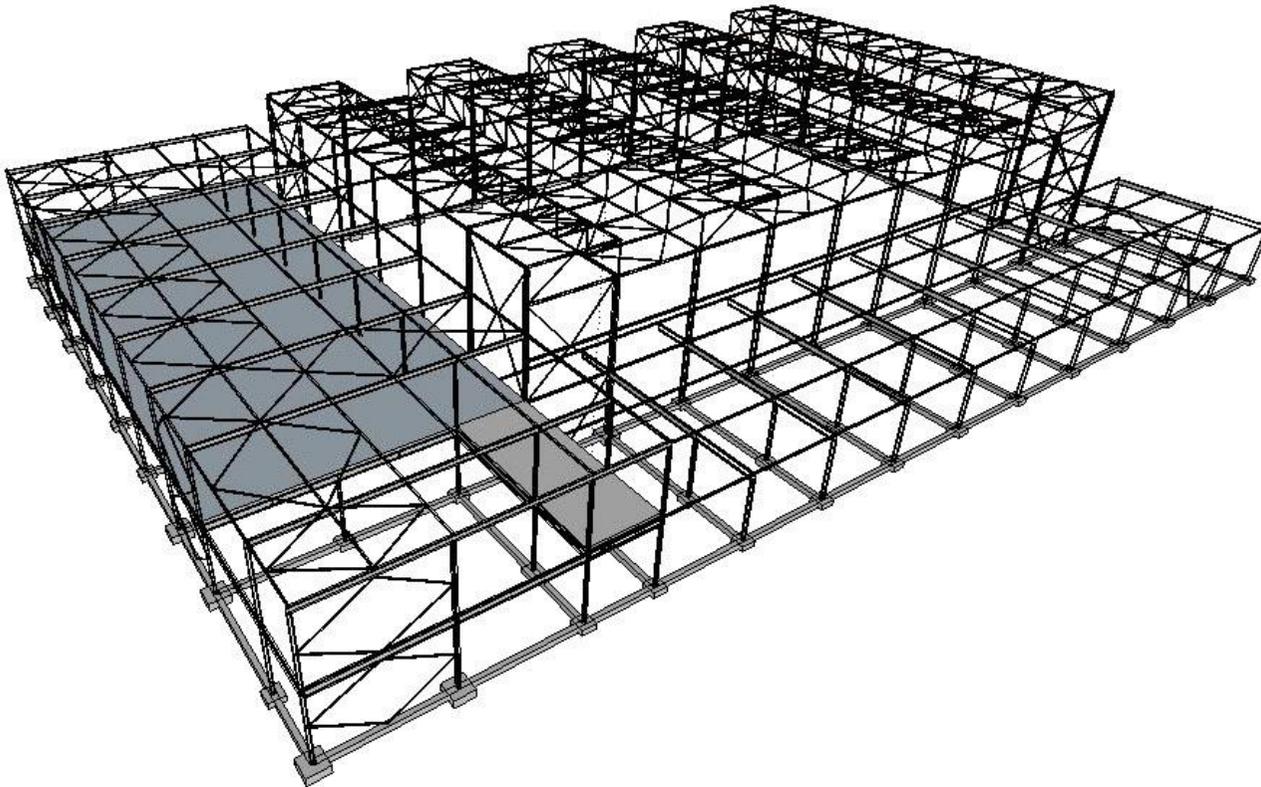


Estructuras metálicas.

Diseño y cálculo estructural de un pabellón polideportivo en La Vall d'Uixó.



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA
SUPERIOR
D'ARQUITECTURA

TRABAJO FINAL DE GRADO

Grado en Fundamentos de Arquitectura

Escuela Técnica Superior de

Arquitectura de Valencia

Septiembre 2017

Autor: Alberto Cruzado Abad

Tutor: José Luís Pardo Ros

RESUMEN

El presente Trabajo Final de Grado consiste en realizar el “**Diseño Estructural de un Pabellón Polideportivo en La Vall d'Uixó** (Castellón)” de forma que cumpla con los requisitos establecidos por el CTE DB-SE-Acero referidos a resistencia, estabilidad y rigidez.

A partir de un proyecto elaborado exclusivamente para este trabajo se realizará un estudio sobre la organización estructural y su efecto sobre el dimensionado en una estructura metálica aérea. El proceso de diseño y cálculo van unidos de la mano, de forma que a lo largo del trabajo cada decisión tomada sobre la organización estructural se verá reflejada mediante un estudio de las sollicitaciones y deformaciones. El fin último es demostrar que bajo condiciones de arriostramiento se consigue un dimensionado más eficaz.

La estructura deberá dar respuesta a unos determinados criterios estéticos y funcionales de proyecto que se impondrán frente al diseño más eficaz de la estructura; es decir, se realizará el diseño más apropiado en función de los requisitos de proyecto. *“La elección de la estructura es sinónimo de la elección de la luz que da forma a ese espacio”* (Louis Isidore Kahn).

PALABRAS CLAVE

Estructuras metálicas – Diseño – Cálculo – Organización estructural

CTE-DB-SE-A

RESUM

El present Treball Final de Grau consisteix en realitzar el « **Disseny Estructural d'un Pavelló Poliesportiu a La Vall d'Uixó**” de manera que complisca amb els requisits establits pel CTE DB-SE Acero quant a resistència, l'estabilitat i rigidés.

A partir d'un projecte elaborat exclusivament amb la finalitat d'aquest treball es realitzarà un estudi sobre l'organització estructural y el seu efecte sobre el dimensionament en una estructura metàlica aérea. El procés de disseny i càlcul de van lligats, de manera que durant el transcurs del treball cada desició sobre l'organització es veurà reflectada a través d'un estudi de les sollicitacions y deformacions. L'últim propòsit és demostrar que baix unes condicions d'enriostament es pot aconseguir un dimensionament més eficaç.

L'estructura deurà donar resposta a uns determinats criteris estètics i funcionals de projecte que s'imposaran a un disseny més eficaç de l'estructura; és a dir, es realitzarà el disseny més apropiat en funció dels requisits de projecte. *“L'elecció de l'estructura és sinònim de l'elecció de la llum que dona forma a eixe espai”* (Louis Isidore Kahn).

PARAULES CLAU

Estructures metàliques – Diseny – Càlcul – Organització estructural

CTE-DB-SE-A

SCRIPT

This Final Degree Work deals with making the **Structural Design of a Sports Pavilion in La Vall d'Uixó** in a fashion which follows the guidelines laid down by the CTE DB-SE Acero related to the resistance, stability and rigidity.

Starting from an own project exclusively elaborated for this work it will be carried out a study of the organization and its effect on the dimensioning in an aerial metallic structure. The design and calculation process are deeply connected, therefore throughout the work each decision made on the structural organization will be reflected by a study of the stresses and deformations. The ultimate aim is to demonstrate that it is achieved a more effective dimensioning under bracing conditions.

The structure shall give response to a given esthetic and functional project criteria that will prevail over the most efficient design of the structure, in other words, it will be made the most appropriate design according to the project's requisites. *"The choice of the structure is a synonym of the choice of the light which shapes that space"* (Louis Isidore Kahn).

KEY WORDS

Steel structure – Design – Calculation – structural organization

CTE-DB-SE-A

0. ÍNDICE

0. Índice.

1. INTRODUCCIÓN, OBJETIVOS	7
2. DESARROLLO DEL TRABAJO	10
2.1 Representación del proyecto	11
2.1.1 Introducción.....	12
2.1.2 Planta baja.....	13
2.1.3 Planta primera.....	14
2.1.4 Secciones.....	15
2.1.5 Organización de pórticos.....	16
2.1.6 Pórtico A,.....	17
2.1.7 Pórtico B,.....	18
2.2 Acciones sobre la estructura	19
2.2.1 Acciones permanentes.....	20
2.2.2 Acciones variables.....	23
2.2.3 Imperfecciones.....	27
2.2.4 Combinación de hipótesis.....	29
2.3 Organización estructural, arriostramientos	31
2.3.1 Ordenación general. El pórtico.....	32
2.3.2 El pórtico en la estructura, justificación de los arriostramientos.....	33
2.3.2.1 Pórticos de la organización (A).....	34
2.3.2.1.1 Arriostramiento perpendicular al pórtico (A).....	34
2.3.2.1.2 Arriostramiento paralelo al pórtico (A).....	39
2.3.2.2 Pórticos de la organización (B).....	42
2.3.2.2.1 Arriostramiento perpendicular al pórtico (B).....	42
2.3.2.2.2 Arriostramientos paralelo al pórtico (B).....	44
2.3.3 Disposición de arriostramientos.....	46
2.4 Dimensionado de la estructura	48
2.4.1 Bases de dimensionado.....	49
2.4.2 Dimensionado pórtico (A). Arriostrado y no arriostrado.....	51
2.4.2.1 Solicitaciones, deformaciones y enlaces pórtico (A).....	51
2.4.2.2 Dimensionado pórtico (A).....	55
2.4.2.3 Resumen dimensionado pórtico (A). Comparativa	67

2.4.3 Dimensionado pórtico (B). Arriostrado y no arriostrado.	68
2.4.3.1 Solicitaciones, deformaciones y enlaces pórtico (B).	68
2.4.3.2 Dimensionado pórtico (B).	72
2.4.3.3 Resumen dimensionado pórtico (B). Comparativa..	79
2.4.4 Dimensionado de arriostramientos.	80
2.4.4.1 Dimensionado de pilares. (Arriostramiento).	81
2.4.4.2 Dimensionado de cordones comprimidos y vigas. (Arriostramiento). ..	84
2.4.4.3 Dimensionado correas de cubiertas. (Arriostramiento).	84
2.4.4.4 Dimensionado de triangulaciones. (Arriostramiento).	85
2.4.4.5 Dimensionado de zunchos. (Arriostramiento).	86
2.4.5 Otros dimensionados.	87
2.4.5.1 Dimensionamiento pórtico cabecero este.	87
2.4.5.2 Dimensionado de la vigueta más solicitada en el forjado pesado.	88
2.5 Conclusiones	89
3. REFERENCIAS	92
4. ANEXO (Representación gráfica).	95

1. INTRODUCCIÓN, OBJETIVOS.

1. Introducción, objetivos.

El trabajo consiste en dotar de una solución estructural a un polideportivo de forma que cumpla con las exigencias del [CTE Seguridad Estructural](#) relativas a Estados Límite de Servicio y Estados Límite Últimos. En concreto, se hará un estudio sobre la organización estructural y su efecto sobre el dimensionamiento en una estructura metálica aérea.

Para el presente estudio se ha diseñado un polideportivo que responde a un determinado programa y que permite albergar una estructura metálica ligera y otra más pesada, para así determinar su influencia en el dimensionamiento en cada casuística. Al proyecto se le dotará de una localización ficticia en el La Vall d'Uixó (Castellón), a partir de la cual se le asignarán las acciones correspondientes establecidas por el [CTE DB SE-AE](#).

La organización estructural se basará en una serie de pórticos paralelos entre sí que soportarán y transmitirán los esfuerzos actuantes al suelo. La cimentación y la transmisión de cargas al terreno no será objeto de estudio.

Dado que un pórtico presta poca rigidez fuera de su plano será necesario disponer una serie de arriostramientos con el fin de limitar los movimientos del pórtico tanto en su plano como fuera de él, y así poder evitar un sobredimensionamiento de la estructura.

El hecho de limitar las deformaciones de la estructura permite considerarla como intraslacional; es decir, se simplifican los cálculos ya que permite obviar los sobreesfuerzos generados debidos a la excentricidad que provocan las deformaciones de los perfiles metálicos.

Para el desarrollo del trabajo, en un primer momento se adoptará un modelo estructural conformado por la organización de pórticos sin arriostrar. A partir de este modelo estructural se estudiarán de las acciones y posibles combinaciones a las que esté sometido.

Seguidamente se analizarán las deformaciones y solicitaciones del pórtico dentro de la estructura completa mediante el software de cálculo [Architrave®](#) [Diseño y Architrave®](#); de esta forma determinaremos el comportamiento de los perfiles para poder mejorar su forma de trabajo y evitar un sobredimensionamiento de la estructura.

Una vez analizado el comportamiento de la estructura sin arriostrar, a partir del estudio de las deformaciones y solicitaciones del pórtico se propondrán diferentes sistemas de arriostramiento que ayuden a evitar el sobredimensionado de los perfiles. Los diferentes sistemas de arriostramiento adoptados se volverán a analizar mediante el programa de cálculo con el fin de establecer su influencia sobre la estructura.

Mediante triangulaciones de los perfiles que configuran los pórticos de la estructura reducimos sus deformaciones, viéndose repercutido en las longitudes de pandeo y solicitaciones.

Una vez determinadas las condiciones de arriostramiento se procederá al dimensionamiento de la estructura completa, en el caso de los pórticos tipo el dimensionado se realizara con la estructura arriostrada y sin arriostrar para demostrar su repercusión en el dimensionado.

El proceso de cálculo de las solicitaciones y dimensionado de los perfiles se llevará a cabo mediante el programa de cálculo [Architrave®](#) bajo el criterio establecido en “[Problemas de estructuras metálicas adaptadas al CTE](#)” en lo que a forma de trabajo y longitudes de pandeo de los perfiles se refiere. Además mediante un previo predimensionado obtendremos un orden de magnitud que nos proporcionará cierto control sobre el programa.

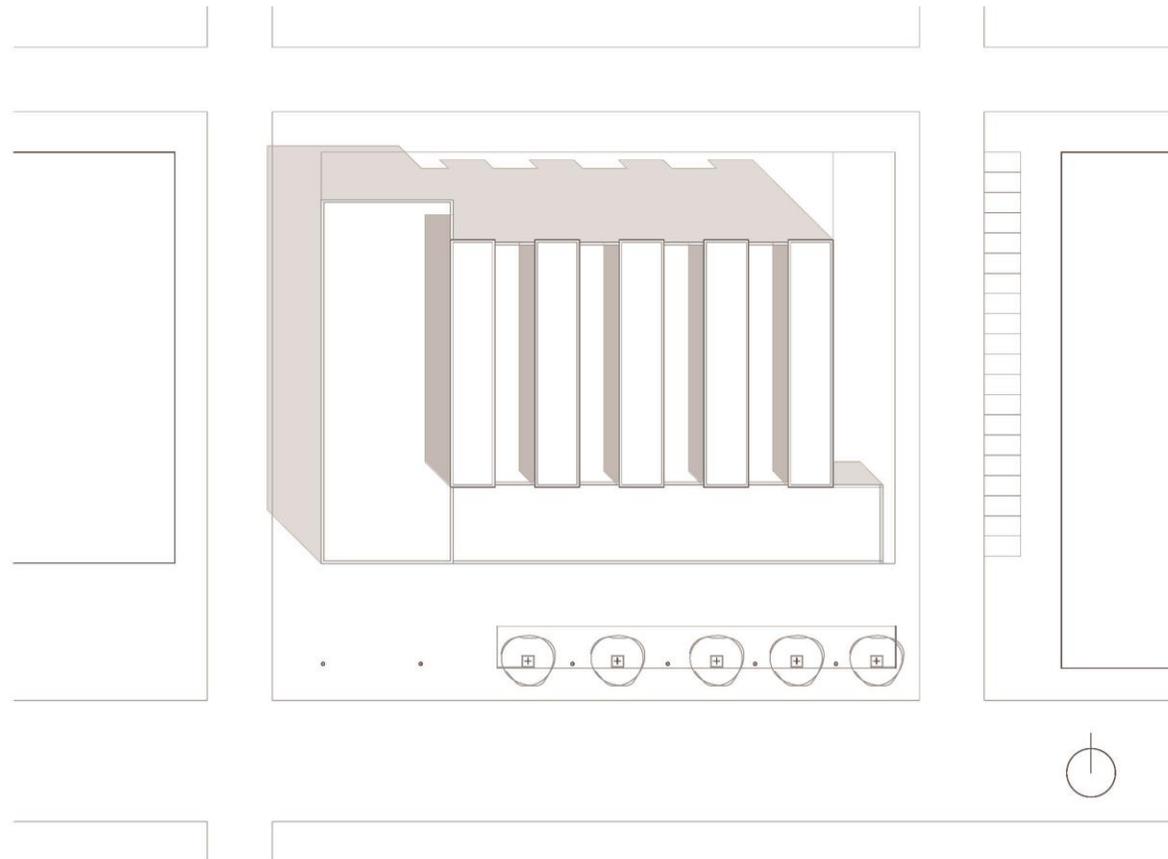
El objetivo principal de este proyecto reside en establecer un control sobre el diseño arquitectónico y estructural que permita la ejecución de una estructura metálica eficiente.

2. DESARROLLO DEL TRABAJO.

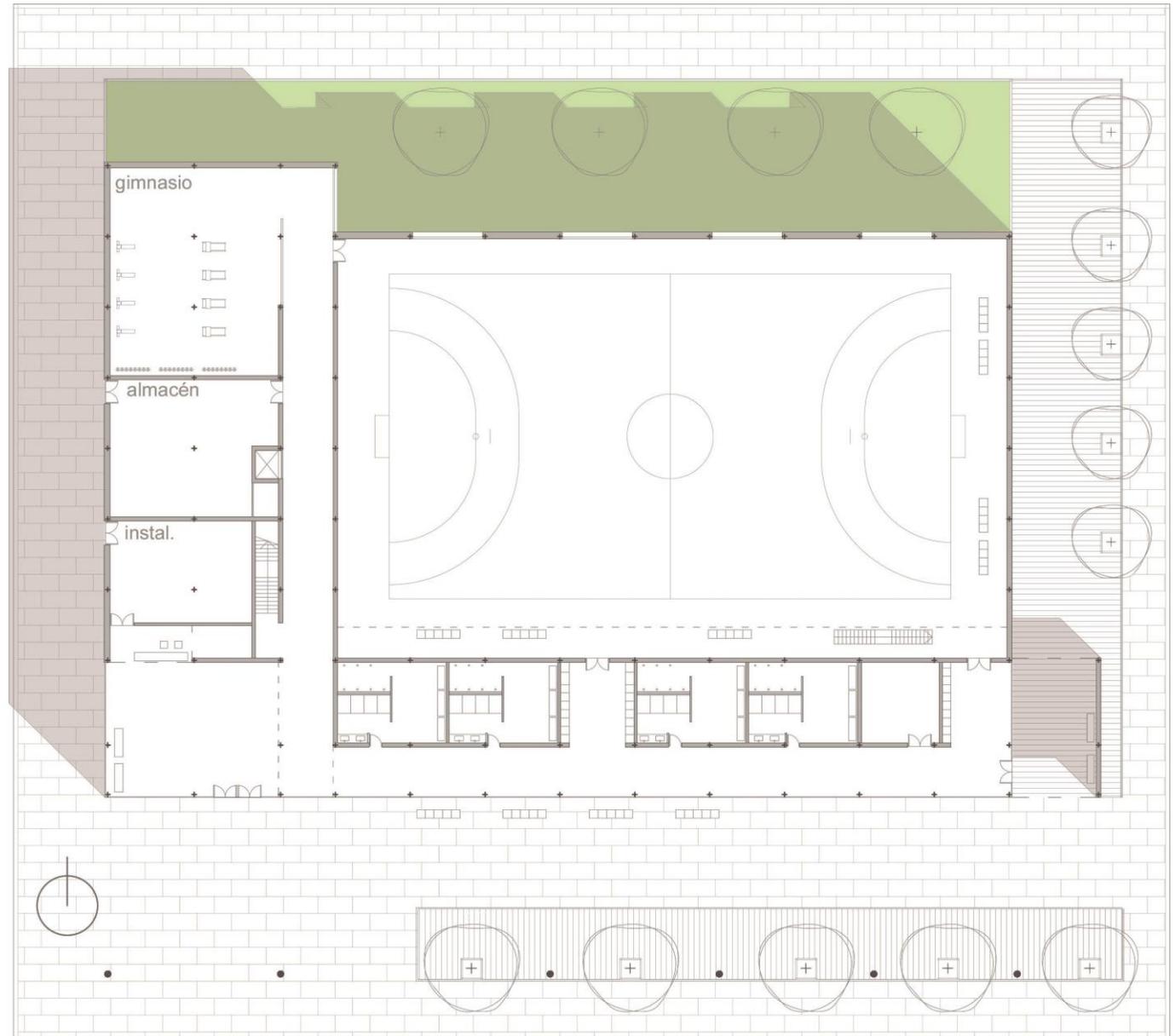
2.1.1 Introducción.

El proyecto ha sido diseñado con el fin de la elaboración de este trabajo; para determinar los efectos de las acciones dependientes del entorno el proyecto se localizará en una parcela ficticia de La Vall d'Uixó (Castellón).

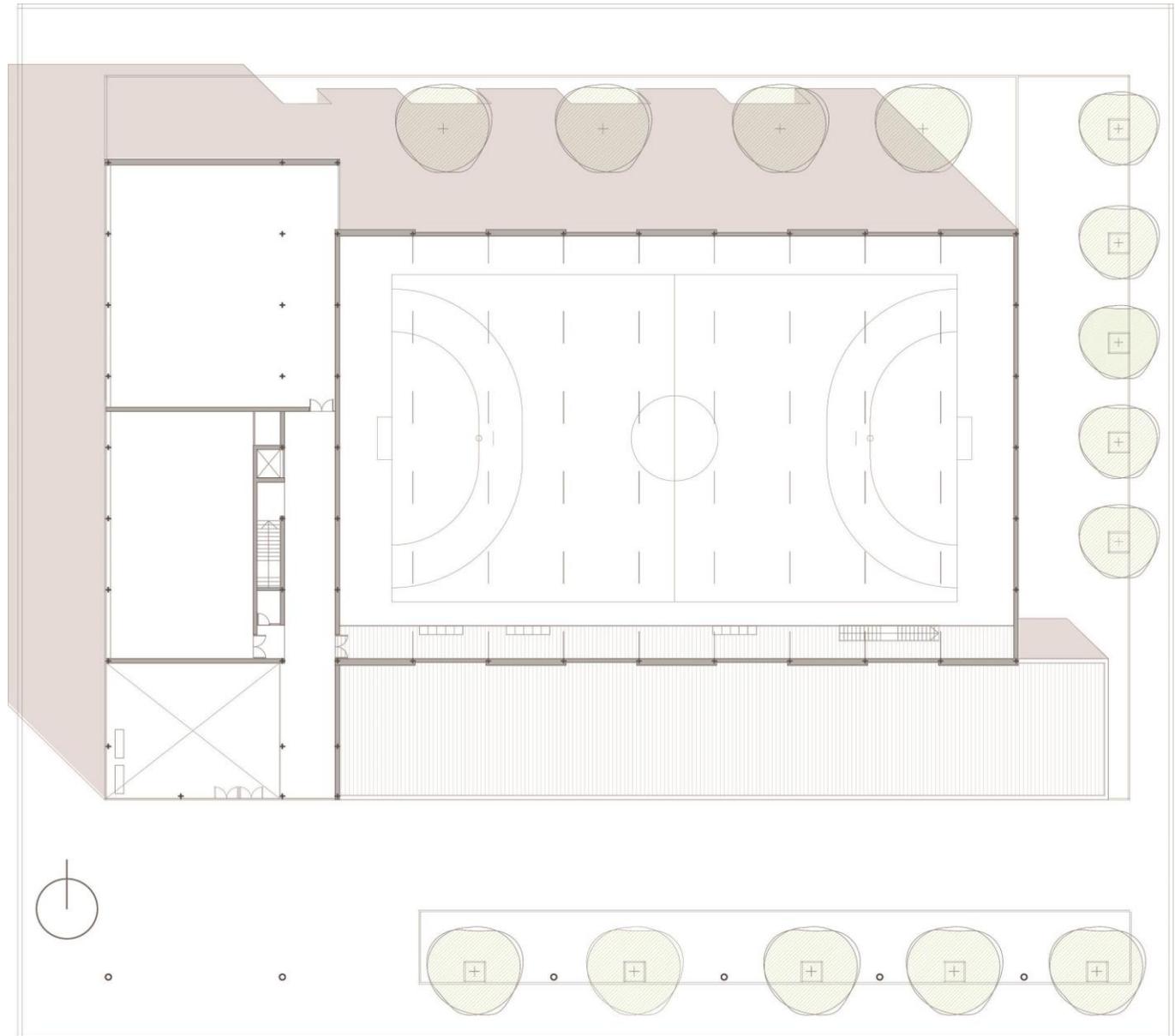
Consiste en un polideportivo conformado por la relación entre dos volúmenes diferenciados por su uso. Por un lado hay un volumen principal con una cubierta singular que responde al uso del pabellón deportivo; y por otro lado, el volumen que envuelve al pabellón responde a usos complementarios (gimnasio, aulas de diferentes usos, vestuarios e instalaciones).



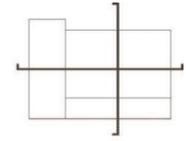
2.1.2 Planta baja.



2.1.3 Planta primera.



2.1.4 Secciones.



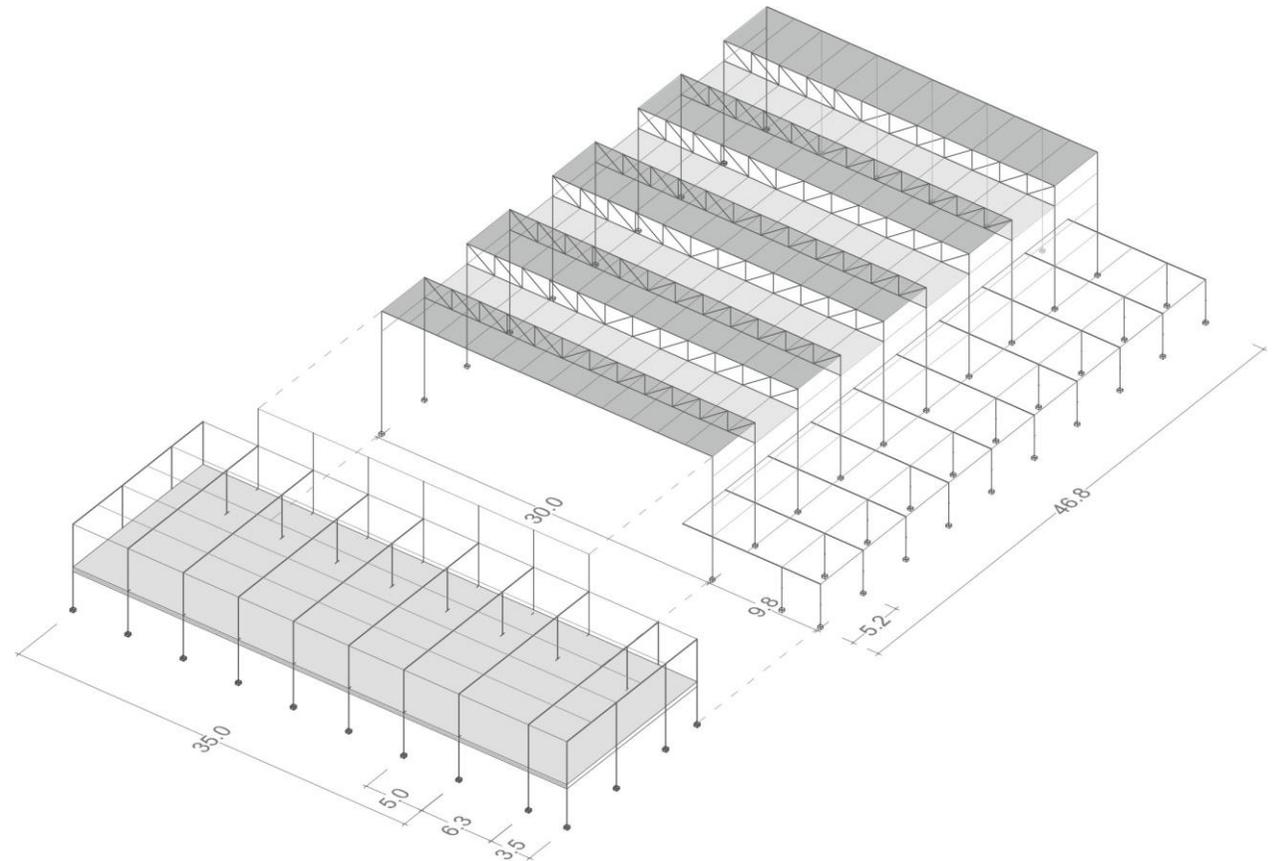
2.1.5 Organización de pórticos.

La organización de pórticos dentro de la estructura responde a **dos direcciones principales** (Fig. 1):

- Los pórticos **perpendiculares a la fachada principal (A)** constan de dos cubiertas ligeras tipo Deck a diferentes alturas. Una de grandes luces conformada por una viga en celosía y la otra por un perfil IPE que se extenderá dentro del pabellón conformando un voladizo de 2 m que servirá de graderío.

La cubierta del pabellón responde a un diseño singular mediante una seriación de lucernarios cuyo espacio inferior no puede ser ocupado por criterios de proyecto, por lo que forzará a unas condiciones particulares de arriostramiento que se estudian a lo largo del trabajo.

- Los **pórticos paralelos a la fachada principal (B)** tienen en su primer nivel un forjado pesado de chapa colaborante, ya que debe sustentar las actividades que se desarrollarán en el nivel superior. En cubierta si dispondrá un forjado ligero tipo Deck permitiendo la ejecución de un vano de grandes dimensiones que permita un buen funcionamiento de las aulas de usos múltiples.

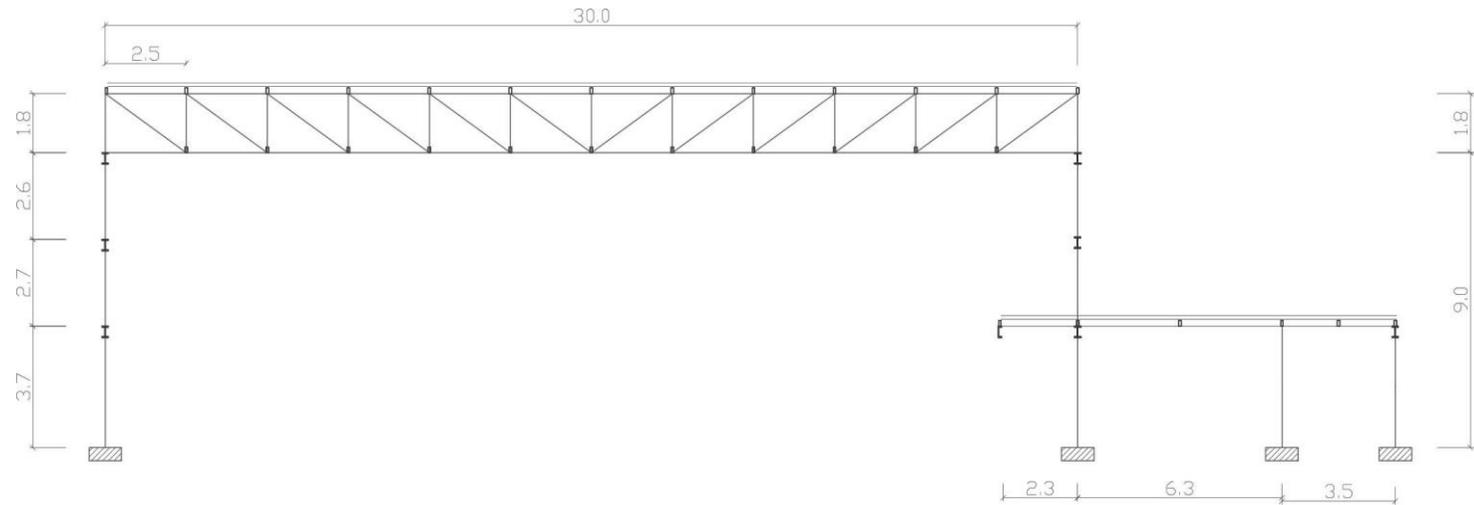


Organización de pórticos dentro de la estructura. Figura 1.

2.1.6 Pórtico A,

Perpendicular a la fachada principal.

Pórtico A, dimensiones y configuración.
Figura 2.



Este pórtico ha sido diseñado para poder albergar un espacio exento de pilares en el que se puedan llevar a cabo actividades deportivas, así como un graderío y los vestuarios.

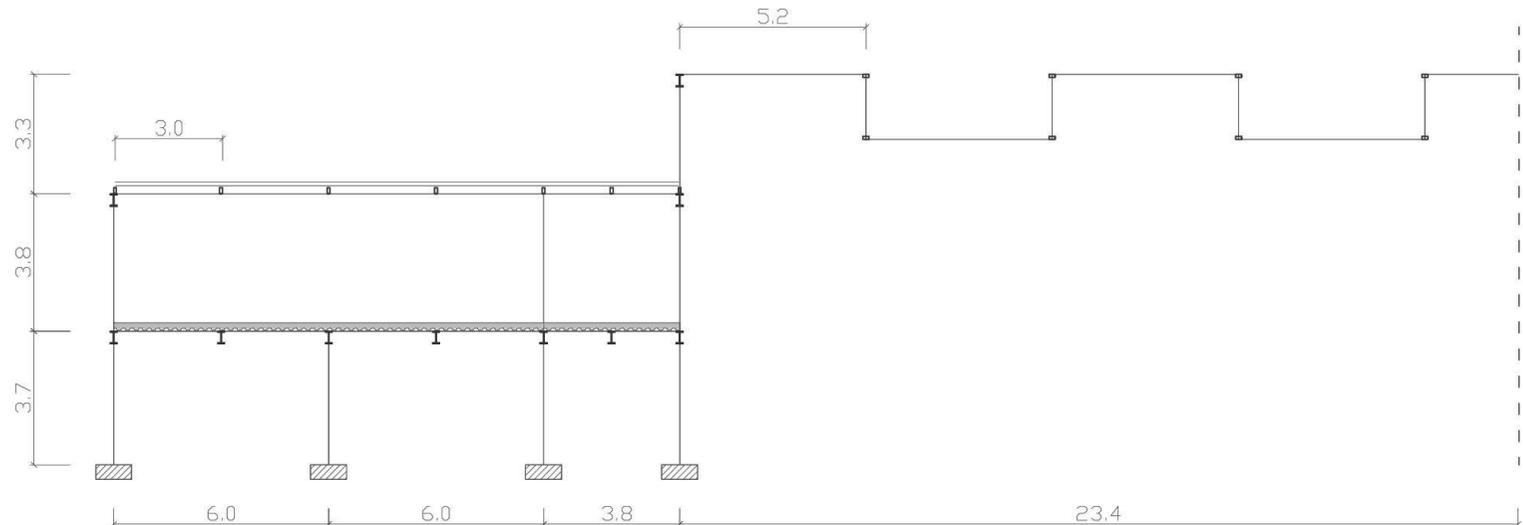
En el volumen principal se permitirá la entrada de luz mediante una serie de lucernarios paralelos entre sí en cubierta. Su estructura estará conformada por una celosía tipo Pratt (luz de 30 metros) cuyas diagonales están dispuestas de forma simétrica, de esta forma trabajarán principalmente a tracción y se evita un sobredimensionamiento por pandeo. La cubierta Deck transmitirá las acciones mediante correas rectangulares apoyadas directamente sobre nudos dispuestos a una distancia de 2'5 metros; y debido a la configuración de los lucernarios la cubierta no es continua en su plano apoyando tanto en el cordón superior como en el inferior.

La cubierta del espacio dedicado a los vestuarios también será ligera y transmitirá las acciones mediante correas rectangulares a los perfiles IPE dispuestos en el pórtico, dicho perfil será continuo en toda su longitud para compensar los momentos flectores generados por el voladizo y no transmitirlos a los pilares. (Esquema nudos dentro del pórtico A, pág. 51, figura 40.)

Debido a la esbeltez de los pilares extremos del pabellón se decide arriostrarlos en varios tramos que a su vez servirán de apoyo a la subestructura metálica del cerramiento ligero.

2.1.7 Pórtico B,

Paralelo a la fachada principal.



Pórtico B, dimensiones y configuración.
Figura 3.

Este pórtico es perpendicular a los pórticos que conforman el volumen del pabellón, en su interior se desarrollan los espacios destinados a gimnasio e instalaciones (planta baja), y una serie de aulas de usos múltiples (planta superior).

En el primer nivel se diseña un forjado pesado de tipo colaborante, el forjado apoyará en viguetas de la serie IPE que transmitirán acciones puntuales a las vigas del pórtico cada 3 metros.

El nivel de superior estará conformado por una cubierta ligera que aportará menos peso sobre la estructura que cubre el vano de 12 metros, su peso será transmitido por correas rectangulares cada 3 metros a un perfil IPE que será continuo para compensar los momentos flectores en centro de vano. (Esquema nudos dentro del pórtico B, pág. 70, figura 69.)

A diferencia del caso anterior, el cerramiento transmitirá su peso directamente al forjado inferior ya que estará conformado por una hoja pesada de ladrillo y otra ligera anclada a esta. El pilar extremo derecho del pórtico servirá a su vez como pilar cabecero en la organización de pórticos A, es decir, trabajará en dos direcciones.

2.2.1 Acciones permanentes

Son aquellas debidas a los pesos propios de los elementos constructivos, incluyendo el peso propio de la estructura (esta la contabilizará el programa de cálculo).

A continuación se establecen los valores de las acciones permanentes, estos han sido tomados del [CTE-DB-SE Acciones Edificación](#) y catálogos de materiales adjuntados al final.

a) CUBIERTAS O FORJADOS (Fig. 4)

CUBIERTAS NO TRANSITABLES

Cubiertas **tipo DECK**, que aportaran un menor peso tanto a la estructura del pabellón como a la del cuerpo adosado.

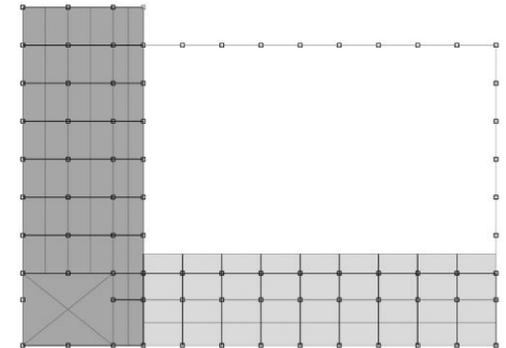
-	Chapas trapezoidal GP-70/210 1 mm (Ancho vano 3m, carga máxima 308Kp/m ²)	0,16 KN/m ²
-	Aislante panel rígido polisocianurato 120mm	0,02 KN/m ²
-	Lámina Impermeabilizante protegida, f. mecánica	0,03 KN/m ²
-	Falso techo madera (incluyendo perfilaría)	0,15 KN/m ²
	TOTAL	0,36 KN/m²

FORJADOS TRANSITABLES

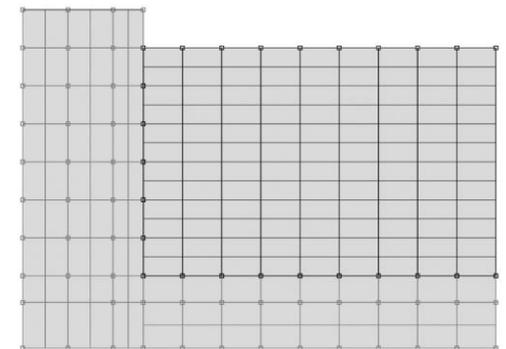
-	Forjado colaborante HML – 60/220, HIANSA (Canto total 15 cm, espesor de losa 12 cm)	3,15 KN/m ²
-	Baldosa cerámica , 3cm	0,5 KN/m ²
-	Falso techo e instalaciones	0,3 KN/m ²
	TOTAL	3,95 KN/m²

(Fig. 4) Esquema pesos forjados y cubiertas

C. ligeras- gris claro, 0'36 kn/m²
F. pesados- gris oscuro, 3.95 Kn/m²



Planta primera



Planta cubierta

b) CERRAMIENTOS (Fig. 5)CERRAMIENTO LIGERO

Cerramiento prefabricado que transmite toda su carga a los pilares mediante una subestructura.

- Panel sándwich para exteriores en fachada (Espesor 100 mm, subestructura metálica)	0,25 KN/m ²
- Revestimiento interior madera, Tablero contrachapado 5 KN/m ³ x 0,01m	0,05 KN/m ²
TOTAL	0,3 KN/m²

CERRAMIENTO PESADO

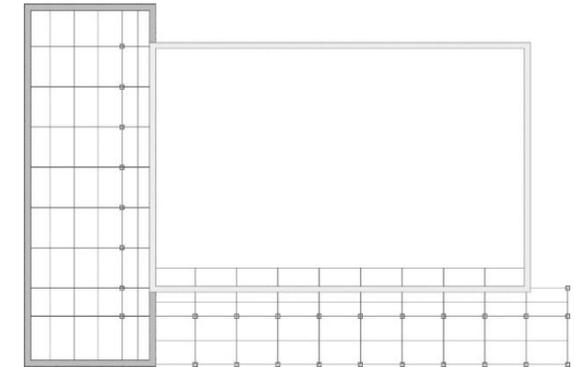
Fachada ventilada hoja pesada interior y paneles prefabricados en exterior.

- Hoja exterior paneles prefabricados Viroc (1cm, Subestructura de aluminio)	0,23 KN/m ²
- Lana de roca, 150 mm.	0,03 KN/m ²
- Hoja de ladrillo hueco 12KN/m ³ x 0,115	1,38 KN/m ²
- Revestimiento interior yeso	0,15 KN/m ²
TOTAL	1,79 KN/m²

Planta intermedia

C. ligerero- gris claro, 0'3 kn/m²

C. pesados- gris oscuro, 1'79 Kn/m²



(Fig. 5) Esquema cerramientos

c) HUECOS ACRISTALADOS

Para simplificar los cálculos, del lado de la seguridad tomaremos las fachadas como si fuesen completamente ciegas.

d) HUECOS EN LOS LUCERNARIOS DE LA CUBIERTA DEL PABELLÓN

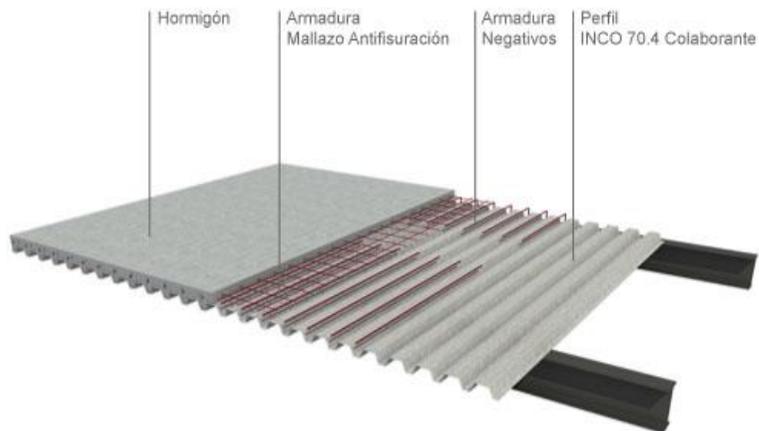
Como su peso recae directamente sobre el cordón inferior de la cercha, cerraremos los huecos con paneles de policarbonato; por lo que la fuerza que ejerce sobre esta será prácticamente despreciable.



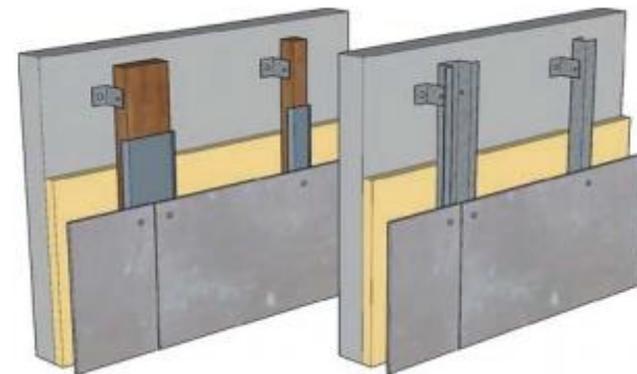
(Ref.1) Cubierta Deck



(Ref.3) Cerramiento ligero prefabricado.



(Ref.2) Forjado colaborante.



(Ref.4) Cerramiento pesado con paneles Viroc.

2.2.2 Acciones variables

a) ACCIONES USO (Fig. 6)

En la tabla 3.1 del (CTE-DB-SE-AE) nos proporciona diferentes valores característicos de sobrecargas de uso, adoptamos las siguientes:

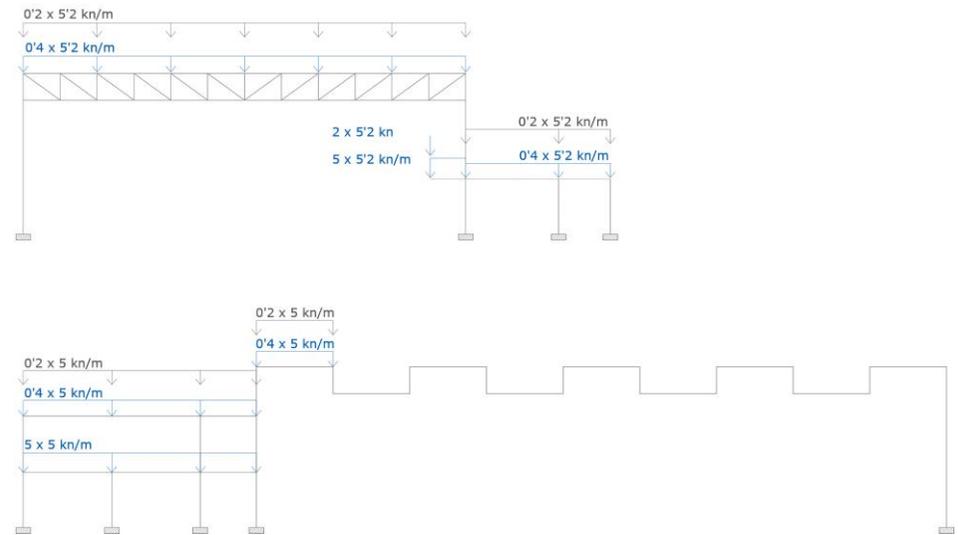
- Sobre forjados se dispondrá una sobrecarga de **5 KN/m²**.
(Categoría C3 y C4, zonas de acceso a público de libre circulación y destinadas a actividades físicas respectivamente).
- Sobre cubiertas se dispondrá una sobrecarga de **0,4 KN/m²**.
(Categoría G1, cubiertas accesibles únicamente para conservación sobre correas).

Los balcones volados se calcularán con una sobrecarga lineal de **2KN/m** en su extremo de voladizo.

b) NIEVE (Fig. 6)

El Anejo E del (CTE-DB-SE-AE) nos proporciona la tabla E.2; donde se recogen las sobrecargas de nieve en superficies planas.

- La Vall de Uxó posee una altura de 118 m y pertenece a la zona climática 5, por lo que le corresponde una sobrecarga de **0,2 KN/m²**.



(Fig. 6) Esquema acciones uso y nieve en pórticos tipo, carga x superficie.

Uso (azul) y nieve (negro)

c) **ACCIONES VIENTO** (Fig.7)

El viento es una acción que actúa sobre los cerramientos horizontales y verticales del edificio, ejerciendo fuerzas de presión o succión.

Según el apartado 3.3 del (CTE-DB-SE-AE), de forma simplificada, se puede considerar una fuerza ejercida por el viento el resultado de la siguiente ecuación:

$$Q_e = Q_b \times C_e \times C_p$$

Q_b = Acción dinámica del viento, se puede tomar un valor simplificado de = 0,5 KN/m²

C_e = Coeficiente de exposición (Ref. 6)

Este valor dependerá del grado de aspereza del entorno (estamos en una zona urbana, grado III) y de la altura del punto considerado. (Fig. 6)

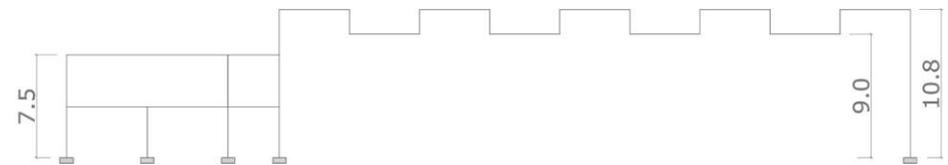
- El pabellón está conformado por paramentos prefabricados de gran formato (10'8 m), se puede considerar el punto medio, en nuestro caso 5,5 m. (Este valor corresponde con un C_e de 2.)

En los cuerpos anexos al pabellón nos encontramos con forjados a alturas de 3,5 y 7 m. (Estos valores corresponden con un C_e de 1,6 y 2 respectivamente).

Para simplificar la obtención de acciones se aplicará un **C_e de 2 a todos los paramentos**.

- En cubiertas nos encontramos unas alturas de 7'5 m (cuerpo adosado); 9 m y 10'5 m (cubierta del pabellón). (Estos valores corresponden con un C_e de 2'15, 2'3 y 2'4 respectivamente).

Para simplificar la obtención de acciones se aplicará un **C_e de 2,4 a todos los paramentos**.



Alturas de cubierta de pabellón y cuerpo anexo. (Fig. 6)

Tabla 3.4. Valores del coeficiente de exposición c_e

Grado de aspereza del entorno	Altura del punto considerado (m)							
	3	6	9	12	15	18	24	30
I Borde del mar o de un lago, con una superficie de agua en la dirección del viento de al menos 5 km de longitud	2,4	2,7	3,0	3,1	3,3	3,4	3,5	3,7
II Terreno rural llano sin obstáculos ni arbolado de importancia	2,1	2,5	2,7	2,9	3,0	3,1	3,3	3,5
III Zona rural accidentada o llana con algunos obstáculos aislados, como árboles o construcciones pequeñas	1,6	2,0	2,3	2,5	2,6	2,7	2,9	3,1
IV Zona urbana en general, industrial o forestal	1,3	1,4	1,7	1,9	2,1	2,2	2,4	2,6
V Centro de negocio de grandes ciudades, con profusión de edificios en altura	1,2	1,2	1,2	1,4	1,5	1,6	1,9	2,0

Valores coeficiente exposición, CTE. (Ref. 6)

C_p = coeficiente de presión exterior, hay que distinguir ente paramentos verticales y horizontales.

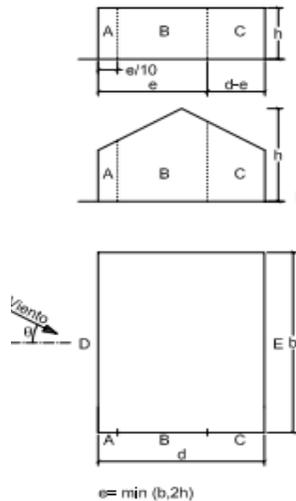
- Paramentos verticales:

- En los paramentos paralelos al viento - 0,8 KN/m2

En paramentos perpendiculares al viento de:

- En el paramento a barlovento 0,8 KN/m2
 - En el paramento a sotavento - 0,5 KN/m2

A (m ²)	h/d	Zona (según figura), -45° < θ < 45°				
		A	B	C	D	E
≥ 10	5	-1,2	-0,8	-0,5	0,8	-0,7
	1	"	"	"	"	-0,5
	≤ 0,25	"	"	"	0,7	-0,3
5	5	-1,3	-0,9	-0,5	0,9	-0,7
	1	"	"	"	"	-0,5
	≤ 0,25	"	"	"	0,8	-0,3
2	5	-1,3	-1,0	-0,5	0,9	-0,7
	1	"	"	"	"	-0,5
	≤ 0,25	"	"	"	0,7	-0,3
≤ 1	5	-1,4	-1,1	-0,5	1,0	-0,7
	1	"	"	"	"	-0,5
	≤ 0,25	"	"	"	"	-0,3



A nivel estructural sería admisible hacer esta simplificación de parámetros, pero para calcular en detalle los anclajes de los paneles y su subestructura sí que tendríamos que profundizar en la obtención de acciones.

Coeficientes de presión en paramentos, CTE. (Ref. 5)

Relación h/d = 11'5 m (altura)/40 m (ancho) = 0,28

Para simplificar la obtención de acciones en los paramentos paralelos al viento se optará por el valor de la región B en los paramentos paralelos al viento, ya que es la región con mayor área representativa.

- Paramentos horizontales o cubierta:

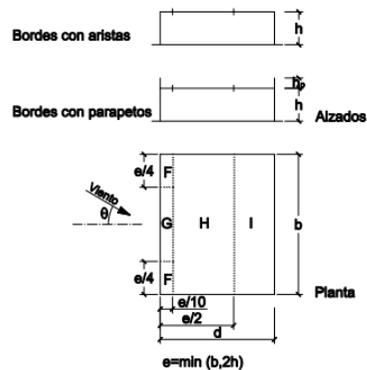
- En el caso de las cubiertas del gimnasio y vestuarios no corresponde exactamente con el esquema propuesto, y como además estas fuerzas no tendrán casi efecto en una estructura de vigas de acero se les asignará un valor de región (I) a toda la cubierta por ser la más representativa. (Ref. 7)

- Por otra parte, se analizará el efecto del viento con mayor detenimiento en la cubierta del pabellón ya que corresponde con el esquema propuesto y además su estructura es más sensible a esfuerzos de succión por pandeo de los cordones comprimidos.

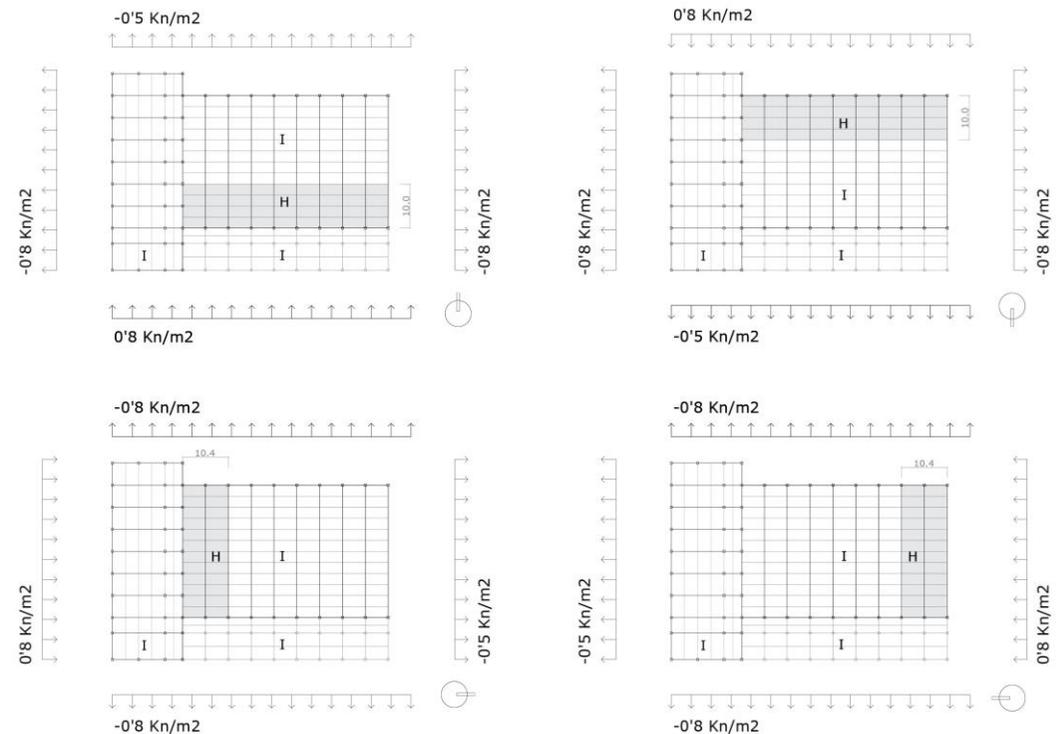
De forma simplificada distinguiremos entre las regiones H e I por ser las más representativas, las restantes zonas serían de aplicación si hubiese que comprobar la resistencia de los anclajes.

- Región H, coeficiente de presión -0.7
- Región I, coeficiente de presión -0.2 / +0.2

h_p/h	A (m ²)	Zona (según figura), $-45^\circ < \theta < 45^\circ$			
		F	G	H	I
Bordes con aristas	≥ 10	-1,8	-1,2	-0,7	0,2
	≤ 1	-2,5	-2,0	-1,2	-0,2



Coefficientes de presión en cubiertas, CTE. (Ref.7)



(Fig. 7) Esquema acciones viento en paramentos y cubierta.

d) ACCIDENTALES.

Las acciones de **sismo e incendio** quedan fuera del presente trabajo debido a un intento de simplificación.

Por otra parte, como la estructura no presenta una masa importante a nivel de forjados las acciones de sismo no presentarán una gran relevancia sobre la estructura.

2.2.3 IMPERFECCIONES

Para contabilizar el efecto en excentricidades no previstas en pilares y el efecto sobre los arrostamientos que controlan el pandeo de los cordones en cubierta, se les asocia una desviación geométrica inicial W .

Solo se consideran para el análisis en estados límite últimos, y se aplican sobre:

- **Acciones horizontales sobre pilares** (Fig. 8).

Las imperfecciones se sustituyen por unas fuerzas horizontales equivalentes en el nivel de cada forjado.

(Pórtico A, pabellón + vestuarios)

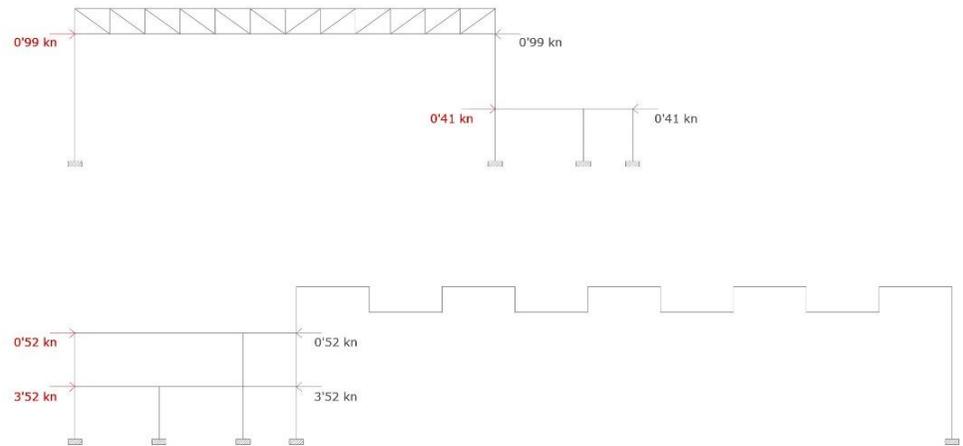
En los pilares asumimos una desviación de $L/200$ en este caso, que se traduce en una acción horizontal de $1/300 \times F_i$, aplicada sobre cada forjado.

- Sobre la cubierta superior:
 $(1,35 \times 0,36 \text{ KN/m}^2 + 1,5 \times 1) \times 30 \text{ (longitud)} \times 5 \text{ (ámbito)} \times 1/300 = 0,99 \text{ KN}$
- Sobre la cubierta inferior:
 $(1,35 \times 0,36 \text{ KN/m}^2 + 1,5 \times 1) \times 12,6 \text{ (longitud)} \times 5 \text{ (ámbito)} \times 1/300 = 0,41 \text{ KN}$

(Pórtico B, gimnasio)

- Cubierta
 $(1,35 \times 0,36 \text{ KN/m}^2 + 1,5 \times 1) \times 15,8 \text{ (longitud)} \times 5 \text{ (ámbito)} \times 1/300 = 0,52 \text{ KN}$

- Forjado intermedio
 $(1,35 \times 4,35 \text{ KN/m}^2 + 1,5 \times 5) \times 15,8 \text{ (longitud)} \times 5 \text{ (ámbito)} \times 1/300 = 3,52 \text{ KN}$



(Fig.8) Esquema efecto excentricidades en pilares, aplicado en los dos sentidos.

- **Acciones sobre el arriostramiento paralelo al pórtico.**

(Efecto de los cordones comprimidos en las celosías en cubierta.) (Fig. 9)

Se asumirá una desviación geométrica equivalente a 1,5% del axil de compresión (Nd) máximo del elemento al que sirve de apoyo de la correa, este se ha obtenido mediante el programa de cálculo.

Las acciones se le asignarán por casa punto de arriostramiento y cada una de las vigas/celosías que arriostren.

a) Cubierta ligera vestuarios y voladizo.

$$Mzd \text{ (máximo)} = - 100,4 \text{ KN}$$

$$F = Mzd/h \text{ (IPE 270)} \times 0,015 = -100,4 / 0,27 \times 0,015 = 5,5 \text{ KN}$$

b) Cubierta ligera gimnasio.

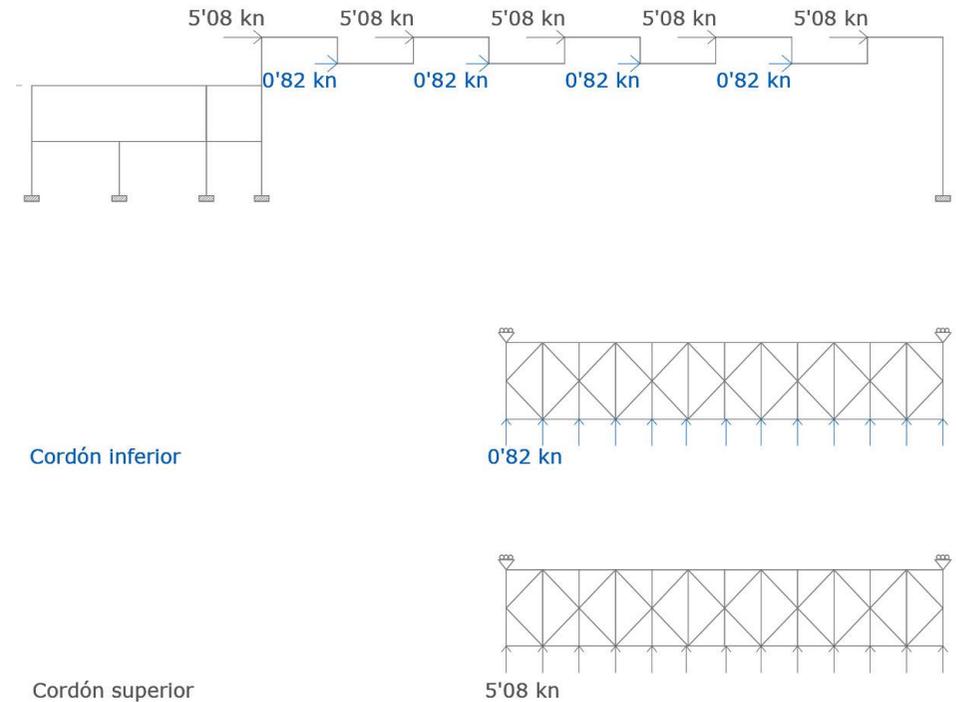
$$Mzd \text{ (máximo)} = - 68,29 \text{ KN}$$

$$F = Mzd/h \text{ (IPE 300)} \times 0,015 = -68,29 / 0,3 \times 0,015 = 3,14 \text{ KN}$$

c) Cubierta ligera pabellón, celosía.

- Cordón superior. $F = -339 \text{ (Nd)} \times 0,015 = 5,08 \text{ KN}$

- Cordón inferior. $F = -55 \text{ (Nd)} \times 0,015 = 0,82 \text{ KN}$



(Fig.9) Esquema efecto cordones comprimidos en celosía.

2.2.4 COMBINACIÓN DE HIPÓTESIS

a) Hipótesis de cálculo.

- Peso Propio, carga permanente (G).

-Uso, carga variable (Q).

En sobrecarga de uso distinguiremos entre la categoría **C** (zonas destinadas al uso público) y la **G** (zonas de cubierta destinadas a mantenimiento), ya que al realizar las combinaciones de hipótesis la sobrecarga de uso de mantenimiento es incompatible con otras acciones variables como el viento o nieve.

-Viento, carga variable (Q).

En total hay 8 hipótesis de viento correspondientes a las 2 orientaciones y sus dos sentidos tanto en presión como en succión en cubiertas.

-Nieve, carga variable (Q).

-Imperfecciones (I).

Trabajaremos con las imperfecciones cuando realicemos las comprobaciones estructurales en ELU con el modelo completo, se tendrán en cuenta en todas las combinaciones sin multiplicarlas por ningún coeficiente.

-Sismo, incendio e incendio; acciones accidentales (A).

b) Combinaciones de hipótesis.

- Las comprobaciones de **Estados Límite Último** son aquellas que aseguran la seguridad de las personas ante un fallo asociado a resistencia o estabilidad estructural.

Para ELU en situaciones persistentes o transitorias; en resistencia o estabilidad:

$$\sum \gamma (g) \times G + \gamma (q) \times Q (k,1) + \sum \gamma (q) \times \Psi(0) \times Q (k,i)$$

Tipo de verificación ⁽¹⁾	Tipo de acción	Situación persistente o transitoria	
		desfavorable	favorable
Resistencia	Permanente		
	Peso propio, peso del terreno	1,35	0,80
	Empuje del terreno	1,35	0,70
	Presión del agua	1,20	0,90
	Variable	1,50	0
		desestabilizadora	estabilizadora
Estabilidad	Permanente		
	Peso propio, peso del terreno	1,10	0,90
	Empuje del terreno	1,35	0,80
	Presión del agua	1,05	0,95
	Variable	1,50	0

Coeficientes parciales de seguridad para acciones en ELU. (Ref. 8)

- Las comprobaciones de **Estados Límite Servicio** son aquellas que si se sobrepasan afectan al funcionamiento del edificio y confort de los usuarios.

Para ELS, combinación característica.

$$\sum G + \gamma (q) \times Q(k,1) + \sum \gamma (q) \times \Psi(0) \times Q (k,i)$$

c) Combinaciones para ELU en resistencia.

(Un total de 33 combinaciones.)

(Desfavorables)

- **Uso** como variable principal

$1'35 \times G + 1'5 \times Q$ (uso categoría C + G) + Imperfecciones

$1'35 \times G + 1'5 \times Q$ (uso categoría C) + $1'5 \times 0'6 \times Q$ (viento, las 8 hipótesis) + $1'5 \times 0'5 \times Q$ (nieve) + Imperfecciones

- **Viento** como variable principal

$1'35 \times G + 1'5 \times Q$ (viento, las 8 hipótesis) + $1'5 \times 0'7 \times Q$ (uso, categoría C) + $1'5 \times 0'5 \times Q$ (nieve) + Imperfecciones

- **Nieve** como variable principal

$1'35 \times G + 1'5 \times Q$ (nieve) + $1'5 \times 0'6 \times Q$ (viento, las 8 hipótesis) + $1'5 \times 0'7 \times Q$ (uso categoría C) + Imperfecciones

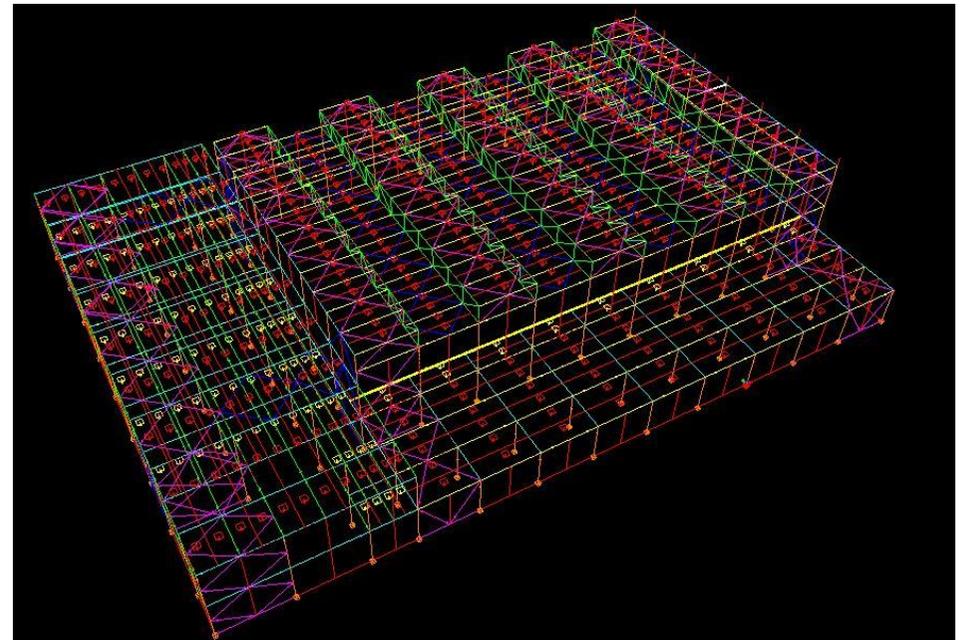
(Favorables)

$0'8 \times G + 1'5 \times Q$ (viento, las 8 hipótesis) + Imperfecciones

	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Sobrecarga superficial de uso (Categorías según DB-SE-AE)			
• Zonas residenciales (Categoría A)	0,7	0,5	0,3
• Zonas administrativas (Categoría B)	0,7	0,5	0,3
• Zonas destinadas al público (Categoría C)	0,7	0,7	0,6
• Zonas comerciales (Categoría D)	0,7	0,7	0,6
• Zonas de tráfico y de aparcamiento de vehículos ligeros con un peso total inferior a 30 kN (Categoría E)	0,7	0,7	0,6
• Cubiertas transitables (Categoría F)		(1)	
• Cubiertas accesibles únicamente para mantenimiento (Categoría G)	0	0	0
Nieve			
• para altitudes > 1000 m	0,7	0,5	0,2
• para altitudes ≤ 1000 m	0,5	0,2	0
Viento	0,6	0,5	0

Coefficientes de simultaneidad para acciones variables. (Ref.9)

d) El cálculo de las solicitaciones y su envolvente en ELU y ELS se ha determinado mediante un modelo de estructura completa con el programa de cálculo Architrave® con cada combinación correspondiente.



(Fig.9) Modelo con cargas mediante Architrave.

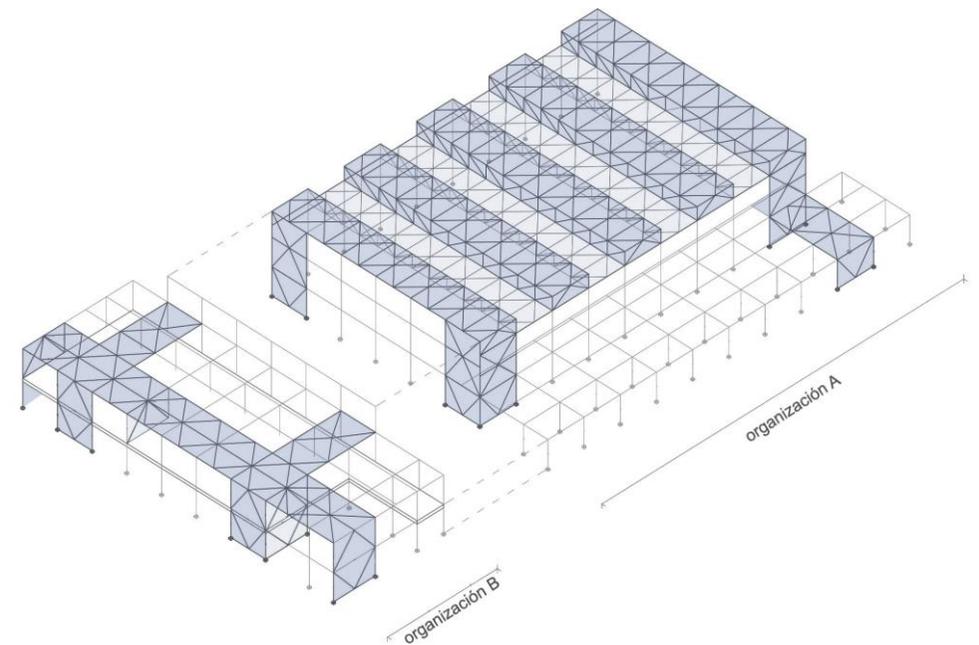
2.3.1 Ordenación general. El pórtico.

Una estructura es un conjunto de elementos resistentes vinculados entre sí, de tal forma que prestan rigidez y resistencia ante esfuerzos en cualquier dirección.

Dentro del conjunto estructural el pórtico es una subestructura que presenta una gran rigidez frente a las acciones que se dan en su plano en comparación con fuera de este. Para conseguir rigidez fuera del plano de la estructura se recurre a los arriostramientos, estos son sistemas que mediante triangulaciones son capaces de recibir y transmitir acciones que actúan fuera del plano del pórtico.

Un correcto arriostramiento aumenta la rigidez y minimiza las deformaciones del conjunto estructural adquiriendo el carácter de intraslacional, por lo que se estudian sin tener en cuenta los esfuerzos generados por excentricidades de las deformaciones (1º orden).

La estructura propuesta se va a analizar diferenciando dos conjuntos estructurales, uno con los pórticos perpendiculares a la fachada (A) y el otro con los pórticos paralelos (B).



(Fig. 10) Avance arriostramiento propuesto.

2.3.2 El pórtico dentro de la estructura, justificación de los arriostramientos

Se van a analizar por separado los dos conjuntos estructurales caracterizados por la dirección de los pórticos; en un primero momento se estudiará el efecto que se pretende conseguir con el arriostramiento sobre el pórtico y después su disposición dentro de la estructura para optimizar su función.

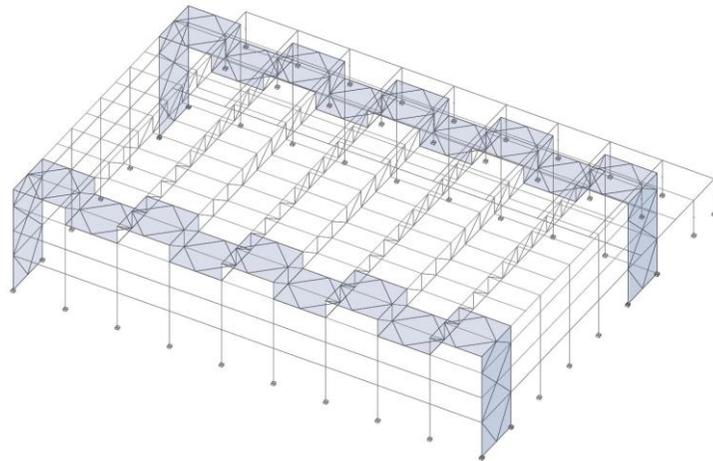
Partiendo de las acciones analizadas en el apartado anterior se realizaran diferentes modelizaciones mediante el programa de cálculo [Architrave® Diseño](#) y [Architrave®](#) para así determinar el comportamiento de los pórticos dentro de la estructura y determinar el arriostramiento más conveniente.

2.3.2.1 Pórticos de la organización (A).

2.3.2.1.1 Arriostramiento perpendicular al pórtico (A).

Dentro de esta organización se dispondrá un arriostramiento perpendicular que abarcará toda la longitud del pabellón (46,8 m). Este estará conformado por triangulaciones en forma de diamante conformando una viga en celosía de mayor rigidez siendo capaz de absorber acciones o deformaciones en su plano (haciendo que todos los pórticos sean solidarios) y transmitir las a la cimentación a partir de pantallas trianguladas.

Dado que la cubierta del pabellón no presenta continuidad en su plano horizontal el arriostramiento se deberá ejecutar mediante una solución particular que rigidice ambos planos.

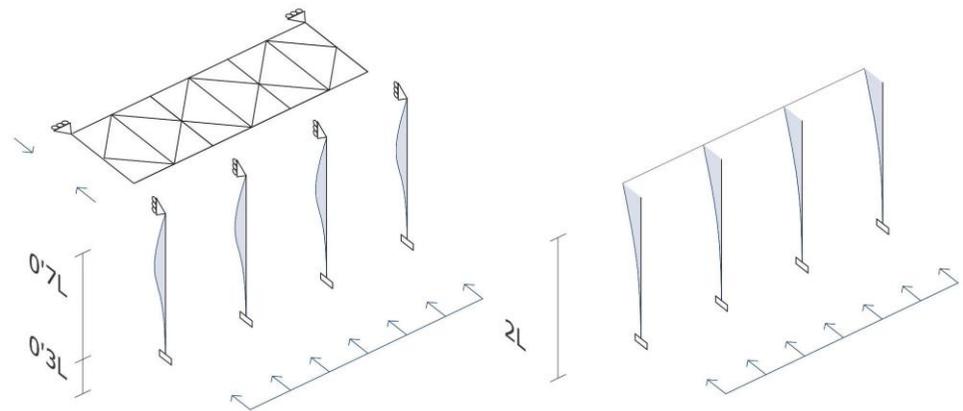


Dirección arriostramiento perpendicular al pórtico, discontinuo en su plano. (Fig.11)

a) Efectos arriostramiento perpendicular al pórtico A.

Por un lado, frente a acciones horizontales el arriostramiento se comporta como una viga contraviento absorberá parte de los esfuerzos horizontales e impedirá el de desplazamiento de la cabeza de los pilares laterales; permitiendo reducir la longitud de pandeo en el plano del pórtico y reducir el momento flector en la base del pilar (comportándose como empotrado – articulado). (Figura 12)

Por otro lado, las pantallas trianguladas del ayudaran también a controlar la longitud de pandeo de los pilares cabeceros en el plano del pórtico, su eje débil de inercia.



Comportamiento deformaciones en pilares, influencia arriostramiento. (Fig.12)

b) Estudio disposición de arriostramiento perpendicular al pórtico A.

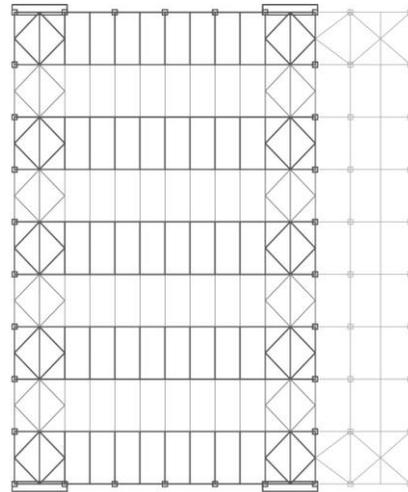
La cubierta del pabellón polideportivo está conformada por unos lucernarios que la hacen ser discontinua en su plano. Según criterios de proyecto hay que evitar colmatar el espacio interior del lucernario. Por efecto, los posibles arriostramientos perpendiculares al pórtico perderán continuidad en su plano; viéndose su rigidez afectada.

A continuación se estudiarán diferentes soluciones:

- Un arriostramiento en cada extremo de pórtico a diferentes niveles.

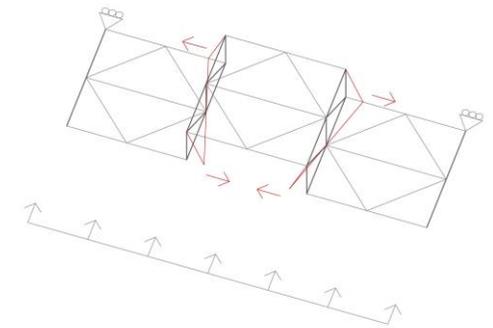
Se realiza un arriostramiento de tipo diamante en las superficies de cubierta de forma escalonada, junto a la celosía conforman una viga quebrada en la que se ha aumentado la rigidez.

Como se puede observar en (figura 14) los momentos flectores han disminuido respecto del estado inicial; pero los pilares más esbeltos del pórtico se siguen comportando como un voladizo ya que su rigidez es insuficiente para impedir el desplazamiento de la cabeza de los pilares.

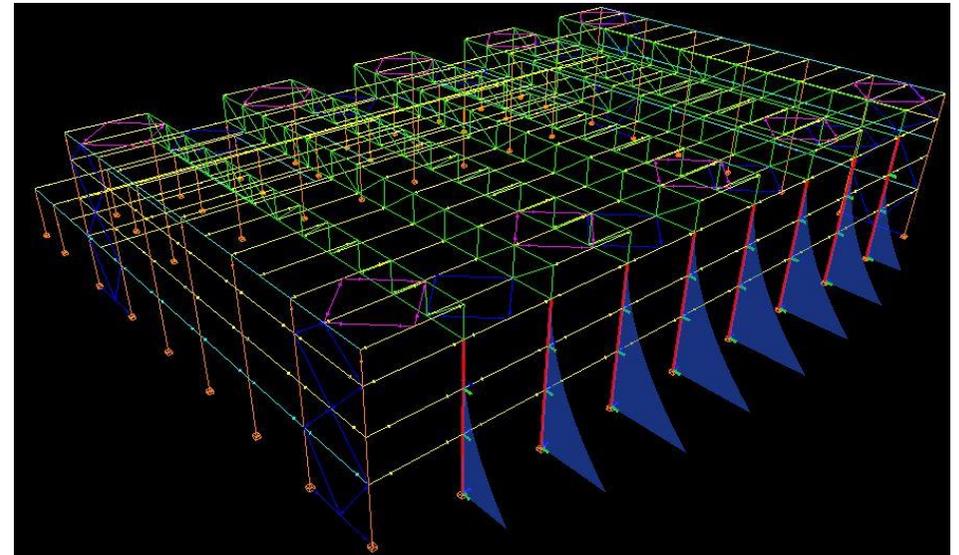


Pantallas y triangulaciones,
Arriostramiento en diferentes planos I. (Fig. 12)

El arriostramiento dispuesto tiene un comportamiento similar a una viga contraviento sometidas a flexión. El hecho de realizar triangulaciones en diferentes planos hace que aumente la rigidez respecto un sistema no arriostrado, pero sigue siendo escasa ya que aún no está impedido el movimiento en el plano inferior.



Desplazamientos de nudos. (Fig. 13)



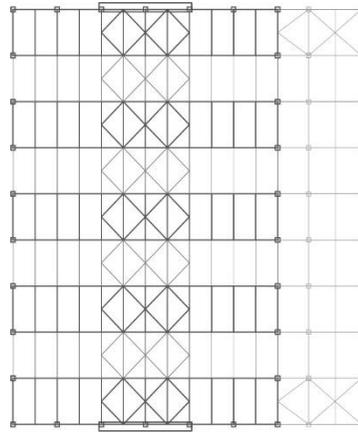
Momentos flectores con combinación resistencia viento norte. Architrave. (Fig. 14)

M_z , arriostrado = 303 Kn.m / M_z , sin arriostrar 340 kn.m

- Dos arriostramientos consecutivos a diferentes niveles.

Disponiendo arriostramientos de forma consecutiva se busca conseguir un mayor canto de la viga contraviento, por lo que aumenta la inercia y así su rigidez.

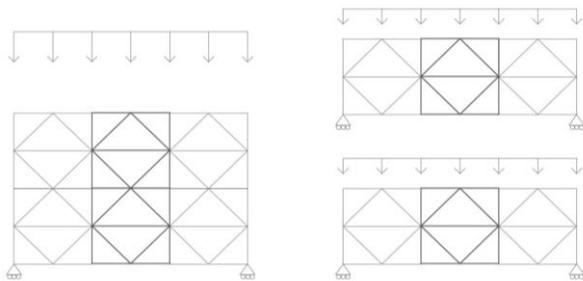
Como podemos observar en (figura 17) el comportamiento mejora levemente respecto de la solución anterior, pero aún sigue siendo insuficiente para limitar el desplazamiento de la cabeza del pilar, el arriostramiento sigue deformando en su plano inferior.



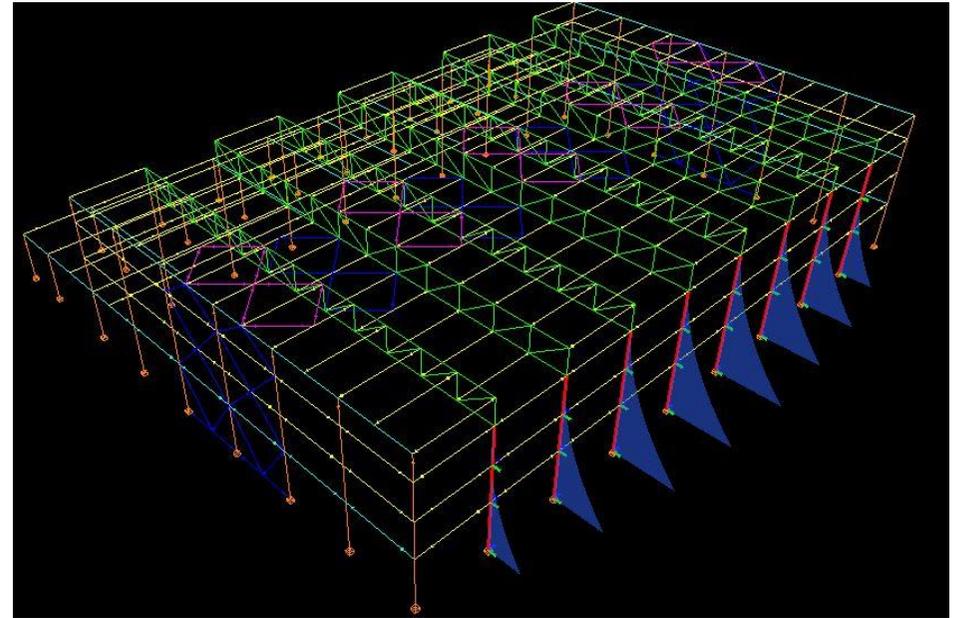
Pantallas y triangulaciones,

Arriostramiento en diferentes planos II. (Fig. 15)

La inercia depende de su canto elevado al cubo, por lo que mejora su comportamiento respecto a la situación de si son independientes.



Canto viga contraviento. (Fig. 16)



Momentos flectores con combinación resistencia viento norte. Architrave (Fig. 17)

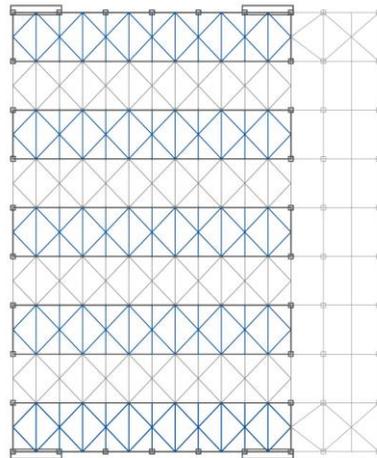
M_z , arriostrado = 287 Kn.m / M_z , sin arriostrar 340 kn.m

Como se puede observar en la imagen adjunta y asimilando el arriostramiento a una viga contraviento, el desplazamiento de los nudos es máximo en el centro de vano de la viga y por lo tanto los pilares interiores tendrán un peor comportamiento. (Fig. 17)

- El arriostramiento completo de cubierta limitando las deformaciones en el plano inferior mediante cajas trianguladas.

Si se sigue aumentando el canto del arriostramiento la rigidez aumentará hasta cierto punto, llegando a un comportamiento cercano al ideal si la arriostramos todo el ancho.

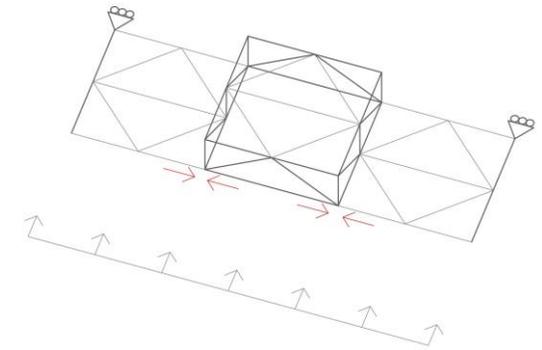
El comportamiento mejora notablemente si también triangulamos las paredes laterales de los lucernarios, concibiendo los lucernarios como cajas en las que su plano inferior los desplazamientos de los nudos se ven reducidos (figura 19). La rigidez aumenta considerablemente ya que limitamos las deformaciones en un mismo plano, por lo que las solicitaciones sobre el pilar tienen un comportamiento articulado – empotrado. (Fig.20)



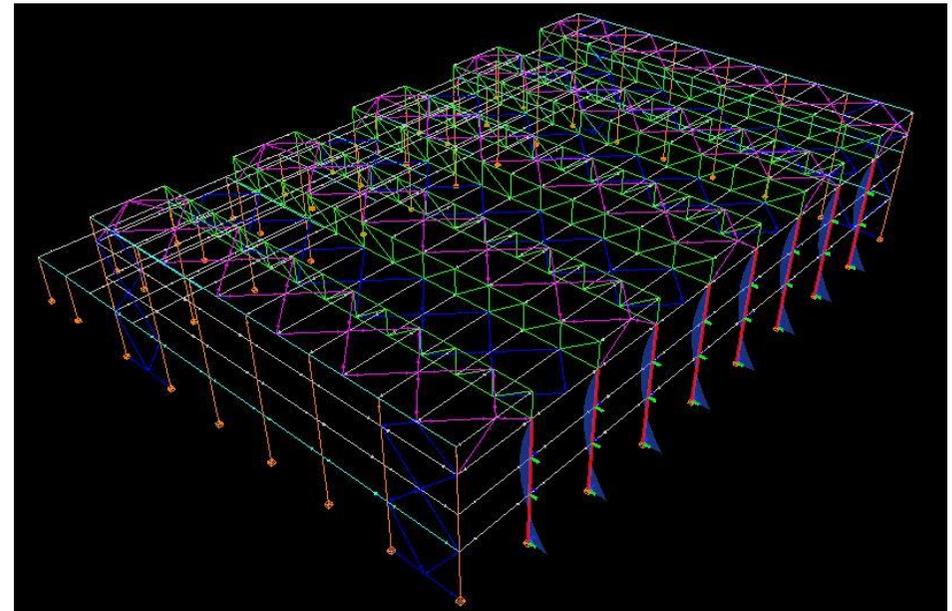
Pantallas y triangulaciones. (Fig. 18)

Debido a que por criterios de proyecto no se puede ocupar el espacio interior de los lucernarios esta es la solución más conveniente ya que aporta la rigidez necesaria. Por otra parte, como se demostrará más adelante, este arriostramiento colaborará limitando la longitud de pandeo de los cordones de la celosía.

Triangulando las paredes laterales se limita el desplazamiento de los nudos en las dos direcciones del plano inferior, por lo que aumenta la rigidez. (Fig. 19)



Desplazamientos de nudos. (Fig. 19)



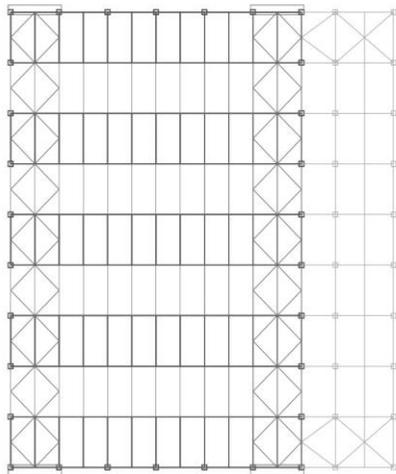
Momentos flectores con combinación resistencia viento norte. Architrave. (Fig. 20)

M_z , arriostrado = 75'6 Kn.m / M_z , sin arriostrar 340 kn.m

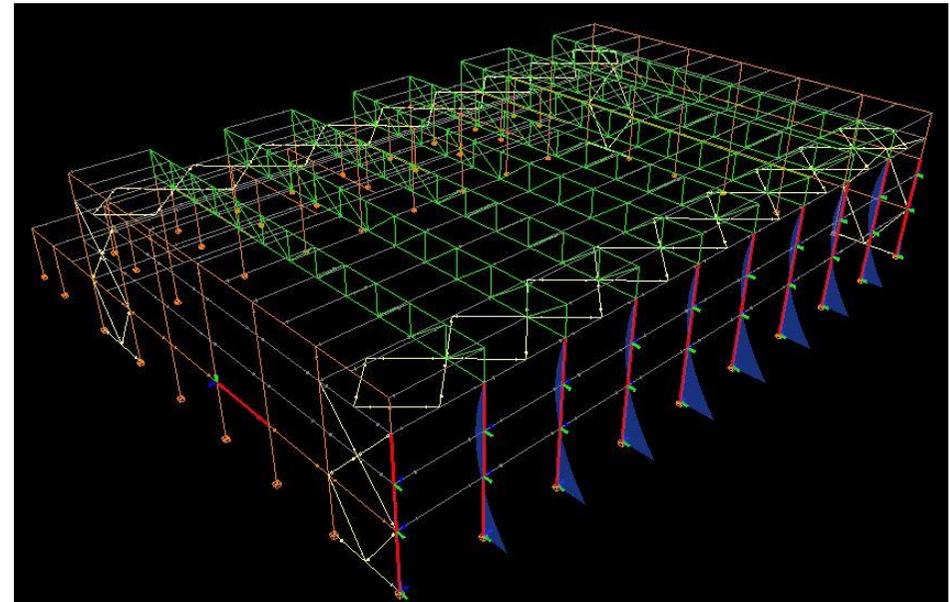
- Arriostamiento a extremos de pórtico mediante un arriostamiento continuo en el mismo plano.

Se genera una viga contraviento mediante triangulaciones en un mismo plano por la superficie inferior de la cubierta. Este arriostamiento a priori genera una rigidez suficiente como para limitar los desplazamientos horizontales en su plano, haciendo que los pilares se comporten como elementos empotrados – articulados. (Fig. 22)

Este sistema es el más eficiente de los descritos anteriormente ya que consigue aportar la rigidez necesaria con menos elementos de arriostamiento; pero no puede ser utilizado porque por criterios de proyecto no se puede colmatar el espacio interior de los lucernarios.



Pantallas y triangulaciones, arriostamiento continuo en el plano inferior. (Fig. 21)



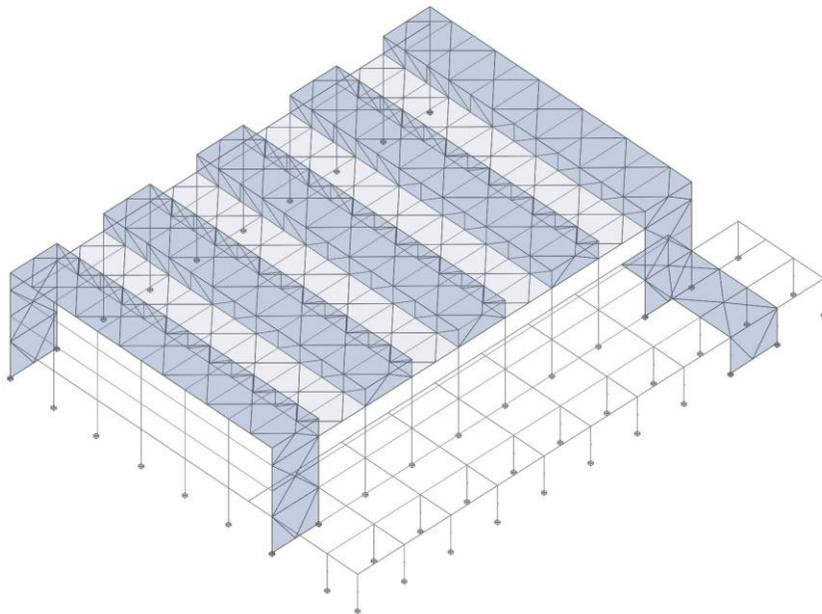
Momentos flectores con combinación resistencia viento norte. Architrave. (Fig. 22)

M_z , arriestrado = 87 Kn.m / M_z , sin arristrar 340 kn.m

2.3.2.1.2 Arriostramiento paralelo al pórtico (A).

Dentro de esta organización se dispondrán arriostramientos mediante triangulaciones entre pórticos paralelos a nivel de cubiertas. Este le aportará la rigidez necesaria a los pórticos para absorber las deformaciones perpendiculares a su plano (inercia más débil) y transmitir las a la cimentación a partir de pantallas trianguladas entre pilares.

Dado que la cubierta del pabellón no presenta continuidad en su plano presentará un sistema de arriostramiento particular, en la cubierta del pabellón el arriostramiento coincidirá con el descrito en el apartado anterior. (Fig. 23)



Organización A, arriostramiento paralelo al pórtico. (Fig. 23)

a) Efectos arriostramiento paralelo al pórtico A.

- Viento, fuerzas perpendiculares y pandeo en pórtico cabecero

El pórtico cabecero estará sometido principalmente a la acción del viento en su plano perpendicular al pórtico, que será absorbido por una serie de perfiles IPE orientados con su plano de mayor inercia paralelo al plano del pórtico.

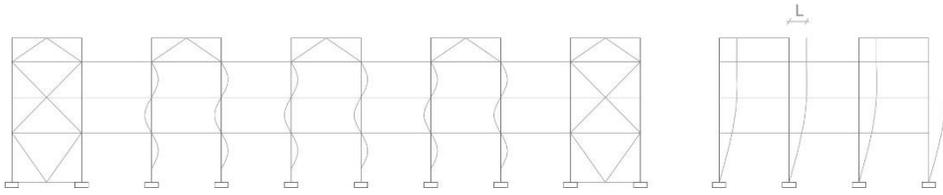
Al igual que sucede en el plano del pórtico, un arriostramiento perpendicular disminuirá el desplazamiento de la cabeza del pilares cabeceros hasta el punto de ser considerados como empotrados – apoyados; y por lo tanto reduciendo su momento flector y su longitud de pandeo. (Fig. 12)

- Pandeo en el plano perpendicular al pórtico (caso de pilar extremo del pabellón)

En pilares esbeltos sometidos a cargas importantes pueden darse fenómenos de inestabilidad o pandeo (flexión). Por lo tanto habrá que hacer una comprobación en los dos ejes de inercia según condiciones de arriostramiento.

El pilar extremo del pabellón presenta gran esbeltez, por lo que es susceptible de fallar a pandeo en el eje de menor inercia. Se procede a arriostrar el pilar mediante zunchos en unas alturas intermedias mediante uniones articuladas. Estos transmitirán los esfuerzos a las pantallas trianguladas.

De este modo en el plano de menor inercia o perpendicular al pórtico el perfil pasará de comportarse como un voladizo de 9 metros a dividirse en tres tramos. (Fig. 24)



Pilares exteriores pabellón, deformación plano perpendicular al pórtico. (Fig. 24)

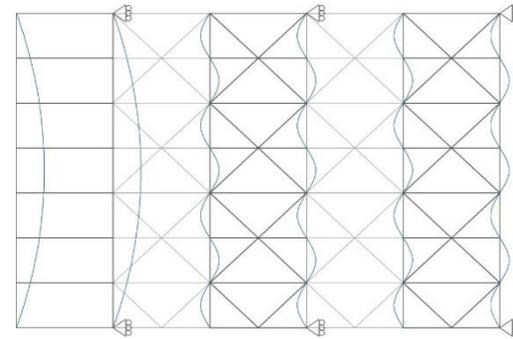
- Celosía

La celosía está constituida por perfiles tubulares que pueden trabajar a tracción o compresión, por lo que habrá que hacer un estudio de sus condiciones de pandeo.

El **cordón superior** de la cercha trabaja en general a compresión, por lo que habrá que limitar la longitud de pandeo en los dos planos. Mientras que en el plano del pórtico la longitud de pandeo abarca la distancia entre nudos (2'5 m), en el plano perpendicular abarcará la longitud entre apoyos de la celosía (30 m). (Fig. 25)

En el **cordón inferior** se ha comprobado que con la combinación de ELU en estabilidad para la condición de viento más desfavorable aparecen fuerzas de compresión (se considera el peso propio y sobrecargas como efectos favorables). Al igual que en el cordón superior tendremos que arriostrar el cordón inferior ya que posee las mismas longitudes de pandeo.

Para tener en cuenta el efecto de arriostramiento de los cordones comprimidos se establecen unas fuerzas equivalentes que deben ser absorbidas por este. El efecto de imperfecciones en cubierta es equivalente a una fuerza perpendicular al plano de 1'5 % del axil de la barra más comprimida (Nd) aplicado en cada nudo arriostrado.



Pandeo por compresión del cordón superior. (Fig. 25)

- Cubierta intermedia (ligera y de menores luces)

El pandeo lateral se da cuando un elemento lineal está sometido a un momento importante. La cabeza de la viga sometida a compresión pandeará y la traccionada no, produciendo un giro y una deformación lateral (flexotorsión).

Como el forjado que sustentan estas vigas es ligero, no colaborará con las vigas para absorber las fuerzas que generan esta deformación, y por lo tanto habrá que limitar su longitud de pandeo lateral generando puntos de inflexión mediante arriostramientos. (Fig. 27)

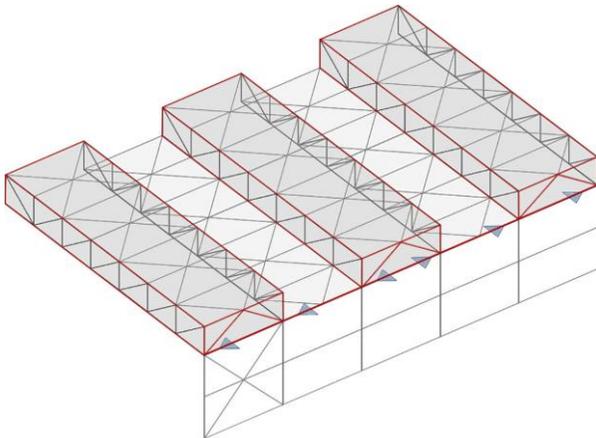
b) Estudio disposición de arriostramiento paralelo al pórtico A.

- Cubierta del pabellón polideportivo

La cubierta del pabellón se desarrolla en diferentes planos, por lo que presentará una solución particular.

Como la cubierta no presenta continuidad en ninguno de sus dos planos los esfuerzos no se pueden transmitir a un arriostramiento común a partir de correas; por lo que cada plano de cubierta se deberá comportar como un arriostramiento independiente que transmitirán sus esfuerzos a las pantallas trianguladas a partir de un zuncho perimetral.

Mientras que en el plano inferior de la cubierta la transmisión de cargas es directa al zuncho, el **plano superior** transmitirá dichos esfuerzos mediante triangulaciones laterales que unirán el arriostramiento superior con el zuncho. (Fig. 26)



Trasmisión de fuerzas arriostramiento,zuncho. (Fig. 26)

Se dispondrá en ambos planos un arriostramiento en forma de diamante que limitará la longitud de pandeo perpendicular al pórtico de 30 a 2'5 metros, evitando así el sobredimensionado en ambos cordones.

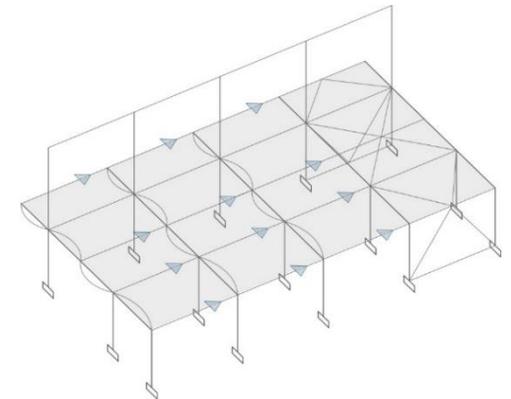
Debido al bajo axil del cordón inferior el arriostramiento en dicho plano propuesto es excesivo, pero se mantiene dichas longitudes de pandeo porque **el arriostramiento paralelo al pórtico coincidirá con el transversal estudiado en el apartado anterior.**

- Cubierta intermedia (ligera y de menores luces)

Como todo el forjado está situado en el mismo plano se ha contemplado arriostrarlo mediante un arriostramiento en el extremo. (Fig. 27)

Sobre los pilares del pórtico cabecero el arriostramiento ayudará a controlar el pandeo en su plano débil de inercia.

En el apartado de dimensionamiento (pág. 41 – 43) se llegará a la conclusión de que este arriostramiento no influirá en el al dimensionado del pórtico tipo. Debido a que la viga se verá condicionado al cumplimiento de flecha para ELS y el pilar falla antes por resistencia que por pandeo en el plano perpendicular al pórtico.

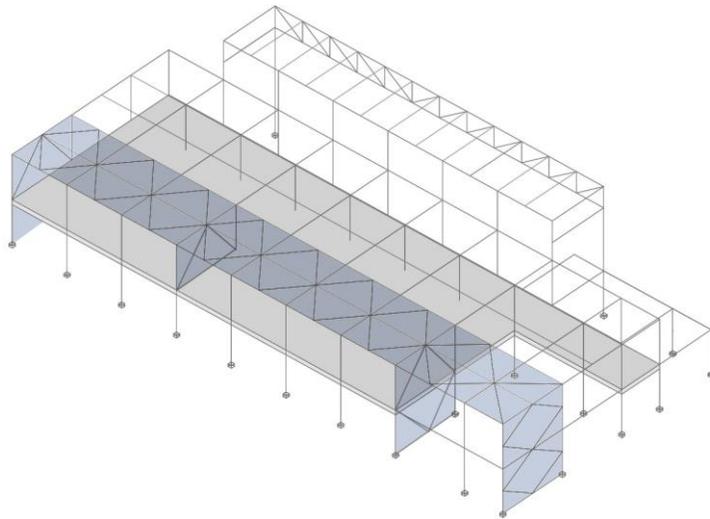


Trasmisión de fuerzas arriostramiento. (Fig. 27)

2.3.2.2 Pórticos de la organización (B).

Nos encontramos ante una estructura con un forjado pesado en la planta intermedia y una cubierta ligera. A efectos de dimensionado en el plano intermedio el forjado hará que se solidaricen todos los pilares en la absorción de esfuerzos horizontales en dicho nivel (comportándose como un diafragma).

2.3.2.2.1 Arriostramiento perpendicular al pórtico (B).



Arriostramiento perpendicular al pórtico B. (Fig. 28)

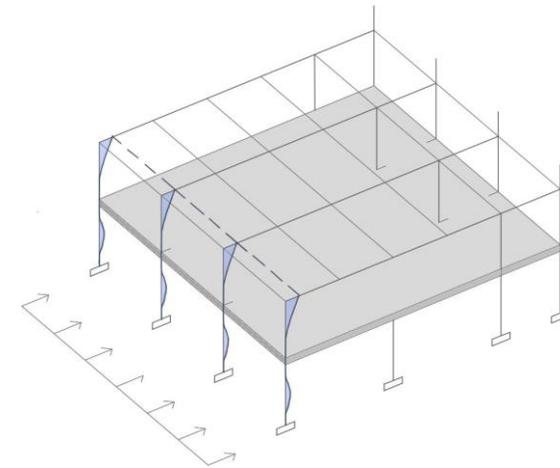
a) Efectos arriostramiento perpendicular al pórtico B.

Mientras que el forjado intermedio se comporta como un diafragma rígido que limita los desplazamientos de los pilares y vigas en su plano; la cubierta no tiene tanta rigidez como para limitar estos desplazamientos.

Hay que tener en cuenta que desde un punto de vista de estructura completa el pórtico ya presta cierta rigidez, pero a efectos de dimensionado se considera que el tramo superior del pilar trabaja como un voladizo. (Fig. 29)

Un arriostramiento adecuado permitirá el tramo superior del soporte se comporte como un elemento empotrado – articulado, viéndose afectados las solicitaciones provenientes de esfuerzos de viento y su longitud de pandeo.

Además también ayudará a controlar el pandeo en el plano de menor inercia de los pilares cabeceros, al igual que sucede en el caso anterior.

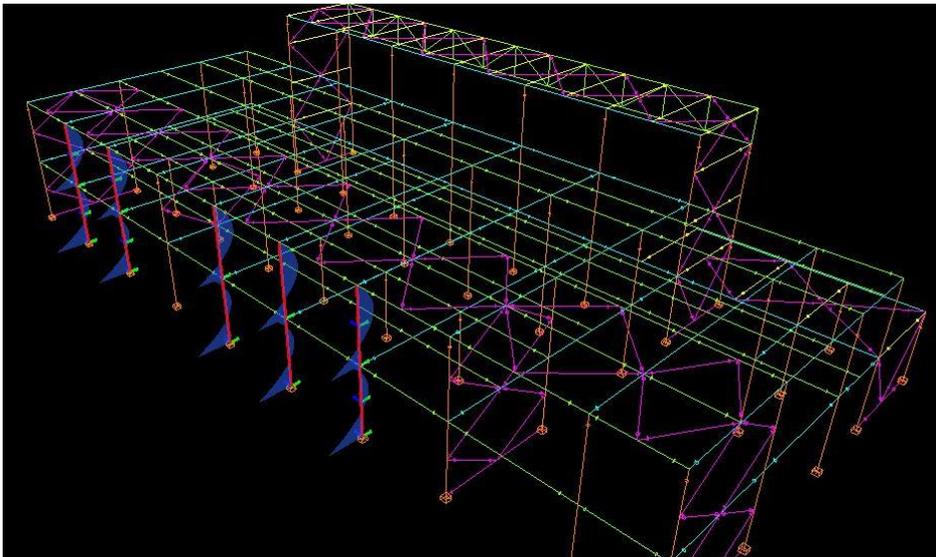


Deformaciones pórtico sin arriostrar. (Fig. 29)

b) Disposición del arriostramiento perpendicular al pórtico B.

Se dispondrá un arriostramiento a altura de cubierta que abarcará toda la longitud entre pórticos, conformando una viga contraviento. Como abarca una longitud de 46 metros esta viga transmitirá sus esfuerzos a varias pantallas intermedias, evitando así su sobredimensionamiento. (Fig. 28)

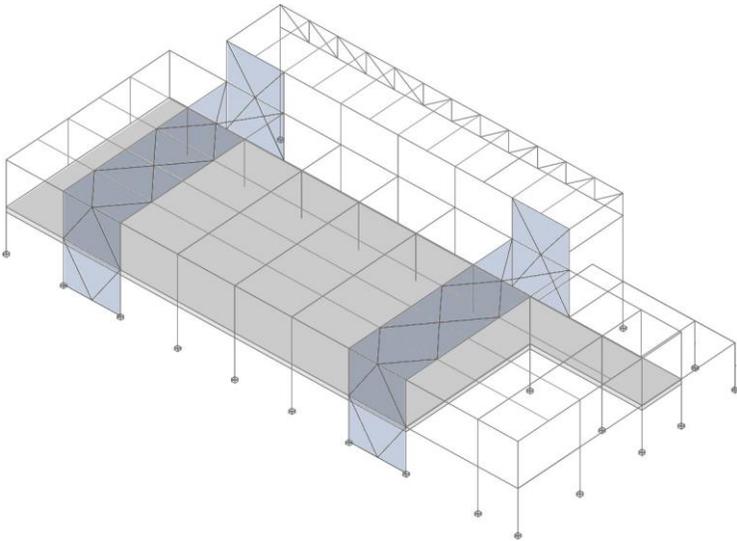
En la imagen adjunta se puede observar que el momento flector en el tramo superior del pilar trabaja como un elemento empotrado – articulado. (Fig. 30)



Momentos flectores con combinación resistencia viento oeste, pórtico arriostrado. Architrave.

(Fig. 30)

2.3.2.2.2 Arriostramientos paralelo al pórtico (B).



Arriostramiento paralelo al pórtico B. (Fig. 31)

a) Efectos arriostramiento paralelo al pórtico B.

- Forjados

Las vigas estarán sometidas a un axil despreciable y a grandes momentos flectores, por lo que habrá que dimensionarlas tanto a resistencia como a pandeo lateral (flexotorsión producida por el giro de la cabeza comprimida de la viga).

El forjado inferior es de tipo colaborante (pesado), por lo que lo que ayudará a controlar el pandeo lateral de las vigas en toda su longitud.

En el forjado superior (ligero, cubierta Deck) nos encontramos con una viga de 12 m susceptible de fallo por no cumplir las exigencias marcadas por el CTE respecto a pandeo lateral, por lo que con el arriostramiento se reducirá la distancia entre puntos de inflexión de la viga a 3 m.

Los esfuerzos provenientes del pandeo lateral serán transmitidos a los arriostramientos a través de las correas.

- Pilares

Los arriostramientos en el plano paralelo al pórtico van a ayudar a controlar la longitud de pandeo en el plano transversal del pórtico.

En el primer nivel, el forjado pesado se comporta como un diafragma que rigidiza todo el plano, pudiendo considerar una longitud de nudo a nudo (3,7 m) para el pandeo cercano a $\beta = 0,5$.

(Tomaremos el valor ofrecido por el programa de cálculo)

En el segundo nivel, en tramo superior del pilar (3,8 m) la cubierta no aporta rigidez por lo que el pilar se comportará como un voladizo. Un arriostramiento absorberá la reacción transmitida en este plano por el zuncho perimetral convirtiendo el comportamiento de la barra en empotrado - articulado $\beta = 0,7$.

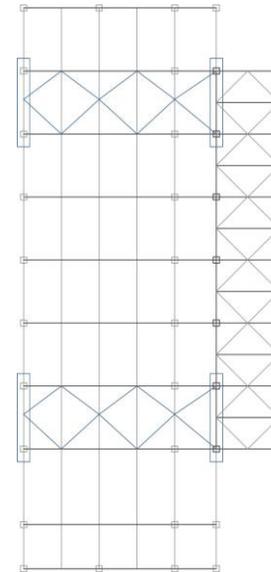
Además este arriostramiento hará la función de viga contraviento en los pilares del pórtico cabecero, controlando así sus deformaciones en la altura de cubierta.

b) Estudio disposición de arriostramiento paralelo al pórtico.

El arriostramiento estará sometido a grandes esfuerzos procedentes de las imperfecciones en cubierta, por lo que será necesario disponer de dos arriostramientos en el mismo plano de forma que se repartan los esfuerzos a través de las correas.

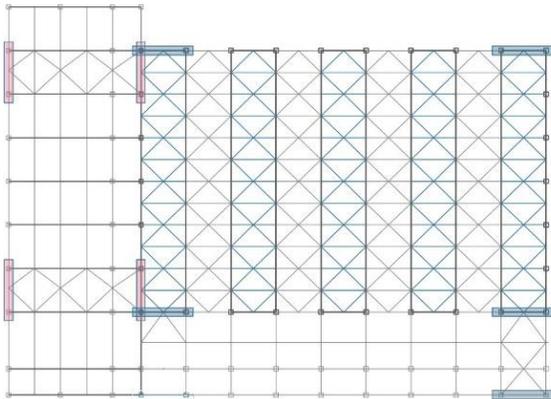
Los esfuerzos transmitidos por las correas serán los provenientes por el empuje de la cabeza de los pilares en pórticos cabeceros debidos al viento, y los esfuerzos debidos a la limitación del pandeo lateral de las vigas. (Este será equivalente al 1'5 % del axil de compresión de la viga y se aplicará en cada nudo).

En la zona interior de esta organización las pantallas trianguladas trabajarán conjuntamente con la de los arriostramientos paralelos al pórtico de la organización (A). (Fig. 32)

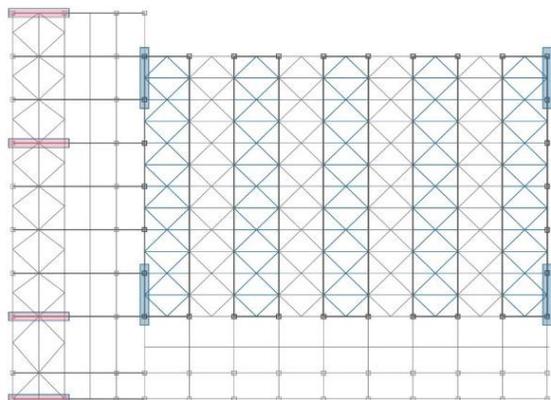


Arriostramientos paralelos al pórtico. (Fig. 32)

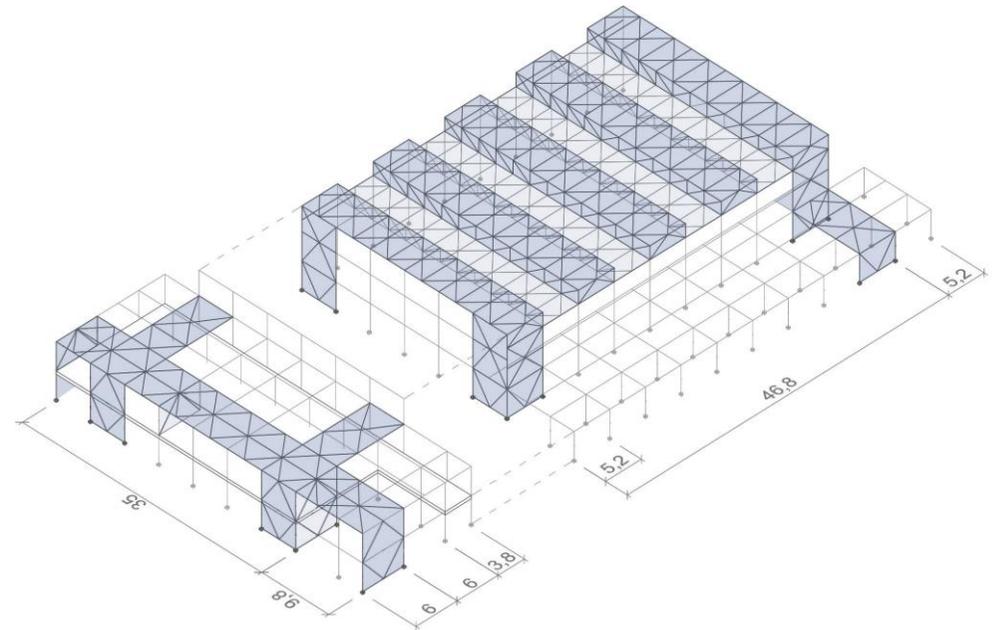
2.3.3 Disposición de arriostramientos.



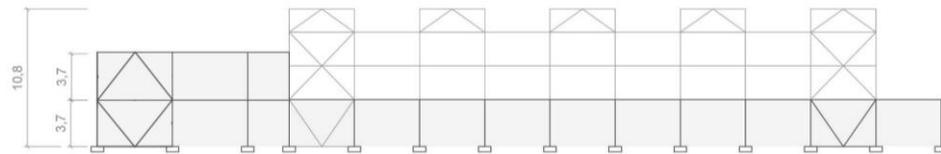
Arriostramientos paralelos a ambos pórticos tipo. (Fig. 33)



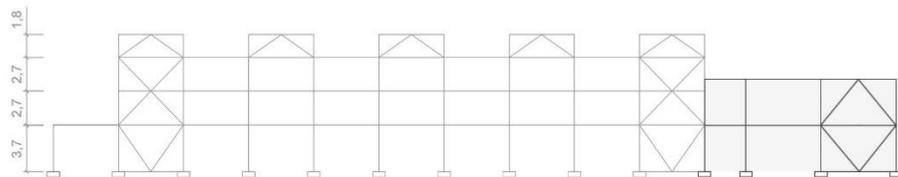
Arriostramientos perpendiculares a ambos pórticos tipo. (Fig. 34)



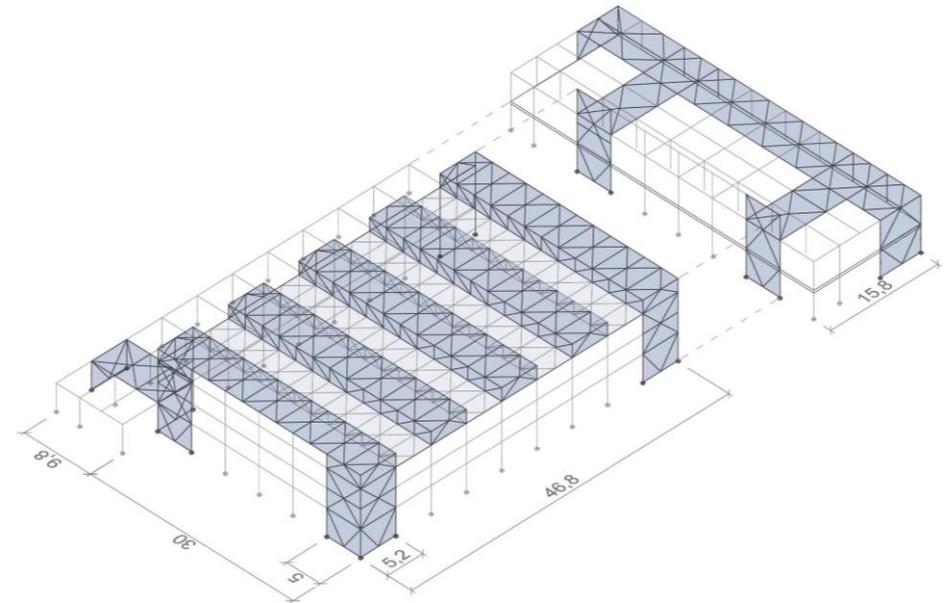
Arriostramiento completo, axonometría I. (Fig. 35)



Alzado sur, arriostamiento. (Fig. 35)



Alzado norte, arriostamiento. (Fig. 36)



Arriostamiento completo, axonometría II. (Fig. 37)

2.4.1 Bases de dimensionado.

Una vez establecidas las condiciones de arriostramiento se va a proceder al dimensionado de la estructura completa. El proceso de partirá de los pórticos tipo (se estudiarán los pórticos más solicitados y se aplicarán a toda la estructura) y seguidamente se dimensionarán aquellos elementos más específicos como pueden ser los arriostramientos, vigas, pórticos cabeceros o montantes.

Durante todo el proceso se tendrán en cuenta criterios de homogeneización ante perfiles de similares características para facilitar la organización y la puesta en obra.

El dimensionado de los pórticos tipo se realizará bajo condiciones de arriostrado y no arriostrado para así realizar una comparativa y poder determinar la influencia que tiene el arriostramiento sobre la estructura.

Dentro del pórtico el hecho de permitir o no giros relativos entre perfiles contiguos ayudará a controlar las solicitaciones estableciendo puntos de momento nulo; pero el hecho de que los desplazamientos estén limitados dependerá de la rigidez que aporte el conjunto estructural.

Tras la realización de un modelo estructural mediante el programa de cálculo [Architrave® Diseño y Architrave®](#) con perfiles dimensionados de forma intuitiva, el programa de nos determinará las solicitaciones a los que se ven afectados y su comportamiento dentro de una estructura arriostrada o no arriostrada. (Una vez determinado el dimensionamiento final, se debería recalculas las solicitaciones ya que las condiciones de enlace entre perfiles pueden variar en función de la rigidez que aporten.)

Con los valores adquiridos anteriormente se realizará un primer dimensionado de tanteo mediante las tablas de resistencia de perfiles metálicos recogida en el libro [“Problemas de estructuras metálicas adaptados al CTE”](#) para obtener un orden de magnitud del perfil en resistencia ELU, y de esta forma cerciorarse de que no se comete ningún error al trabajar con el programa de cálculo.

Estas tablas nos ofrecen las máximas solicitaciones que puede soportar un determinado perfil con comportamiento plástico (Clase 1 o Clase 2; $M_{pl,y,rd}$) o elástico (Clase 3; $M_{el,y,rd}$).

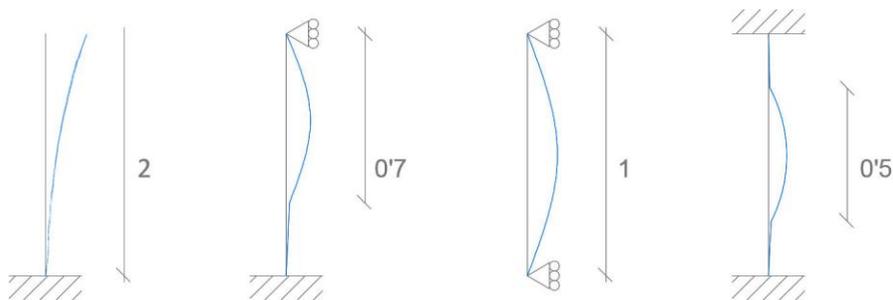
Seguidamente mediante el programa se realizará un segundo dimensionado concluyente en el que nos aseguramos que el perfil cumple con los criterios establecidos por [CTE-DB-SE-A](#) referidos a condiciones de resistencia y estabilidad de ELU, y de ELS.

Por otra parte, en aquellos perfiles susceptibles de fallar a estabilidad por fuertes compresiones (pandeo) o por flexotorsión producida por el giro de la cabeza comprimida de un perfil ante un fuerte momento flector (pandeo lateral), se realizará un estudio determinando su comportamiento dentro de la estructura a partir de las deformaciones.

Tras determinar el comportamiento de los perfiles, en el dimensionado mediante **Architrave®** se establecen los beta de pandeo que mejor se ajusten al comportamiento del perfil.

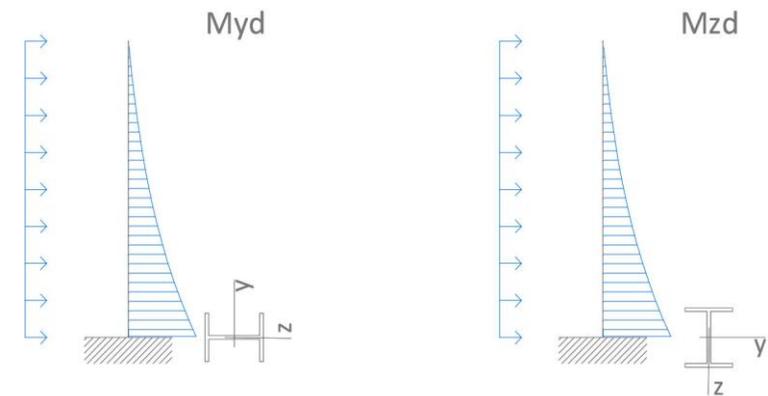
El programa de cálculo ya establece unos coeficientes de pandeo por defecto (β), pero para la puesta en práctica del trabajo estos coeficientes se han determinado a partir del libro **“Estructuras metálicas para la edificación adaptadas al CTE”**. Este establece una serie de valores en condiciones de enlaces perfectos que se aplicarán según el comportamiento del perfil previamente analizado. (Fig. 38)

Como en algunos casos la longitud de pandeo de los perfiles determinada en la organización estructural no coincide con la que el programa de cálculo reconoce, se corregirá mediante un coeficiente de pandeo proporcional al real.



Coeficientes de pandeo con enlaces perfectos. (Fig. 38)

Finalmente, se va a trabajar con el mismo criterio de signos que utiliza el **Architrave®** en coordenadas locales, es decir el eje y es el de mayor inercia (el momento en la dirección perpendicular a dicho eje de inercia será llamado como t , al igual que en tablas de resistencia de perfiles metálicos). (Fig.39)

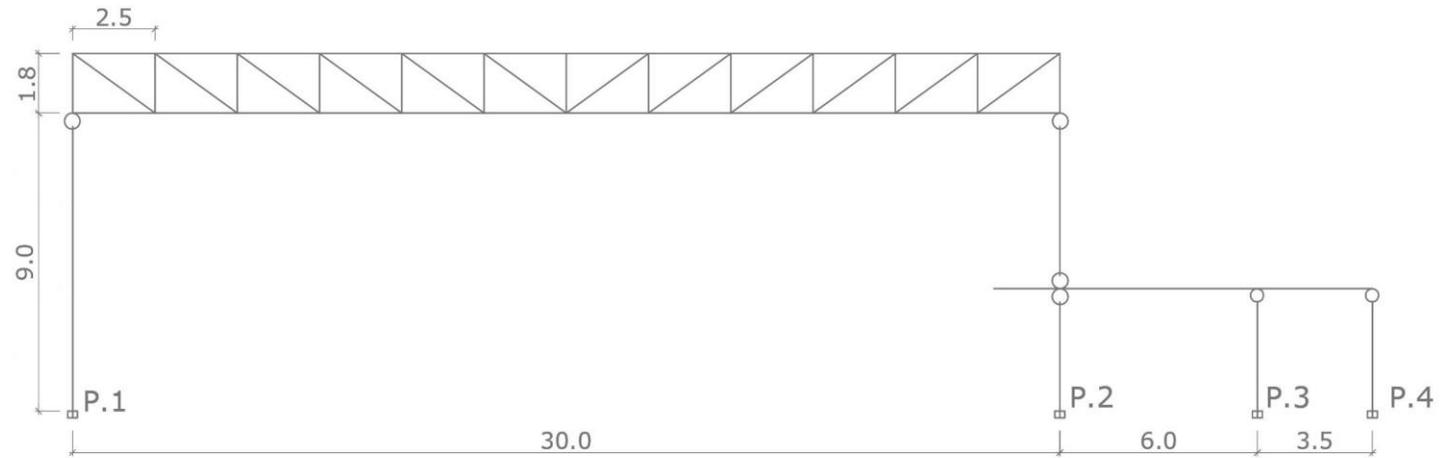


Sistema de coordenadas locales utilizado y referencia al momento flector. (Fig. 39)

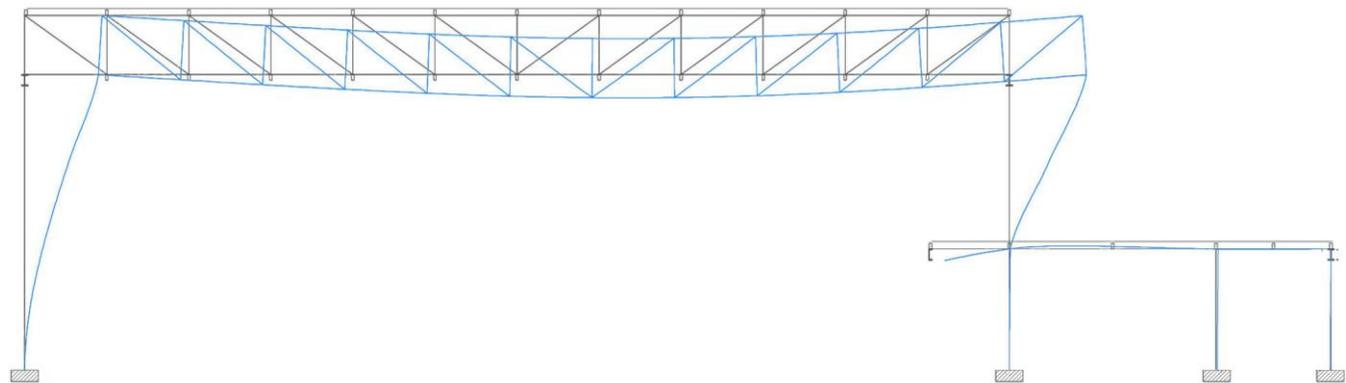
2.4.2 Dimensionado pórtico A.

2.4.2.1 Solicitaciones, deformaciones y enlaces pórtico (A).

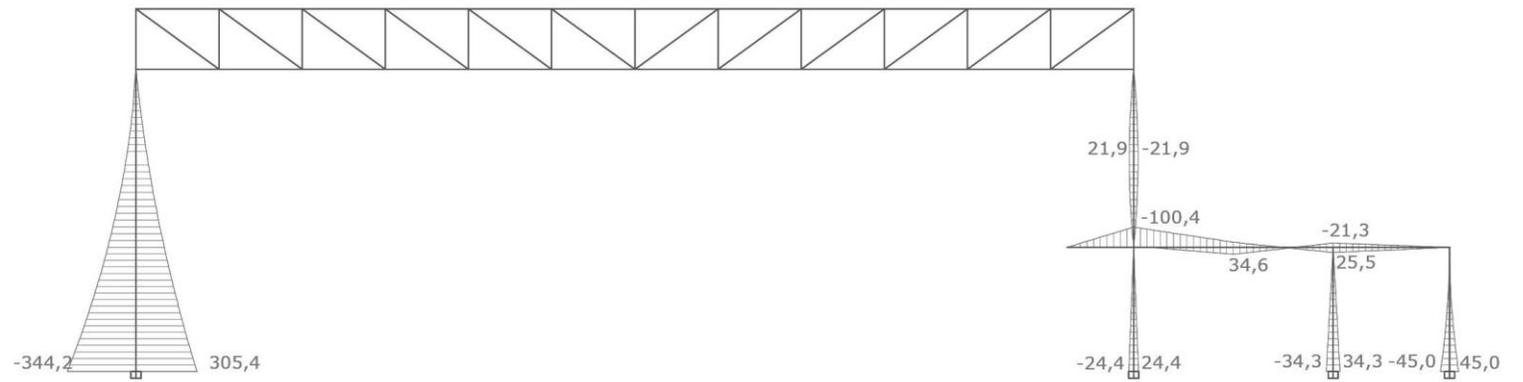
No arriostrado.



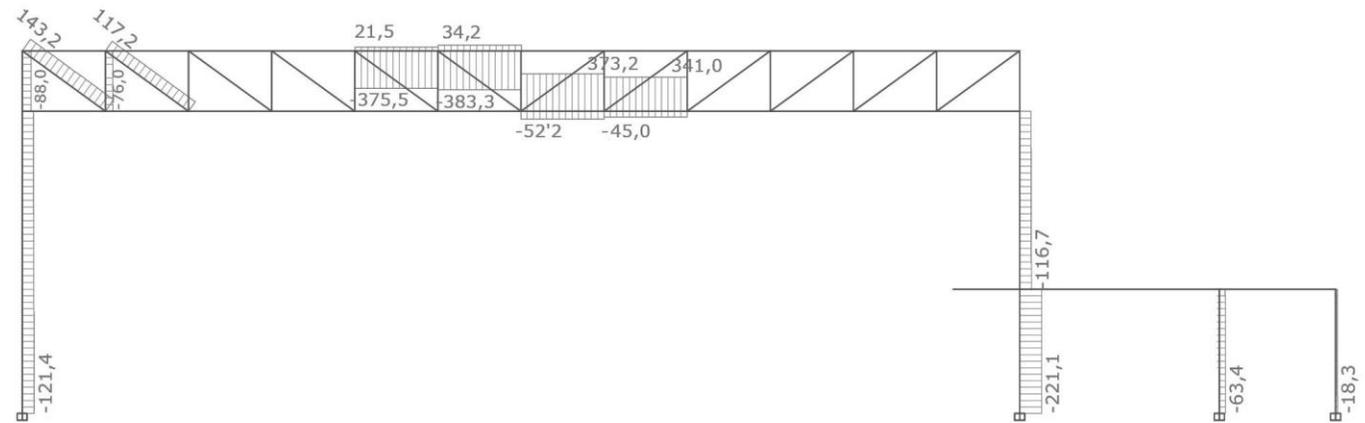
Esquema nudos pórtico A, no arriostrado. (Fig. 40)



Deformaciones pórtico A, no arriostrado. (Fig. 41)

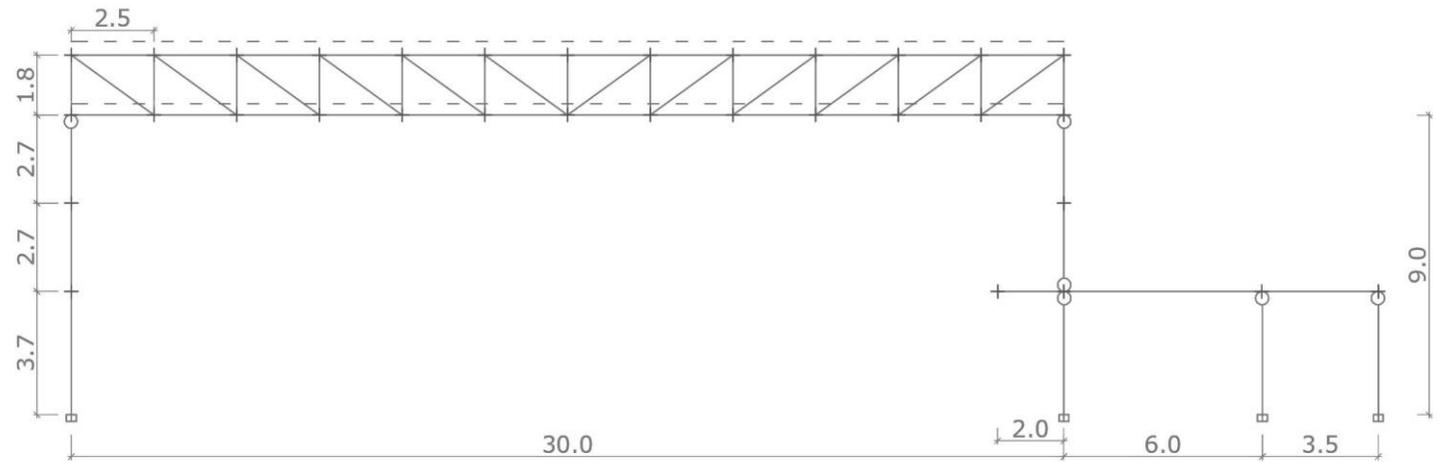


Envolvente momentos pórtico A, no arriostrado. (Fig. 42)

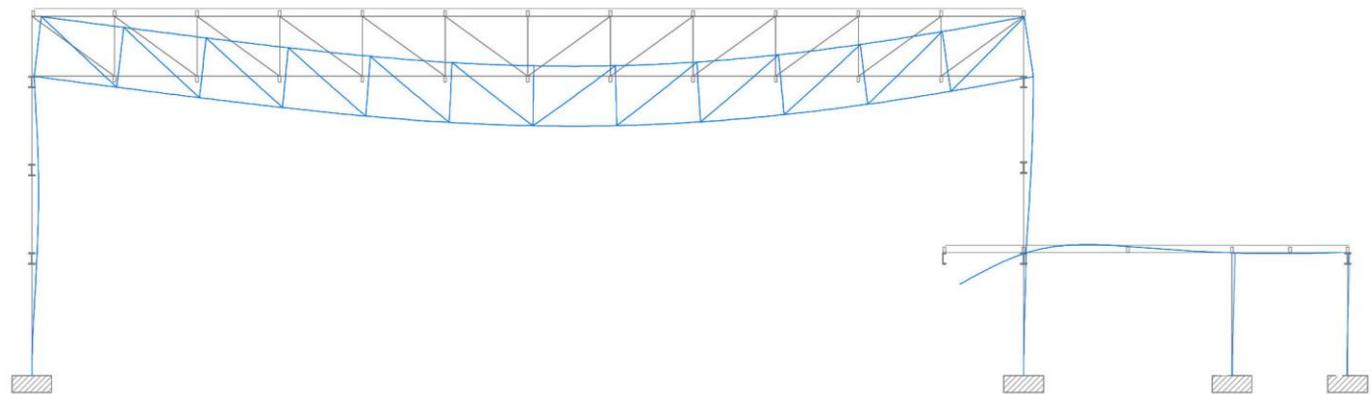


Envolvente axiles pórtico A, no arriostrado. (Fig. 43)

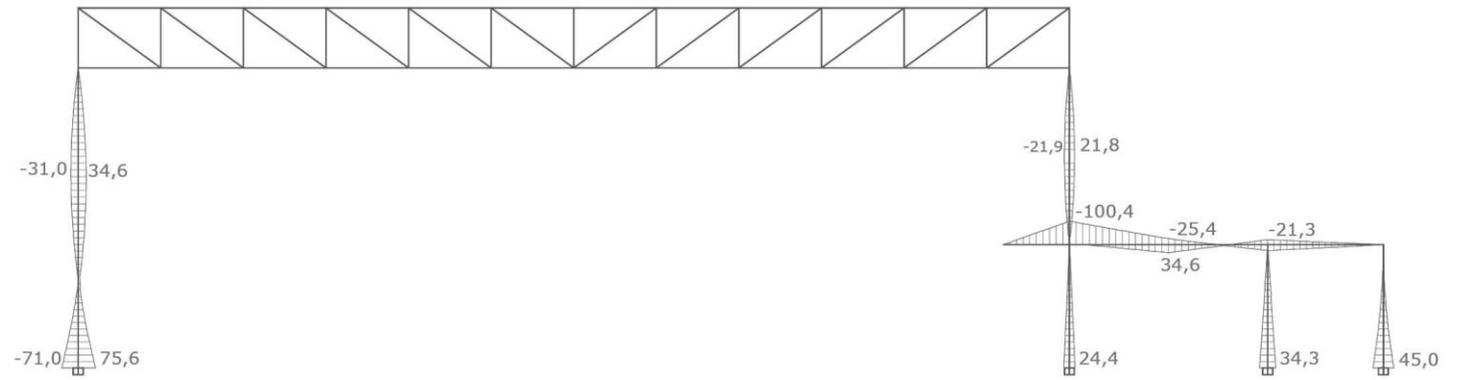
2.4.2.1 Solicitaciones, deformaciones y enlaces pórtico (A). Arriostrado.



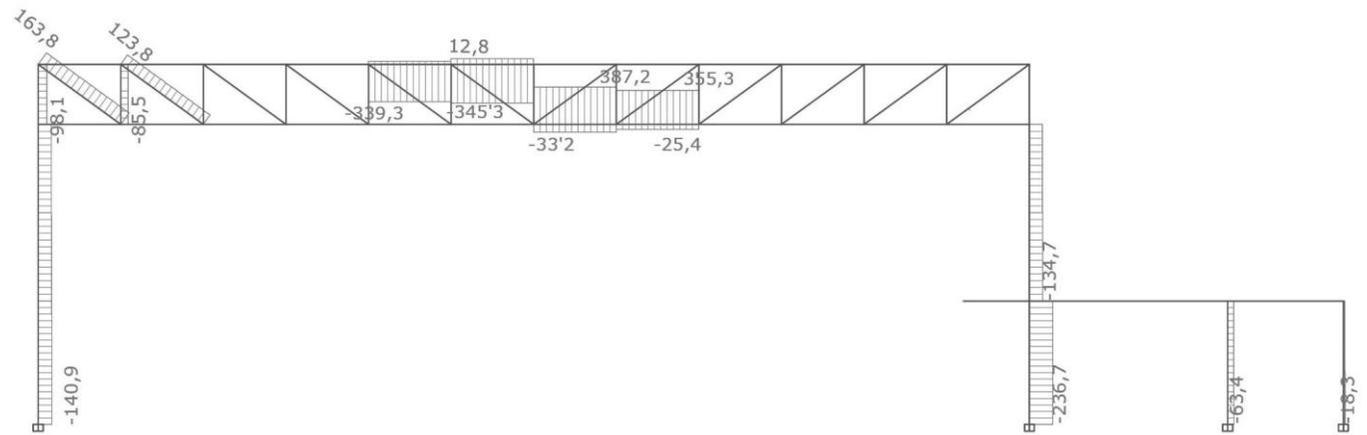
Esquema nudos pórtico A, arriostrado. (Fig. 40)



Deformaciones pórtico A, arriostrado. (Fig. 41)



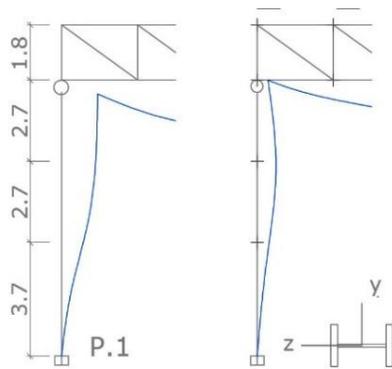
Envolvente momentos pórtico A, arriostrado. (Fig. 44)



Envolvente axiles pórtico A, arriostrado. (Fig. 45)

2.4.2.2 Cálculo pórtico (A).

- Dimensionado del pilar 1 (equivalente al pilar 2)



Deformaciones en el pilar 1, Architrave.
Sin arriostramiento (izquierda).
Con arriostramiento (derecha). (Fig. 46)

a) Caso sin arriostramiento

Según las deformaciones en el plano del pórtico del pilar 1 con la estructura sin arriostrar el perfil se comporta como un elemento empotrado-libre ($\beta = 2$). Como no posee ningún arriostramiento se tomara como longitud a considerar para pandeo todo el perfil en ambos planos (9 m). (Fig. 46)

El dimensionamiento del pilar se realizará a resistencia y a pandeo en sus dos ejes (ELU).

$$M_{y,d} = -344 \text{ Kn.m} \quad N_d = -121'4 \text{ KN}$$

$$L_{xy} = 9 \text{ (m)} \quad L_{xz} = 9 \text{ (m)}$$

(Predimensionado mediante tablas de resistencia.)

$$\text{Perfil HEB 280} \rightarrow M_{pl,y,rd} = 400'7 \text{ Kn.m}$$

(Dimensionamiento mediante Architrave®)

$$L_k(xy,xz) = L(xy,xz) \times \beta(xy,xz) \text{ (voladizo)} = 9 \times 2 = 18 \text{ m}$$

* Como el programa reconoce la longitud de la barra como la distancia entre nudos consecutivos, en el programa de cálculo se introduce: (Fig. 47)

$$L_k(xz,xy) = 3'7 \times \beta = 18 \rightarrow \beta(xz,xy) = 4,88 \text{ (Ambos planos)}$$

- Mediante el programa de cálculo Architrave® se ha determinado que el primer perfil de la serie HEB que cumple los criterios (ELU) es **HEB 300**.

$$M_{pl,y,rd} = 440 \text{ Kn.m}$$

$$\text{Coef. Resistencia} = 0'97 \quad \text{Coef. Pandeo} = 0'85$$

- No hay ningún perfil IPE que cumpla a pandeo (ELU) en el plano débil de inercia; esta clase de sección posee una escasa rigidez en uno de sus planos (plano xy) por lo que es conveniente arriostrarlo si el perfil es esbelto y sufre compresiones.

b) Caso con arriostramiento

En el plano del pórtico el pilar está arriostrado en su parte superior por lo que le proporcionará un comportamiento empotrado – articulado, como se puede observar en las deformaciones. (Fig. 46)

En el plano perpendicular al pórtico el pilar posee un gran esbeltez, por lo que se arriostrará en 3 tramos para evitar el pandeo en el plano débil de inercia.

Se dimensionará el tramo inferior por ser más desfavorable respecto a resistencia y pandeo (ELU).

$$M_{yd} = - 71'01 \text{ Kn.m} \quad N_d = - 140 \text{ KN} \quad L_{xy} = 9 \text{ (m)} \quad L_{xz} = 3'7 \text{ (m)}$$

(Predimensionado mediante tablas de resistencia)

Perfil HEB 160 → $M_{pl,y,rd} = 92'7 \text{ Kn.m}$

(Dimensionamiento mediante Architrave®)

$$L_k(xy) = L(xy) \times \beta(xy) \text{ (empotrado - articulado)} = 9 \times 0'7 = 6'3 \text{ m}$$

$$L_k(xz) = L(xz) \times \beta(xz) \text{ (empotrado - articulado)} = 3'7 \times 0'7 = 2'5 \text{ m}$$

* Como el programa reconoce la longitud de la barra como la distancia entre nudos consecutivos, en el programa de cálculo se introduce:

$$L_k(xy) = 3'7 \times \beta = 6'3 \rightarrow \beta(xy) = 1,7 \text{ (plano del pórtico)}$$

- Mediante el programa de cálculo se ha determinado que el primer perfil de la serie HEB que cumple los criterios (ELU) es **HEB 200**.

$$M_{pl,y,rd} = 168'14 \text{ Kn.m}$$

Coef. Resistencia = 0'81

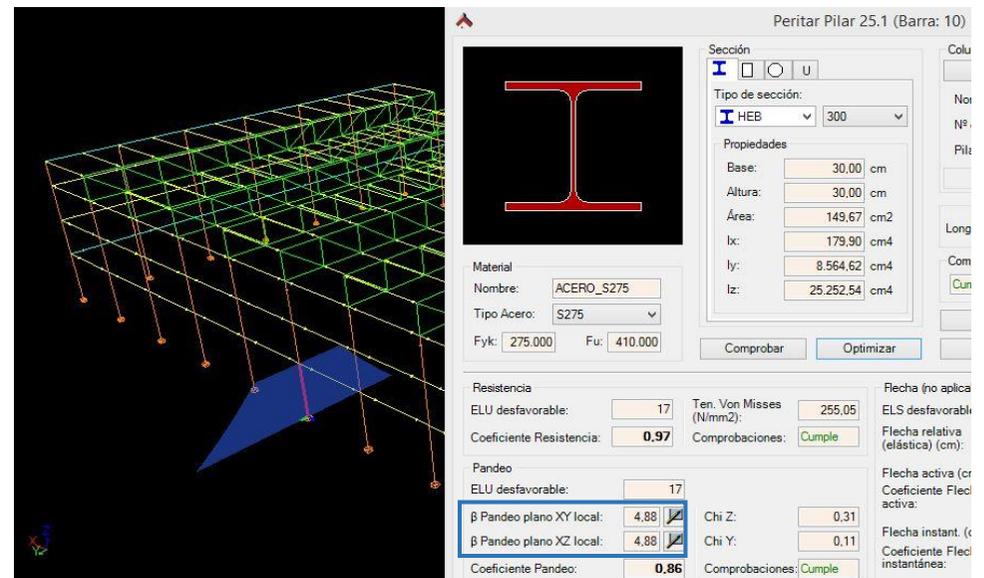
Coef. Pandeo = 0'5

- **Finalmente se decide colocar un IPE 300** ya que es un perfil en el que tiene más influencia el momento flector en un único plano frente al axil (presta mayor inercia con menor área).

$$M_{pl,y,rd} = 164'2 \text{ Kn.m}$$

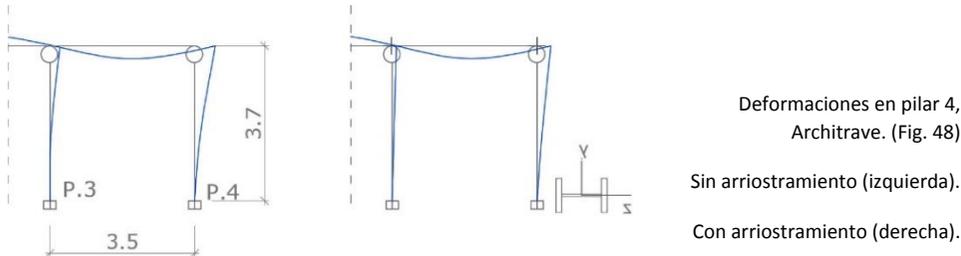
Coef. Resistencia = 0'96

Coef. Pandeo = 0'61



Longitud de perfil y betas de pandeo pilar 1 no arriostrado, Architrave. (Fig. 47)

- Dimensionado del pilar 4 (Equivalente al pilar 3)



a) Caso sin arriostramiento

Como no está limitados los desplazamientos en la cabeza del perfil las deformaciones se comportan como si se tratase de un voladizo en ambos planos, $\beta = 2$. (Fig. 48)

Se dimensionará el perfil tanto a resistencia como a pandeo (ELU).

$$M_{y,d} = -45 \text{ Kn.m} \quad N_d = -18 \text{ KN} \quad L_{(xy)} = 3,7 \text{ (m)} \quad L_{(xz)} = 3,7 \text{ (m)}$$

(Predimensionado mediante tablas de resistencia)

$$\text{Perfil IPE 200} \rightarrow M_{pl,y,rd} = 57'6 \text{ Kn.m}$$

(Dimensionamiento mediante Architrave®)

$$L_{k(xy,z)} = L_{(xy,z)} \times \beta_{(xy,z)} \text{ (voladizo)} = 3'7 \times 2 = 7'4 \text{ m}$$

- Mediante el programa de cálculo se ha determinado que el primer perfil de la serie IPE que cumple los criterios (ELU) es IPE 200. (Como los axiles son pequeños, escogemos esta clase de sección porque aporta mayor inercia en el plano perpendicular del pórtico con una menor área.)

$$M_{pl,y,rd} = 57'6 \text{ Kn.m}$$

Coef. Resistencia = 0'98

Coef. Pandeo = 0'56

b) Caso con arriostramiento

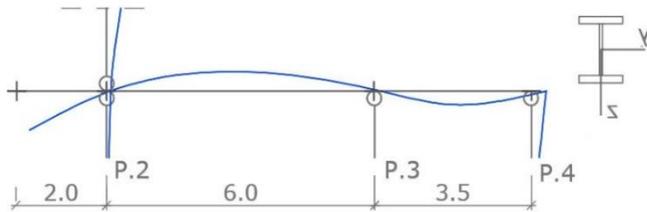
$$M_{y,d} = -45 \text{ Kn.m} \quad N_d = -18 \text{ KN} \quad L_{(xy)} = 3,7 \text{ (m)} \quad L_{(xz)} = 3,7 \text{ (m)}$$

Según la figura 48 el arriostramiento propuesto no afecta al comportamiento del pilar, por lo que en el plano del pórtico el perfil se sigue comportando como un voladizo ($\beta = 2$). En cambio, en el plano perpendicular al pórtico el pilar las deformaciones se comportan como un elemento empotrado – articulado ($\beta = 0'7$).

Como hemos visto en el caso sin arriostramiento IPE 200 está más cerca del fallo a resistencia que a pandeo, por lo que ante unos esfuerzos similares la reducción de la longitud de pandeo en plano perpendicular no afectará al dimensionado del perfil. (Únicamente afectará en el pórtico cabecero.)

Dimensionaremos el pilar con un perfil IPE 200.

- Dimensionado del tren de vigas 1



Deformaciones plano del pórtico de la viga1 sin arriostramiento, Architrave. (Fig. 49)

El tren de vigas sustenta una cubierta ligera que no colabora con la rigidización de la estructura, por lo que se deberá comprobar a pandeo lateral (flexotorsión producida por el giro de la cabeza comprimida de la viga ante un gran esfuerzo flector).

En el dimensionado se realizará la comprobación a resistencia y pandeo lateral (ELU); y limitación de flecha (ELS). (Como el axil es despreciable se puede obviar la comprobación a pandeo.)

Se va a realizar el dimensionamiento a partir del vano de 6 metros y del voladizo de 2,5 metros.

a) **Caso sin arriostramiento**

- Vano

Mzd (extremo izquierdo) = 100'4 Kn.m

L. pandeo lateral = 6 m ($\beta = 1$)

(Predimensionado mediante tablas de resistencia)

Perfil IPE 270 $\rightarrow M_{pl,y,rd} = 126'7 \text{ Kn.m}$

(Dimensionamiento mediante Architrave®)

- Mediante el programa de cálculo se ha determinado que el primer perfil de la serie IPE que cumple los criterios (ELU) y (ELS) es IPE 300.

C. resistencia = 0'95 C. pandeo lateral = 0'4

- Voladizo

Dado que el momento en el empotramiento es el mismo en ambos casos el perfil IPE 300 cumplirá a resistencia. Habrá que dimensionar el voladizo para que cumpla a pandeo lateral (ELU) y flecha (ELS).

El voladizo de 2'5 metros al no estar arriostrado en su extremos tendrá una longitud de pandeo lateral de 5 metros ($\beta = 2$); al ser inferior al del caso anterior (6 metros) también cumplirá a ELU. (Fig. 51)

Mediante el programa de cálculo Architrave se ha determinado que el primer perfil en cumplir ELS es IPE 360, se aplicará a todo el tren de vigas.

C. resistencia = 0'65

C. flecha activa = 0'8

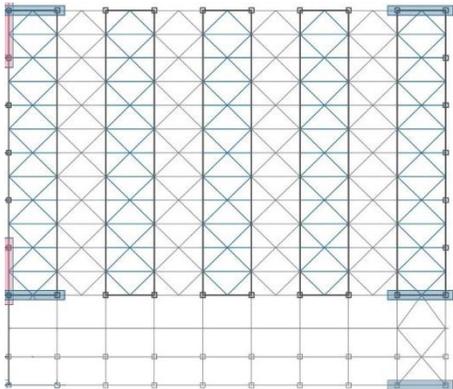
C. flecha instantánea = 0'53

C. flecha casi-permanente = 0'98

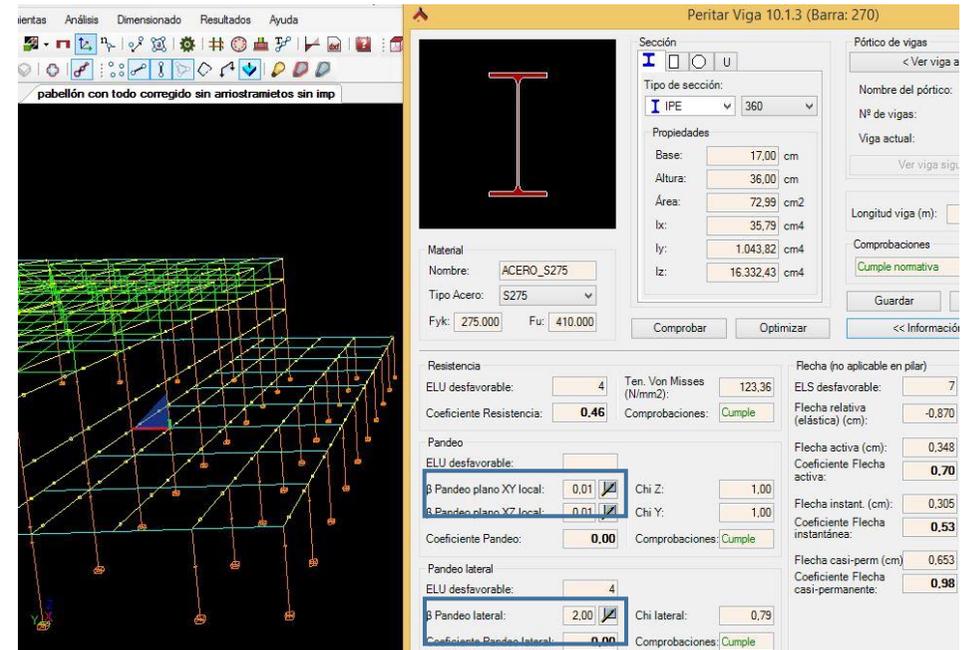
b) Caso con arriostramiento

En el caso anterior se ha dimensionado con un perfil **IPE 360** a partir de criterios de flecha ELS en el extremo de voladizo, condición más restrictiva; por lo que por más que reduzcamos la longitud de pandeo lateral en el vano o voladizo el dimensionado del perfil no se va a ver afectado.

En consecuencia, un arriostramiento paralelo al pórtico será innecesario para controlar el pandeo lateral.

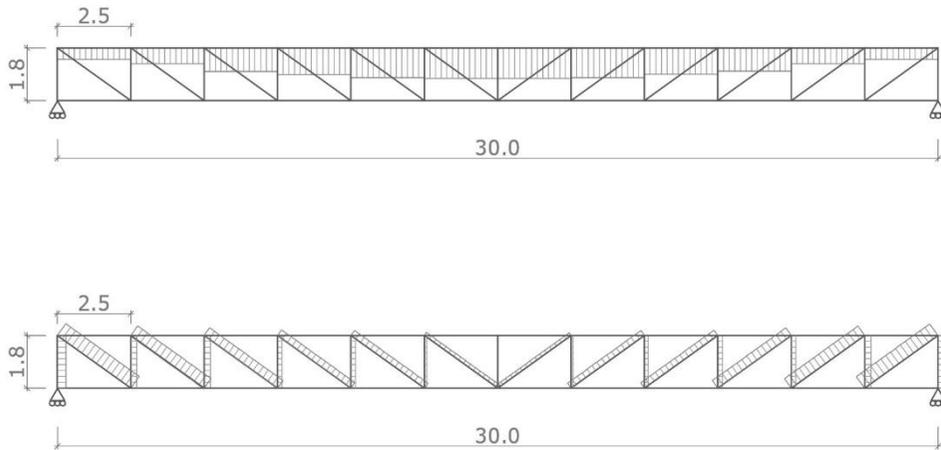


Arriostramiento en cubiertas ligeras. (Fig. 50)



Longitud de perfil y beta de pandeo lateral en voladizo no arriostrado, Architrave. (Fig.51)

- DIMENSIONADO DE LA CELOSÍA



Distribución de tensiones en cordón superior y en diagonales en celosía ELU. (Fig. 52)



Leyes de esfuerzos cortantes y momentos sobre una barra biarticulada. (Fig. 53)

Para salvar las grandes luces del pabellón (30 m) se recurre a celosías, estructuras que conformando triangulaciones y aplicando las cargas en sus nudos trabajan prácticamente a esfuerzo axial, evitando así los grandes momentos flectores que generarían una viga. A pesar que los enlaces entre perfiles son uniones completamente soldadas se va a considerar como si se tratasen de articulaciones ($\beta = 1$) ya que se producen uniones rígidas con elementos muy esbeltos

Cuanto mayor sea el canto los axiles serán menores (se puede hacer la comprobación haciendo sumatorio de momentos nulos en el apoyo). Es común optar por una relación entre 1/15 y 1/20 la luz de la celosía (30 m), en el caso de estudio se optará por una relación 1/17 (1'80 m).

Esta está conformada por diagonales con un ángulo de 36° respecto del plano horizontal y de forma simétrica (celosía tipo Pratt), de esta forma trabajará principalmente a tracción y evitando el pandeo del perfil

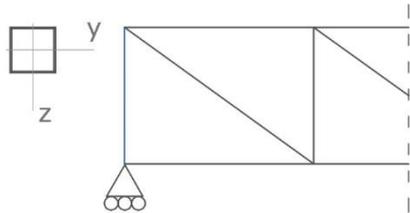
Se dispondrán correas rectangulares apoyadas sobre ambos cordones de la celosía debido a la configuración de la cubierta, estas correas transmiten las cargas de forma puntual aplicada en los nudos (2'5 metros).

La celosía se puede asimilar al comportamiento de una viga de alma llena. Las alas corresponderían a los cordones superior e inferior de la celosía, mientras que los montantes y diagonales corresponderían al alma. (Fig. 52)

Ante una carga uniformemente repartida el momento flector es máximo en el centro de la viga, por lo tanto el ala superior está sometida a la mayor tensión de compresión y la inferior a tracción. El alma se encarga de absorber el cortante, que es mayor en los extremos de viga. (Fig. 53)

Una viga en celosía trabaja principalmente a esfuerzo axial, por que deberán cumplir los criterios de resistencia y a pandeo (ELU) establecidos por el CTE.

a) Dimensionado de montantes.



Montante dimensionado de la celosía. (Fig. 54)

Los montantes más solicitados son los situados a extremos de vano por lo que a partir de estos dimensionaremos toda la celosía por criterios de homogeneización. (Fig. 54)

Al ser la misma longitud de pandeo en ambos planos los dimensionaremos con perfiles cuadrados.

$Nd1 = -98'6 \text{ KN (compresión)}$ $Nd2 = 14'9 \text{ (tracción)}$ Longitud = 1'8 m.

(Predimensionado a partir del área.)

$\text{Área} \geq 357'19 \text{ mm}^2$

(Dimensionamiento mediante Architrave®) (Fig. 55)

$Lk(xy,z) = L(xy,z) \times \beta(xy,z)$ (biarticulado, $\beta = 1$) = 1'8 x 1 = 1'8 m

- Mediante el programa de cálculo se ha determinado que el primer perfil de la serie PHC que cumple los criterios (ELU) de resistencia y pandeo es **# 55.4**.

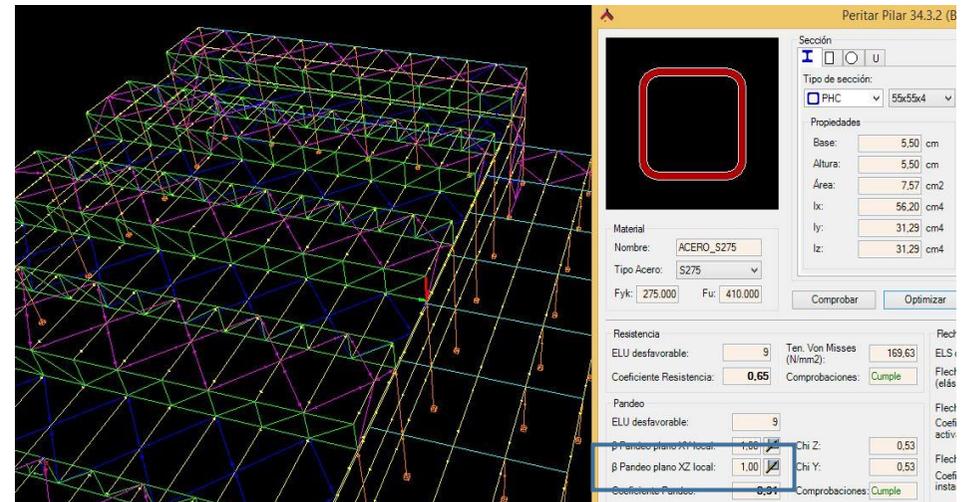
Área = 837 mm²

$Nd,rd = -98'2 \text{ Kn (compresión)}$

C. resistencia = 0'65

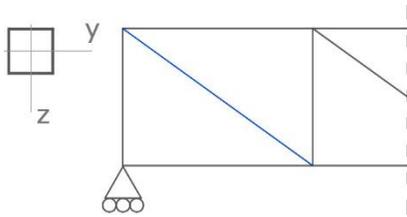
C. pandeo = 0'91

El montante trabaja principalmente a compresión, por lo que su dimensionado depende de la longitud de pandeo del perfil. (Fig. 55)



Longitud de perfil y beta de pandeo lateral en montantes, Architrave. (Fig.55)

b) Dimensionado de diagonales.



Diagonal dimensionada de la celosía. (Fig. 56)

Las diagonales más solicitadas son las situadas más próximas a los pilares por lo que a partir de estos dimensionaremos todas las de la celosía por criterios constructivos y de ejecución. (Fig. 56)

Tanto en el plano del pórtico (XY) como en el plano perpendicular a este (XZ) la longitud de pandeo abarca la distancia entre nudos, por lo que se utilizará un perfil de igual inercia en ambos ejes.

$$Nd1 = - 24 \text{ Kn (compresión)} \quad Nd2 = 163 \text{ Kn (tracción)} \quad \text{Longitud} = 3'08 \text{ m.}$$

(Predimensionado a partir del área).

$$\text{Área} \geq 622'15 \text{ mm}^2 \text{ (dimensionado en tracción)}$$

(Dimensionamiento mediante Architrave®) (Fig. 57)

$$Lk(xy,z) = L(xy,z) \times \beta(xy,z) \text{ (biarticulado, } \beta = 1) = 3'08 \times 1 = 3'08 \text{ m}$$

Mediante el programa de cálculo se determina que el perfil **# 50.4** es el perfil óptimo cumple ambas condiciones de resistencia y pandeo (ELU).

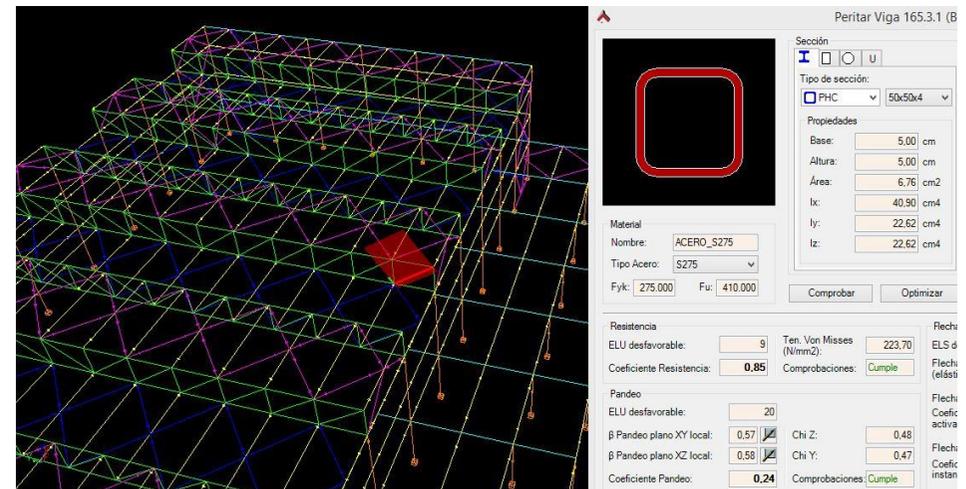
$$\text{Área} = 115 \text{ mm}^2$$

$$Nd,rd = 142'2 \text{ Kn (tracción)} / - 18 \text{ (compresión)}$$

$$\text{C. resistencia} = 0'85$$

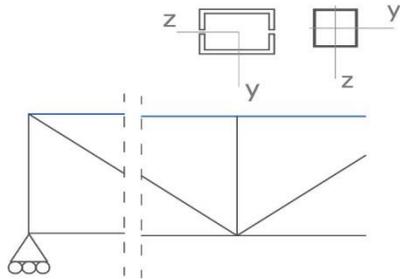
$$\text{C. pandeo} = 0'24$$

El hecho de disponer las diagonales con la inclinación indicada permite optimizar su dimensionamiento, ya que se evitan elevadas compresiones en perfiles muy esbeltos (susceptibles a fallar por pandeo). Como se puede apreciar la condición más restrictiva en este caso es la resistencia (ELU).



Longitud de perfil y beta de pandeo lateral en montantes, Architrave. (Fig.57)

c) Dimensionado del cordón superior.



Cordón superior dimensionado,
Centro de vano. (Fig. 57)

El cordón superior trabajará principalmente a compresión simple, por lo que habrá que dimensionarlo para resistencia y pandeo (ELU). Se tomará el axil de compresión en el centro de vano ya que es el más desfavorable. (Fig. 57)

- **Caso sin arriostramiento.**

En el caso del plano del pórtico la longitud de pandeo se toma como la distancia entre nudos (2'5 metros), mientras que en el plano perpendicular al pórtico se toma la distancia entre apoyos de la celosía (30 metros).

$$Nd1 = - 343 \text{ Kn (compresión)} \quad Nd2 = - \text{ (tracción)} \quad f_{yd} = 262 \text{ N/mm}$$

(Predimensionado a partir del área).

$$\text{Área} \geq 1390 \text{ mm}^2 \text{ (dimensionado en compresión)}$$

(Dimensionamiento mediante Architrave®)

$$Lk(xy) = L(xy) \times \beta(xy) \text{ (biarticulado, } \beta = 1) = 2.500 \times 1 = 2'5 \text{ m}$$

$$Lk(xz) = L(xz) \times \beta(xz) \text{ (biarticulado, } \beta = 1) = 30.000 \times 1 = 30 \text{ m}$$

* Como el programa reconoce la longitud de la barra como la distancia entre nudos consecutivos, en el programa introduciremos: (Fig. 58)

$$Lk(xz) = 2'5 \times \beta = 30 \rightarrow \beta(xz) = 12 \text{ (plano perpendicular al pórtico)}$$

Mediante el programa de cálculo se determina que no hay perfiles rectangulares que cumplan para tal longitud de pandeo (30 m en el plano perpendicular al pórtico), por lo que realizaremos el dimensionado del cordón superior con la serie 2UPN. El perfil tendrá su plano de mayor inercia paralelo al plano vertical, de forma que preste mayor rigidez en el plano perpendicular al pórtico. Según el programa de cálculo **2UPN 320** es el perfil óptimo que cumple ambas condiciones de resistencia y pandeo (ELU).

$$\text{Área} = 15.642 \text{ mm}^2$$

$$Nd,rd = 4.087$$

$$C. \text{ resistencia} = 0'09$$

$$C. \text{ pandeo } 0'91$$

- **Caso con arriostramiento.**

Según el arriostramiento propuesto la longitud de pandeo en el plano del pórtico coincide con la longitud perpendicular, midiéndose como la distancia entre nudos (2'5 metros).

$$Nd1 = - 343 \text{ Kn (compresión)} \quad Nd2 = - \text{ (tracción)} \quad f_{yd} = 262 \text{ N/mm}$$

(Predimensionado a partir del área).

$$\text{Área} \geq 1309 \text{ mm}^2 \text{ (dimensionado en compresión)}$$

(La longitud de pandeo es igual en ambos planos por lo que se utilizará un perfil de igual inercia en ambos planos).

(Dimensionamiento mediante Architrave®) (Fig. 59)

$$L_k(x,y,z) = L(x,y,z) \times \beta(x,y,z) \text{ (biarticulado, } \beta = 1) = 2'5 \times 1 = 2'5 \text{ m}$$

Mediante el programa de cálculo se ha determinado que **# 120.4** es el perfil óptimo que cumple con las condiciones de resistencia y pandeo (ELU).

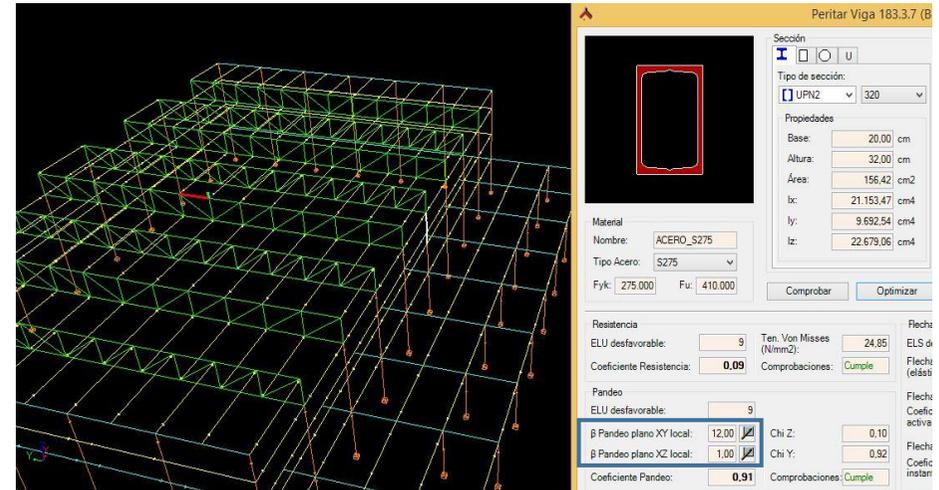
$$\text{Área} = 1.798 \text{ mm}^2$$

$$Nd_{rd} = 445'4 \text{ Kn}$$

$$C. \text{ resistencia} = 0'78$$

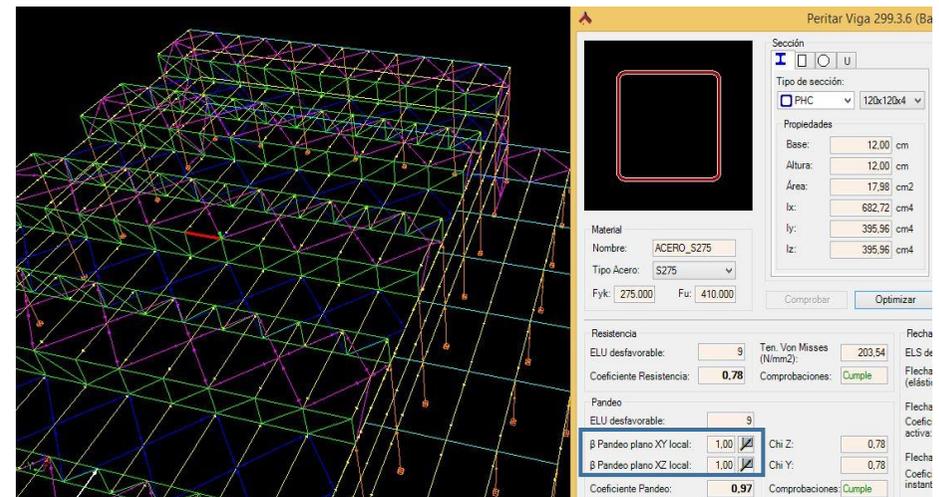
$$C. \text{ pandeo} = 0'97$$

Como se puede apreciar el valor más restrictivo sigue siendo el pandeo, pero con la estructura arriostrada aprovechamos más las capacidades mecánicas del perfil (mayor coeficiente de resistencia).



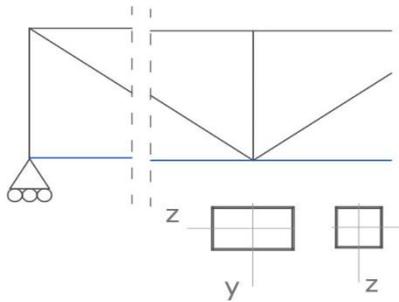
Longitud de perfil y beta de pandeo en cordón superior sin arriostrar, Architrave. (Fig.58)

*La orientación del perfil 2UPN no es correcta, pero la comprobación a pandeo se ha realizado invirtiendo los valores de los coeficientes de pandeo.



Longitud de perfil y beta de pandeo en cordón superior arriostrado, Architrave. (Fig.59)

d) Dimensionado del cordón inferior.



Cordón inferior dimensionado,
 Centro de vano. (Fig. 60)

A pesar de que el cordón inferior trabaja principalmente a tracción también presenta unos pequeños esfuerzos de compresión estudiando la combinación más desfavorable de succión viento, por lo que habrá que dimensionarlo a resistencia y pandeo (ELU). (Fig. 60)

- **Caso sin arriostramiento.**

En el caso del plano del pórtico la longitud de pandeo se toma como la distancia entre nudos (2'5 m), mientras que en el plano perpendicular al pórtico se toma la distancia entre apoyos (30 m).

$$Nd1 = - 52 \text{ Kn (compresión)} \quad Nd2 = 373 \text{ (tacción)} \quad f_{yd} = 262 \text{ N/mm}^2$$

(Predimensionado a partir del área).

$$\text{Área} \geq 1.423 \text{ mm}^2 \text{ (dimensionado en tracción)}$$

(Dimensionamiento mediante Architrave®) (Fig. 61)

$$Lk(xy) = L(xy) \times \beta(xy) \text{ (biarticulado)} = 2'5 \times 1 = 2'5 \text{ m}$$

$$Lk(xz) = L(xz) \times \beta(xz) \text{ (biarticulado)} = 30 \times 1 = 30 \text{ m}$$

* El programa toma la longitud de pandeo del cordón inferior como la distancia entre apoyos (30 metros) y en el plano paralelo al pórtico ésta es de 2'5 metros, por lo tanto en el programa introduciremos:

$$Lk(xy) = 30 \times \beta = 2'5 \rightarrow \beta(xy) = 0'08$$

Mediante el programa de cálculo se ha determinado que **# 160.120.6** es el primer perfil que cumple con las condiciones de resistencia y pandeo (ELU). El perfil es rectangular porque nos interesa que tenga más rigidez en el plano perpendicular al pórtico ya que su longitud de pandeo es mayor.

$$\text{Área} = 1.879 \text{ mm}^2$$

$$Nd,rd = 471'6 \text{ Kn}$$

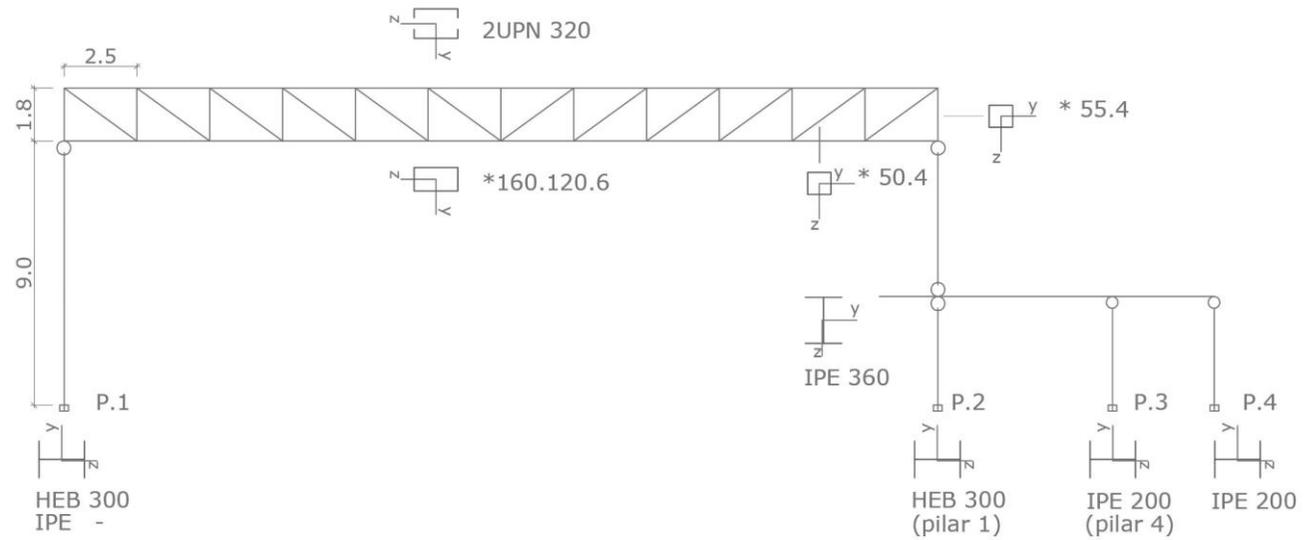
$$C. \text{ resistencia} = 0'37$$

$$C. \text{ pandeo} = 0'93$$

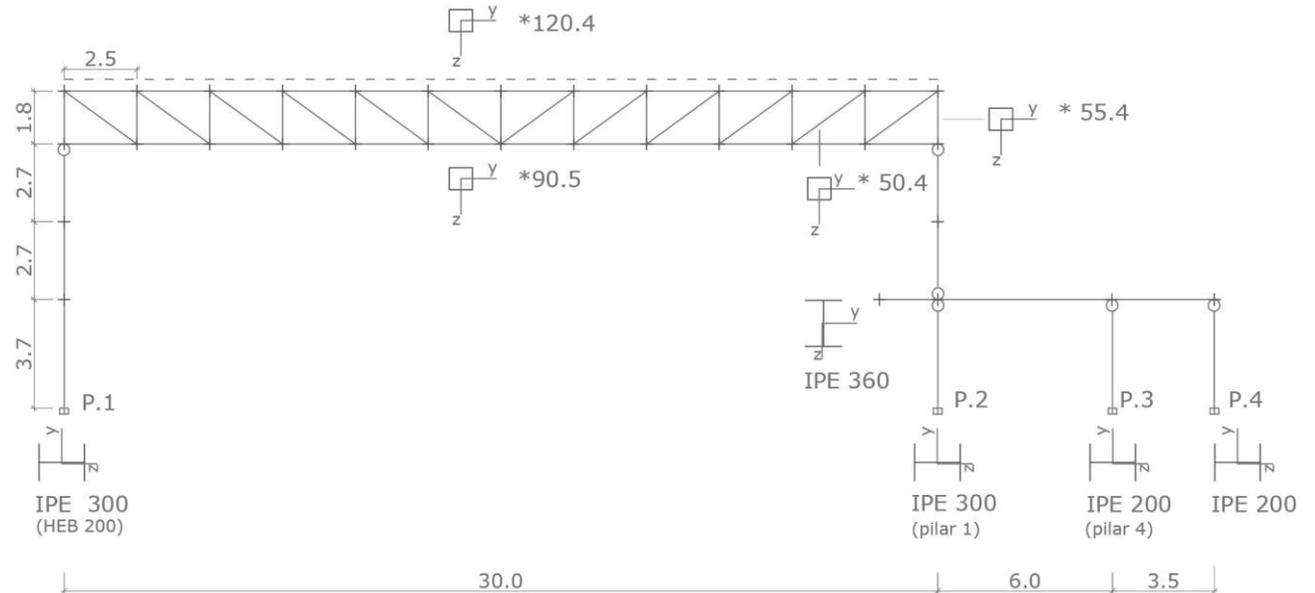
2.4.2.3 Resumen dimensionado pórtico (A).

(Arriostrado y no arriostrado).

Dimensionado pórtico (A), no arriostrado. (Fig.63)



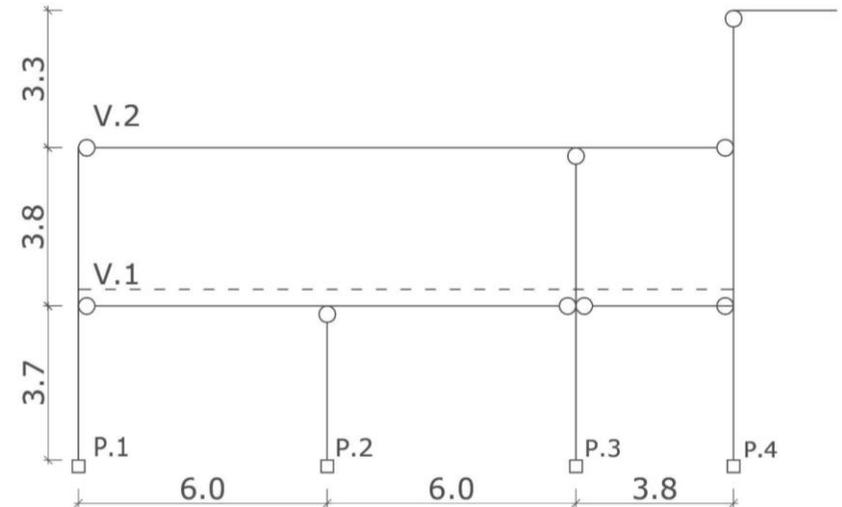
Dimensionado pórtico (A), arriostrado. (Fig.64)



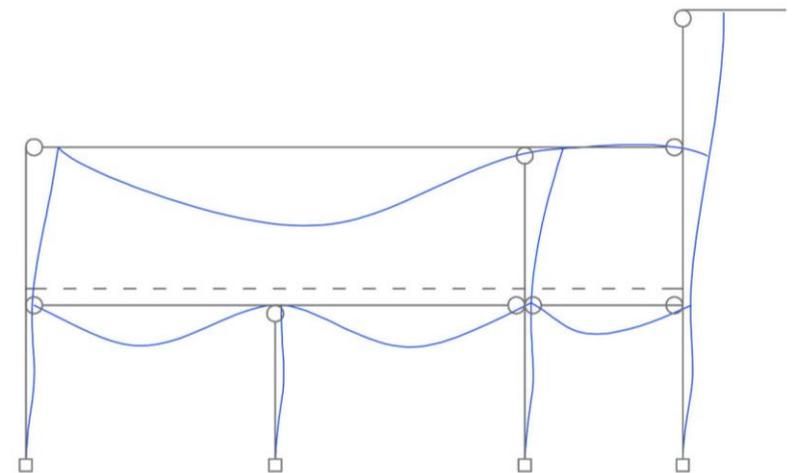
2.4.3 Dimensionado pórtico B.

2.4.3.1 Solicitaciones, deformaciones y enlaces pórtico (B). No arriostrado.

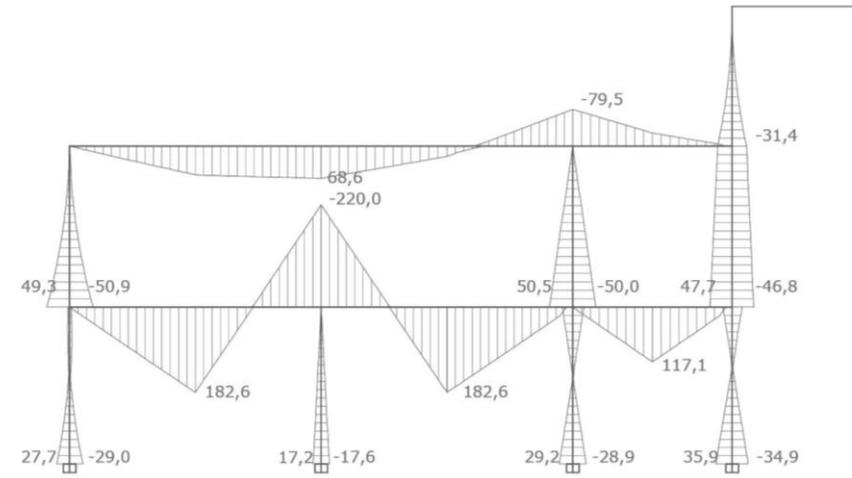
Esquema nudos pórtico B, no arriostrado. (Fig. 65)



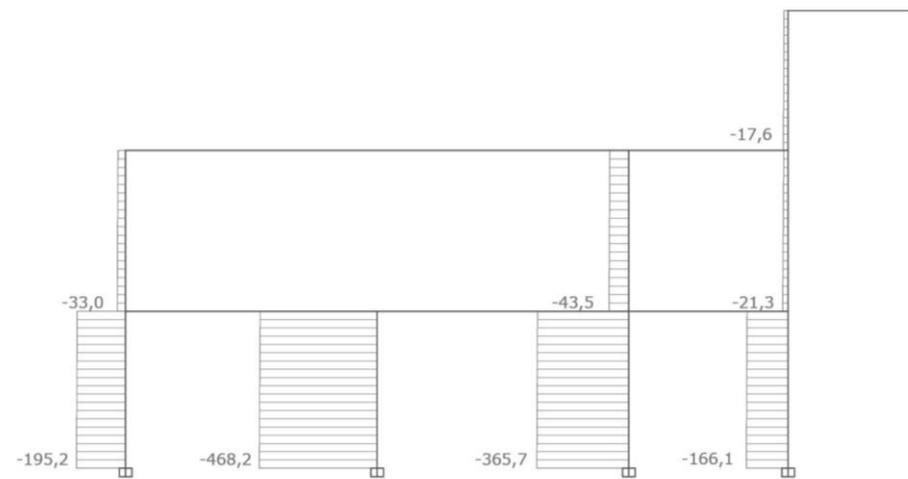
Deformaciones pórtico B, no arriostrado. (Fig. 66)



Envolvente momentos pórtico B, no arriostrado. (Fig. 67)

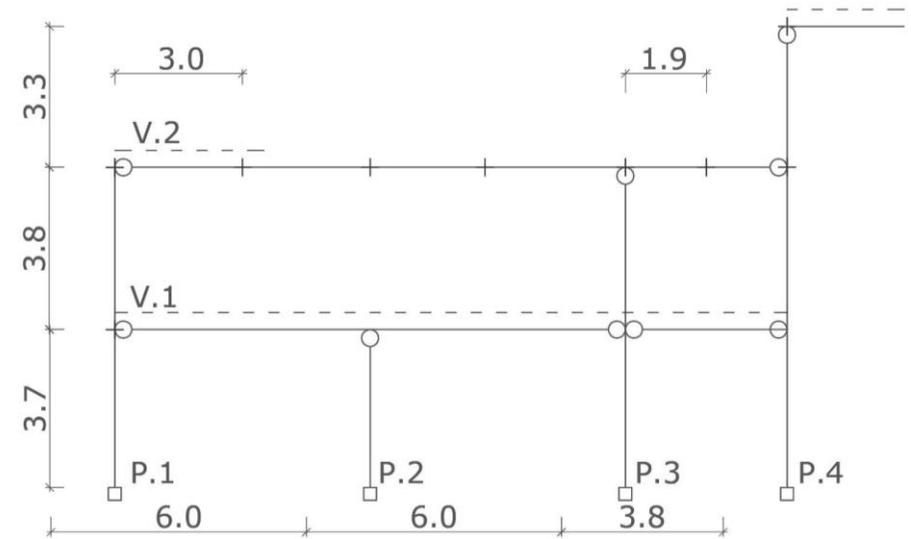


Envolvente axiles pórtico B, no arriostrado. (Fig. 68)

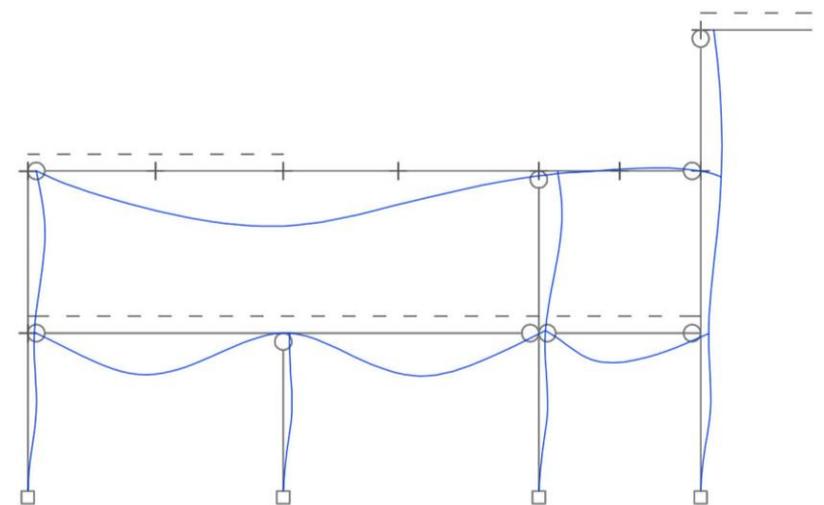


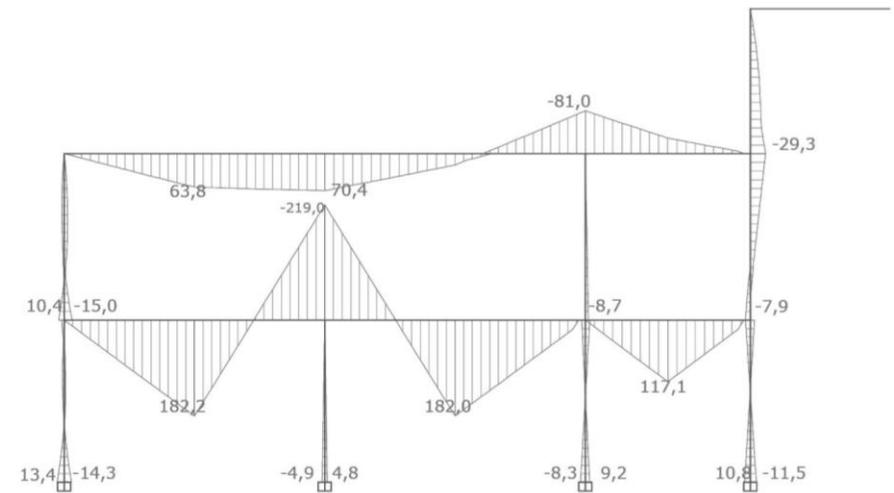
2.4.3.1 Solicitaciones, deformaciones y enlaces pórtico (B). Arriostrado.

Esquema nudos pórtico B, arriostrado. (Fig. 69)

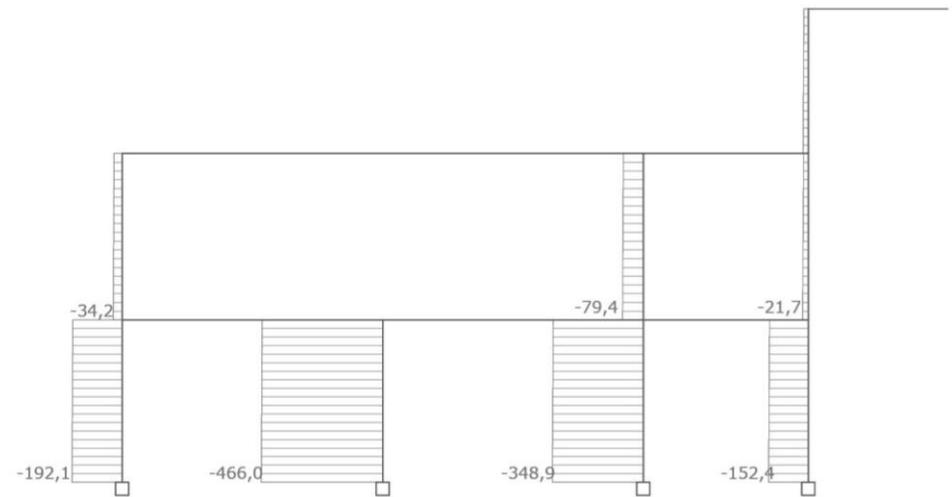


Deformaciones pórtico B, arriostrado. (Fig. 70)





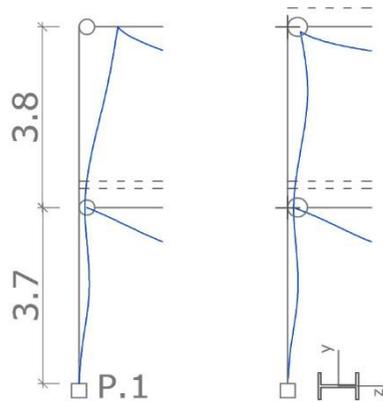
Envolvente momentos pórtico B, arriostrado. (Fig. 71)



Envolvente axiles pórtico B, arriostrado. (Fig. 72)

2.4.3.2 Cálculo pórtico (B).

- Dimensionado del pilar 1 (Similares a 2 y 3)



Deformaciones en el pilar 1, Architrave.

Sin arriostramiento (izquierda).

Con arriostramiento (derecha). (Fig. 73)

Como pórtico posee un forjado pesado, la planta primera que trabaja como un diafragma que reparte los esfuerzos horizontales entre todos los soportes de la estructura. Como se aprecia en la figura 73 en el tramo inferior el perfil se comporta como un elemento biempotrado ($\beta = 0,5$). (Fig.73)

Por otra parte la cubierta no cubierta no colabora con la rigidización de la estructura, por lo que cabe la posibilidad de realizar un arriostramiento.

a) Caso sin arriostramiento

Como la cubierta no aporta rigidez en el plano superior el perfil se comporta como si se tratase de un voladizo ($\beta = 2$). Se va a dimensionar el pilar a partir de su tramo superior ya que al poseer un mayor momento flector es más desfavorable.

$$M_{yd} = - 50'9 \text{ Kn.m} \quad N_d = - 33 \text{ KN} \quad L(xy) = 3'8 \text{ (m)} \quad L(xz) = 3'8 \text{ (m)}$$

(Predimensionado según tablas de resistencia)

$$\text{Perfil HEB 160} \rightarrow M_{pl,y,rd} = 92'7 \text{ Kn.m}$$

Se opta por un perfil HEB porque el tramo inferior tiene que soportar grandes compresiones provenientes del forjado rígido.

(Dimensionamiento mediante Architrave®) (Fig. 74)

$$L_k(xy,z) = L(xy,z) \times \beta(xy,z) \text{ (voladizo)} = 3'8 \times 2 = 7'6 \text{ m}$$

Según el programa de cálculo Architrave el primer perfil que cumple con los criterios de resistencia y pandeo (ELU) es **HEB 160**.

$$M_{pl,y,rd} = 92'7 \text{ Kn.m}$$

$$\text{C. resistencia} = 0'85$$

$$\text{C. pandeo} = 0'58$$

b) Caso con arriostramiento

Como se puede apreciar en la figura 73 el hecho de arriostrar el pórtico hace que se comporte como un elemento empotrado-articulado en ambos planos del tramo superior ($\beta = 0'7$).

Los momentos flectores son similares en ambos tramos, por lo que dimensionaremos el que posee mayor axil (tramo inferior). (Fig. 39)

$M_{zd} = -14 \text{ Kn.m}$ $N_d = -198 \text{ KN}$ $L(xy) = 3'7 \text{ (m)}$ $L(xz) = 3'7 \text{ (m)}$

(Predimensionado mediante tablas de resistencia)

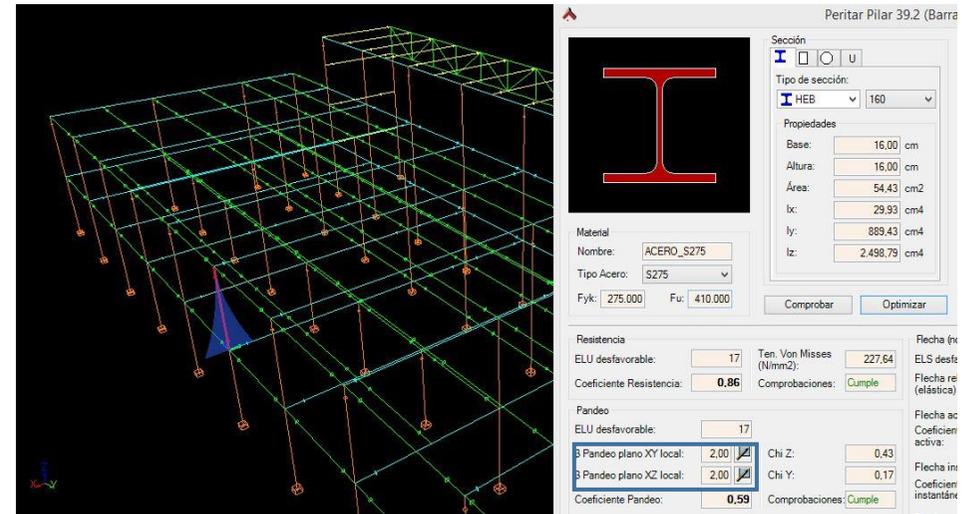
Perfil HEB 120 $\rightarrow M_{pl,y,rd} = 43'2 \text{ Kn.m}$

(Dimensionamiento mediante Architrave®) (Fig. 75)

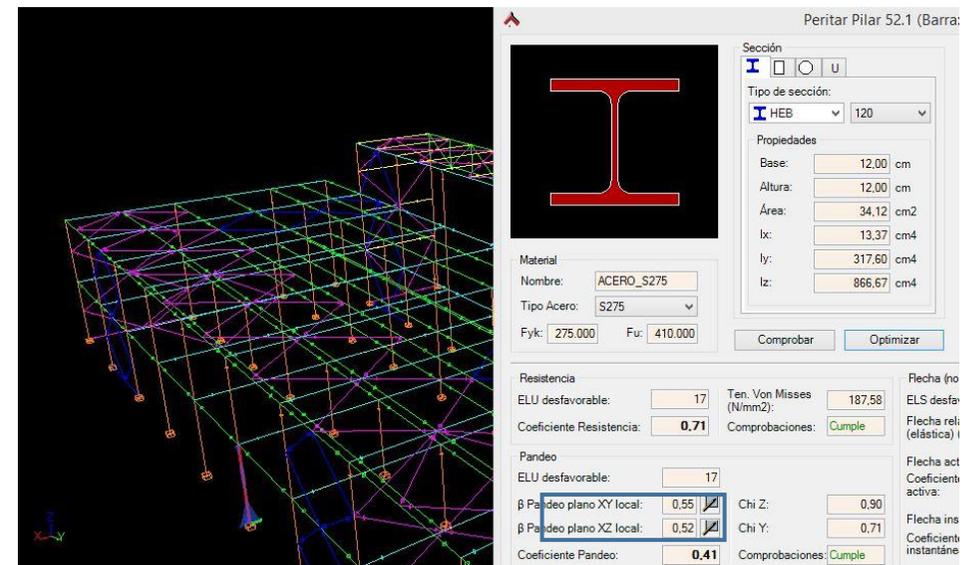
$L_k(xy,z) = L(xy,z) \times \beta(xy,z) \text{ (programa)} = 3'7 \times 0'55 = 2'035 \text{ m}$

Según el programa de cálculo Architrave el perfil óptimo que cumple con los criterios de resistencia y pandeo (ELU) es **HEB 120**.

$M_{pl,y,rd} = 43'2 \text{ Kn.m}$ **C. resistencia = 0'72** C. pandeo = 0'58

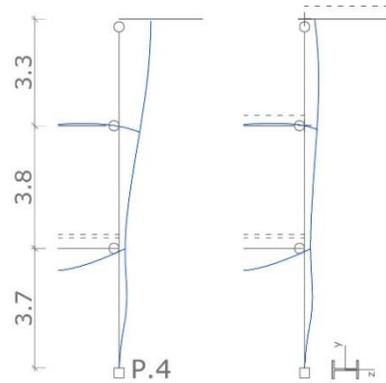


Longitud de perfil y beta de pandeo pilar 1 sin arriostrar, Architrave. (Fig.74)



Longitud de perfil y beta de pandeo del pilar 1 arriostrado, Architrave. (Fig.75)

- Dimensionado del pilar 4



Deformaciones en el pilar 4, Architrave.
Sin arriostramiento (izquierda).
Con arriostramiento (derecha). (Fig. 76)

El pilar 4 forma parte del pórtico (B) y a su vez también sirve de pilar cabecero de la estructura de la organización (A). Posee un forjado intermedio que ayudará a rigidizar dicho plano y dos cubiertas ligeras que no colaborarán con la estructura en el caso de no estar arriostradas.

a) Caso sin arriostramiento

Analizando el comportamiento a partir de las deformaciones de los dos tramos superiores se comportan como si se tratase de un único voladizo en ambos planos ($\beta = 2$). Por otra parte, el tramo inferior del perfil se comporta como si se tratase de un elemento biempotrado. (Fig. 76)

Vamos a realizar el dimensionado a partir del tramo intermedio ya que es el más desfavorable.

$M_{y,d} = 46'8 \text{ Kn.m}$ $N_d = - 21'3 \text{ KN}$ $L_{(xy)} = 7'1 \text{ (m)}$ $L_{(xz)} = 7,1 \text{ (m)}$

(Predimensionado a partir de tablas de resistencia.)

Perfil HEB 140 $\rightarrow M_{pl,y,rd} = 64'2 \text{ Kn.m}$

(Dimensionamiento mediante Architrave®) (Fig.77)

$L_k(xy,z) = L(xy,z) \times \beta(xy,z) \text{ (voladizo)} = 7'1 \times 2 = 14'2 \text{ m}$

* Ya que en el programa reconoce la distancia del perfil como la distancia entre nudos:

$L_k(xy,z) = 3'8 \times \beta = 14'2 \rightarrow \beta(xy,z) = 3'71 \text{ (en ambos planos)}$

Según el programa de cálculo Architrave el perfil más óptimo que cumple con los criterios de resistencia y pandeo (ELU) es **HEB 160**.

$M_{pl,y,rd} = 92'7 \text{ Kn.m}$ C. resistencia = 0'49 **C. pandeo = 0'73**

b) Caso con arriostramiento

En el plano del pórtico el arriostramiento en la cubierta inferior no consigue limitar suficientemente los desplazamientos (a pesar de que reduce los momentos flectores), pero la cubierta superior sí que aporta la rigidez suficiente. Por lo tanto se considerará que los dos tramos superiores se comportan como si se tratasen de un perfil empotrado - articulado ($\beta = 0'7$). (Fig. 76).

En cambio en el plano perpendicular al pórtico el pilar sí que está arriostrado en cada altura de cubierta, viéndose reflejado en su comportamiento.

Se va a dimensionar el tramo intermedio por ser más desfavorable.

$$M_{yd} = 29 \text{ Kn.m} \quad N_d = - 21'7 \text{ KN} \quad L_{xy} = 6'1 \text{ (m)} \quad L_{xz} = 3'8 \text{ (m)}$$

(Predimensionado a partir de tablas de resistencia)

$$\text{Perfil HEB 120} \rightarrow M_{pl,y,rd} = 43'2 \text{ Kn.m}$$

(Dimensionamiento mediante Architrave®) (Fig. 78)

$$L_k(xy) = L(xy) \times \beta(xy) \text{ (empotrado - articulado)} = 6'1 \times 0'7 = 4'27 \text{ m}$$

$$L_k(xz) = L(xz) \times \beta(xz) \text{ (empotrado - articulado)} = 3'8 \times 0'7 = 2'6 \text{ m}$$

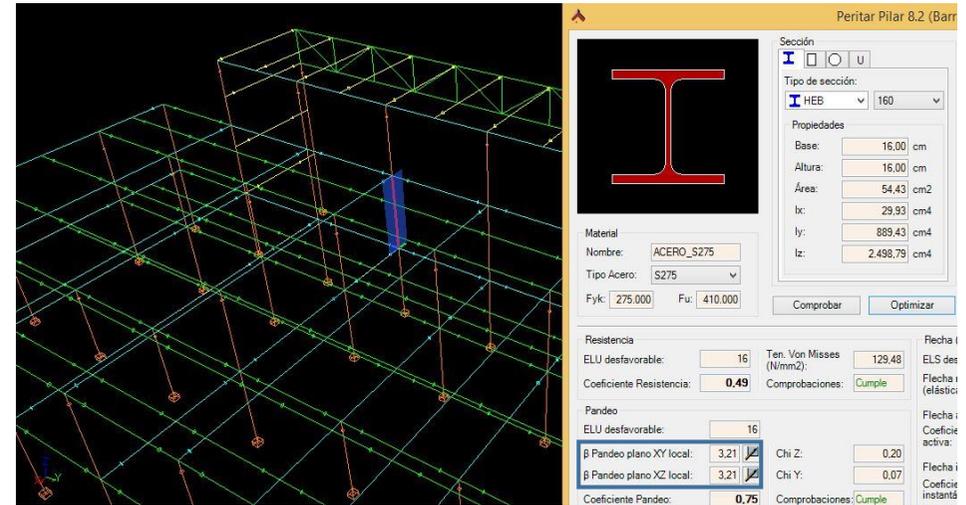
* Ya que en el programa reconoce la distancia del perfil como la distancia entre nudos consecutivos:

$$L_k(xy) = 3'8 \times \beta = 4'27 \rightarrow \beta(xy) = 1'12$$

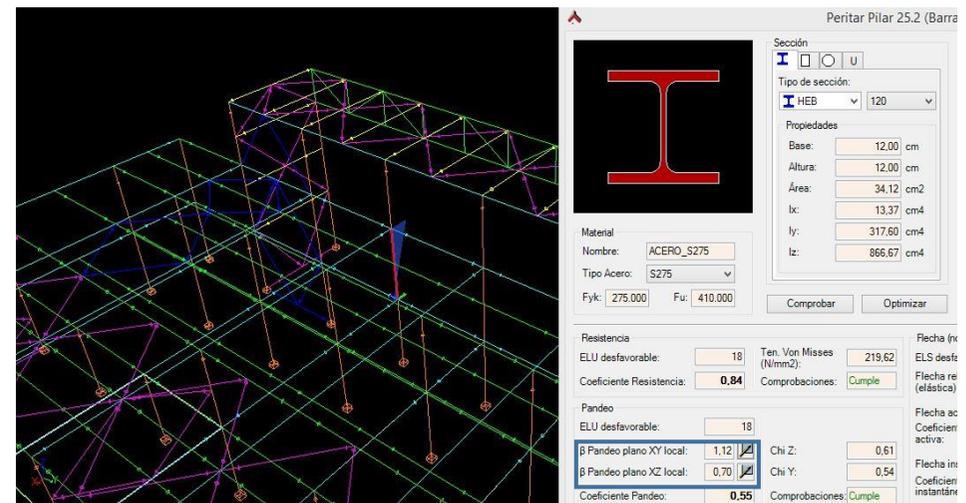
Según el programa de cálculo Architrave el perfil óptimo que cumple con los criterios de resistencia y pandeo (ELU) es **HEB 120**.

$$M_{pl,y,rd} = 43'2 \text{ Kn.m} \quad \text{C. resistencia} = 0'84 \quad \text{C. pandeo} = 0'55$$

(Realizando la comprobación en el tramo inferior se ha determinado que el superior es más desfavorable, el momento tiene más influencia en el dimensionamiento que el axil).

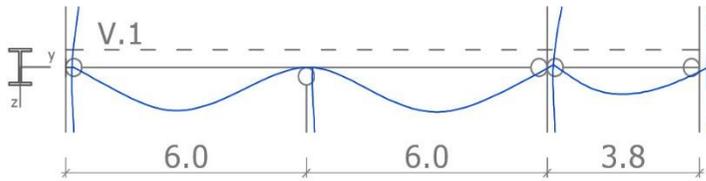


Longitud de perfil y beta de pandeo pilar 4 sin arriostrar, Architrave. (Fig.77)



Longitud de perfil y beta de pandeo pilar 4 arriostrado, Architrave. (Fig.78)

- Dimensionado del tren de vigas 1



Deformaciones en el plano del pórtico, forjado rígido, viga 1. (Fig. 79)

Las vigas tienen que sustentar un forjado pesado que contribuirá a la rigidización del pórtico en cualquier dirección de su plano. Por lo tanto, no será necesaria la comprobación a pandeo lateral. (Fig. 79)

En el dimensionado se realizará la comprobación a resistencia (ELU) y limitación de flecha (ELS) sobre el primer vano por ser el más desfavorable.

La comprobación a pandeo no se realizará porque la viga posee un eje despreciable.

$M_{y,d}$ (extremo derecho) = - 220 Kn.m

Longitud = 6 m.

(Predimensionado mediante tablas de resistencia)

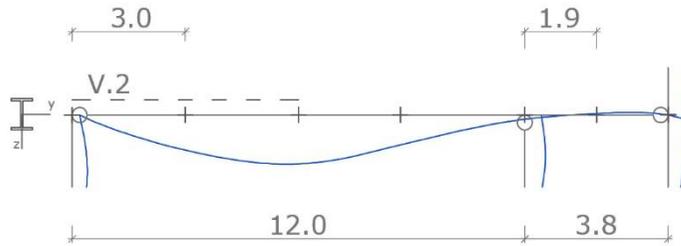
Perfil IPE 360 → $M_{pl,y,rd}$ = 267'1 Kn.m

(Dimensionamiento mediante Architrave®)

Según el programa de cálculo Architrave el perfil más óptimo que cumple con los criterios de flecha (ELS) y resistencia (ELU) es **IPE 360**.

$M_{pl,y,rd}$ = 267'1 Kn.m **C. resistencia = 0'93** C. Flecha instantánea = 0'16

- Dimensionado del tren de vigas 2



Deformaciones en el plano del pórtico, forjado rígido, viga 1. (Fig. 80)

El tren de vigas sostiene una cubierta ligera que no ayudará a colaborar con la rigidización del pórtico en su plano, por lo que habrá que realizar la comprobación a pandeo lateral (flexotorsión producida por el aplastamiento de la cabeza de la viga ante un fuerte momento flector).

En el dimensionado se realizará la comprobación a resistencia, pandeo lateral (ELU) y la limitación de flecha (ELS).

Se va a realizar la comprobación del primer vano de la viga ya que es el más solicitado y presenta mayor longitud; se aplicará dicha sección a todo el tren por criterios constructivos.

a) Caso sin arriostramiento

M_{yd} (extremo derecho) = - 79'3 Kn.m

$L_k(xy,z) = 12$ m.

(Predimensionado mediante tablas de resistencia)

Perfil IPE 240 $\rightarrow M_{pl,y,rd} = 98'8$ Kn.m

(Dimensionamiento mediante Architrave®) (Fig. 81)

Para pandeo lateral entre soportes se considera $\beta = 1$

Según el programa de cálculo Architrave el perfil óptimo que cumple con los criterios de flecha (ELS), resistencia y pandeo lateral (ELU) es IPE 360.

$M_{pl,y,rd} = 267$ Kn.m

C. Resistencia = 0'33 **C. Pandeo lateral = 0'8** C. Flecha instantánea = 0'18

Como se puede apreciar el criterio más crítico es el pandeo lateral, si reducimos la longitud de pandeo lateral se optimiza el perfil.

b) Caso con arriostramiento

Myd (extremo derecho) = - 81 Kn. Lk(xy) = 12 m. Lk(xz) = 3 m.
 (Solicitaciones similares al caso anterior).

Mediante un arriostramiento en diamante se ha limitado la distancia entre puntos de deformación lateral nula.

Longitud de pandeo lateral = 3 ($\beta = 1$).

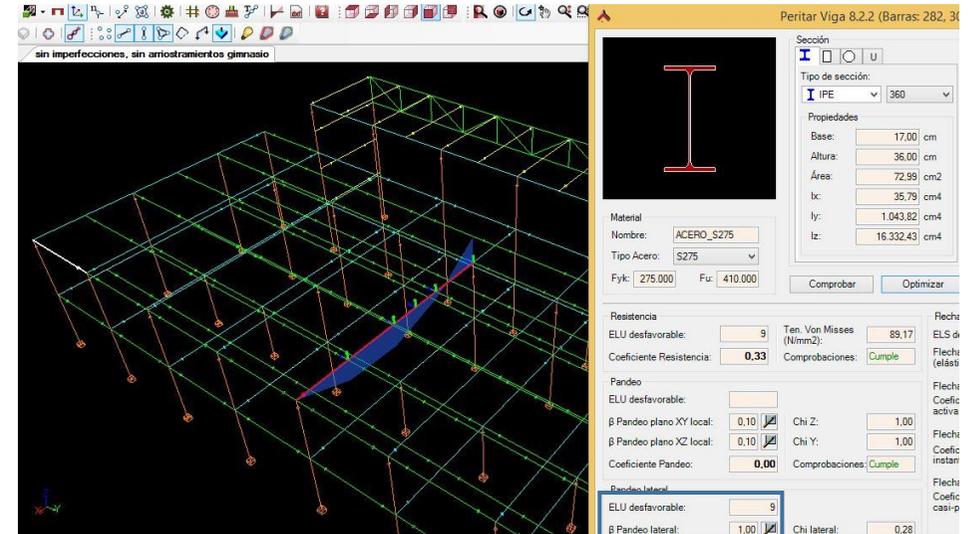
*En el programa reconoce la longitud del perfil midiendo la distancia entre nudos consecutivos (12 m), por lo que aplicaremos $\beta = 0,25$ para determinar el efecto del arriostramiento. (Fig. 82)

Según el programa de cálculo Architrave el perfil más óptimo que cumple con los criterios de flecha (ELS), resistencia y pandeo lateral (ELU) es IPE 270.

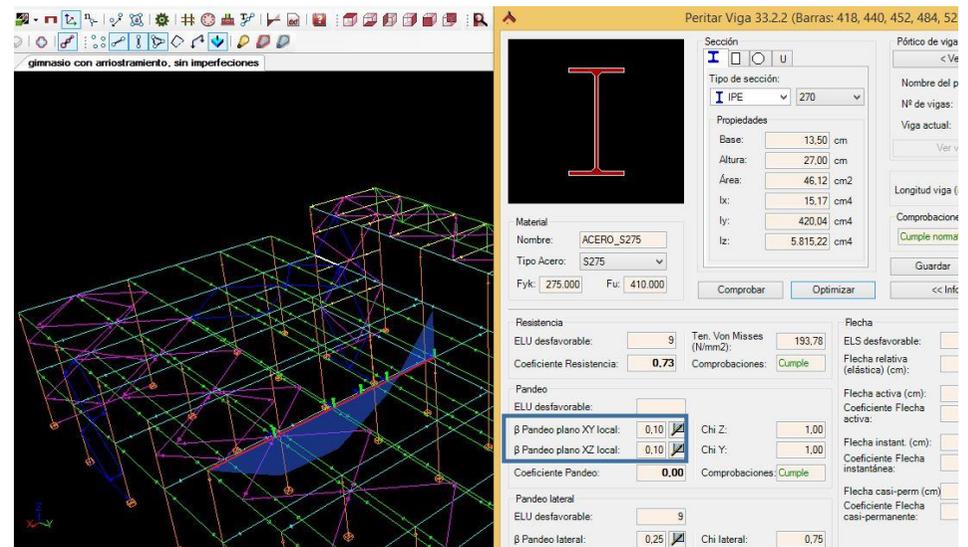
$M_{pl,y,rd} = 98'8 \text{ Kn.m}$

C. Resistencia = 0'7 **C. Pandeo lateral = 0'77** C. Flecha instantánea = 0'5

Como se puede apreciar el perfil aprovecha mejor sus capacidades mecánicas.



Longitud de perfil y beta de pandeo lateral tren de vigas 2 sin arriostrar, Architrave. (Fig.81)

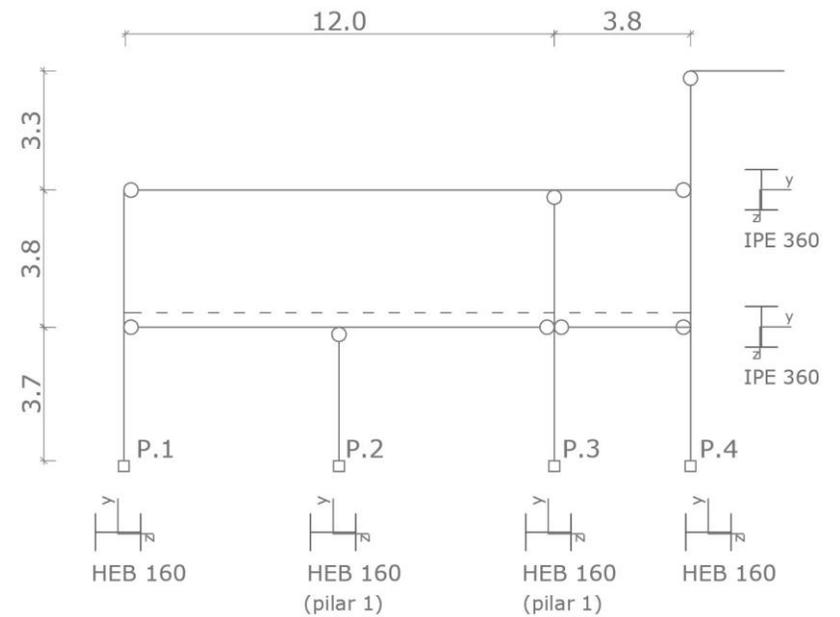


Longitud de perfil y beta de pandeo lateral tren de vigas 2 arriostrado, Architrave. (Fig.82)

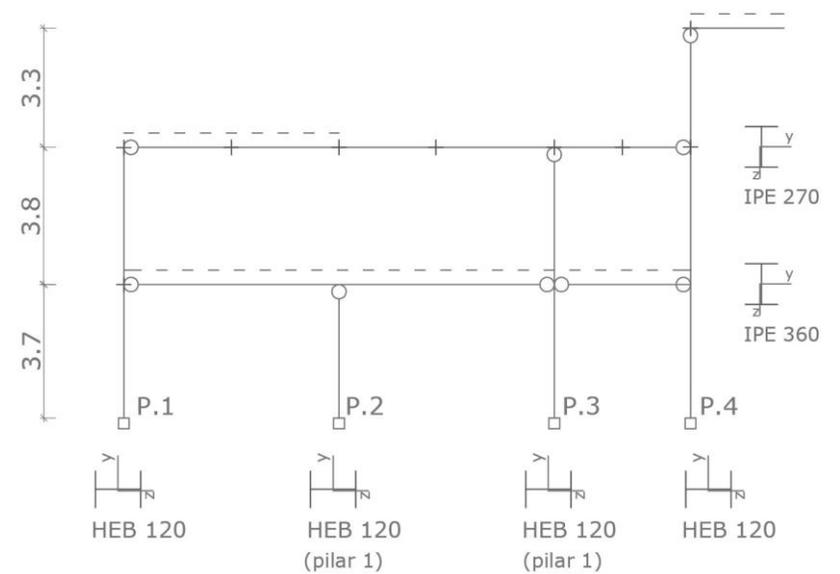
2.4.3.3 Resumen dimensionado pórtico (B).

(Arriostrado y no arriostrado).

Dimensionado pórtico (B), no arriostrado. (Fig.83)

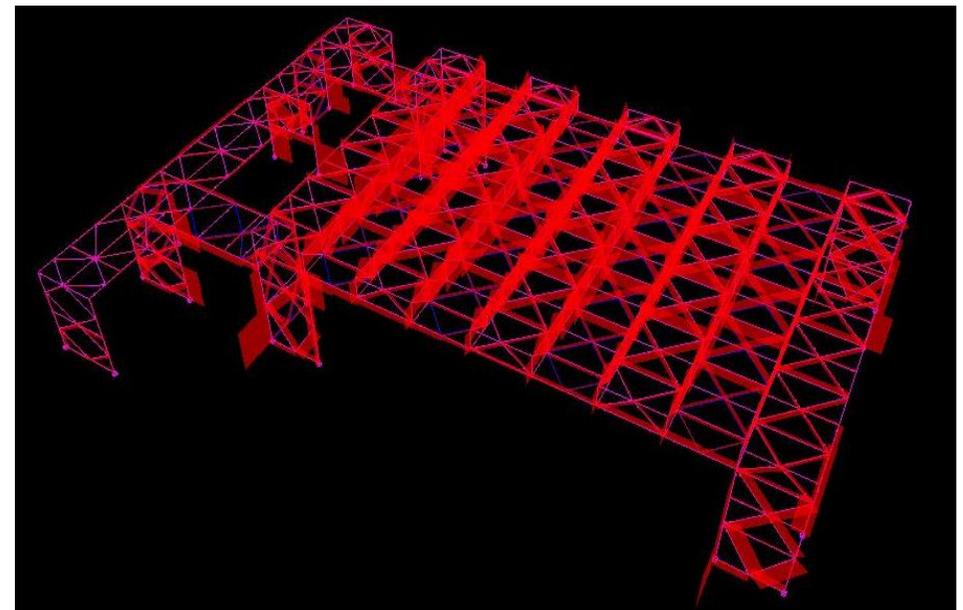


Dimensionado pórtico (B), arriostrado. (Fig.84)



2.4.4 Dimensionado de arriostramientos.

Los perfiles de los pórticos que formen parte de los arriostramientos además de soportar las acciones que recibiría un pórtico tipo tienen que soportar las acciones propias de su función de arriostramiento, es decir, sobrefuerzos producidos por viento e imperfecciones de cordones comprimidos en cubierta. A continuación se va a proceder a su dimensionado a partir de un modelo de estructura completa en [Architrave®](#).

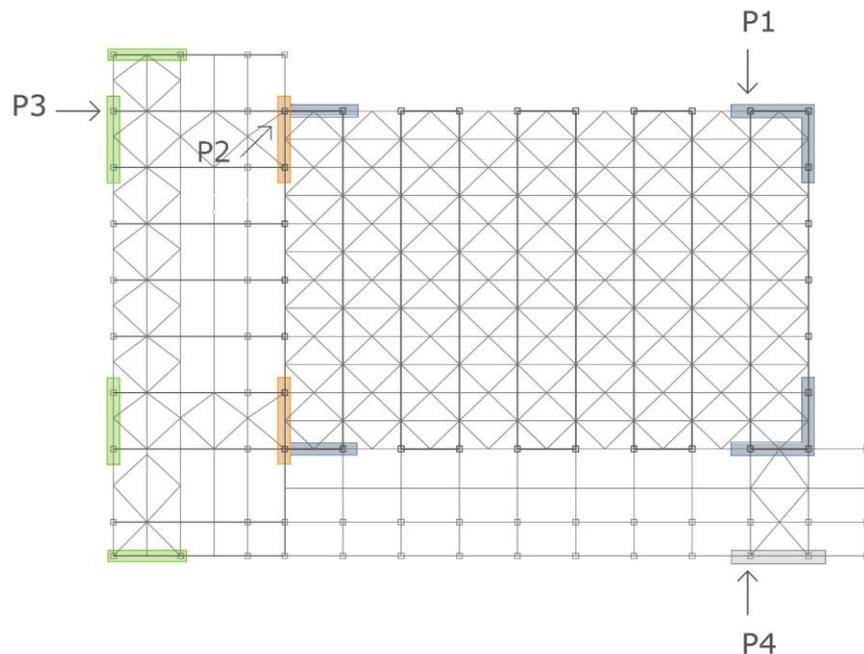


Axiles actuantes sobre los perfiles que conforman el arriostramientos de la estructura.

Vista sur Architrave. (Fig. 81)

2.4.4.1 Dimensionado de pilares. Arriostramiento.

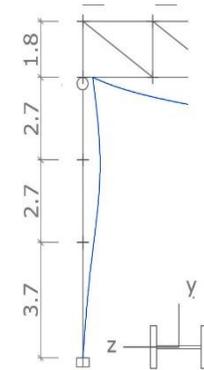
Los pilares que conforman el arriostramiento se han agrupado en grupos de similares características, se dimensionará el más desfavorable en cada caso y se aplicarán al resto de pilares siguiendo los criterios de homogeneización. El dimensionado de los pilares que conforman el arriostramiento se realizará haciendo una comparativa con los pilares dimensionados anteriormente de los pórticos tipo.



Esquema dimensionado de pilares que conforman el arriostramiento. (Fig.82)

a) PILAR 1 (Tramo inferior)

$$\begin{aligned} M_{yd} &= - 72'3 \text{ Kn.m} & N_d &= - 577 \text{ KN} \\ L(xy) &= 10'8 \text{ (m)} & L(xz) &= 3'8 \text{ (m)} \end{aligned}$$



Deformaciones pilar 1, arriostramiento. (Fig.83)

(Predimensionado, comparativa pilar tipo)

Dentro del pórtico tipo (A) el perfil utilizado sin formar parte del arriostramiento es IPE 300 (aunque también se podría haber dimensionado con **HEB 200**). Optamos por la serie HEB por el gran axil que tienen que soportar los pilares que conforman el arriostramiento (mayor sección y rigidez en ambos planos). (Pág. 56)

$$\text{Solicitaciones pórtico tipo} \rightarrow \quad N_d = 130 \text{ kn} \quad M_{yd} = - 70'1 \text{ Kn.m}$$

$$\text{HEB 200} \rightarrow M_{pl,y,rd} = 168'14 \text{ Kn.m}$$

(Dimensionamiento mediante Architrave®) (Fig. 84)

$$Lk(xy) = L(xy) \times \beta(xy) \text{ (empotrado - articulado)} = 10'8 \times 0'7 = 7'56 \text{ m}$$

$$Lk(xz) = L(xz) \times \beta(xz) \text{ (empotrado - articulado)} = 3'8 \times 0'7 = 2'66 \text{ m}$$

* $Lk(xy) = 3'8 \times \beta = 7,56 \rightarrow \beta(xy) = 1'98$ (en el programa)

Según el programa de cálculo Architrave el perfil óptimo que cumple con los criterios de resistencia y pandeo (ELU) es HEB 220.

$M_{ply,rd} = 216 \text{ kn.m}$

C. resistencia = 0'84 C. pandeo = 0'57

En el pilar que conforma el arriostramiento solo se incrementa el axil, por lo que no tendrá un gran efecto en el dimensionado.

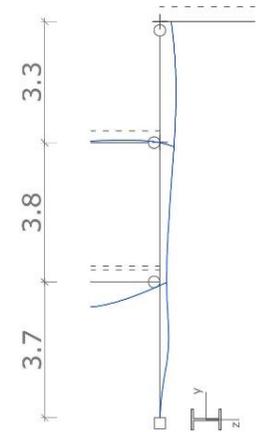
b) PILAR 2 (Tramo inferior del pórtico B)

$M_{yd} = - 15 \text{ Kn.m}$

$M_{zd} = - 20 \text{ kn.m}$

$N_d = - 950 \text{ KN}$

$L(xy,z) = 3'8 \text{ (m)}$



Deformaciones pilar 2, arriostramiento. (Fig.85)

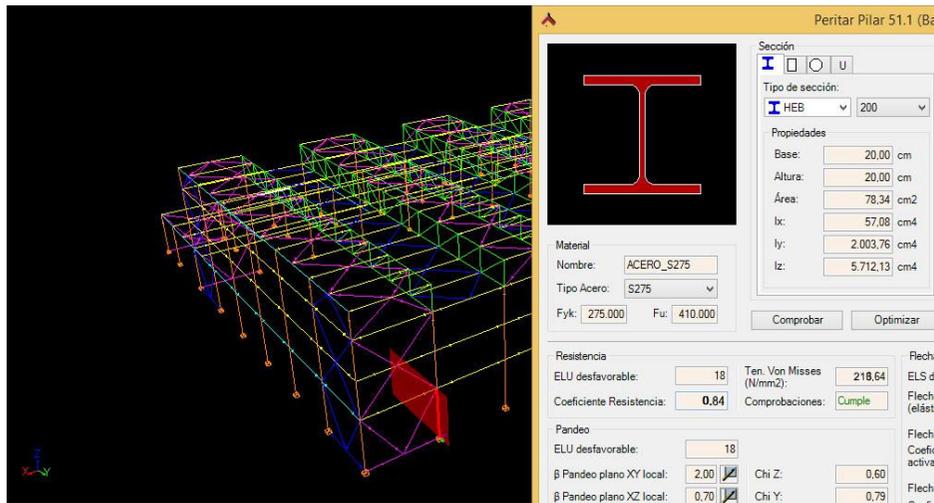
Se va a analizar el tramo inferior por ser el más desfavorable. En este caso el forjado pesado se comporta como un diafragma en su plano que reparte los esfuerzos entre todos los pilares, por lo que a nivel de forjado se establecen unos enlaces rígidos.

(Predimensionado, comparativa pilar tipo)

Dentro del pórtico tipo (B) el perfil utilizado sin formar parte del arriostramiento es **HEB 120**. (Pág. 74)

Solicitaciones pórtico tipo (tamo superior) $\rightarrow N_d = 21'7 \text{ kn}$ $M_{yd} = 29 \text{ Kn.m}$

HEB 120 $\rightarrow M_{pl,y,rd} = 43'4 \text{ Kn.m}$



Longitud de perfil y beta de pandeo pilar 4 sin arriostrar, Architrave. (Fig.84)

(Dimensionamiento mediante Architrave®)

$$Lk(xy,z) = L(xy,z) \times \beta(xy,z) \text{ (enlaces rígidos, programa)} = 3'7 \times 0'56 = 2'07 \text{ m}$$

Según el programa de cálculo Architrave, el perfil más óptimo que cumple con los criterios de resistencia y pandeo (ELU) es **HEB 200**

$$M_{pl,y,rd} = 168 \text{ kn.m}$$

$$N_{pl,rd} = 2045 \text{ kn}$$

C. resistencia = 0'89

C. pandeo = 0'76

(Predimensionado, comparativa pilar tipo)

Dentro del pórtico tipo B el perfil utilizado sin formar parte del arriostramiento es **HEB 120**. (Pág. 74)

$$\text{Solicitaciones pórtico tipo (tramo inferior)} \rightarrow \underline{N_d = 198 \text{ kn}} \quad M_{yd} = 14 \text{ Kn.m}$$

$$\text{HEB 120} \rightarrow M_{pl,y,rd} = 43'4 \text{ Kn.m}$$

(Dimensionamiento mediante Architrave®)

$$Lk(xy,z) = L(xy,z) \times \beta(xy,z) \text{ (enlaces rígidos, programa)} = 3'7 \times 0'56 = 2'07 \text{ m}$$

Según el programa de cálculo Architrave, el perfil óptimo que cumple con los criterios de resistencia y pandeo (ELU) es **HEB 160**.

$$M_{pl,y,rd} = 44'52 \text{ kn.m}$$

C. resistencia = 0'97

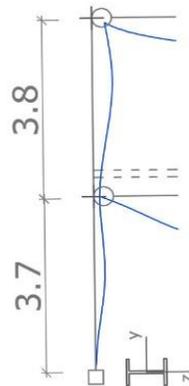
C. pandeo = 0'6

c) PILAR 3 (Tramo inferior del pórtico B)

$$M_{yd} = -18 \text{ Kn.m} \quad M_{zd} = 19'7 \quad \underline{N_d = -307 \text{ KN}}$$

$$L(xy) = 3'8 \text{ (m)} \quad L(xz) = 1'85 \text{ (m)}$$

Deformaciones pilar 3, arriostramiento. (Fig.86)



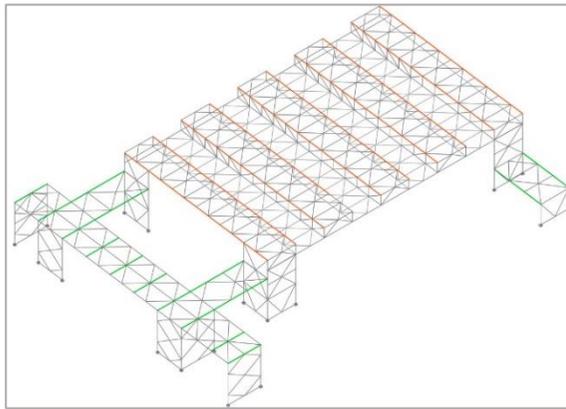
HEB 160 también será de aplicación a los pilares que no forman parte del arriostramiento en ambos pórticos cabeceros de la organización B por criterios de homogeneización y puesta en obra.

2.4.4.2 Dimensionado de cordones comprimidos y vigas.

Arriostramiento.

Como en cubierta todas las celosías forman parte del arriostramiento, en el dimensionamiento de los cordones ya se han tenido en cuenta el incremento de axil debido a dicho funcionamiento.

En las cubiertas conformadas por vigas el efecto del axil sobre estas no va a influir en su dimensionamiento, por lo que utilizaremos las dimensionadas en el pórtico tipo.



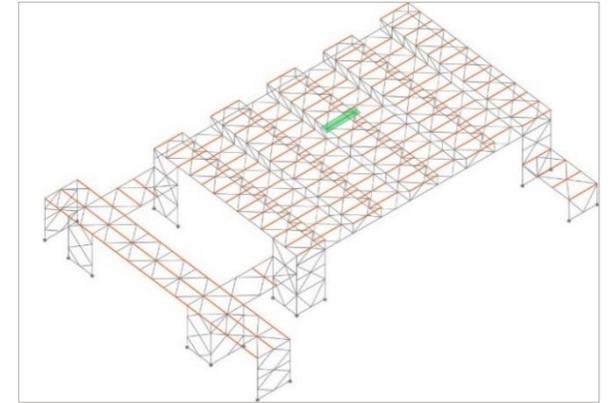
Cordones comprimidos cercha y vigas, arriostramiento. (Fig.87)

2.4.4.3 Dimensionado correas de cubiertas. Arriostramiento.

Dado que todas las cubiertas son de tipo DECK, y las correas tienen similares longitudes de pandeo y ámbitos de carga, se seleccionará la más solicitada (perteneciente al arriostramiento) y se aplicará a todas las demás por criterios de homogeneización y simplificación. (Fig. 84)

Seleccionamos la correa perteneciente al arriostramiento de la cubierta del pabellón, toda la cubierta en si es un arriostramiento.

$$Nd1 = - 125'6 \text{ Kn (compresión)} \quad Mzd = 10 \text{ Kn.m} \quad Lk(xz,zy) = 5'2 \text{ m. } (\beta = 1)$$



Correa analizada, arriostramiento. (Fig.88)

(Predimensionado a partir del área)

$$\text{Área} \geq 477'08 \text{ mm}^2$$

$$(f_{yd} = 262 \text{ N/mm})$$

(Dimensionamiento mediante Architrave®)

Según el programa de cálculo Architrave, el primer perfil que cumple condiciones de resistencia (ELU) y pandeo (ELS) es **# 120.80.5**.

$$\text{Área} \geq 1.802 \text{ mm}^2$$

$$\text{Coeficiente resistencia} = 0'87$$

$$\text{Coeficiente pandeo} = 0'89$$

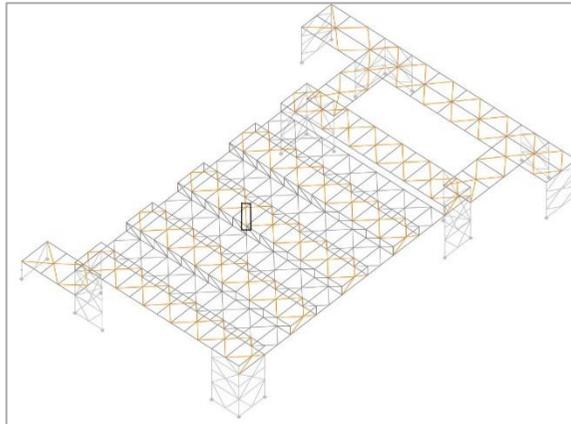
2.4.4.4 Dimensionado de triangulaciones. Arriostramiento.

- Triangulaciones en cubierta

Siguiendo el criterio anteriormente descrito, se seleccionará la diagonal más desfavorable y se aplicará a todos los arriostramientos. (Fig.89)

$N_{xd} = - 42 \text{ Kn}(\text{compresión})$

$L_k(xy,z) = 4'5 \text{ metros } (\beta = 1)$



Diagonal analizada, arriostramiento. (Fig.89)

Según el programa de cálculo el primer perfil que cumple condiciones de resistencia (ELU) y pandeo (ELU) es **# 60.5**.

(Tiene la misma rigidez en los dos ejes).

$N_{pl,rd} = 262 \text{ kn}$

C. resistencia = 0'25

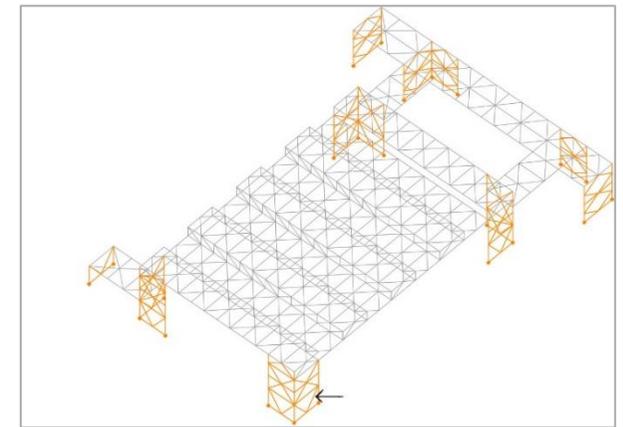
C. pandeo= 0'99

- Triangulación en pantallas

Siguiendo el criterio anteriormente descrito, se seleccionará la diagonal más desfavorable y se aplicará a todos los arriostramientos. (Fig.89)

$N_{xd} = - 81 \text{ Kn}(\text{compresión})$

$L_k(xy,z) = 4'5 \text{ metros } (\beta = 1)$



Diagonal analizada, arriostramiento. (Fig.90)

Según el programa de cálculo el primer perfil que cumple condiciones de resistencia (ELU) y pandeo (ELU) es **#80.4**.

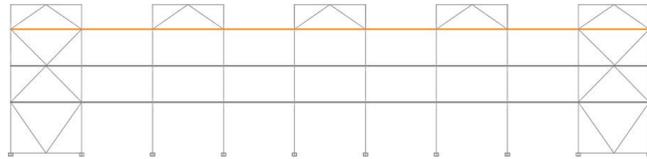
(Tiene la misma rigidez en los dos ejes).

$N_{pl,rd} = 299 \text{ kn}$

Coficiente resistencia = 0'27

Coficiente pandeo= 0'93

2.4.4.5 Dimensionado de zunchos. Arriostramiento.



Zuncho analizado, arriostramiento. (Fig.91)

Se dimensionará el zuncho más solicitado (forma parte del arriostramiento) y se aplicará a todos los del pabellón de forma simplificada.

$$N_{xd} = -80 \text{ Kn}$$

$$L_k(xy,z) = 5 \text{ metros } (\beta = 1)$$

El eje de mayor inercia (eje z) estará colocado de forma paralela al plano horizontal.

Según el programa de cálculo el primer perfil que cumple condiciones de resistencia (ELU) y pandeo (ELU) es **IPE 140**.

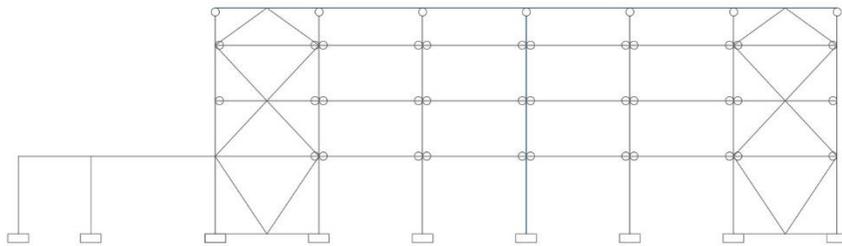
$$N_{pl,rd} = 429.5 \text{ kn}$$

$$\text{Coeficiente resistencia} = 0.4$$

$$\text{Coeficiente pandeo} = 0.9$$

2.4.5 Otros dimensionados.

2.4.5.1 Dimensionamiento pórtico cabecero este.



Pórtico cabecero pabellón, este. (Fig.92)

- Pilares cabeceros no arriostrados

En el plano del pórtico el perfil está arriostrado en varios tramos para controlar el pandeo en su eje débil de inercia, en cambio en el plano perpendicular al pórtico se encuentra arriostrado en la cabeza del perfil.

Vamos a analizar el tramo inferior por ser el más desfavorable a resistencia y pandeo en sus dos planos de inercia (ELU).

$$M_{yd} = -56'5 \text{ Kn.m} \quad N_d = -51 \text{ KN} \quad L(xy) = 10'8 \text{ (m)} \quad L(xz) = 3'8 \text{ (m)}$$

(Predimensionado mediante tablas de resistencia)

$$\text{Perfil IPE 220} \rightarrow M_{pl,y,rd} = 74'9 \text{ Kn.m}$$

(Architrave)

$$L_k(xy) = L(xy) \times \beta(xy) \text{ (empotrado - articulado)} = 10'8 \times 0'7 = 7'56 \text{ m}$$

$$L_k(xz) = L(xz) \times \beta(xz) \text{ (empotrado - articulado)} = 3'8 \times 0'7 = 2'66 \text{ m}$$

$$* L_k(xy) = 3'8 \times \beta = 7,56 \rightarrow \beta(xy) = 1'98 \text{ (en el programa)}$$

Según el programa de cálculo Architrave el perfil óptimo que cumple con los criterios de resistencia y pandeo (ELU) es IPE 270.

$$M_{ply,rd} = 126'4$$

$$\text{C. resistencia} = 0'97$$

$$\text{C. pandeo} = 0'58$$

- Viga cabecera estructura de grandes luces.

$N_d = 83 \text{ Kn}$ $M_{y,d} = 15 \text{ kn.m}$
(Vamos a considerar $\beta = 1$)

$L(x,y) = 5 \text{ (m)}$ $L(x,z) = 2'5 \text{ (m)}$

Vamos a disponer el mismo perfil que en los zunchos (**IPE 140**), según el programa de cálculo el perfil cumple ambos criterios de resistencia y pandeo (ELU).

$N_{pl,rd} = 625'9$

C. resistencia = 0'39

C. pandeo = 0'67

2.4.5.2 Dimensionado de la vigueta más solicitada en el forjado pesado.

A pesar de que las viguetas sufren fuertes momentos no habrá que comprobarlas a pandeo lateral porque el forjado pesado rigidiza la estructura en su plano, se realizaran comprobaciones de resistencia (ELU) y flecha (ELS). Se dimensionará la vigueta más solicitada y se aplicará al resto del forjado por criterios constructivos.

$M_{z,d}$ (Centro de vano) = 120'7 Kn.m Longitud = 5 metros (biarticulado $\beta = 1$)

El eje de mayor inercia (eje z) estará colocado de forma paralela al plano horizontal.

Según el programa de cálculo el primer perfil que cumple condiciones de resistencia (ELU) y flecha (ELS) es **IPE 300**.

$M_{pl,y,rd} = 164'4 \text{ Kn.m}$

Coeficiente resistencia = 0'82

Coeficiente flecha activa = 0'35

2.5 Conclusiones.

El objetivo principal de este trabajo ha sido determinar la influencia de la organización estructural sobre un proyecto propio elaborado para tal fin, la estructura metálica ha sido diseñada mediante un estudio de las diferentes posibilidades de arriostramiento y bajo serie de criterios de proyecto.

Una vez realizado el análisis de la estructura arriostrada y sin arriostrar se ha llegado a la conclusión de que una correcta organización estructural es imprescindible para evitar el sobredimensionamiento de los perfiles por los que está compuesta, lo que nos conduce a la optimización de recursos.

El pórtico tipo se debe estudiar dentro del conjunto estructural, ya que su configuración afectará al comportamiento de los perfiles. Para llevar a cabo una estructura eficiente, además de realizar una correcta organización de los perfiles dentro del pórtico, hay que estudiar la disposición de los pórticos y la posibilidad de realizar arriostramientos que rigidicen la estructura.

Aumentando la rigidez del pórtico en cualquiera de sus planos consigues reducir sus deformaciones, y con ello se modifican las solicitaciones y longitudes de pandeo de los perfiles.

En el nivel más básico de organización estructural la configuración del pórtico y el hecho de permitir o no giros ayudará a controlar las solicitaciones hasta cierto punto, estableciendo puntos de momento nulo. Pero dependerá de la rigidez que aporte el conjunto estructural el que los perfiles deformen de una forma u otra, ello influirá en las solicitaciones.

Para mejorar el comportamiento de los perfiles dentro de los pórticos se recurre a arriostramientos que actúan sobre el conjunto estructural, estos otorgan a los pórticos la rigidez necesaria para limitar deformaciones en cualquiera de sus planos.

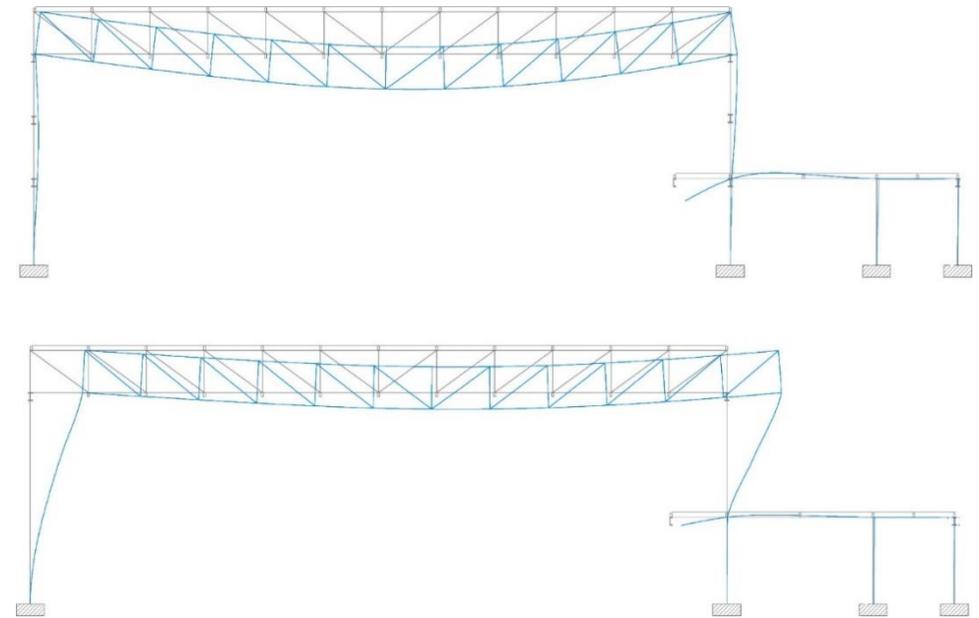
Los arriostramientos actúan como vigas trianguladas que trabajan principalmente a esfuerzo axil, estos establecen puntos de apoyo a los pórticos para absorber esfuerzos y ayudar a controlar las deformaciones de los perfiles. De esta forma se reducen las longitudes de pandeo y los momentos flectores y se evita un sobredimensionado.

Un perfil que se comporta como un voladizo al arriostrarlo pueden variar sus solicitaciones y longitudes de pandeo de forma similar a un elemento empotrado – articulado. Para evitar el sobredimensionamiento de un perfil hay que tener en cuenta que puede deformar en cualquiera de sus planos, por lo que tiene que estar convenientemente arriostrado en función de la rigidez que presente en cada plano.

Por otra parte, la elección del perfil idóneo y su disposición en función del plano en que actúan sus solicitaciones y de las longitudes de pandeo es muy importante para aprovechar al máximo sus capacidades mecánicas.

- En elementos que trabajan solo a tracción se deben utilizar tirantes, ya que con una menor área aportas más resistencia.
- En elementos que trabajan principalmente a flexión en comparación con el axil o que trabajen a compresión pero con longitudes de pandeo diferentes en ambos planos, se deben utilizar perfiles que aporten mayor inercia en un determinado plano (perfiles rectangulares, IPE, IPN...).
- Para elementos sometidos principalmente a compresión y con longitudes de pandeo similares en ambos planos se deben utilizar perfiles que aporten inercias no tan dispares según el plano (perfiles cuadrados, HEB, HEM...).

En conclusión, como se ha demostrado con la comparación de pórticos tipo implantados en diferentes organizaciones de conjuntos estructurales (páginas 67 y 79), mediante unas condiciones de arriostramiento adecuadas se consigue un dimensionamiento más eficiente de la estructura.



Deformaciones combinación viento sur, pórtico A.
Pórtico arriostrado (arriba), no arriostrado (abajo). (Fig. 93)

3. Referencias

3. Referencias

3.1 Referencias de imágenes.

(Referencia 1) Cubierta Deck.

Catálogo de productos, Grupopanel SL.

(Referencia 2) Forjado colaborante.

Catálogo forjados colaborantes, Hainsa.

(Referencia 3) Cerramiento ligero prefabricado.

<http://www.metalpanel.com/>

(Referencia 4) Cerramiento pesado con paneles Viroc.

Catálogo de productors Vioc, Investwood.

(Referencia 5) Tabla de coeficientes presión en paramentos.

(Tabla D.3, Anejo D, CTE-DB-SE-AE)

(Referencia 6) Tabla de coeficientes presión en cubiertas.

(Tabla D.4, Anejo D, CTE-DB-SE-AE)

(Referencia 7) Tabla valores sobrecarga de uso.

(Tabla 3.1, CTE-DB-SE-AE)

(Referencia 8) Coeficientes parciales de seguridad para acciones.

(Tabla 3.1, CTE-DB-SE)

(Referencia 9) Coeficientes parciales de seguridad para acciones.

(Tabla 4.1, CTE-DB-SE)

(Figuras 1 – 96) Imágenes obtenidas mediante:

- AutoCAD 2017 Autodesk®-
- Adobe® Photoshop CS6.
- Architrave® Diseño y Architrave 2015®

3.2 Referencias bibliográficas.

- *“Problemas de estructuras metálicas adaptadas al CTE”*

José Monfort Lleonart, José Luís Pardo Ros, Arianna Guardiola Villora; editorial UPV 2010.

- *“Estructuras metálicas para la edificación adaptadas al CTE”*

José Monfort Lleonart, editorial UPV 2006.

- *“CTE – DB Seguridad Estructural Acciones Edificación”*

Ministerio de fomento de España, 2009.

- *“CTE – DB Seguridad Estructura Acero”*

Ministerio de fomento de España, 2009

3.2 Referencias de software.

- Architrave® Diseño y Architrave 2015®

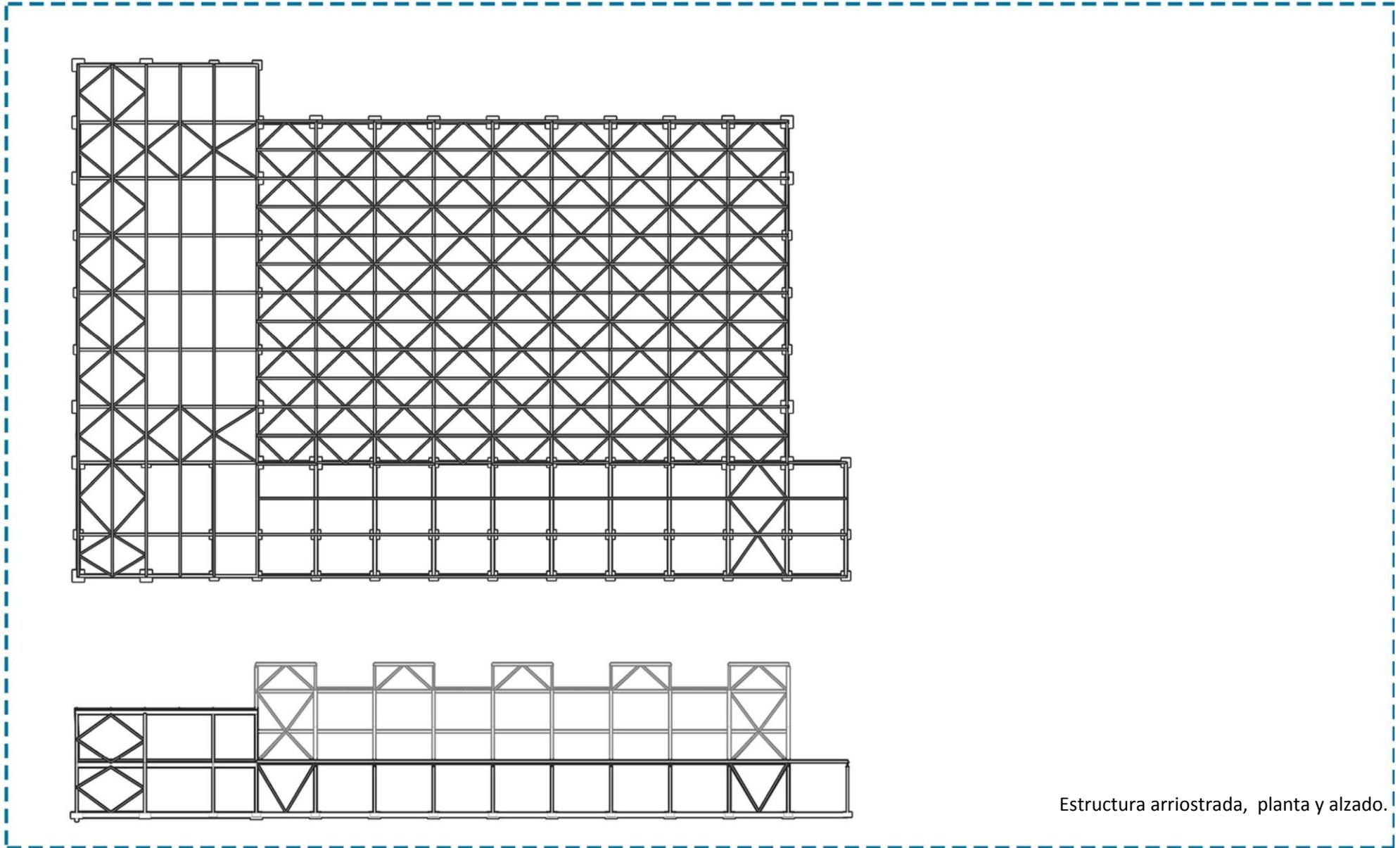
(Agustín Pérez García y Adolfo Alonso Durá)

- AutoCAD 2017 Autodesk®

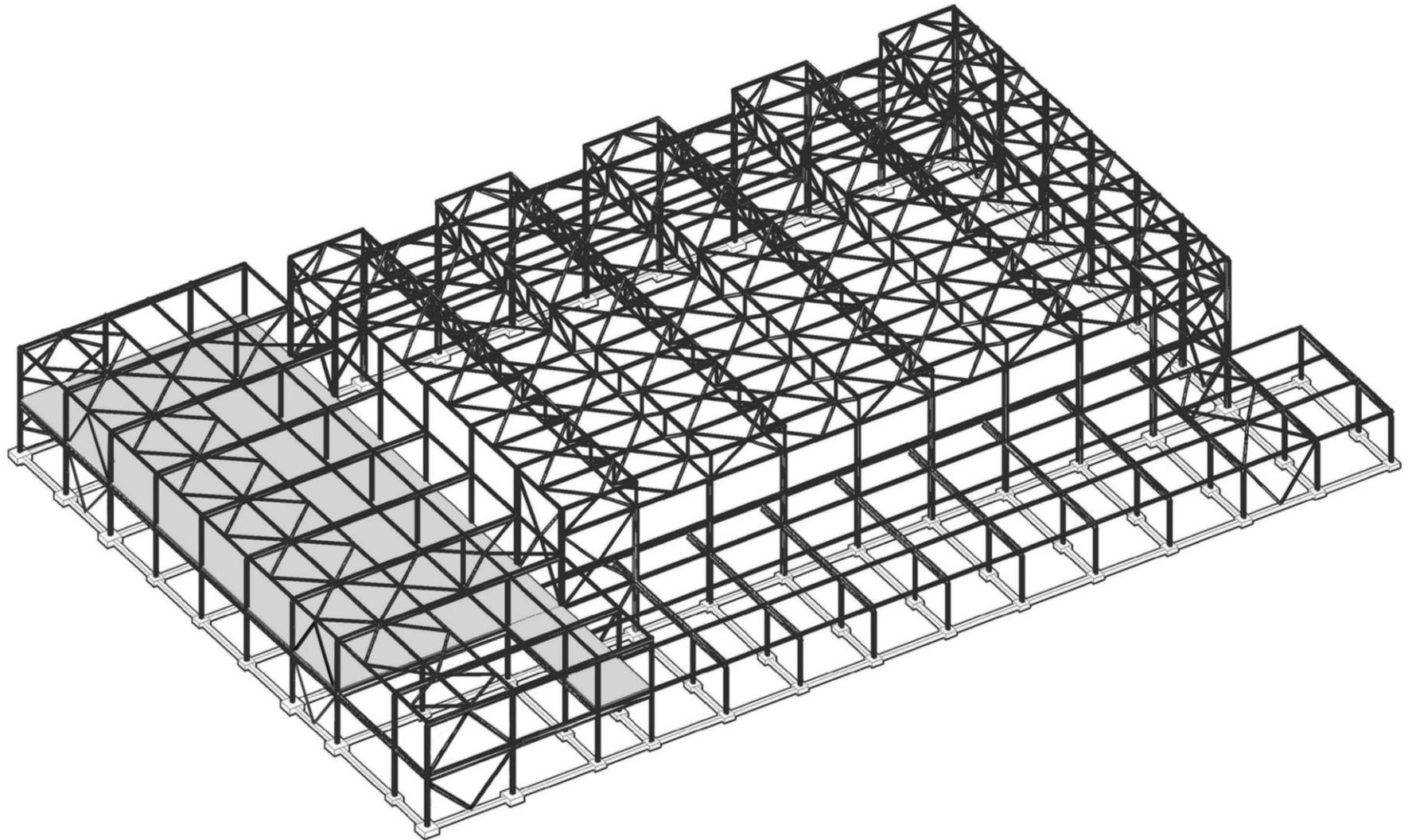
- Adobe® Photoshop CS6.

4. Anexo.

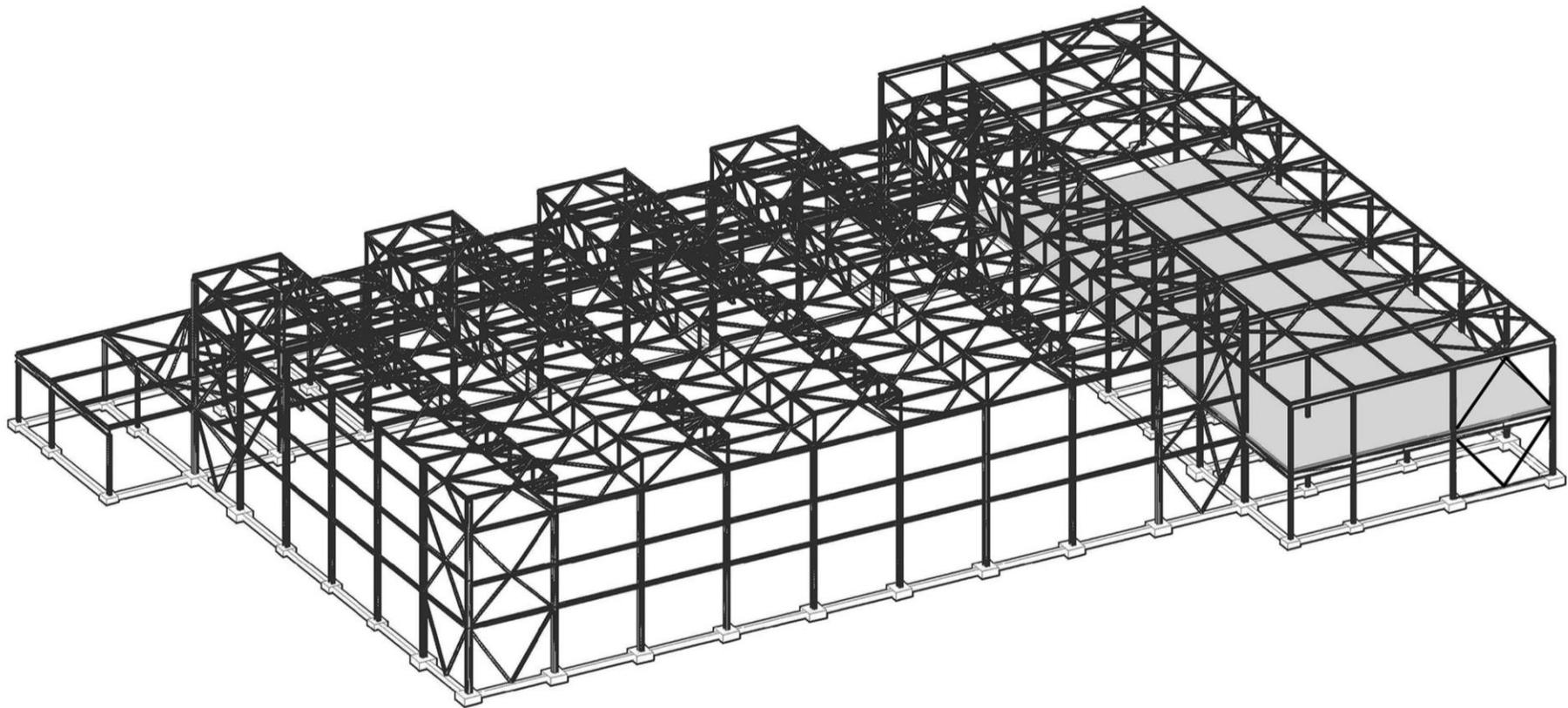
Representación de la estructura.



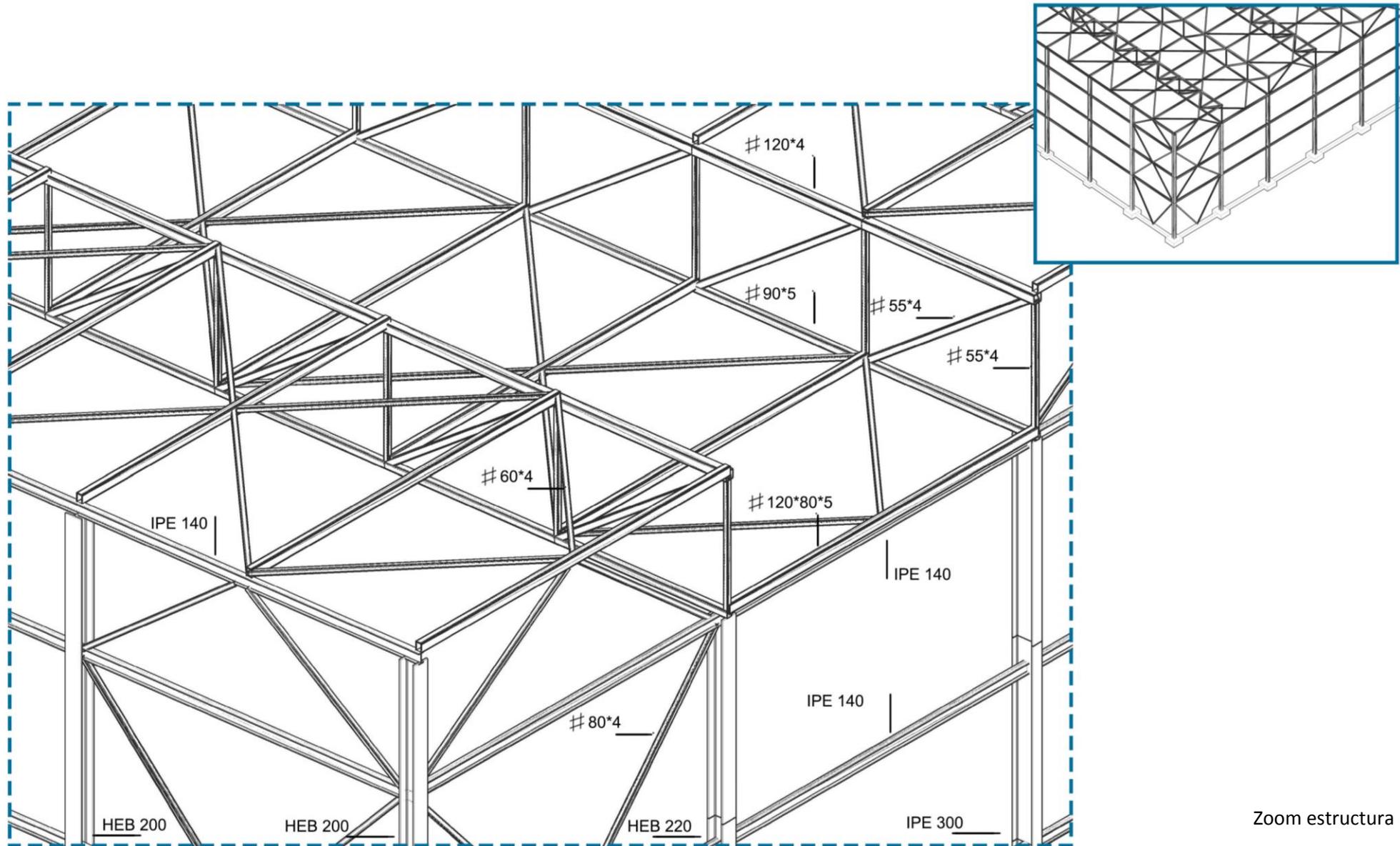
Estructura arriostrada, planta y alzado.



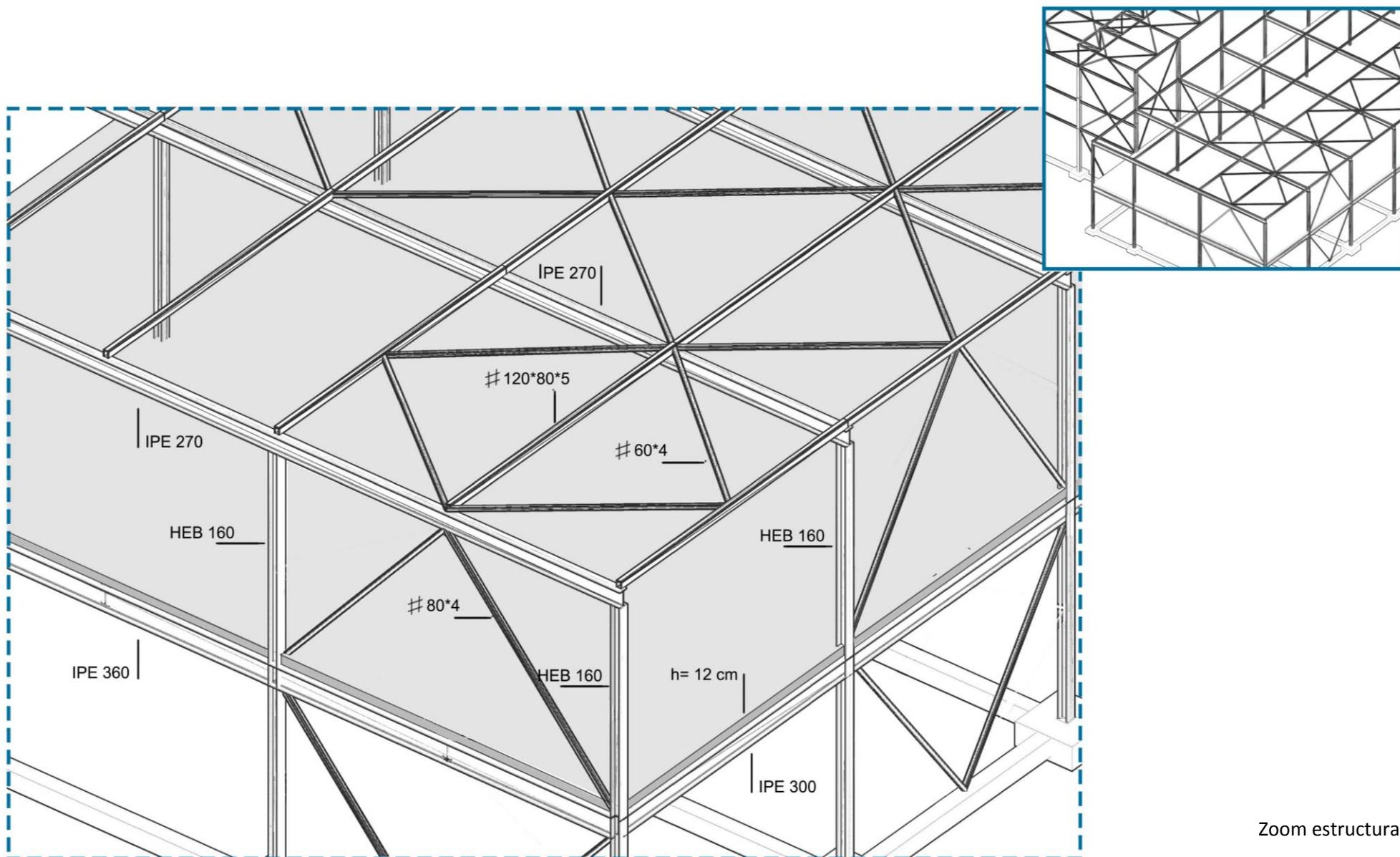
Estructura arriostrada, axonometría I.



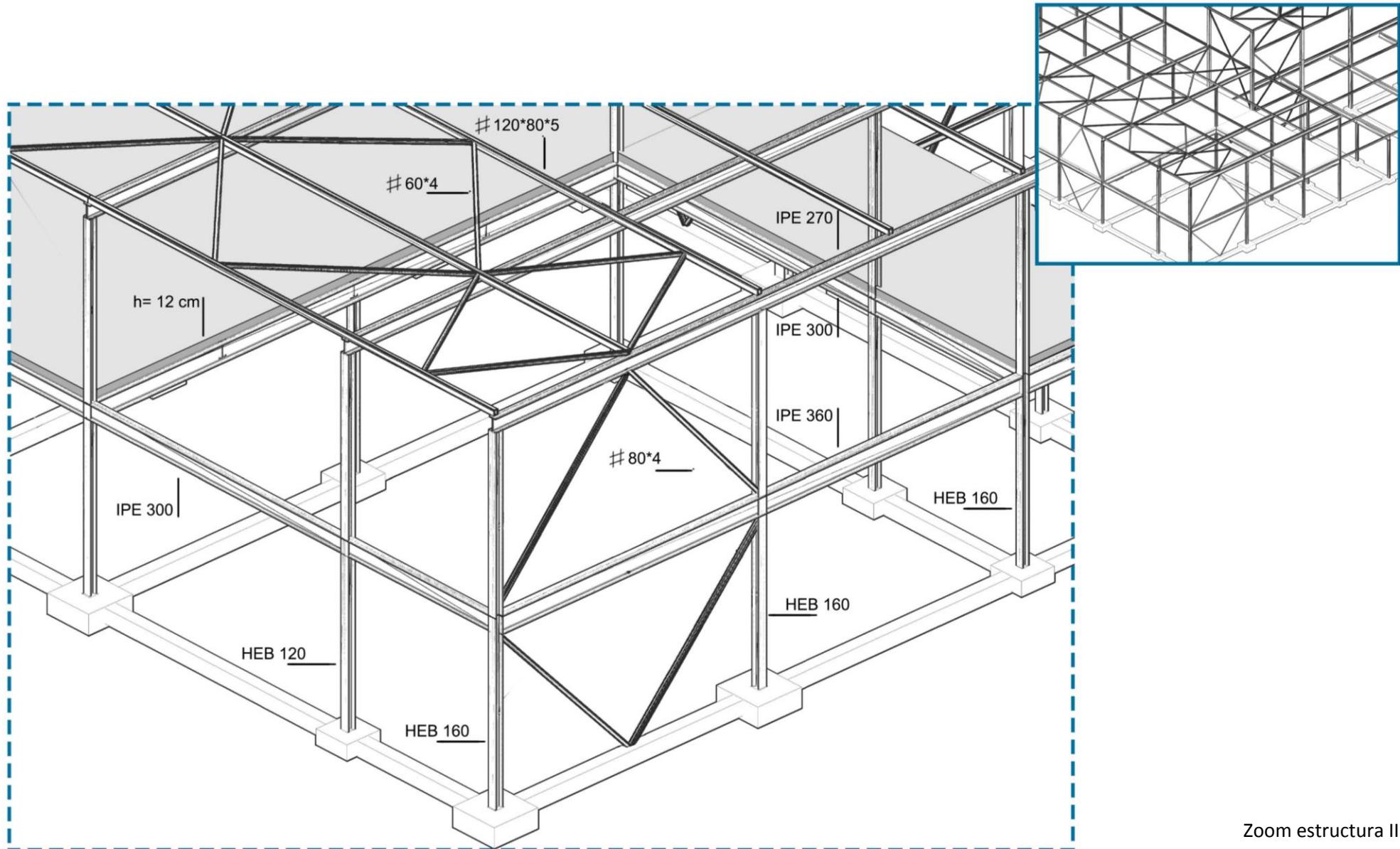
Estructura arriostrada, axonometría II.



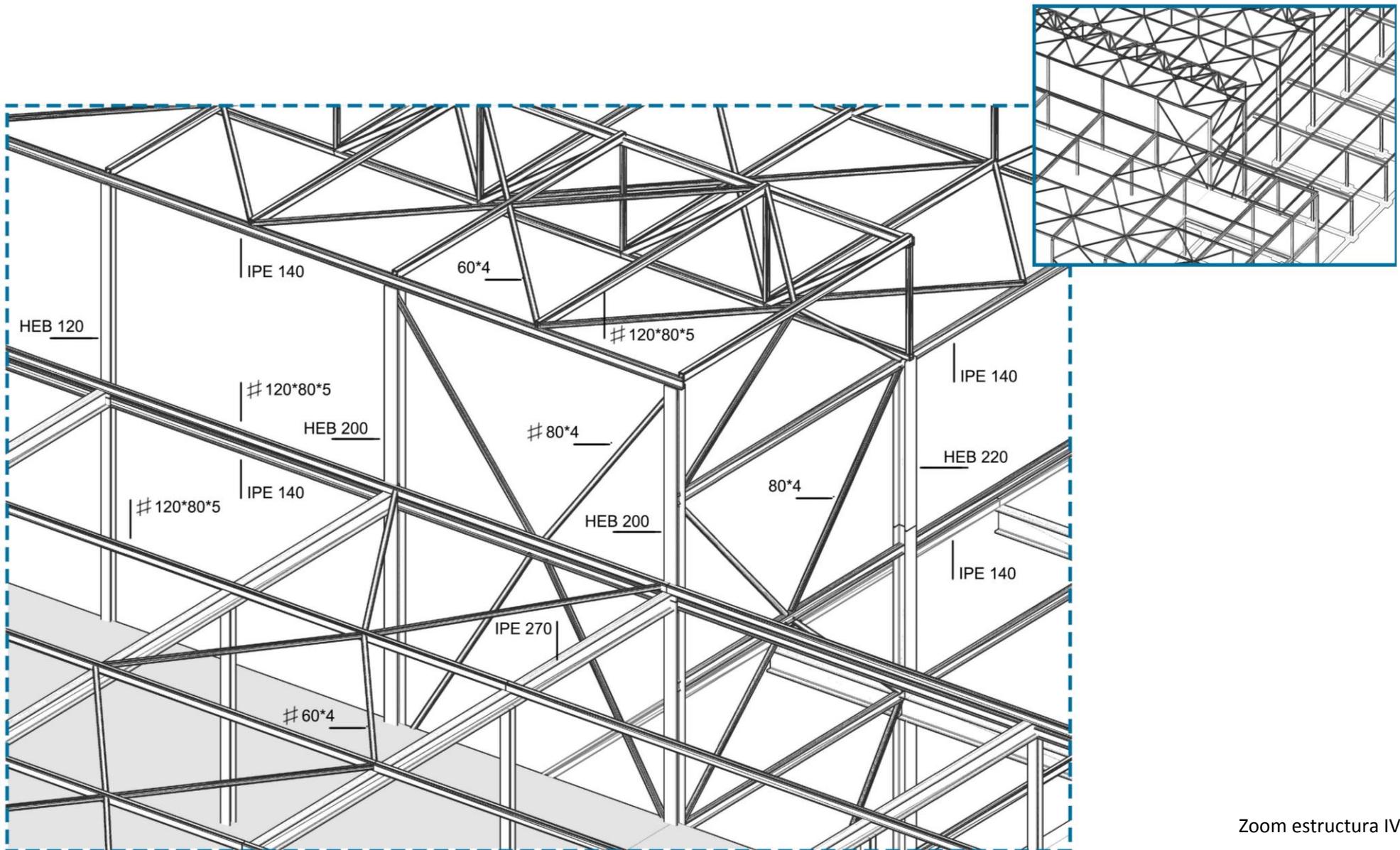
Zoom estructura I.



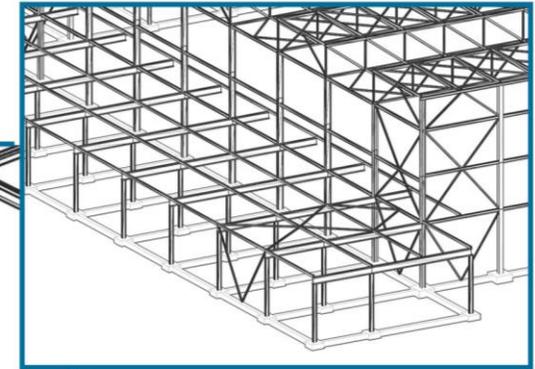
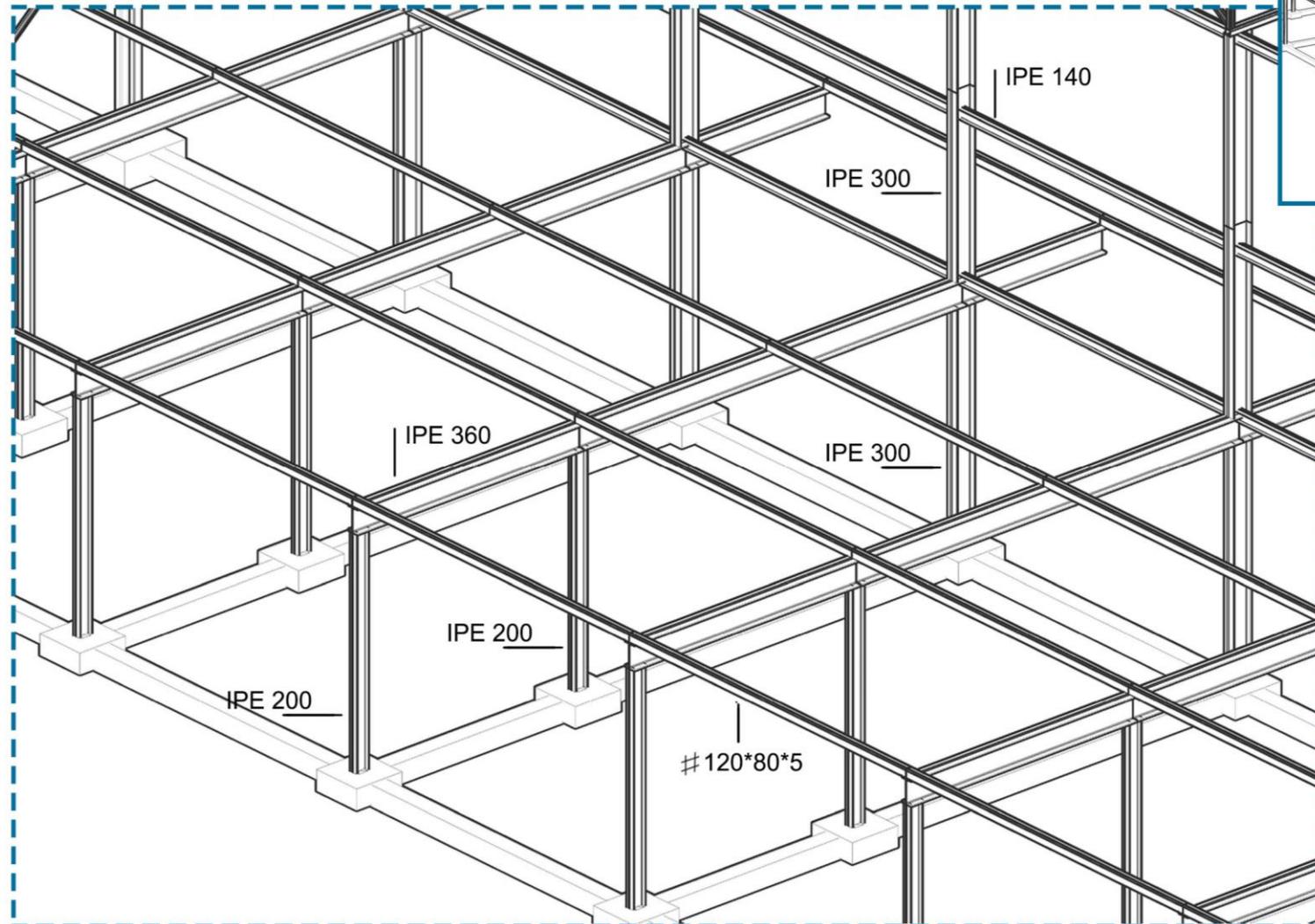
Zoom estructura II.



Zoom estructura III.



Zoom estructura IV.



Zoom estructura V.

TFG

Diseño y cálculo estructural de un polideportivo en la Vall d'Uixó.



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA
SUPERIOR
D'ARQUITECTURA