones, carga y sobrecargas

.

En complejos industriales con riesgo de explosiones se suelen considerar diagramas de presión- tiempo que reproducen el frente de onda y se aplican a naves y edificios cuya integridad debe garantizarse por razones operativas.

Dependiendo de la distancia del edificio al origen de la explosión (tanque, buque descargando o límite del perímetro defensivo) y de la potencia de la misma se obtiene una ley simplificada presión -tiempo.

En muchos casos se considera una sobrepresión máxima incidente (P_0) de 100 kN/m^2 con duración t_0 de 30 milisegundos (la presión decrece desde el máximo valor a $t=0$ hasta cero a $t=0,003$). En cubiertas se tiene 70 kN/m^2 con t_0 de 20 milisegundos o bien 20 kN/m^2 con t_0 de 100 milisegundos.



Cuando se da este tipo de acción el diseño se basa en métodos plásticos, considerando un comportamiento dúctil de la estructura.

Acciones, carga y sobrecargas

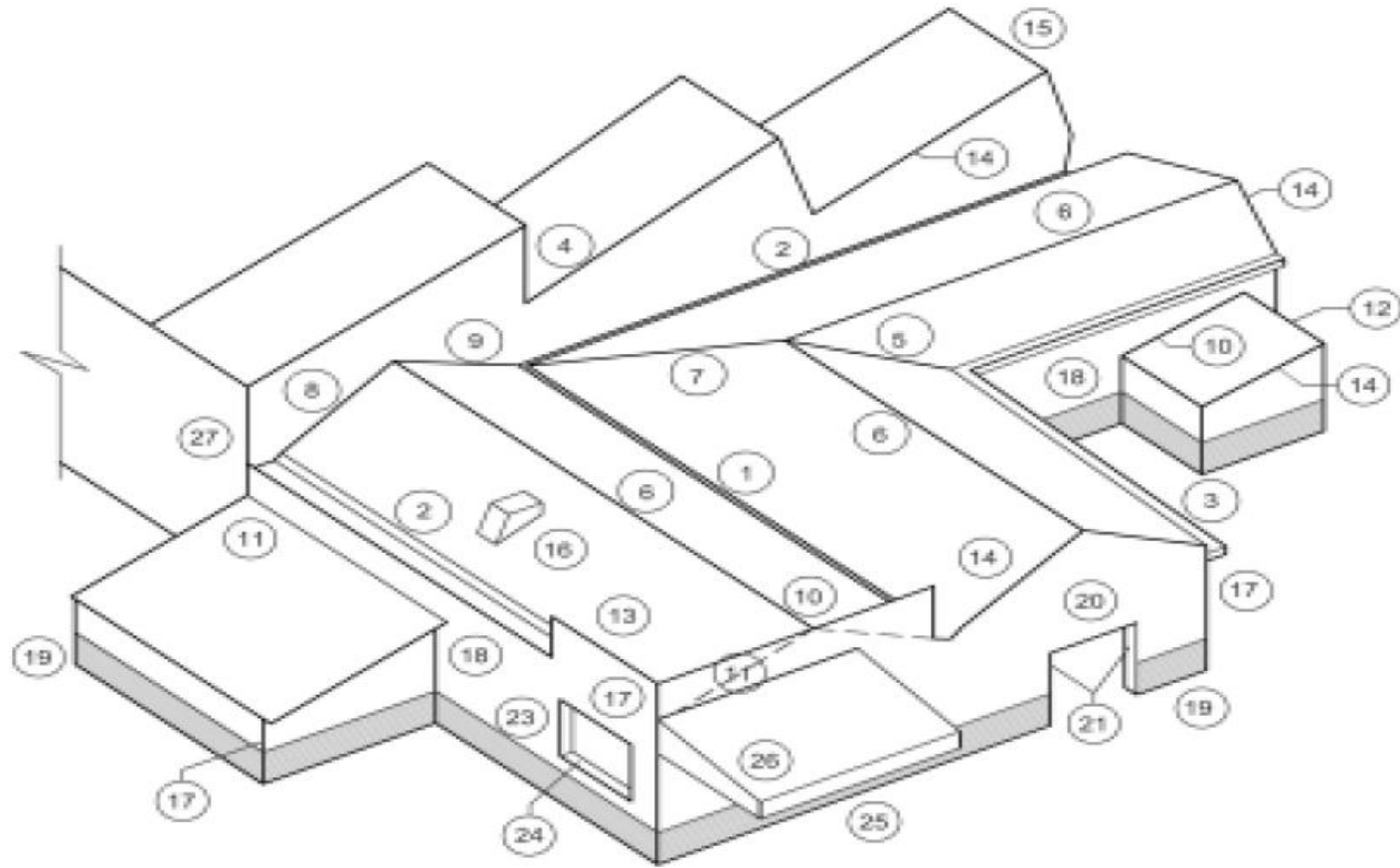
.

La acción sísmica depende en gran medida de cómo sea el esquema resistente de la nave.

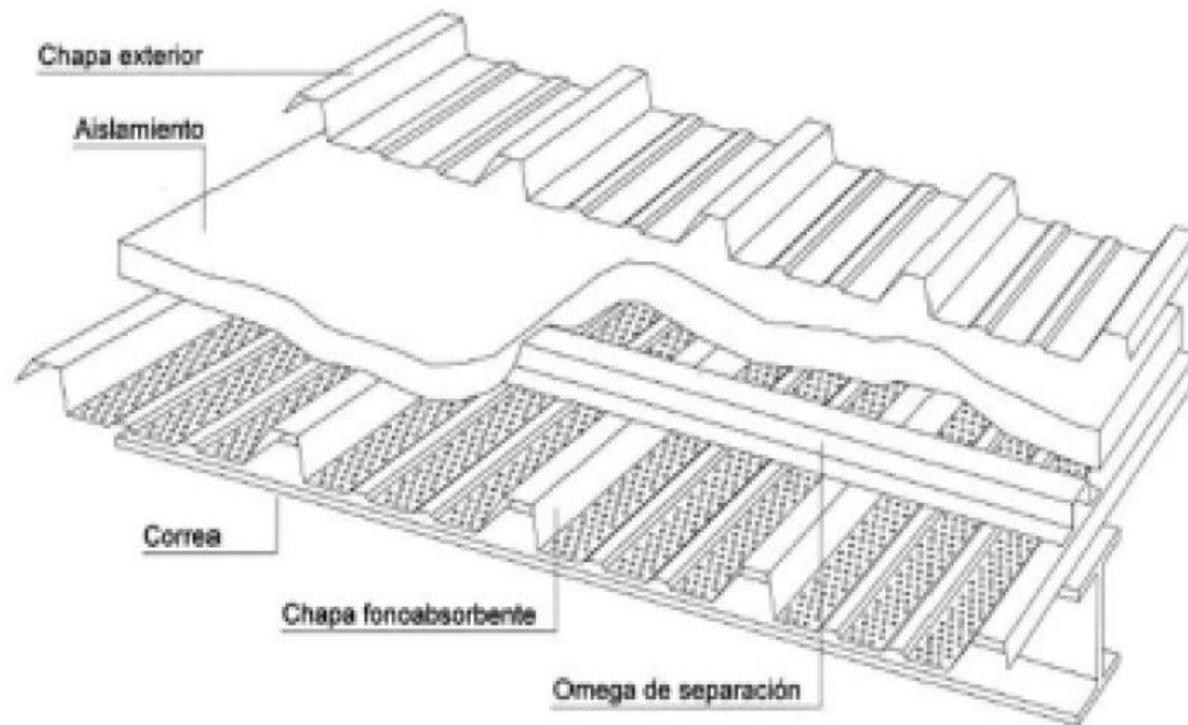
En España afortunadamente tenemos escasa experiencia práctica sobre este tipo de acción. El Eurocódigo 8 es lo que se suele aplicar en Europa.

Sólo quiero señalar que mis colegas especialistas en sismo encuentran grandes dificultades en obtener fotografías para sus ponencias de naves industriales colapsadas por terremotos, en cualquier parte del mundo, construidas con acero.

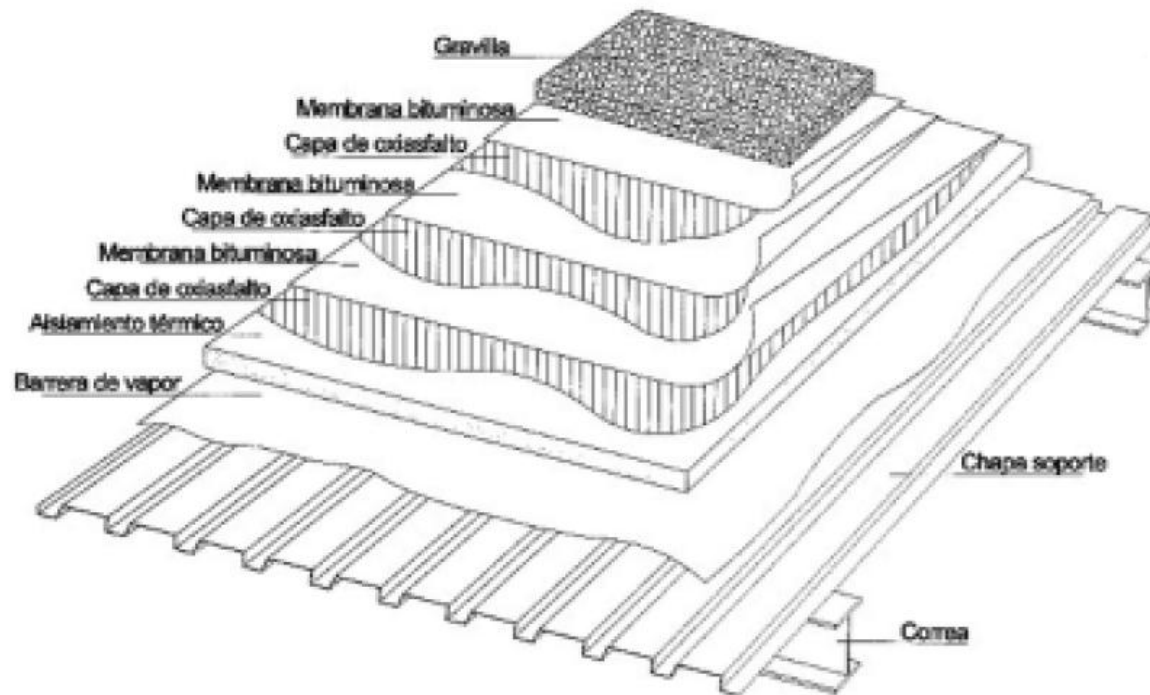
Cobertura y cerramientos



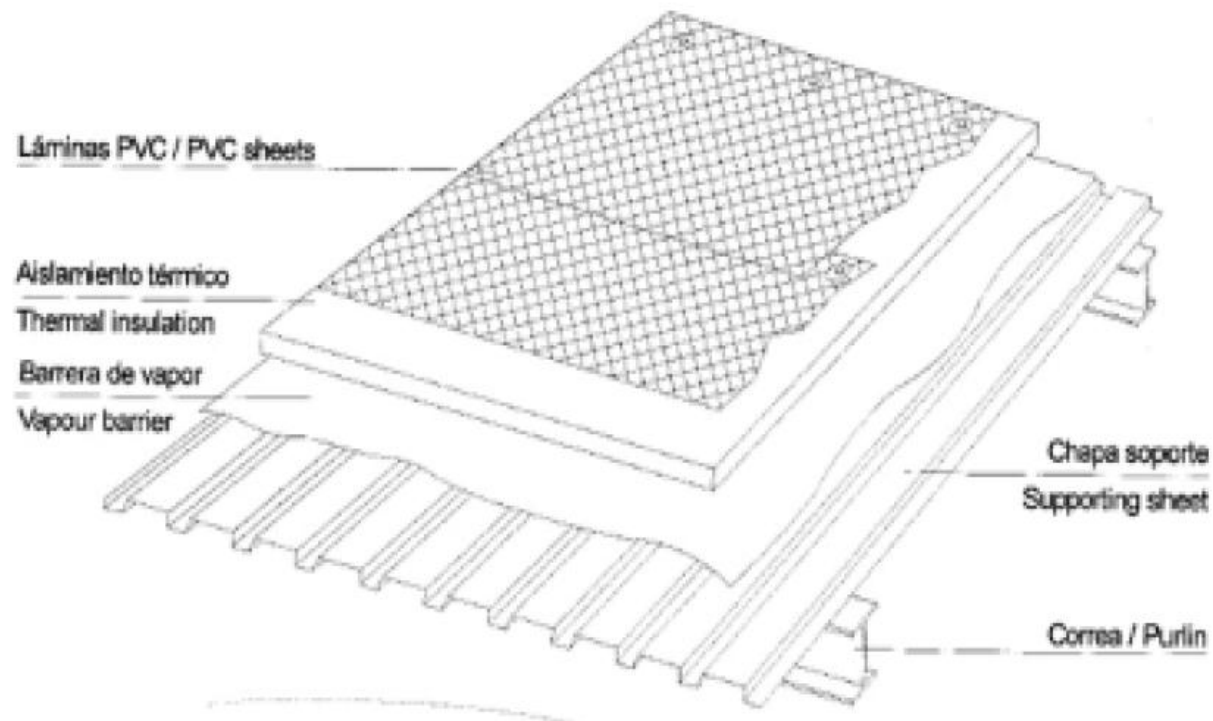
Cobertura. Sandwich



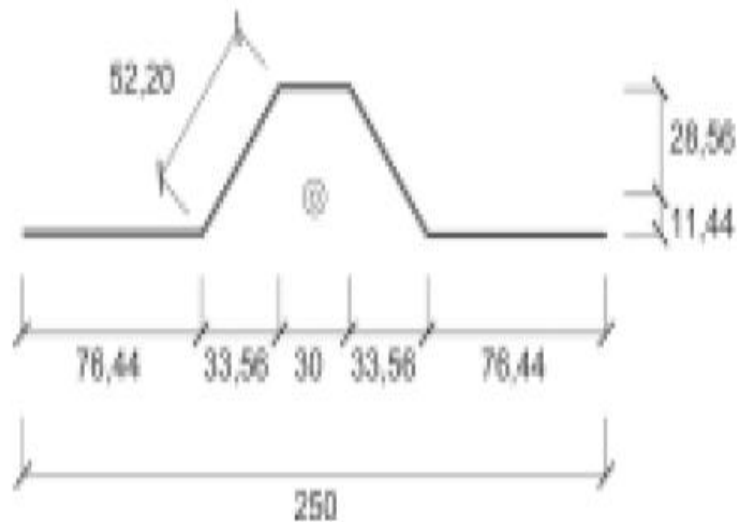
Cobertura. Deck



Cobertura. Deck con membrana sintética



Cobertura de chapa simple



$t = 1 \text{ mm}$ (tomado sin reducción)

$$\begin{aligned}
 A_N &= 287,28 \text{ mm}^2 \\
 I_N &= 66046 \text{ mm}^4 / \text{módulo} \\
 W_{\text{sup}} &= 9250 \text{ mm}^3 / \text{m} \\
 W_{\text{inf}} &= 23093 \text{ mm}^3 / \text{m} \\
 I &= 264184 \text{ mm}^4 / \text{m}
 \end{aligned}$$

Cobertura, inversión de esfuerzos

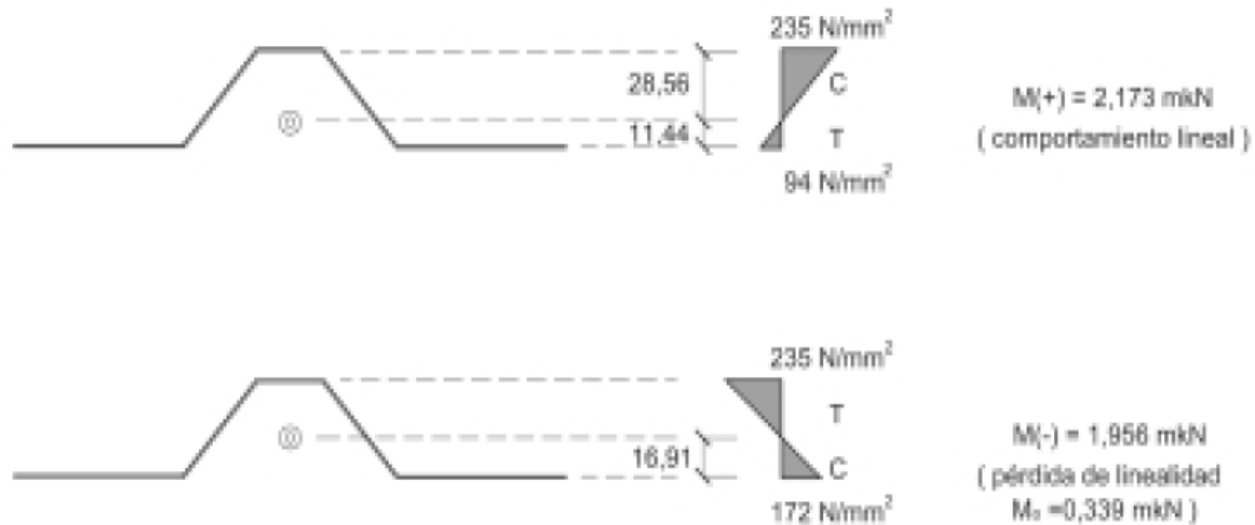


FIGURA 5.15. *Momentos flectores de agotamiento*

Cobertura sometida a “carga de línea”

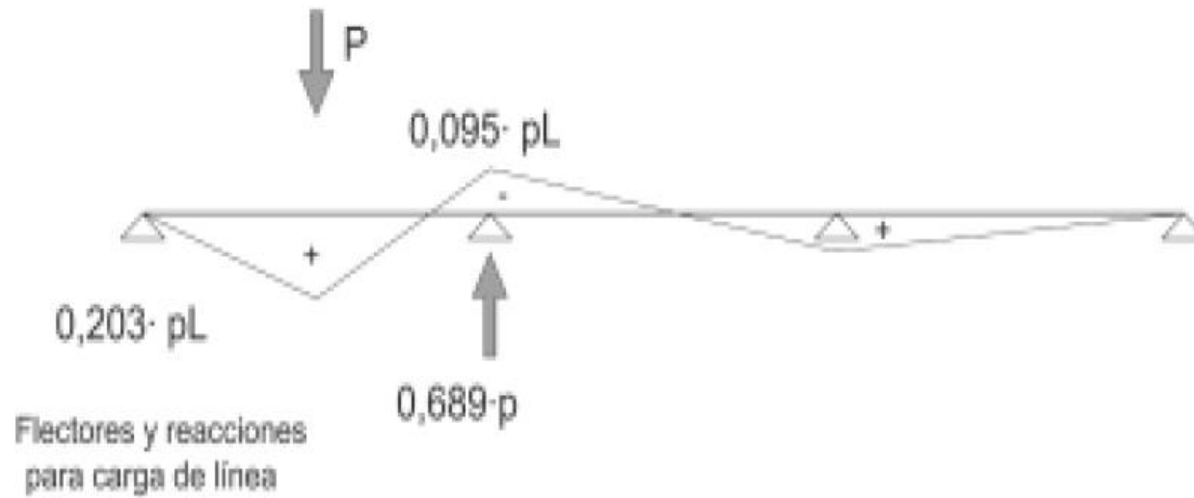
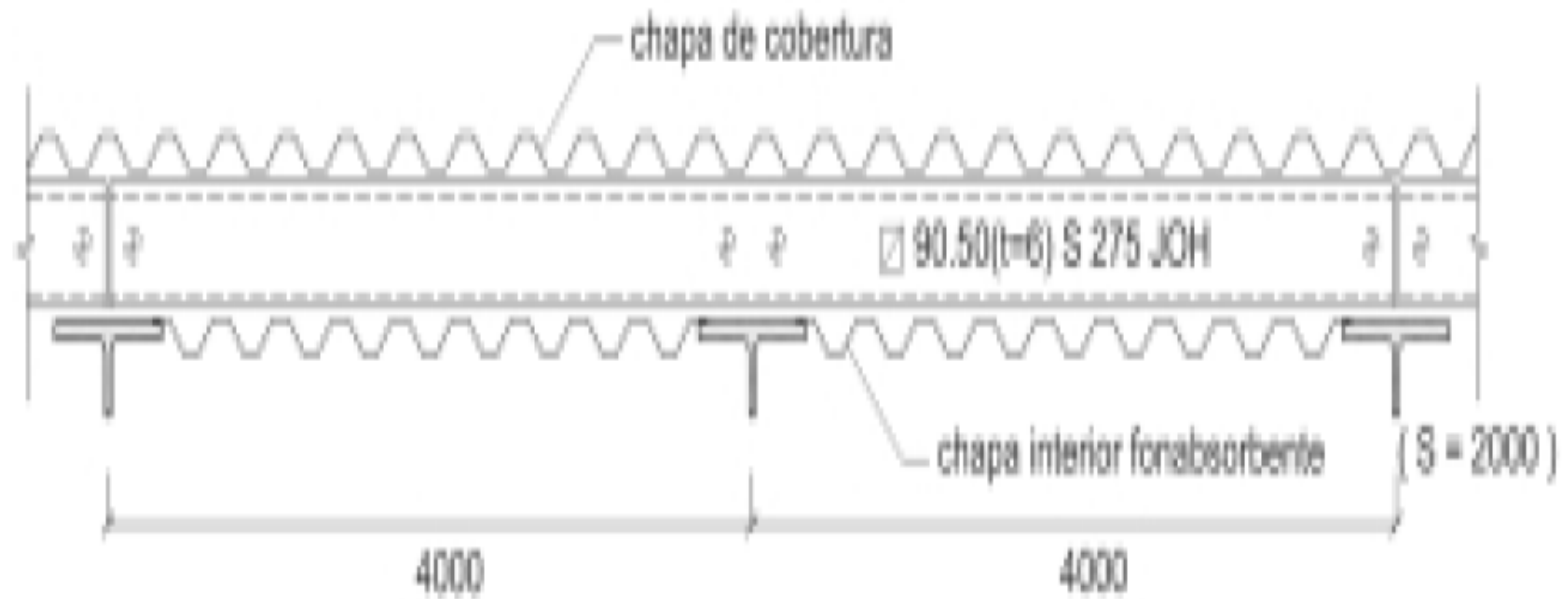


FIGURA 5.16

Cobertura y correas



Tipos de correas

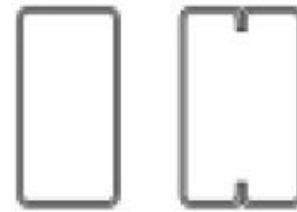
.



cargas pesadas
sobrecargas de instalaciones

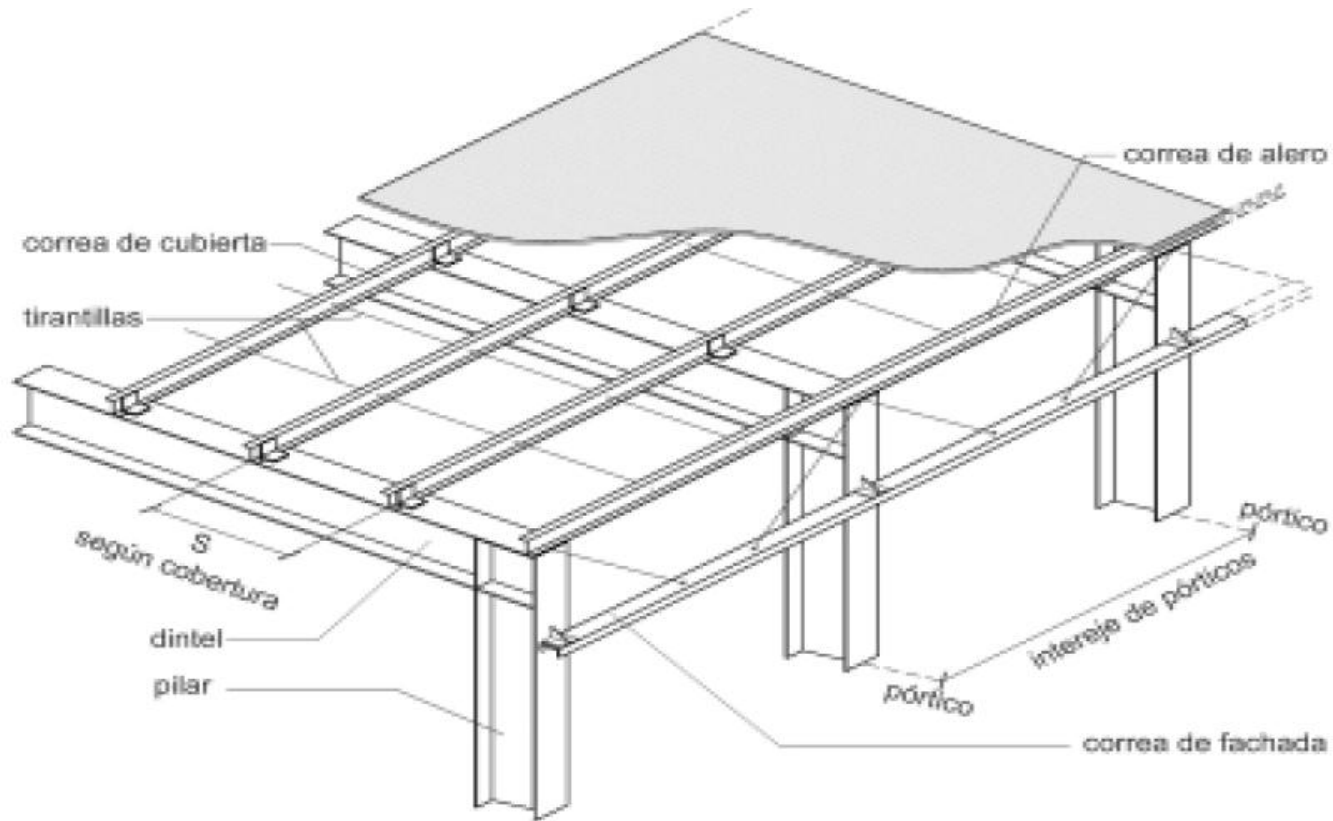


cargas ligeras
grandes luces



correas de borde, aleros,
correas con torsión,
adecuadas para RF

Correas de cubierta y correas de fachada



Correas, distribución

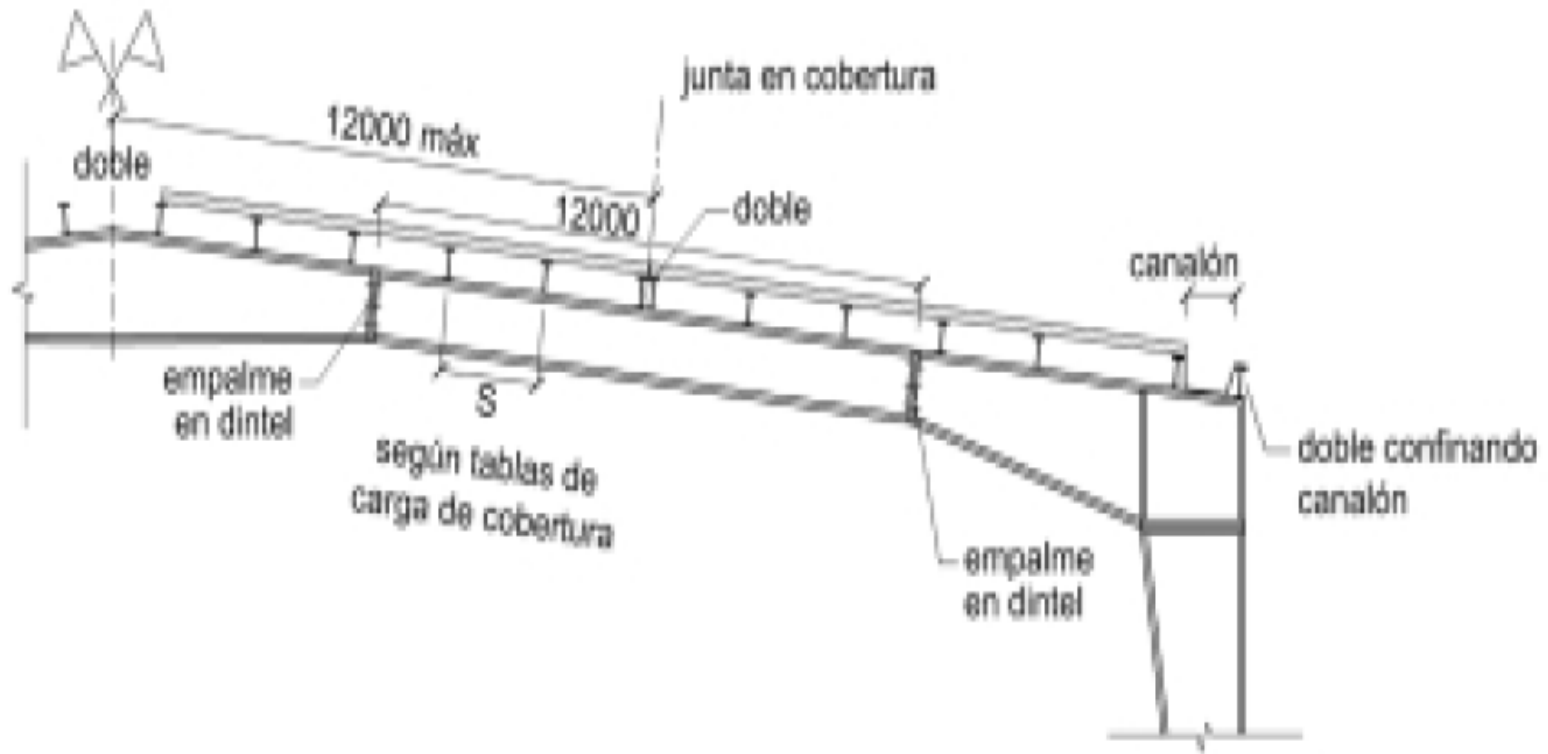
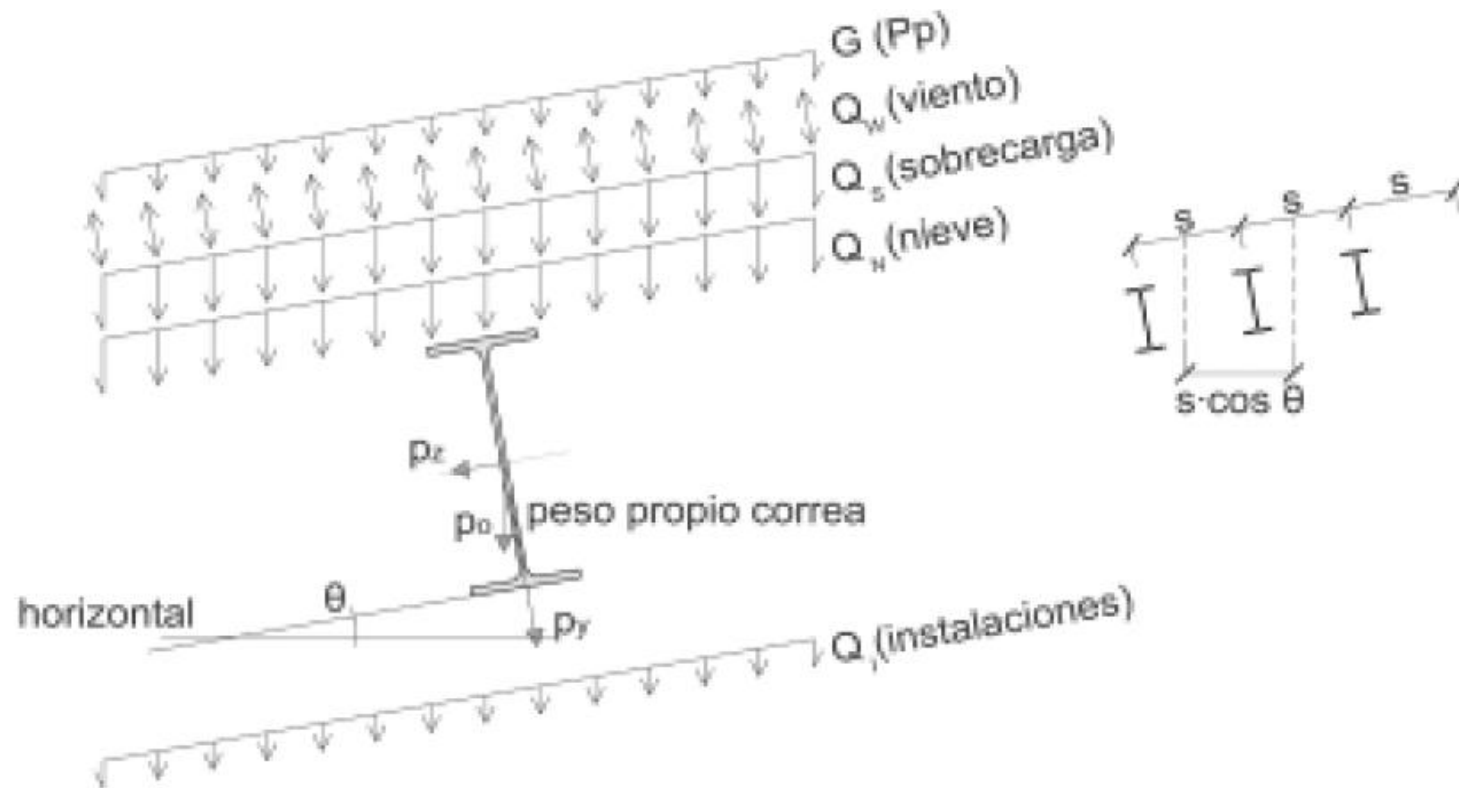
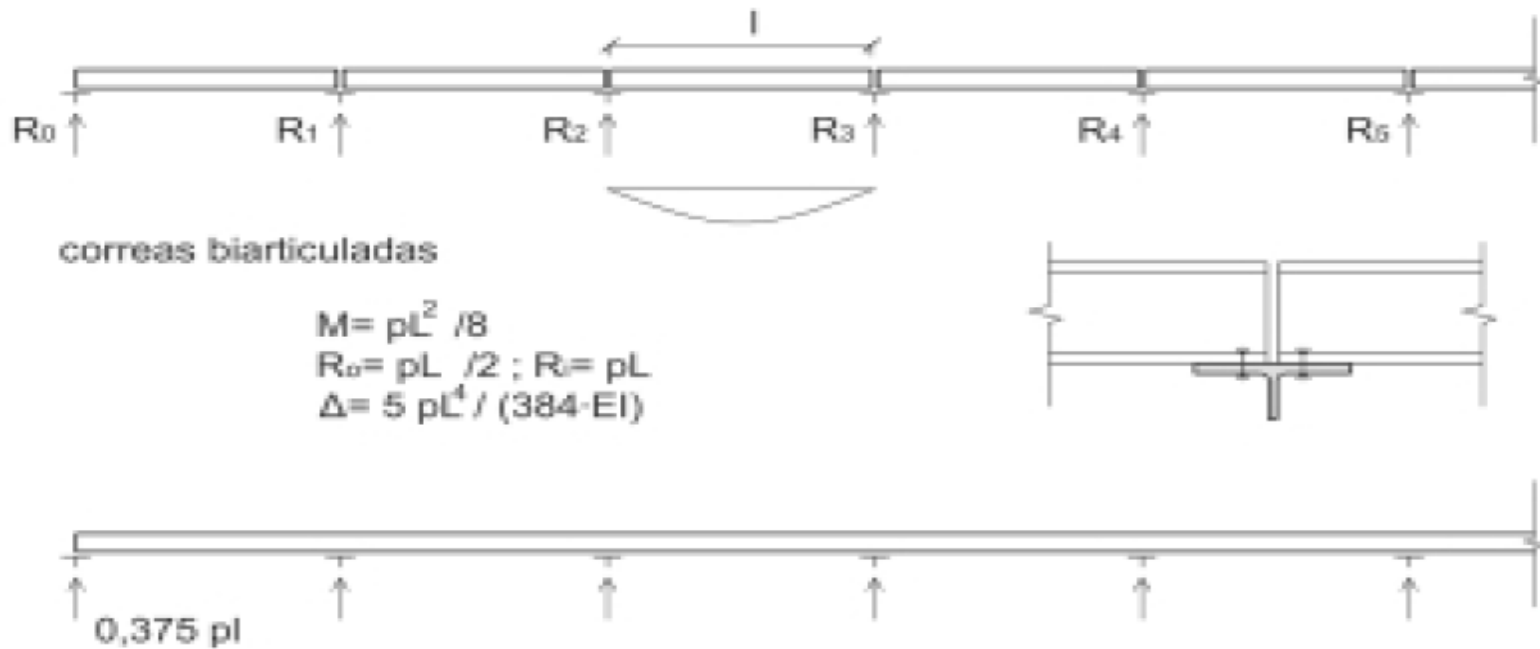


FIGURA 6.1 *Condicionantes de distribución de correas*

Correas, cargas directas

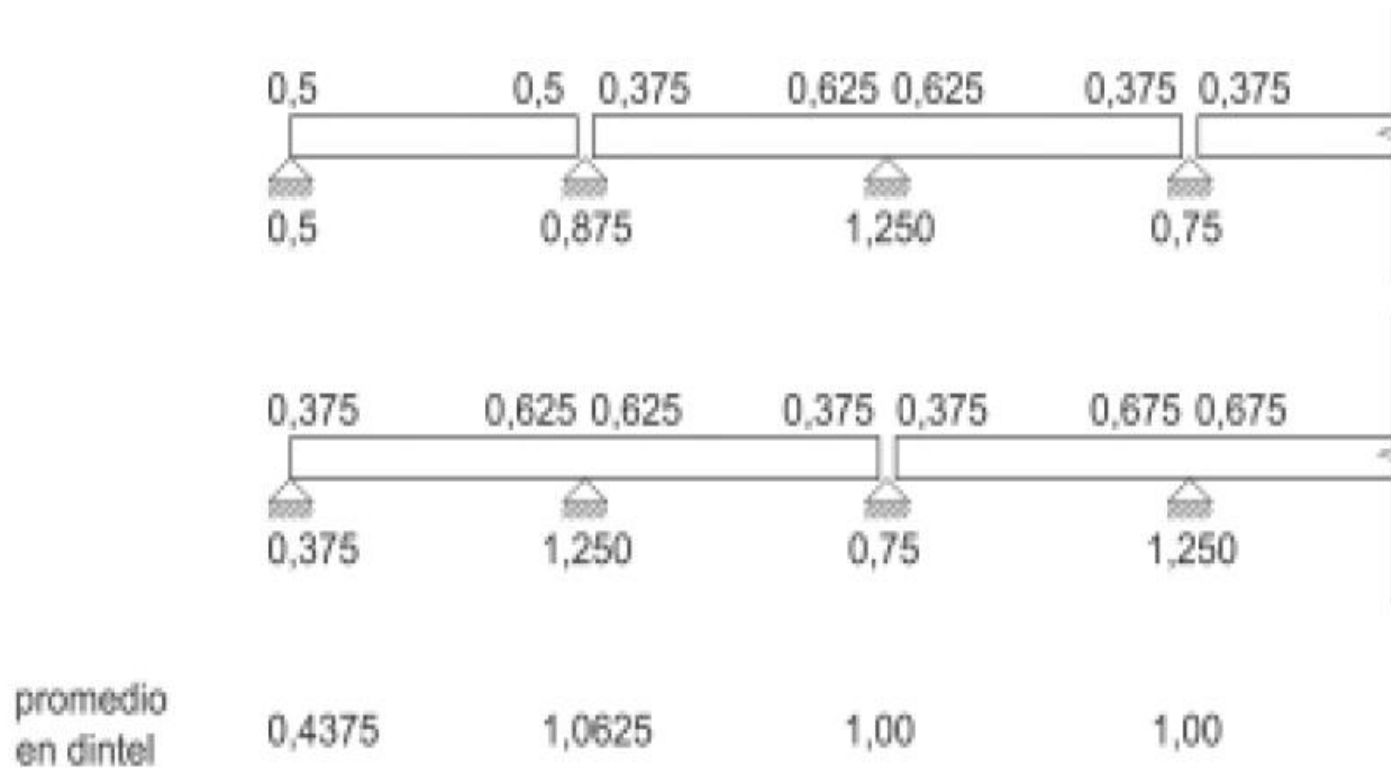


Correas. Esquema simple



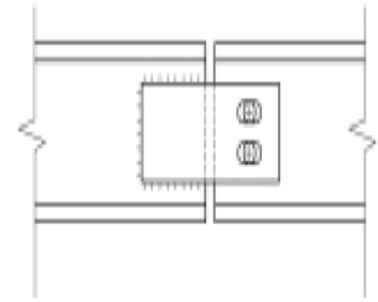
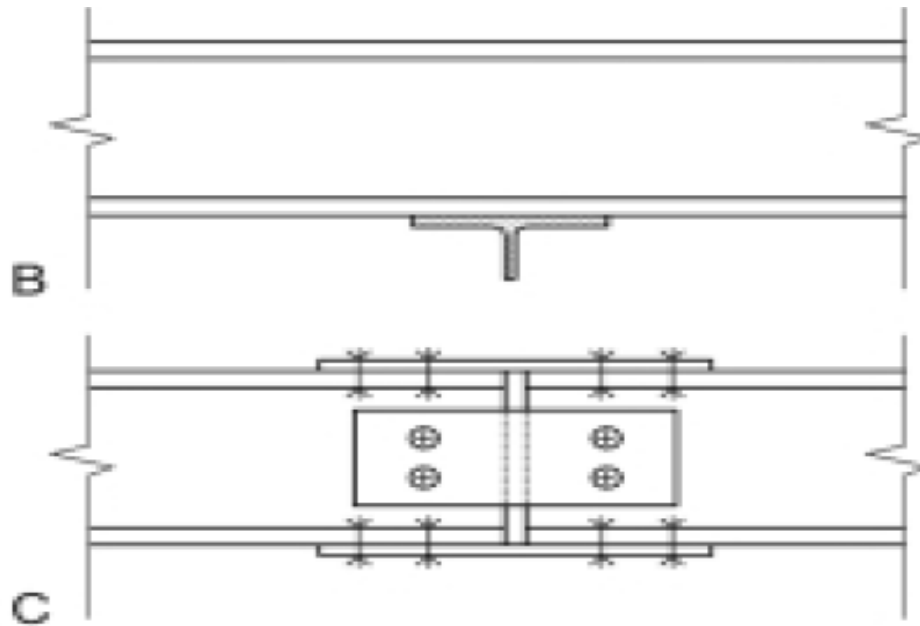
Correas continuas

-

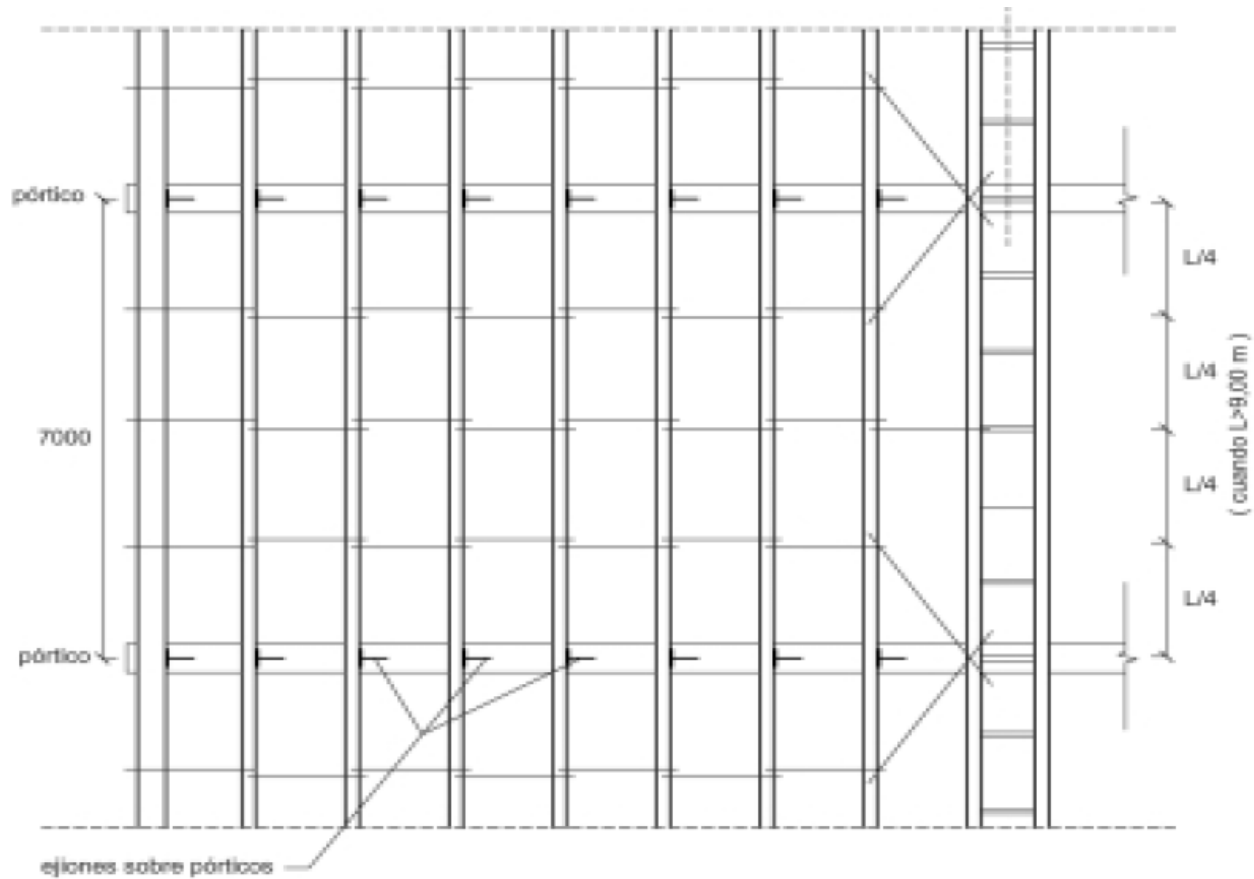


Correas. Nudos rígidos, articulaciones

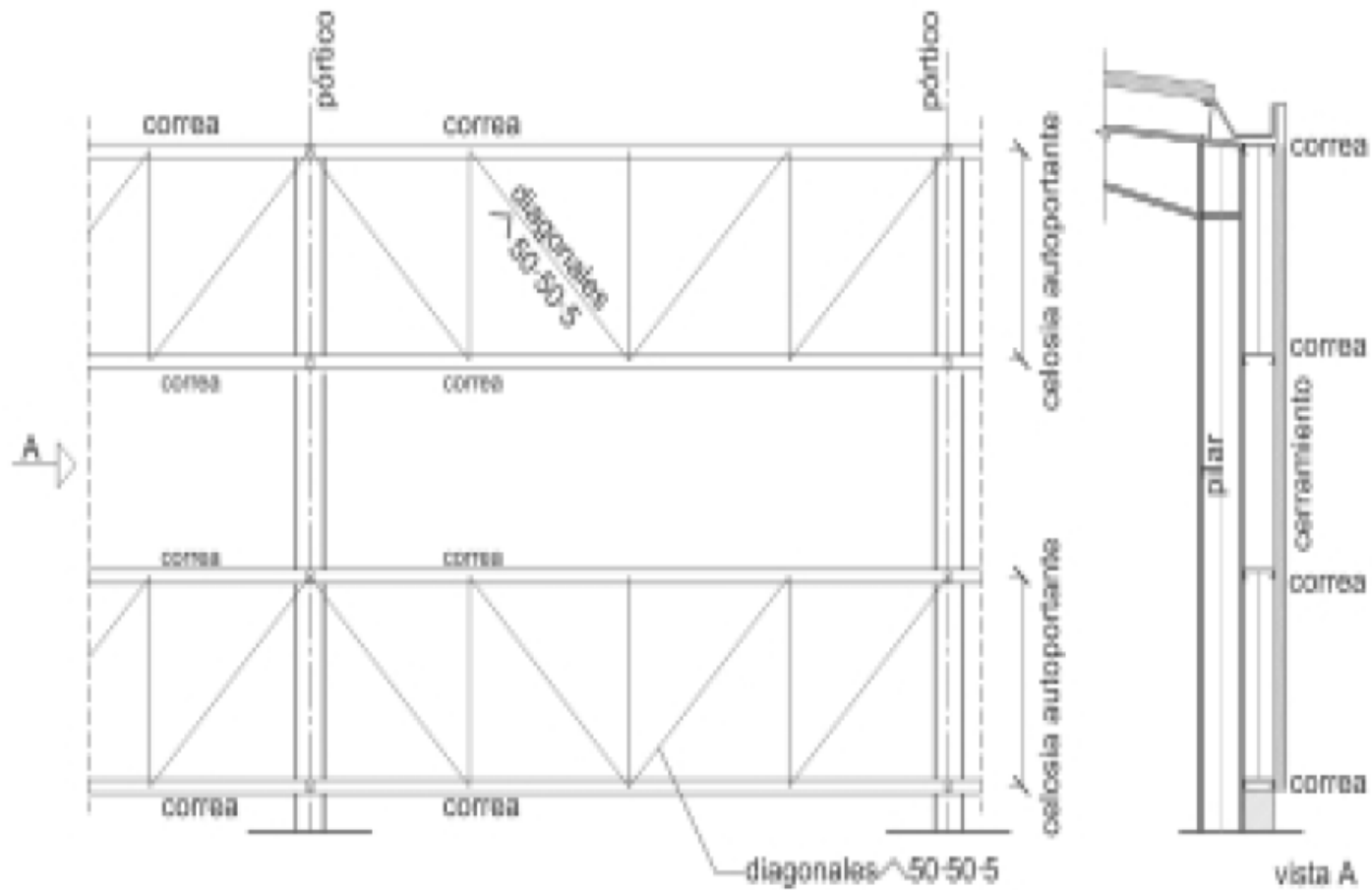
.



Correas. Arriostrado lateral (tirantillas, anti-sag)

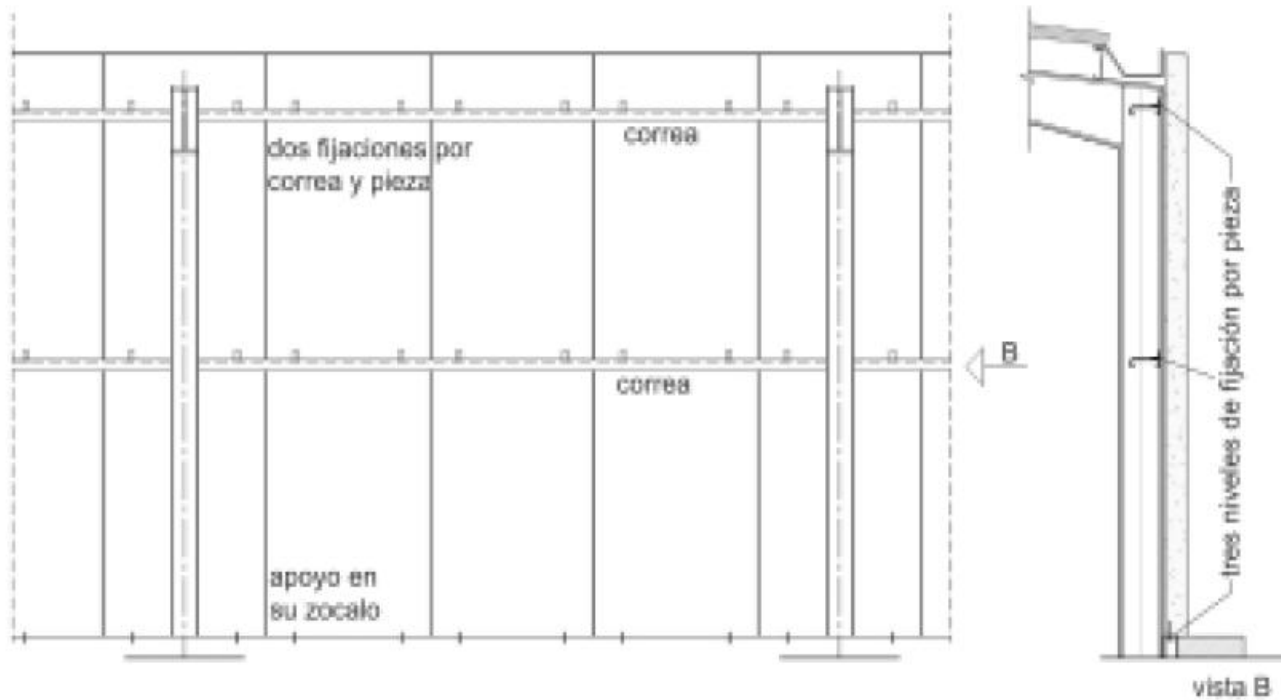


Correas de fachada, organización pareada

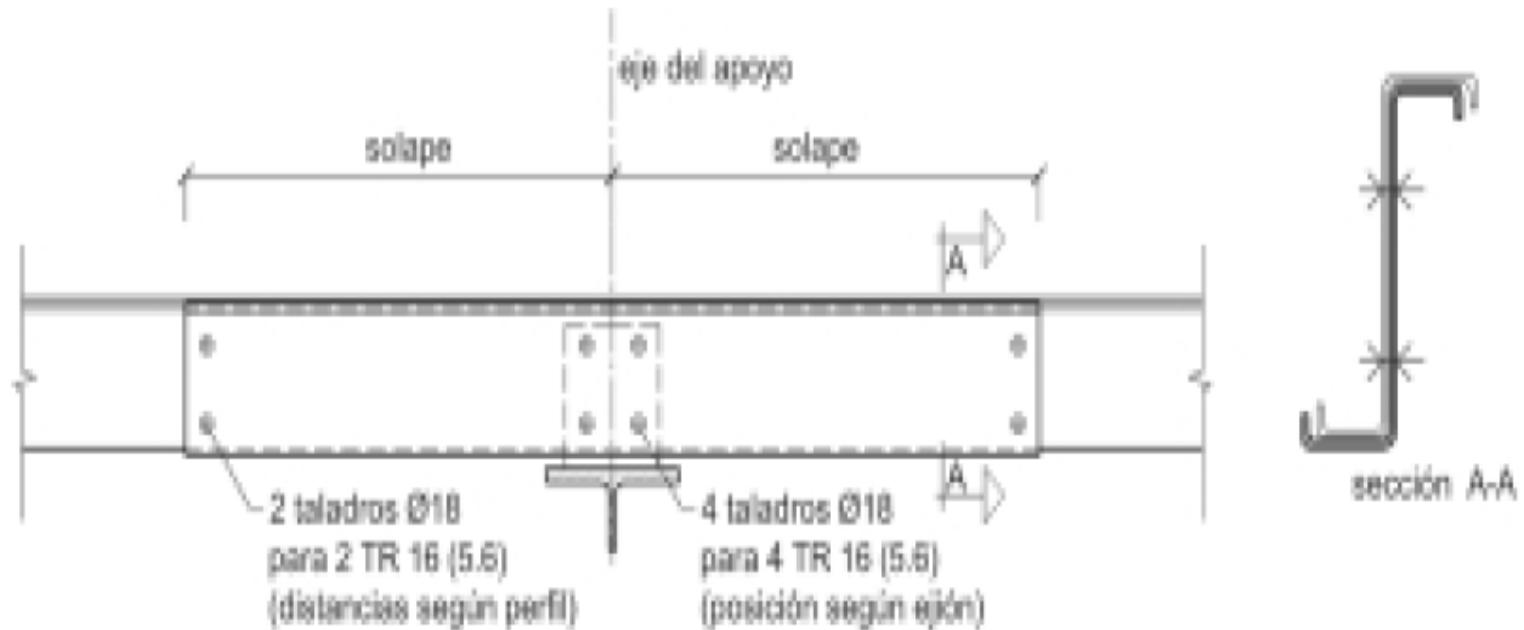


Correas de fachada, cerramiento de concreto

-
-

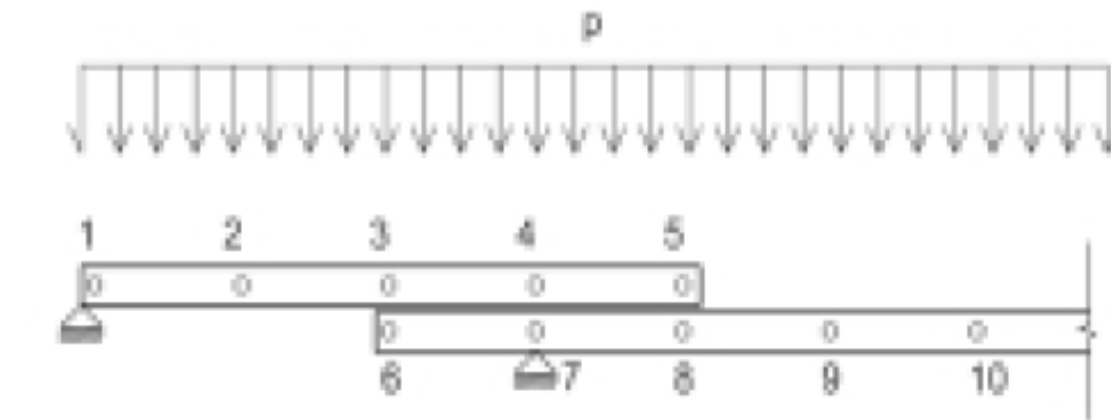


Correas de cubierta, solape en nudo



Correas de cubierta, modelo de cálculo

.



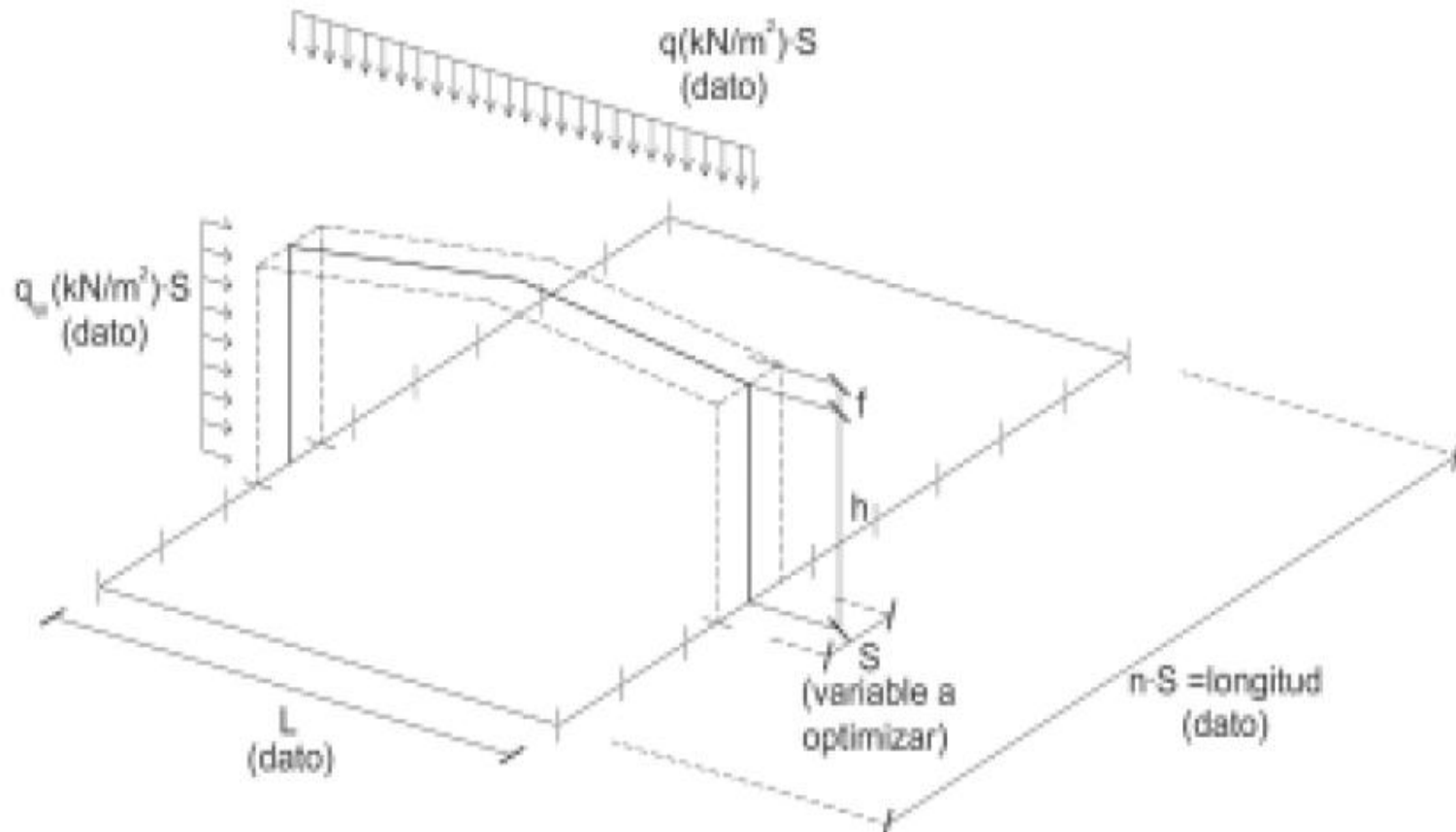
modelización de solapes en
sistema continuo de correas

NODOS

3, 6	} "Constraint Z" (igual corrimiento z)
4, 7	
5, 8	

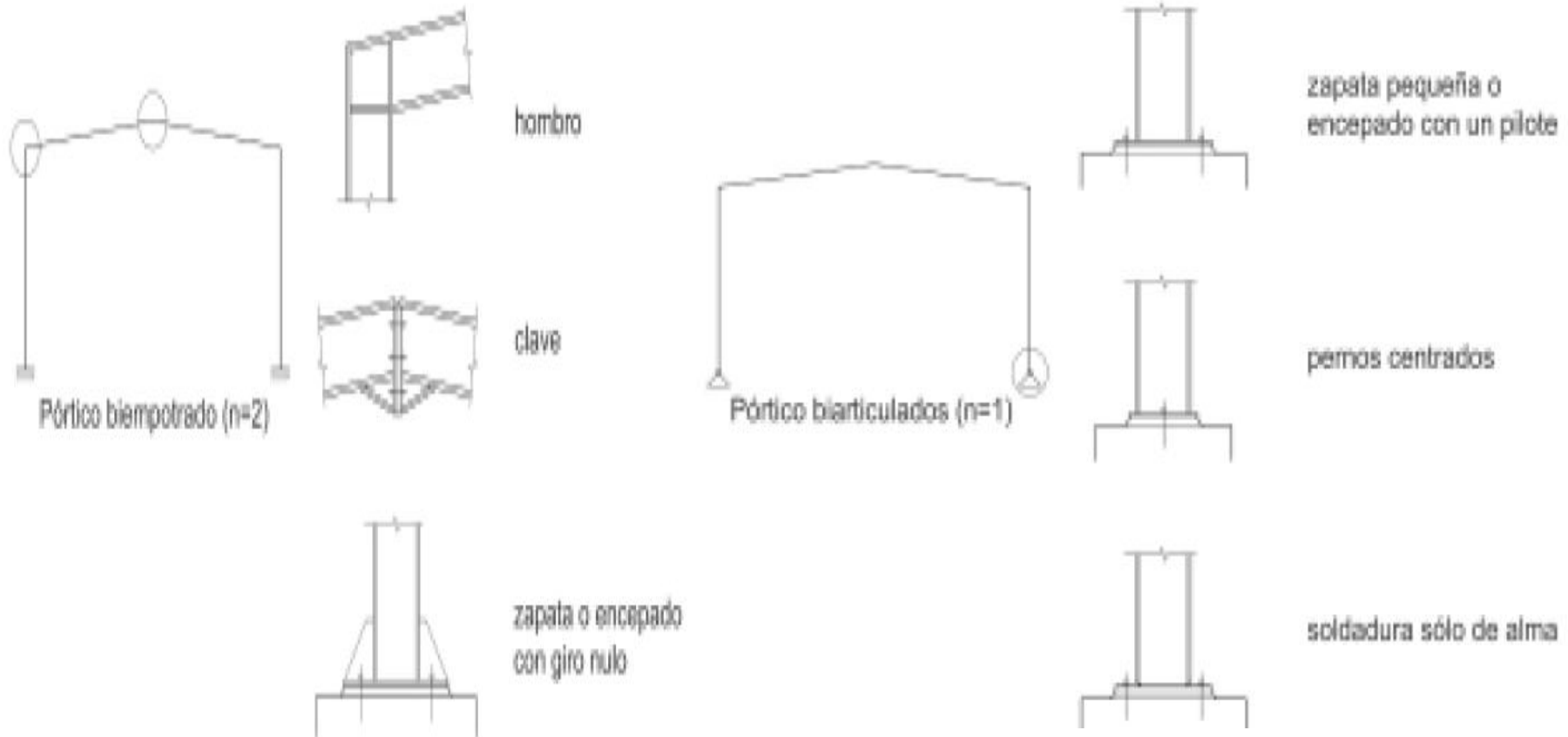
Atención: Entre nudos comunes sólo aplica una única carga "p".

Pórtico típico, definición

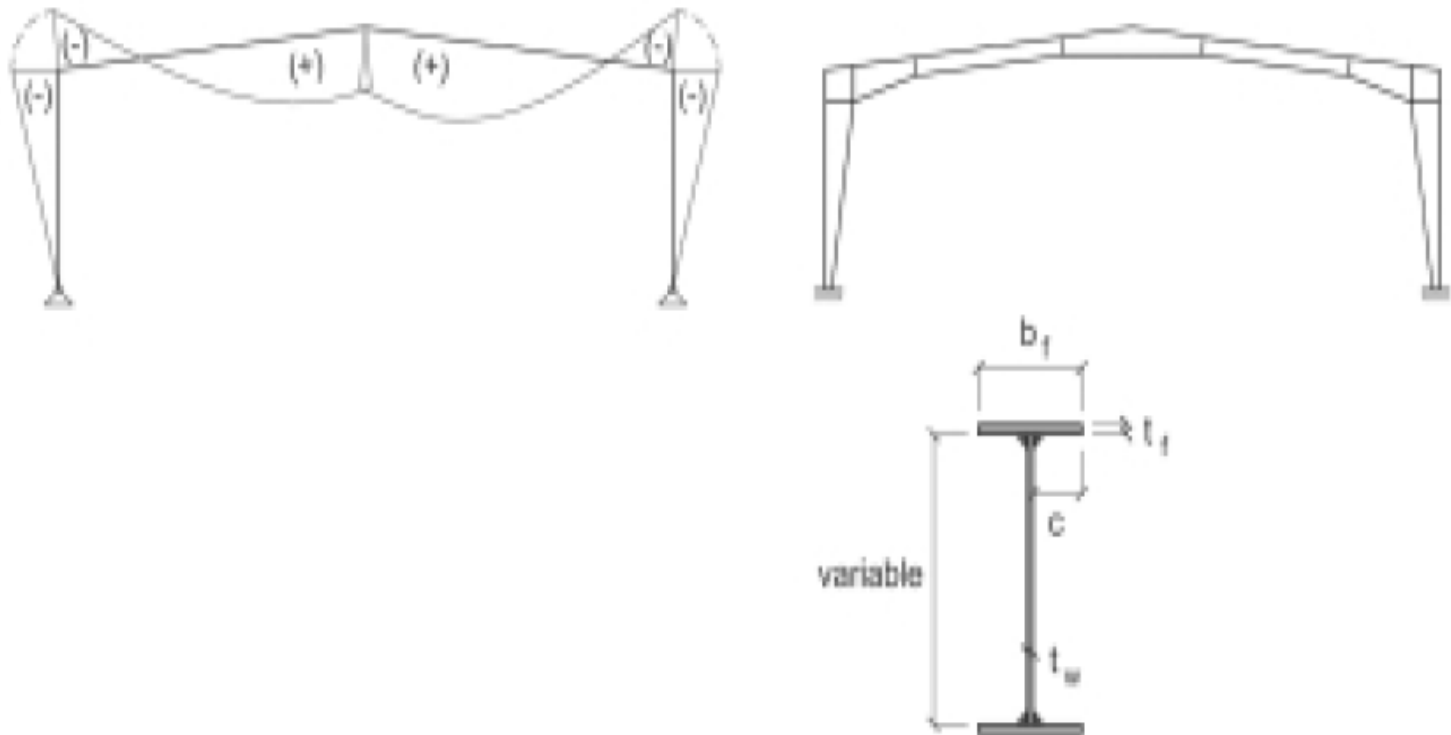


Pórtico biempotrado o biarticulado

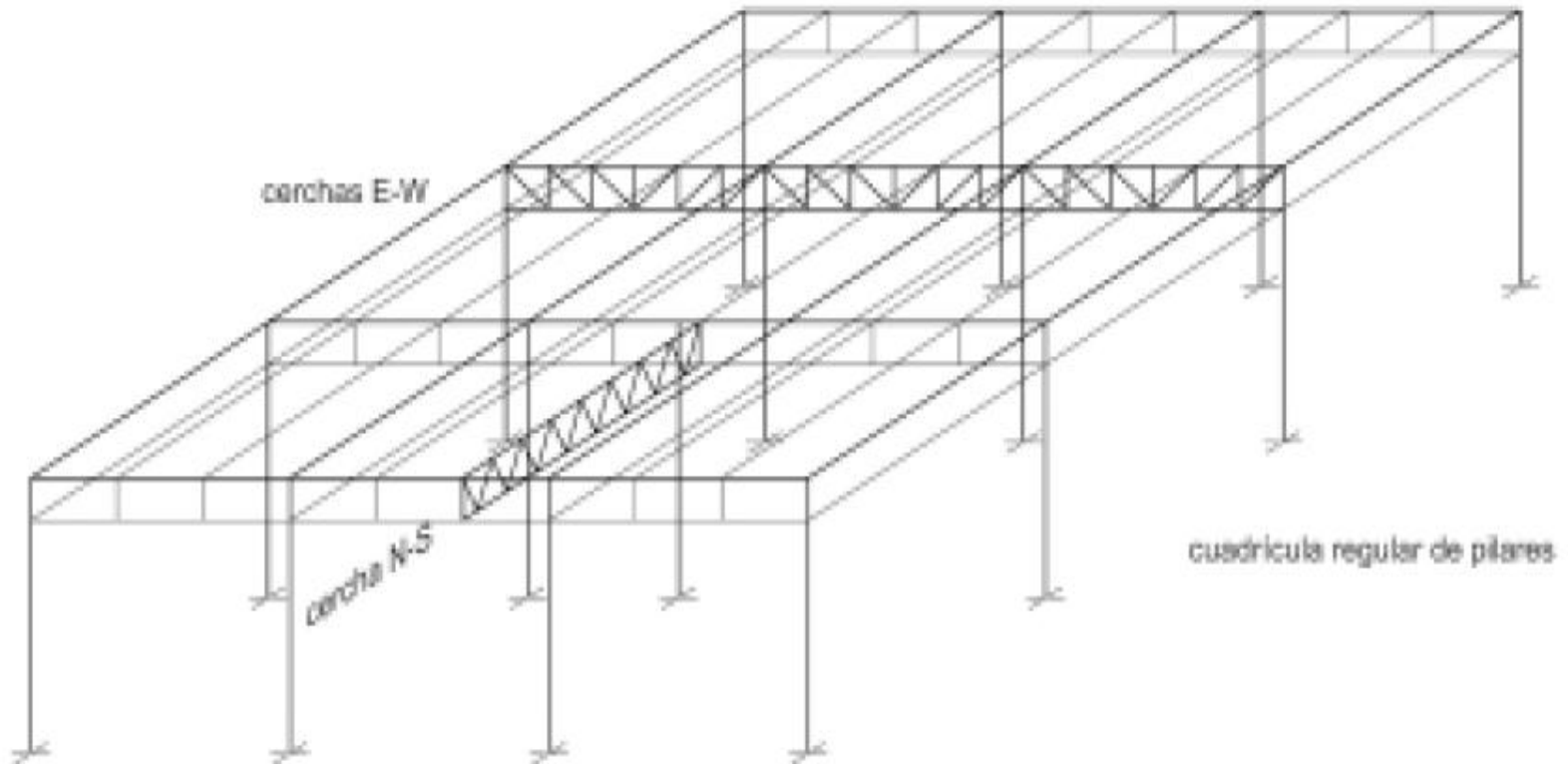
-



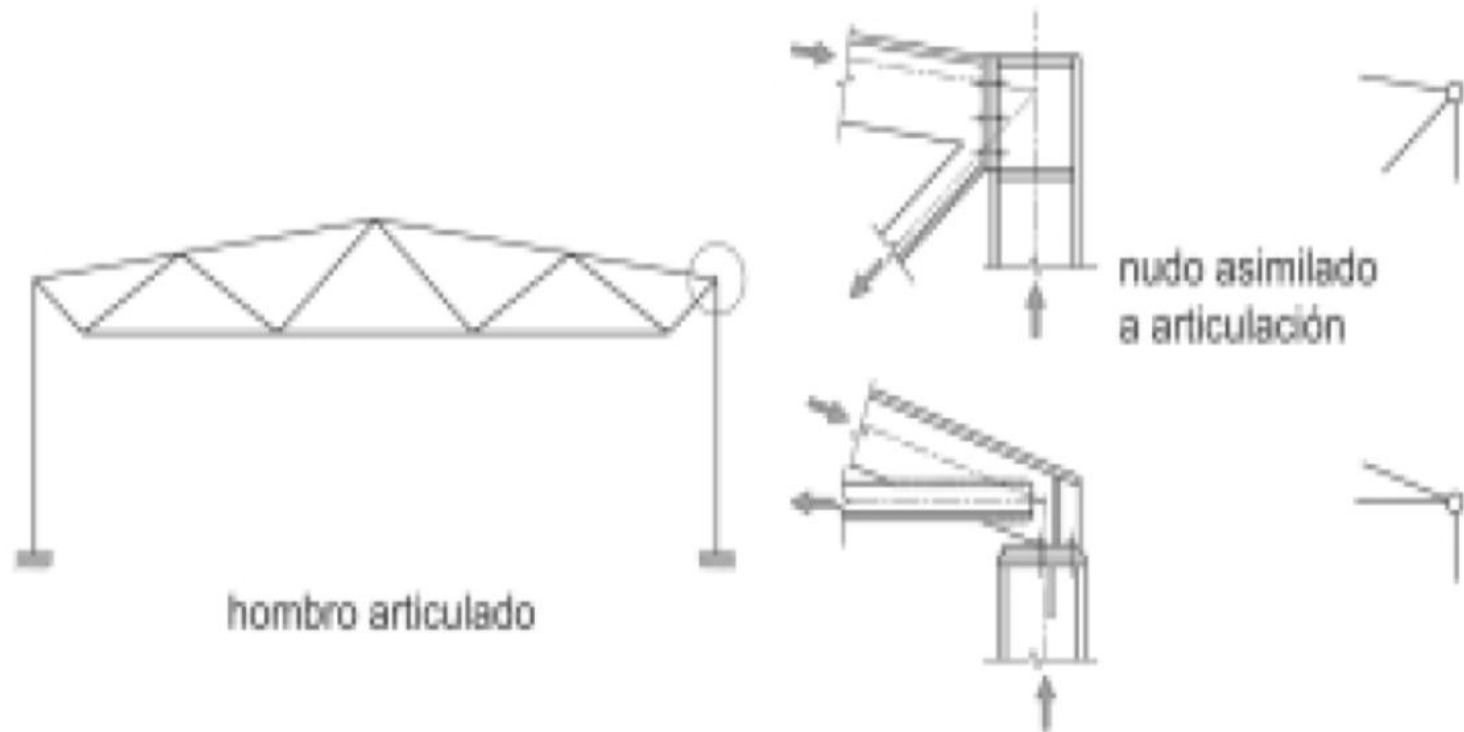
Pórtico de canto variable, bien adaptado



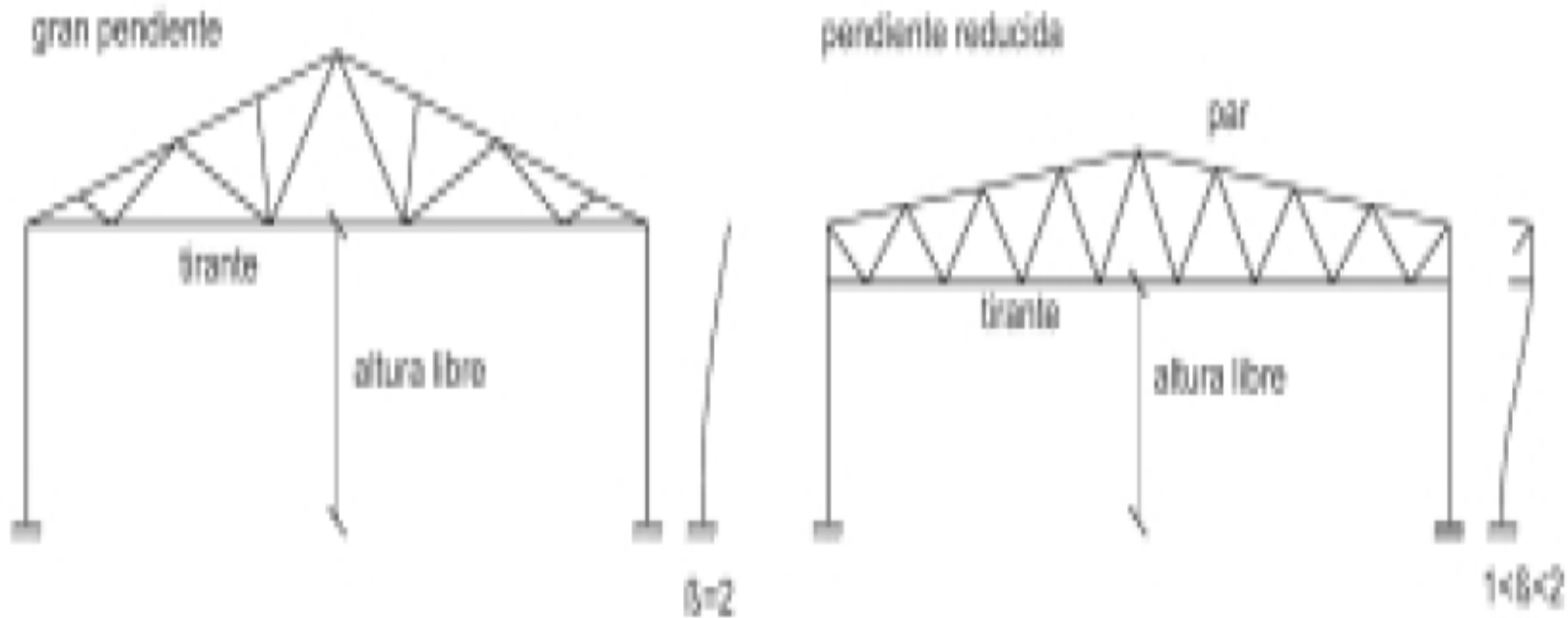
Configuración cuadrada, cerchas



Cercha como dintel

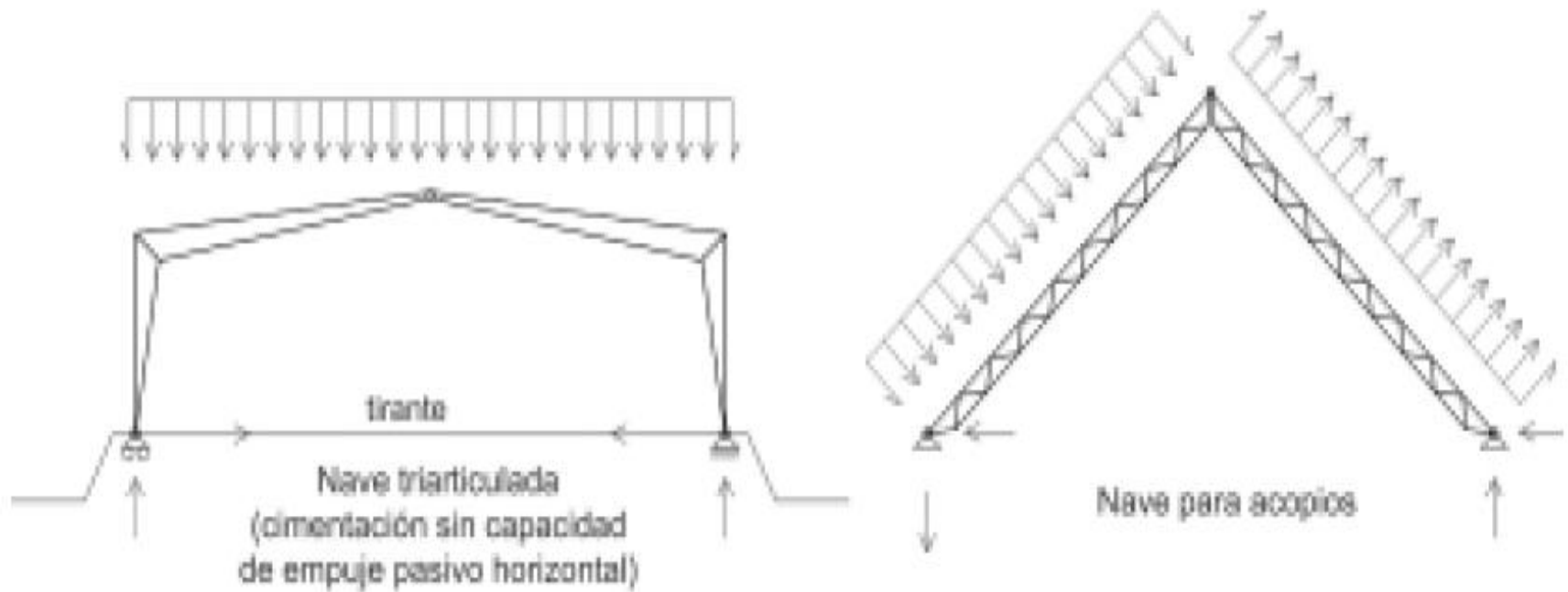


Cercha articulada o cercha que rigidiza el hombro

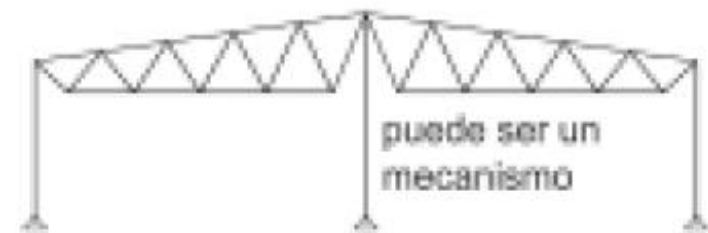
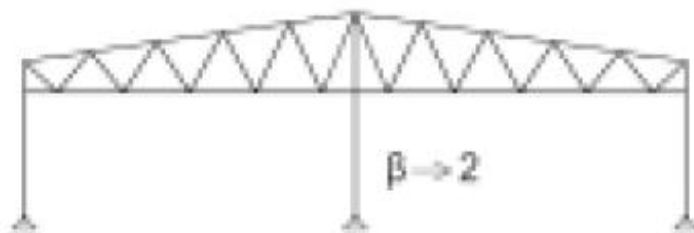
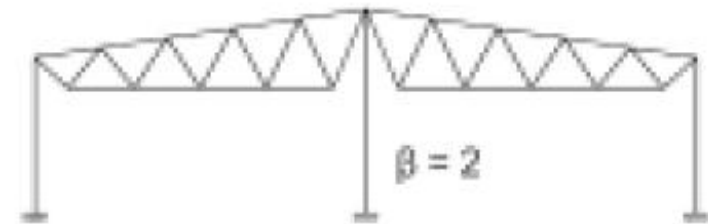
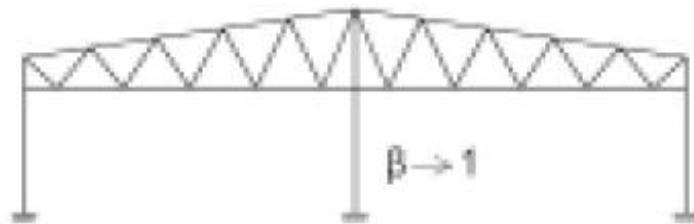


Pórticos triarticulados

-

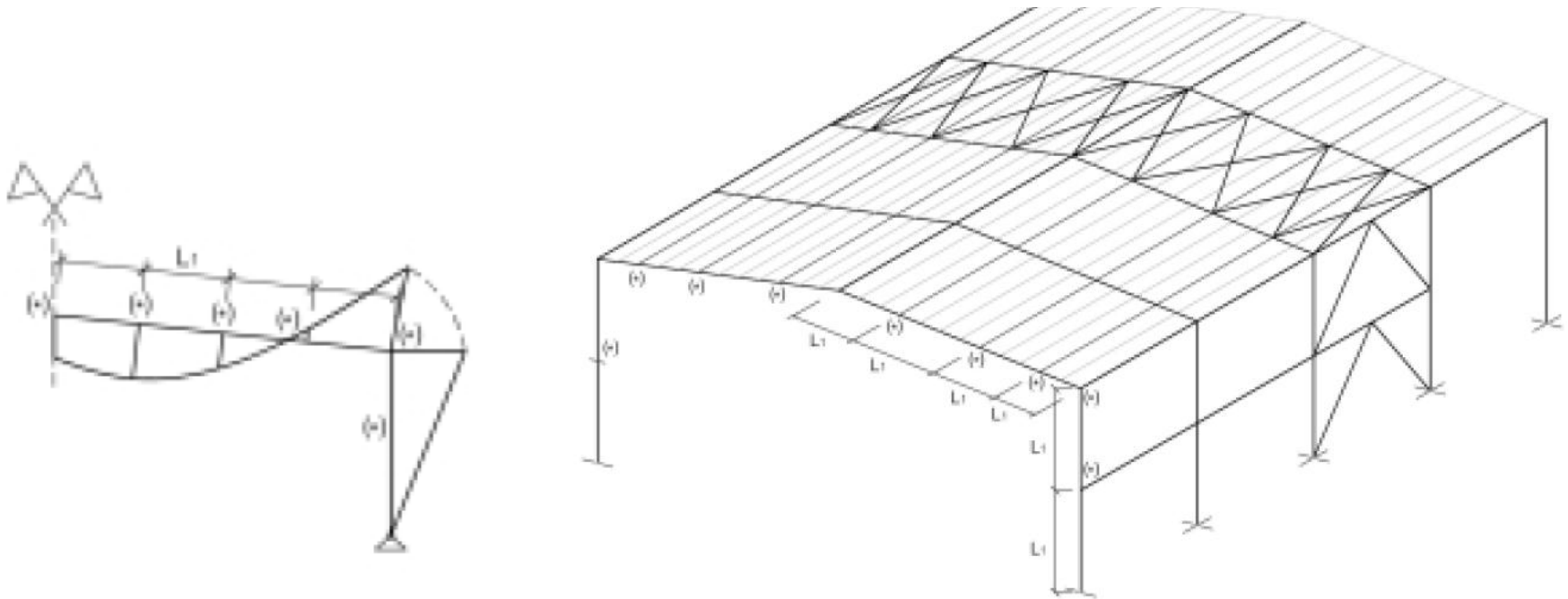


Cerchas y longitud de pandeo de pilares

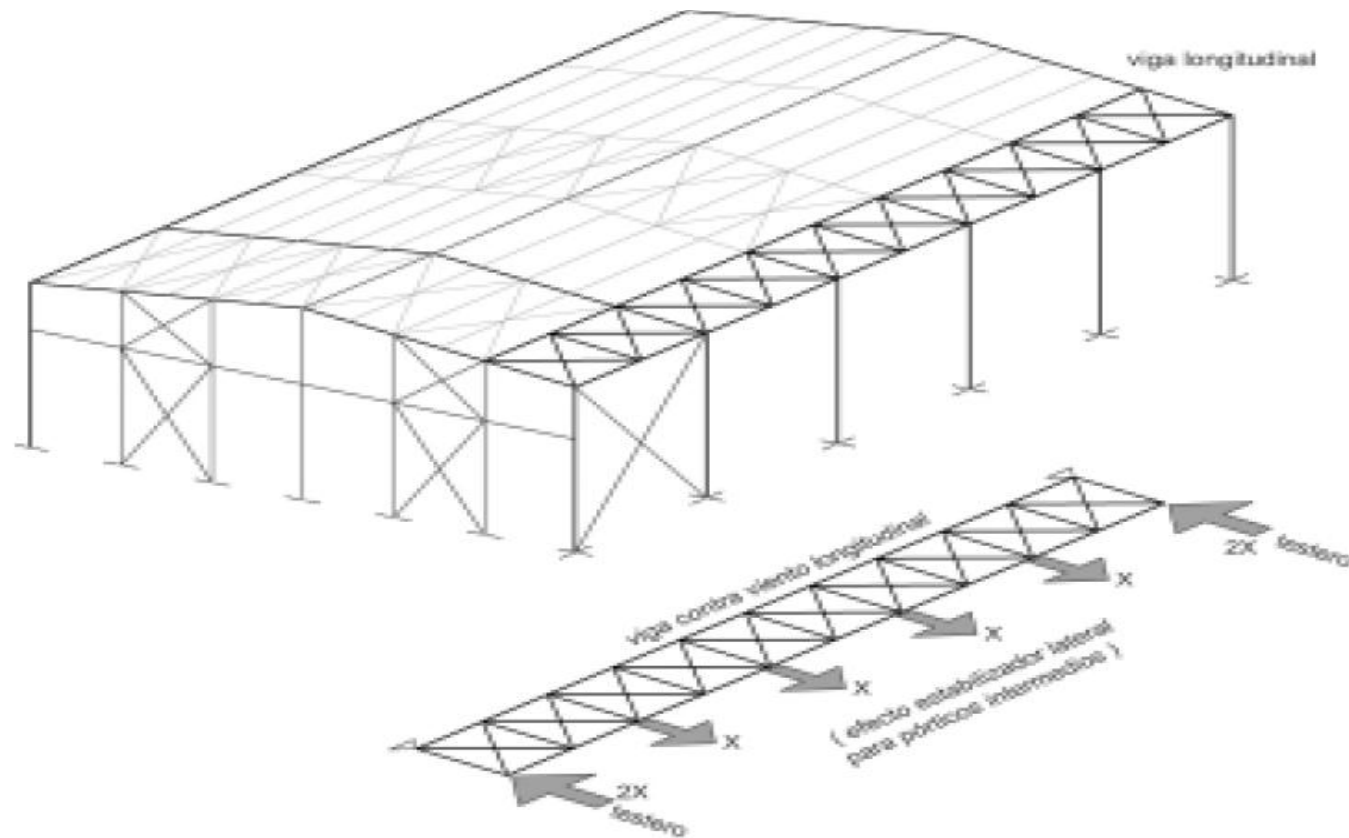


Pórticos, arriostrado transversal

.



Pórticos, arriostrado longitudinal (1)



Pórticos transversales estabilizados (2)



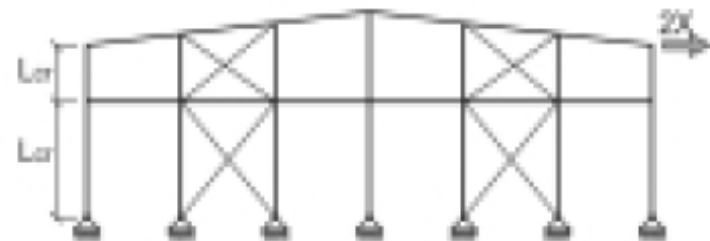
$$0,7 < \beta < 1$$

pórticos intermedios
biarticulados



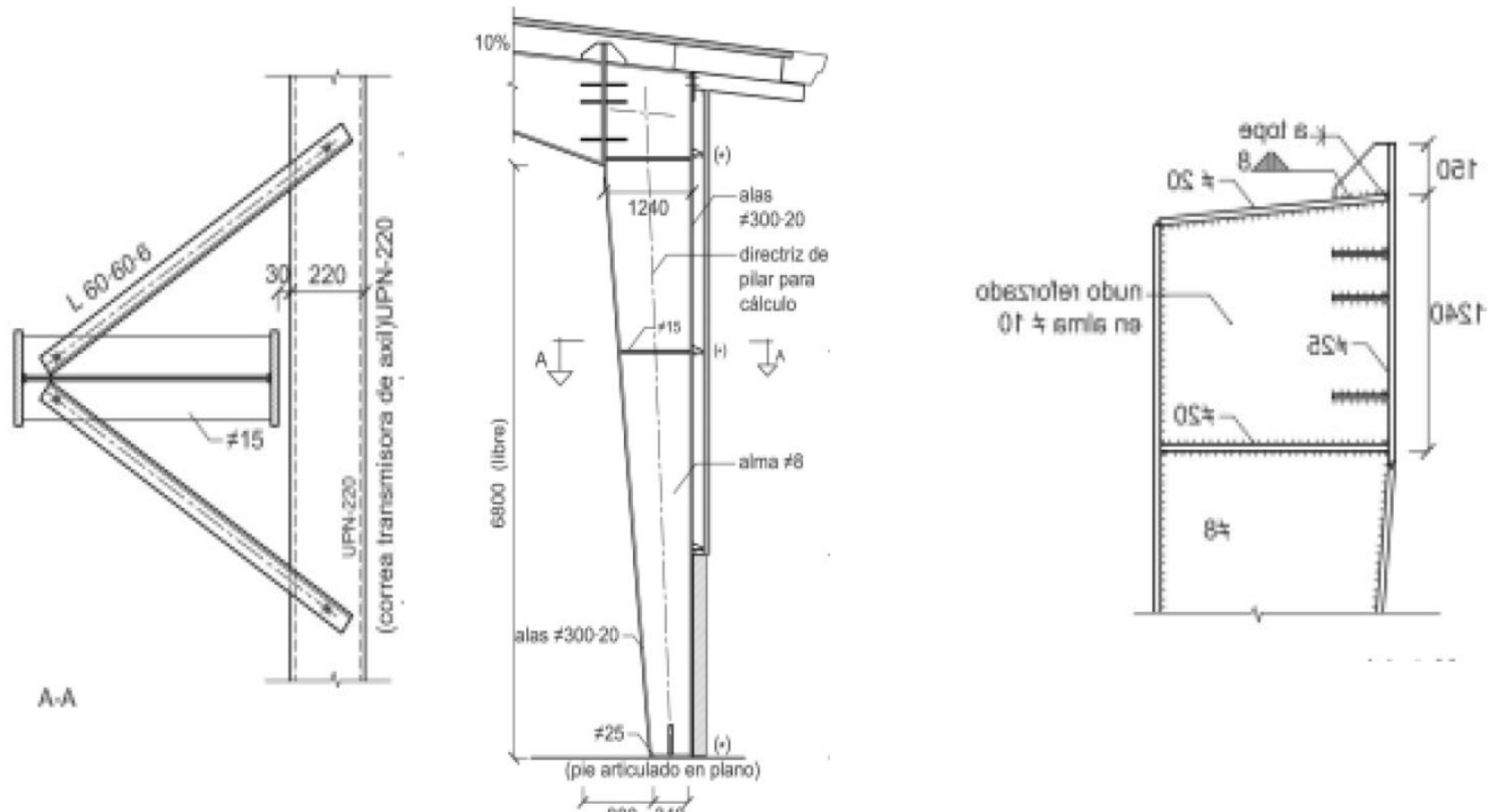
$$0,50 < \beta < 0,7$$

pórticos intermedios
hemiarticulados

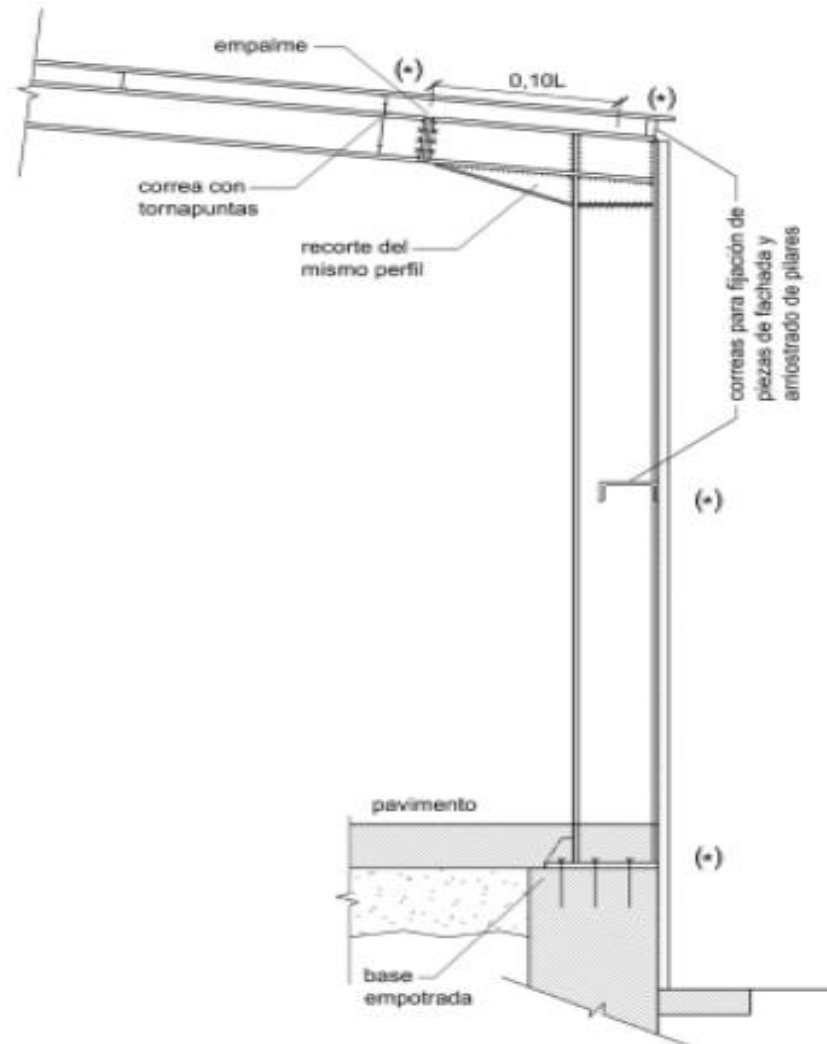


pórticos testeros
 $0,7 < \beta < 1$ por fracción

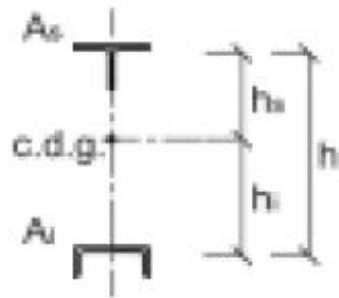
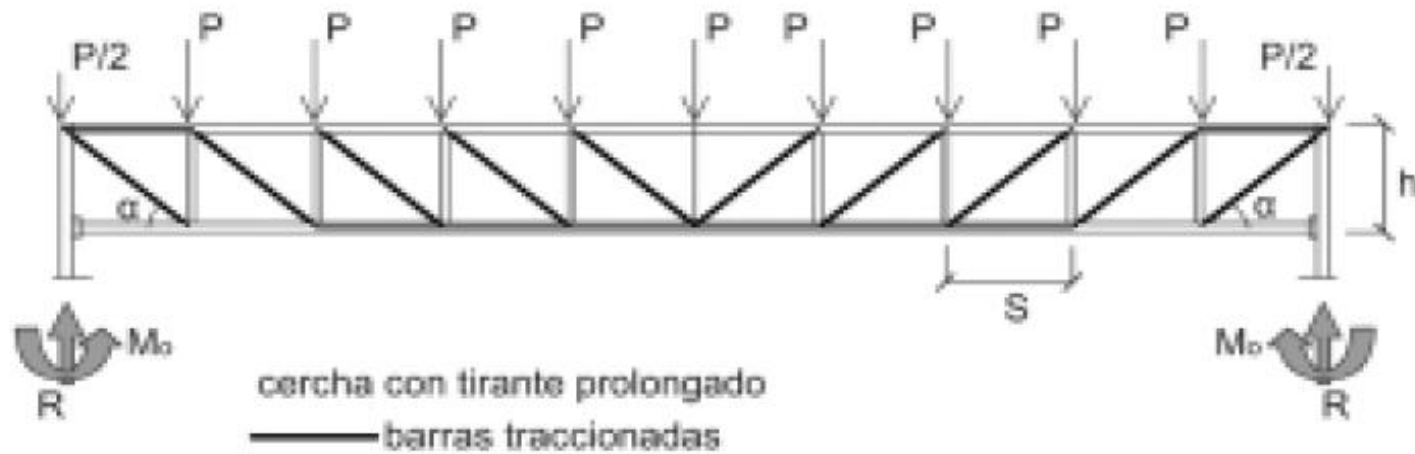
Pilar de pórtico



Pilar de pórtico con perfil laminado reforzado en hombro



Cerchas. Esquema básico



Inercia equivalente:

$$I_{\text{eq}} = 0,75 (A_s \cdot h_s^2 + A_i \cdot h_i^2)$$

Carga repartida:

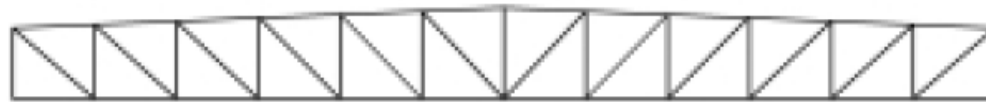
$$p = P/S; \quad R = pL/2$$

Flecha:

$$\Delta = 5 \cdot pL^4 / (384 \cdot E \cdot I_{\text{eq}}) + M_o \cdot L^2 / (8 \cdot E \cdot I_{\text{eq}})$$

Tipos de cerchas de cubierta

•



Pratt

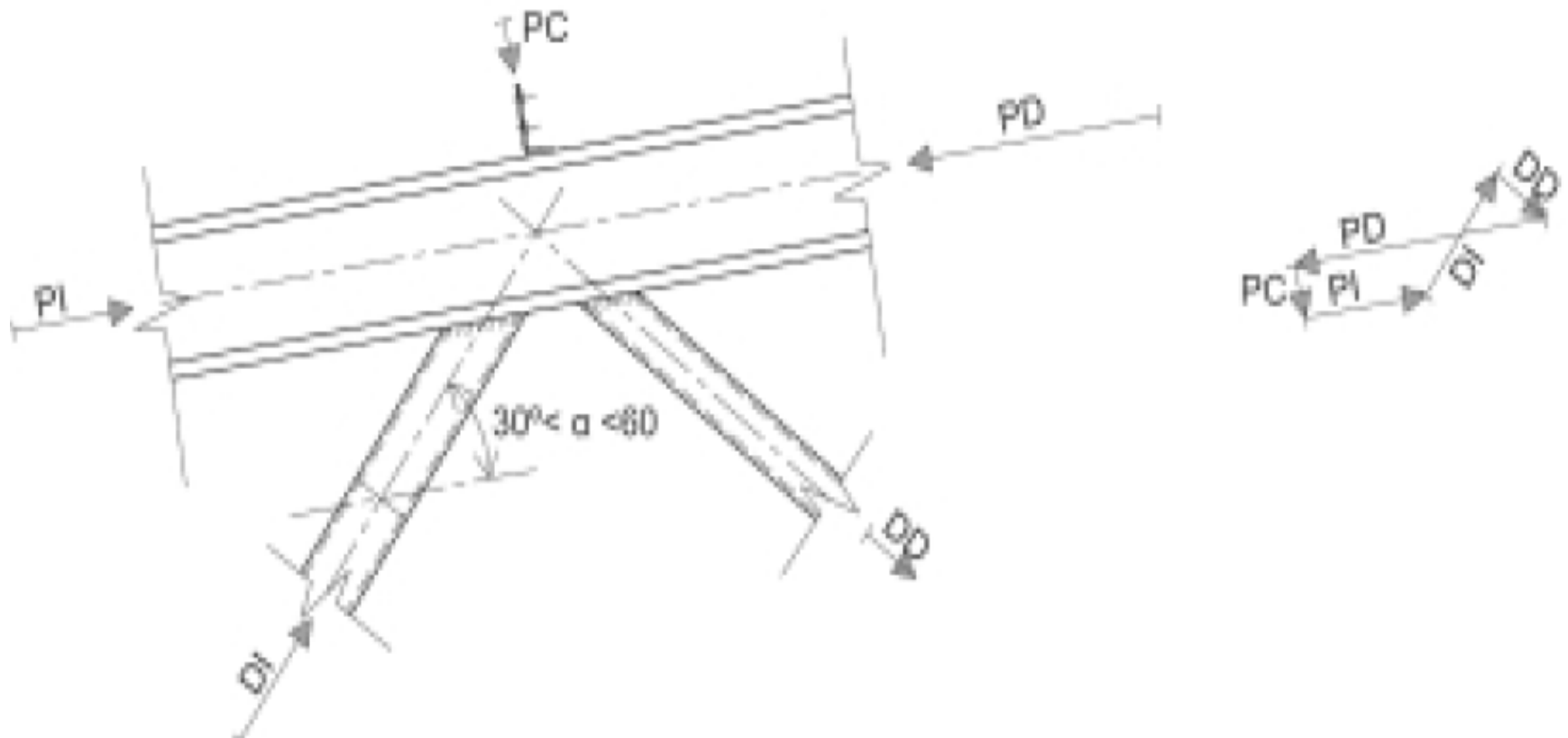


Warren



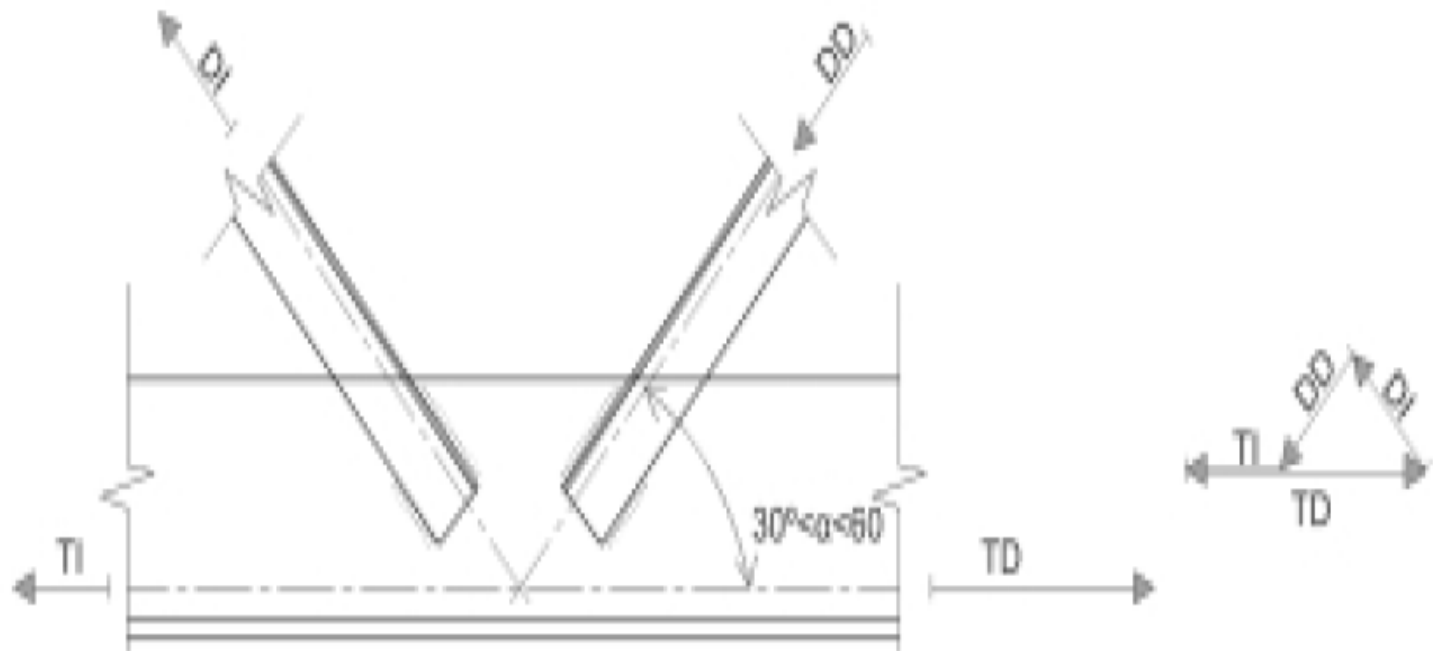
Polonceau

Cerchas. Nudo en cordón superior



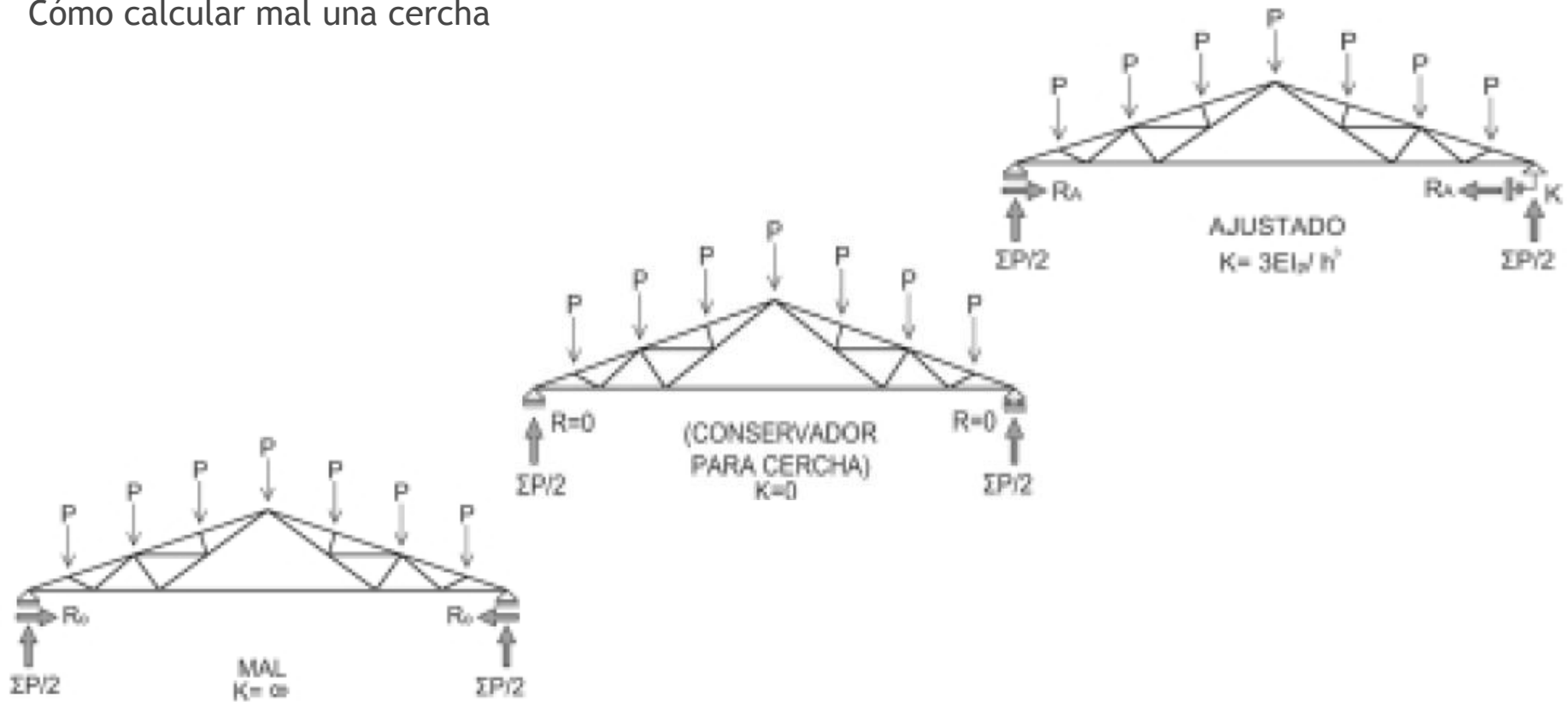
Cerchas. Nudo en tirante

.

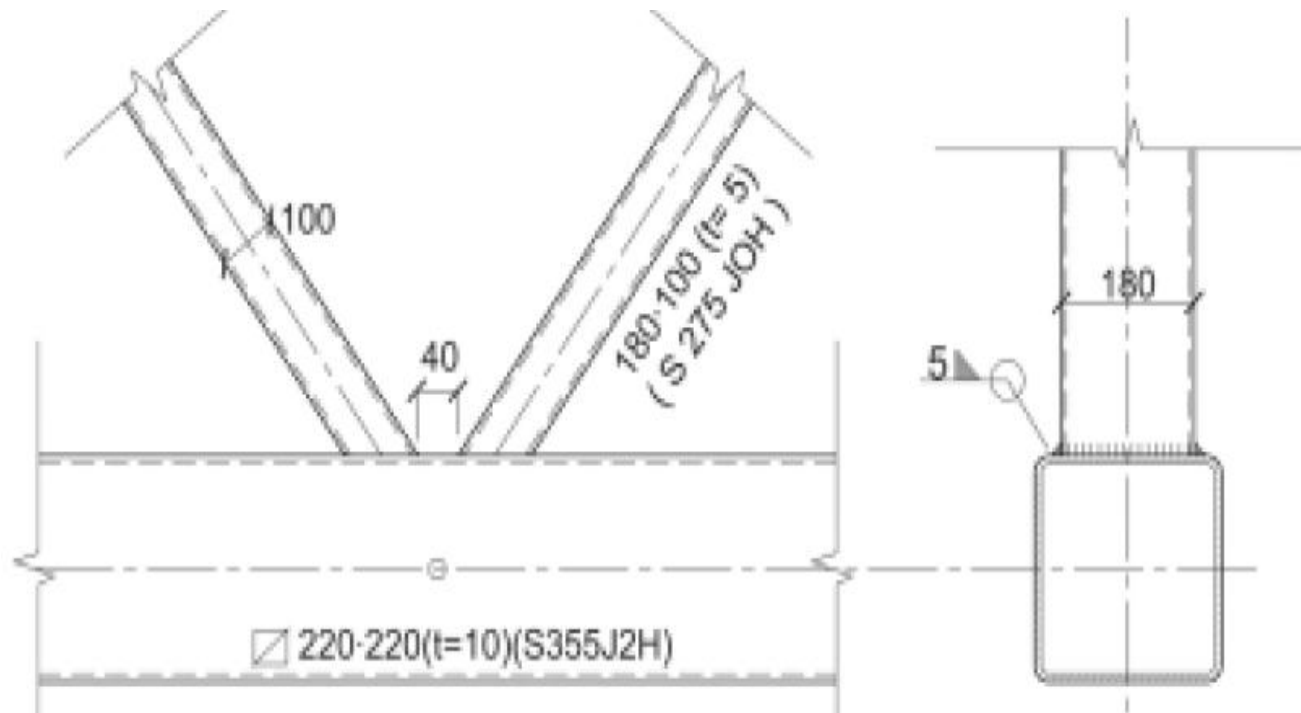


Cerchas. Reacción horizontal

Cómo calcular mal una cercha

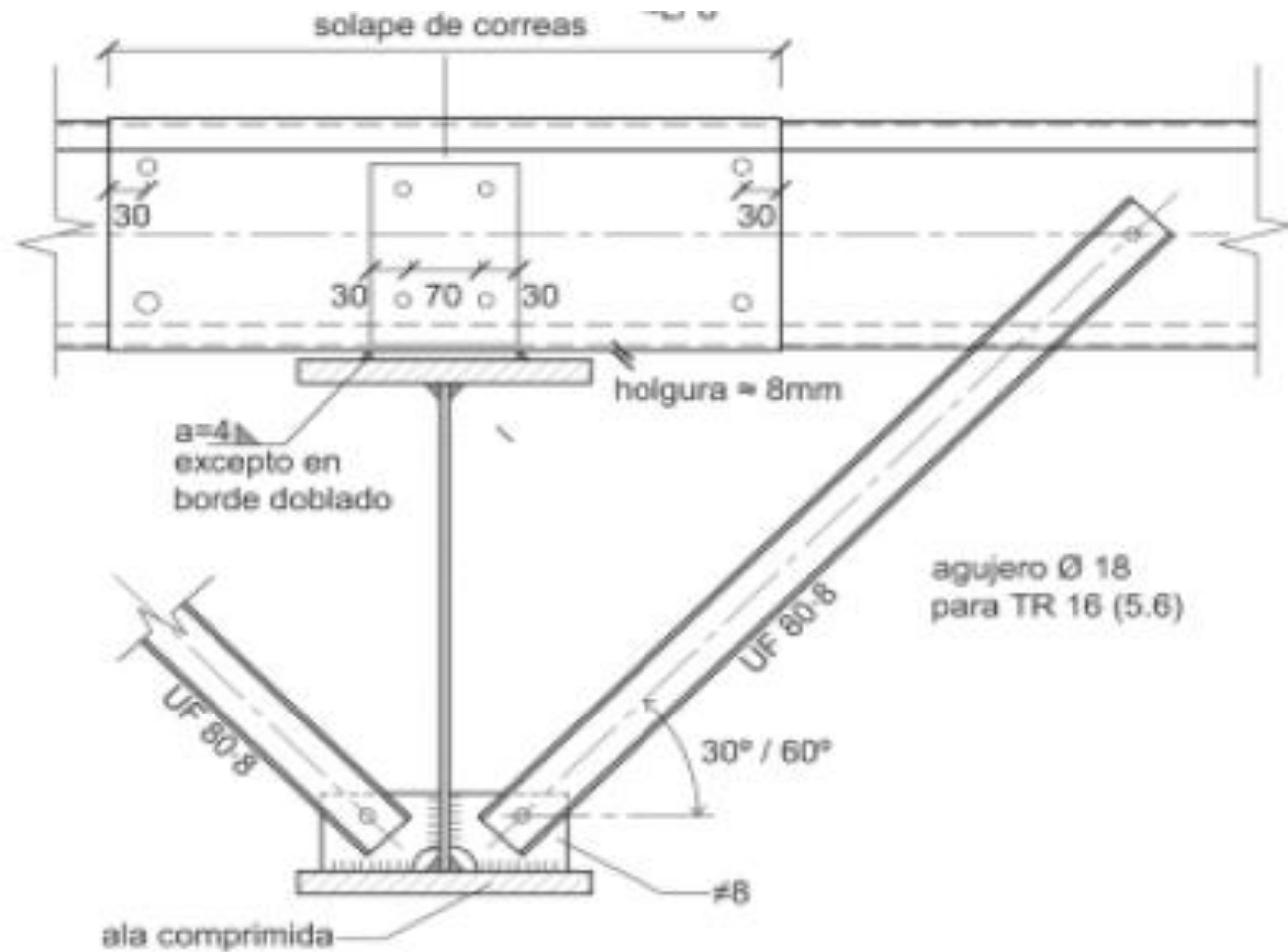


Cercha de perfiles tubulares. Nudo

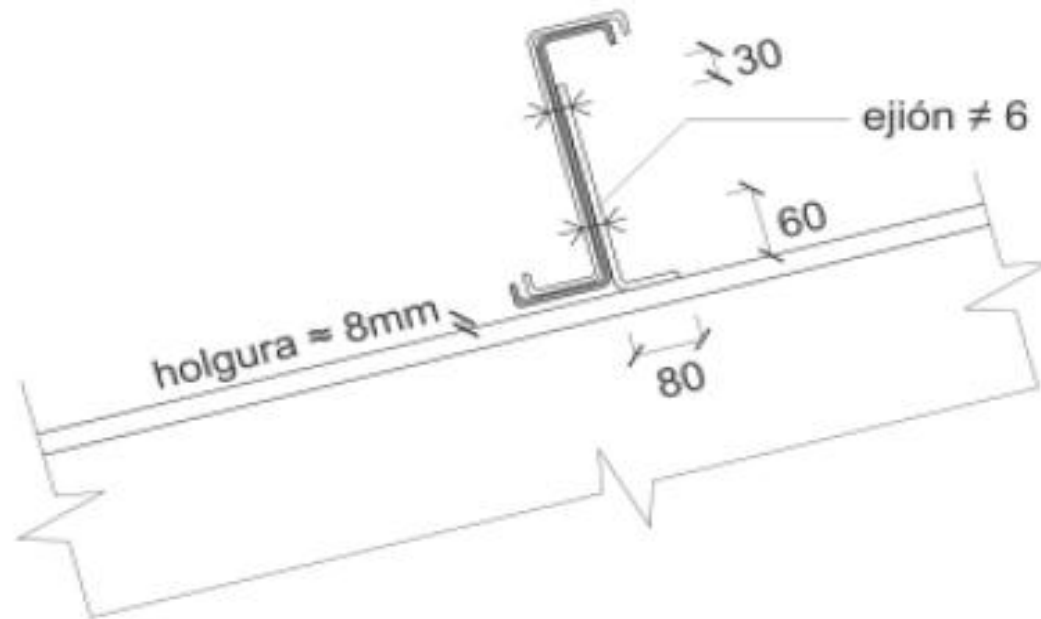


Nudo de correa con tornapuntas a viga dintel

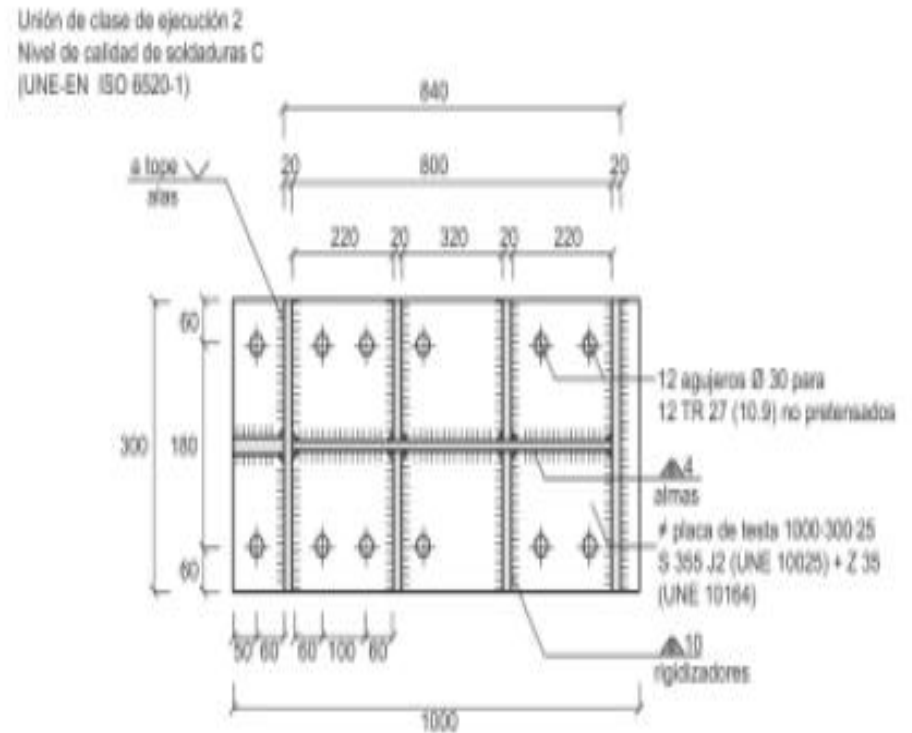
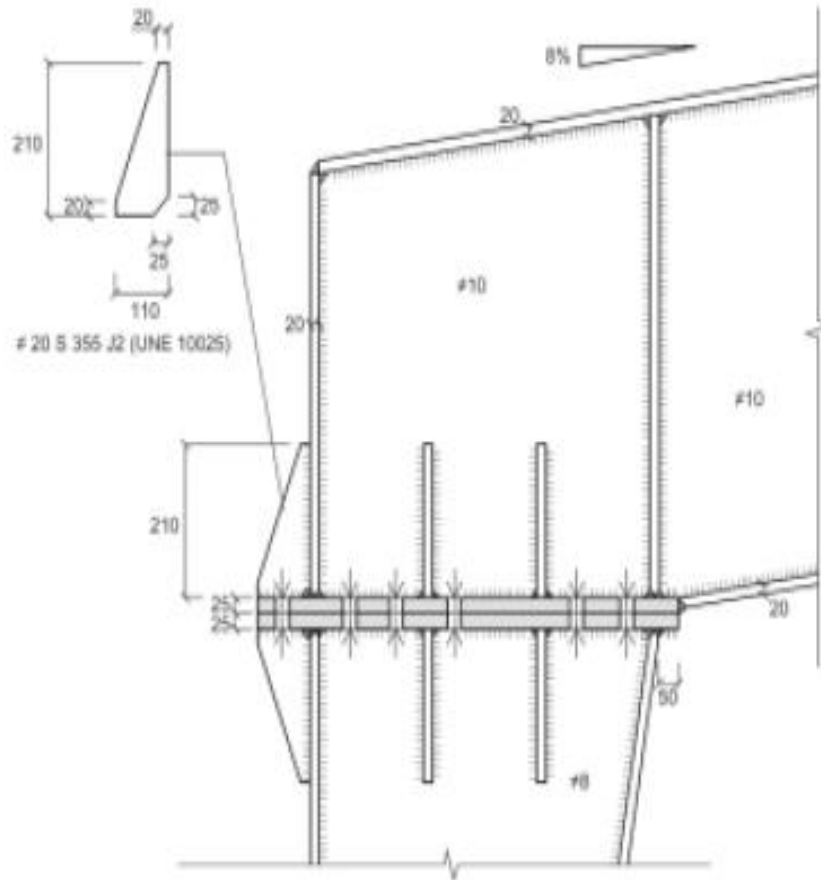
—



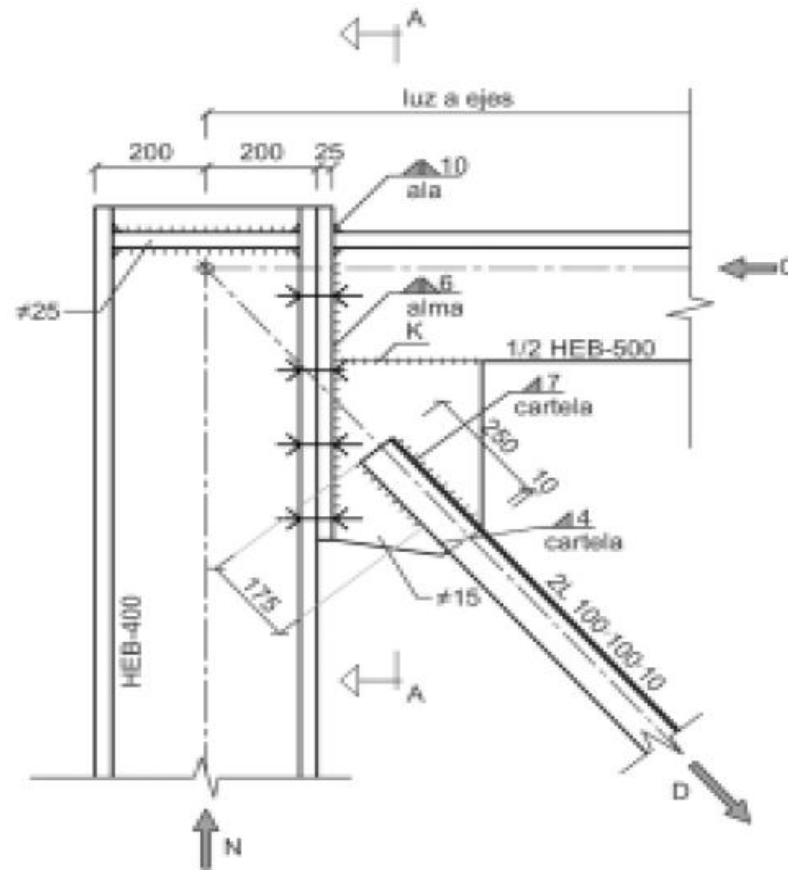
Solape de correa Z



Hombro rígido atornillado en horizontal



Hombro articulado (1)

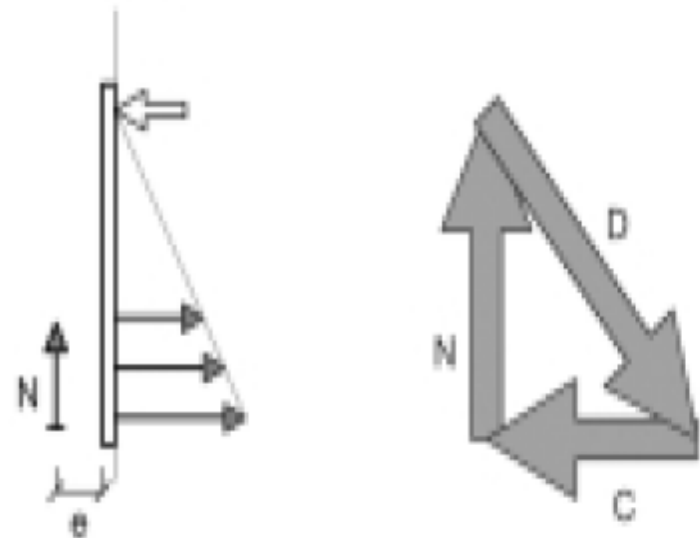


Hombro articulado (2)

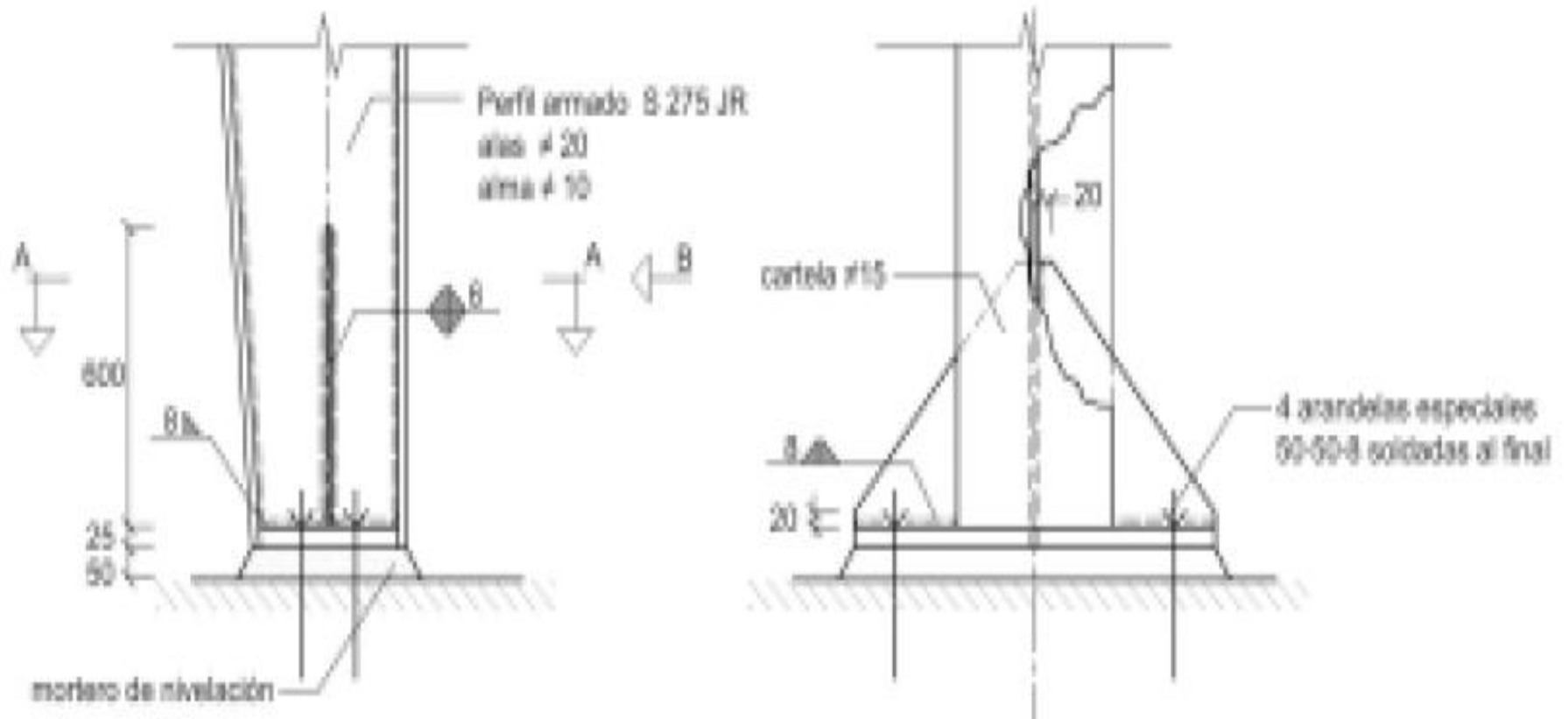


Placa de testa # 650-300-25. Superficie dorsal granallada hasta Sa 2 1/2 (ISO 8501-1) y solamente con pintura de imprimación 55µm de silicato alcalino de zinc. (clase de tratamiento B, $\mu=0,5$)

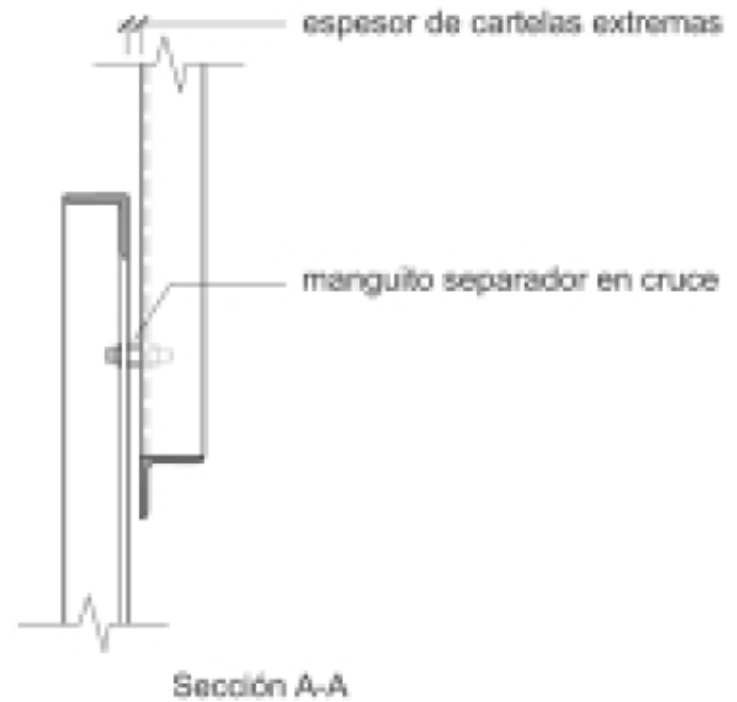
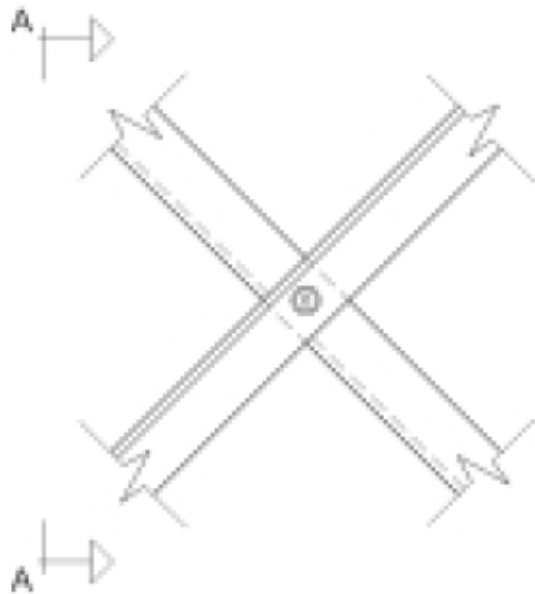
Unión de clase de ejecución 2
Nivel de calidad de soldaduras C
Material: S 275 JR



Placa base (articulada - empotrada)

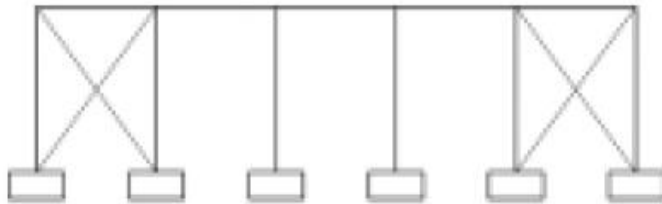


Nudo intermedio en cruces de San Andrés

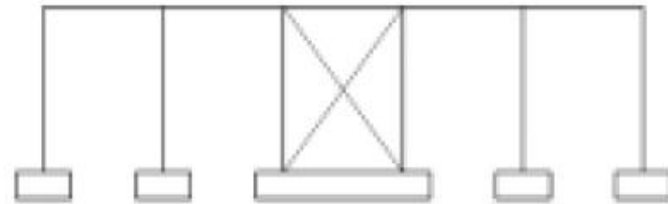


Disposición de arriostrados de fachada

•

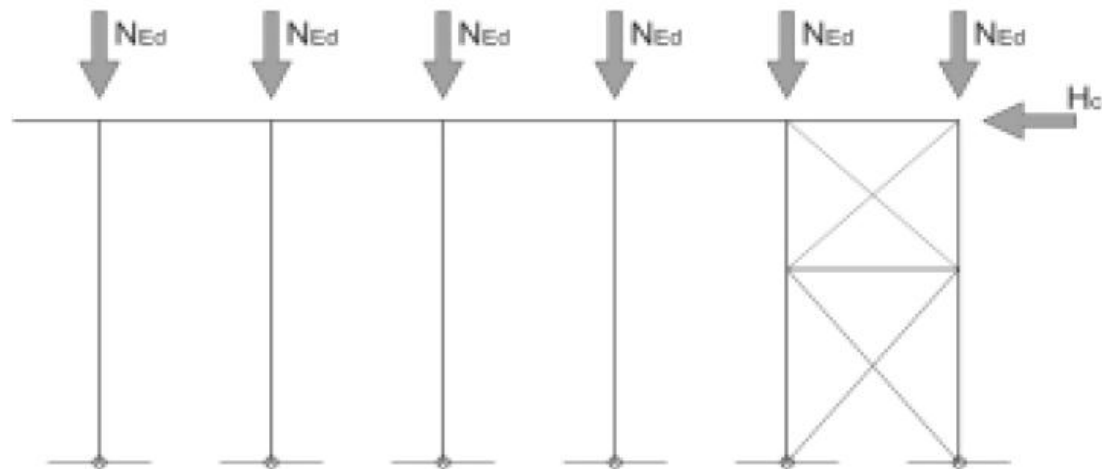


Diseño usual



Diseño adecuado para:
- asientos diferenciales
- variaciones térmicas

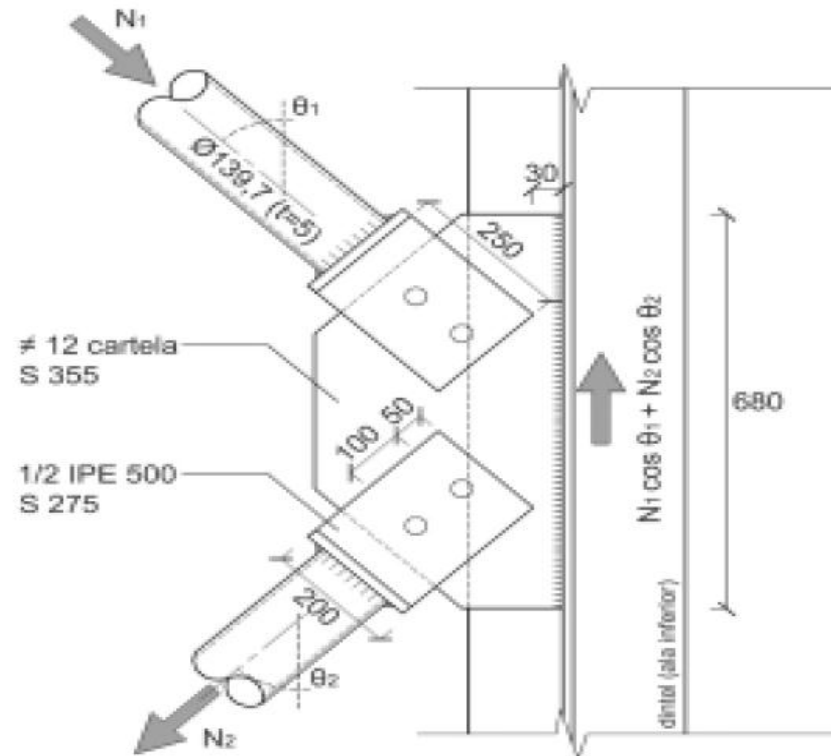
Esquema de cálculo de fachada arriostrada



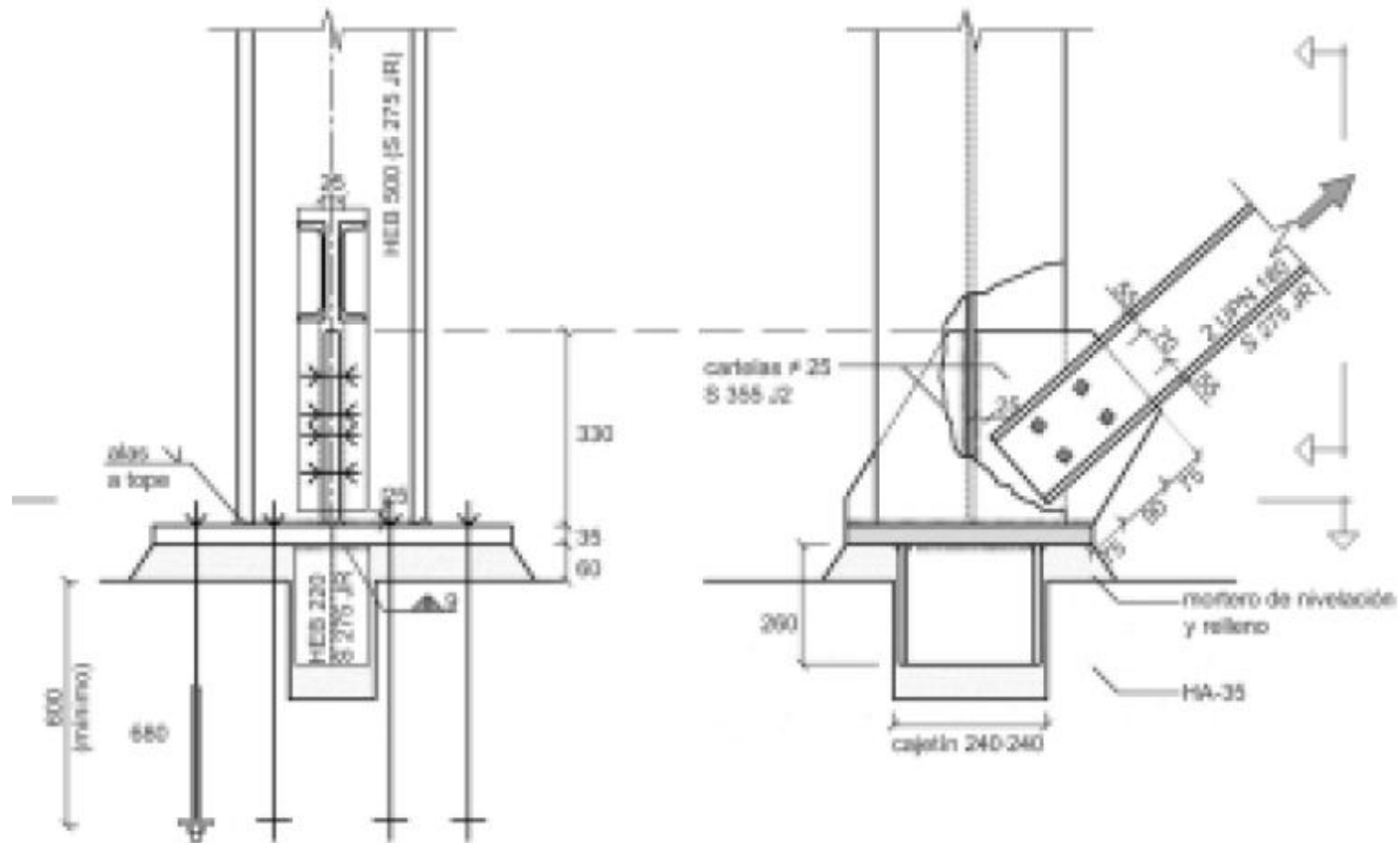
Horizontal virtual H_p
 $H_p = \varnothing \sum N_{Ed}$
($\varnothing = K_n \cdot K_m \cdot \varnothing_0$)

Horizontales directas H_c
viento, puente grúa

Nudo de arriostramiento



Placa base con llave de cortante





La manera de ver el futuro

Gracias

Alfredo Arnedo Pena
P.H. D. Civil Engineer

alfredo.arnedo@sener.es