



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR  
DE INGENIEROS DE CAMINOS,  
CANALES Y PUERTOS



# **"PROYECTO BÁSICO DE NAVE INDUSTRIAL PARA LA MODERNIZACIÓN DE LA LÍNEA DE EXTRACCIÓN DE CHATARRA DE LA NAVE DE PRENSAS DE FORD ESPAÑA EN ALMUSSAFES (VALENCIA)"**

## **ANEJO Nº3 ESTUDIO DE SOLUCIONES**

Titulación: Grado en Ingeniería de Obras Públicas

Curso: 2015/16

Autor: Pablo Espinosa Lloret

Tutor: Pedro Antonio Calderón García

*Valencia, agosto de 2016*

## ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN .....	6
2.	VARIABLES CONDICIONANTES Y ASIGNACIÓN DE PESOS.....	6
3.	SITUACIÓN DE LA POSICIÓN DE LA NAVE INDUSTRIAL DENTRO DE LA PARCELA .....	9
4.	ELECCIÓN DE LA PENDIENTE DE LA CUBIERTA DE LA NAVE INDUSTRIAL.....	10
5.	ELECCIÓN DE LOS MATERIALES DE LA ESTRUCTURA DE LA NAVE .....	10
5.1.	Solución en acero estructural .....	11
5.2.	Solución en prefabricados de hormigón .....	12
6.	CERRAMIENTOS DE CUBIERTA Y FACHADA CONSIDERADOS .....	13
7.	ELECCIÓN DE TIPOLOGÍA DE SISTEMA ESTRUCTURAL METÁLICO .....	15
7.1.	Modulación entre pórticos.....	16
7.2.	Elección de cerramientos .....	16
8.	ANÁLISIS DE LAS POSIBLES SOLUCIONES ESTRUCTURALES METÁLICAS .....	16
8.1.	Tipología 1: Nave Industrial con Pórticos de nudos rígidos empotrados en cimentación materializados mediante perfiles laminados. ....	19
8.2.	Tipología 2: Nave Industrial de Pórticos tipo celosía. ....	23
8.3.	Tipología 3: Nave Industrial con Perfiles de Inercia Variable .....	26
8.4.	Elección de la solución más óptima .....	30
9.	ESTUDIO DE SOLUCIONES ESTRUCTURA DE PÓRTICO DE CELOSÍA.....	32
9.1.	Tipología 2.1: Nave Industrial de Pórticos tipo celosía con tirantes en fachada. ....	32
9.2.	Tipología 2.2: Nave Industrial de Pórticos tipo celosía con tirantes en fachada y cubierta. ....	36
9.2.1	<i>Nave Industrial de pórticos tipo celosía con tirantes en fachada y cubierta con una modulación de 4,29 metros entre pórticos. ....</i>	<i>41</i>
9.2.2	<i>Nave Industrial de pórticos tipo celosía con tirantes en fachada y cubierta con una modulación de 5 metros entre pórticos. ....</i>	<i>46</i>
9.2.3	<i>Nave Industrial de pórticos tipo celosía con tirantes en fachada y cubierta con una modulación de 7,5 metros entre pórticos .....</i>	<i>51</i>
9.2.4	<i>Elección de la solución más óptima entre pórticos de celosía.....</i>	<i>56</i>
10.	ELECCIÓN DE TIPOLOGÍA DE SISTEMA ESTRUCTURAL EN PREFABRICADOS DE HORMIGÓN	58
10.1.	Elección de cubierta y fachada.....	58
10.2.	Elección de correas.....	59
10.3.	Elección de sistema de pórticos óptimo .....	59

10.3.1	PÓRTICOS CADA 6 METROS. 5 VANOS. ....	60
10.3.2	PÓRTICOS CADA 7.5 METROS. 4 VANOS. ....	64
10.3.3	PÓRTICOS CADA 10 METROS. 3 VANOS. ....	66
10.3.4	PÓRTICOS CADA 15 METROS. 2 VANOS. ....	68
10.3.5	CUADRO RESUMEN .....	69
10.4.	Precios aproximados de PEM .....	69
10.4.1	PRECIO DE PÓRTICO TIPO.....	69
10.4.2	PRECIO DE MURO PIÑÓN .....	70
10.4.3	PRECIO DE CORREA DALLA .....	70
10.5.	Precio de la estructura de cada alternativa .....	70
10.6.	Selección de separación entre pórticos .....	71
11.	SOLUCIÓN FINAL TIPOLOGÍA ESTRUCTURA METÁLICA Y DE PREFABRICADOS DE HORMIGÓN. ....	72

## ÍNDICE FIGURAS

Figura 1:	Situación nave de chatarra en la Ford España .....	9
Figura 2:	Emplazamiento de la nave .....	10
Figura 3:	Ficha técnica chapa de altura 30 mm. Fuente: Incoperfil.....	17
Figura 4:	Pórtico tipo .....	18
Figura 5:	Pórtico rígido de fachada .....	20
Figura 6:	Pórtico rígido intermedio.....	20
Figura 7:	Cimentación Pórtico rígido .....	21
Figura 8:	Vista 3D Tipología1 Pórtico rígido .....	22
Figura 9:	Pórtico de celosía de fachada.....	23
Figura 10:	Pórtico de celosía intermedio .....	24
Figura 11:	Cimentación Pórtico de celosía.....	24
Figura 12:	Vista 3D Tipología 2 Pórtico de celosía.....	26
Figura 13:	Pórtico de Inercia variable de fachada .....	28
Figura 14:	Pórtico de Inercia variable intermedio .....	28
Figura 15:	Cimentación Pórtico Inercia variable.....	29
Figura 16:	Vista 3D Tipología 3 Pórtico de Inercia variable.....	30
Figura 17:	Pórtico de celosía de fachada con tirantes en fachada .....	33
Figura 18:	Pórtico de celosía intermedio con tirantes en fachada .....	33
Figura 19:	Alzado lateral de pórtico de celosía con tirantes en fachada.....	34
Figura 20:	Cimentación Pórtico de celosía con tirantes en fachada.....	34
Figura 21:	Vista 3D Tipología 2.1 Pórtico de celosía con tirantes en fachada.....	36
Figura 22:	Pórtico de celosía de fachada con tirantes en fachada y cubierta .....	37
Figura 23:	Pórtico de celosía intermedio con tirantes en fachada y cubierta.....	37
Figura 24:	Alzado lateral de pórtico de celosía con tirantes en fachada y cubierta .....	38
Figura 25:	Cimentación Pórtico de celosía con tirantes en fachada y cubierta .....	38
Figura 26:	Vista 3D Tipología 2.2 Pórtico de celosía con tirantes en fachada y cubierta.....	40
Figura 27:	Pórtico de celosía de fachada con tirantes en fachada y cubierta y modulación de 4,29 m .....	42
Figura 28:	Pórtico de celosía intermedio con tirantes en fachada y cubierta y modulación de 4,29 m .....	42
Figura 29:	Alzado lateral de pórtico de celosía con tirantes en fachada y cubierta y modulación de 4,29 m.....	43
Figura 30:	Cimentación Pórtico de celosía con tirantes en fachada y cubierta y modulación de 4,29 m.....	43

Figura 31: Vista 3D Pórtico de celosía con tirantes en fachada y cubierta y modulación de 4,29 m.....	45
Figura 32: Pórtico de celosía de fachada con tirantes en fachada y cubierta y modulación de 5 m .....	47
Figura 33: Pórtico de celosía intermedio con tirantes en fachada y cubierta y modulación de 5 m .....	47
Figura 34: Alzado lateral de pórtico de celosía con tirantes en fachada y cubierta y modulación de 5 m.....	48
Figura 35: Cimentación Pórtico de celosía con tirantes en fachada y cubierta y modulación de 5 m.....	48
Figura 36: Vista 3D Pórtico de celosía con tirantes en fachada y cubierta y modulación de 5 m.....	50
Figura 37: Pórtico de celosía de fachada con tirantes en fachada y cubierta y modulación de 7,5 m .....	52
Figura 38: Pórtico de celosía intermedio con tirantes en fachada y cubierta y modulación de 7,5 m .....	52
Figura 39: Alzado lateral de pórtico de celosía con tirantes en fachada y cubierta y modulación de 7,5 m.....	53
Figura 40: Cimentación Pórtico de celosía con tirantes en fachada y cubierta y modulación de 7,5 m.....	53
Figura 41: Vista 3D Tipología 2.2 Pórtico de celosía con tirantes en fachada y cubierta y modulación de 7,5 m...	55
Figura 42: Correa Dalla tipo.....	59
Figura 43: Disposición geométrica de correas tipo Dalla .....	60
Figura 44: Dimensiones estimadas de viga delta de 17 m de luz .....	60
Figura 45: Separación de 110.45cm entre correas con luces de 6m.....	61
Figura 46: Separación de 166cm entre correas con luces de 6.....	62
Figura 47: Separación de 266 cm entre correas con luces de 6m.....	63
Figura 48: Separación de 110.45cm entre correas con luces de 7.5m.....	64
Figura 49: Separación de 166cm entre correas con luces de 7.5m.....	65
Figura 50: Separación de 266cm entre correas con luces de 7.5m.....	66
Figura 51: Separación de 110.45cm entre correas con luces de 10m.....	67
Figura 52: de 166cm entre correas con luces de 10m .....	68
Figura 53: de 110.45cm entre correas con luces de 15m .....	69

## ÍNDICE TABLAS

Tabla 1: Resumen pesos variables.....	7
Tabla 2: Resumen de puntuación por tipología estructural .....	7
Tabla 3: Ficha técnica de panel sándwich tipo. Fuente: Grupo Panel Sandwich .....	14
Tabla 4: Valores característicos de sobrecargas de uso. Fuente: CTE-DB-SE-AE .....	18
Tabla 5: Resumen de medición estructura Pórtico rígido.....	21
Tabla 6: Resumen de medición zapatas pórtico rígido.....	21
Tabla 7: Resumen de medición vigas de atado pórtico rígido .....	22
Tabla 8: Resumen mediciones y precios pórtico rígido.....	22
Tabla 9: Resumen de medición estructura Pórtico de celosía .....	25
Tabla 10: Resumen de medición zapatas pórtico de celosía .....	25
Tabla 11: Resumen de medición vigas de atado pórtico de celosía .....	25
Tabla 12: Resumen mediciones y precios pórtico de celosía .....	26
Tabla 13: Resumen de medición estructura Pórtico de Inercia variable.....	29
Tabla 14: Resumen de medición zapatas pórtico de Inercia variable.....	29
Tabla 15: Resumen mediciones y precios pórtico de Inercia variable.....	30
Tabla 16: Resumen 3 tipologías.....	31
Tabla 17: Resumen de medición estructura Pórtico de celosía con tirantes en fachada.....	35
Tabla 18: Resumen de medición zapatas pórtico de celosía con tirantes en fachada.....	35
Tabla 19: Resumen de medición vigas de atado pórtico de celosía con tirantes en fachada.....	35
Tabla 20: Resumen mediciones y precios pórtico de celosía con tirantes en fachada .....	36
Tabla 21: Resumen de medición estructura Pórtico de celosía con tirantes en fachada y cubierta.....	39
Tabla 22: Resumen de medición zapatas pórtico de celosía con tirantes en fachada y cubierta.....	39
Tabla 23: Resumen de medición vigas de atado pórtico de celosía con tirantes en fachada y cubierta.....	40
Tabla 24: Resumen mediciones y precios pórtico de celosía con tirantes en fachada y cubierta.....	40
Tabla 25: Resumen de medición estructura Pórtico de celosía con tirantes en fachada y cubierta y modulación de 4,29 m.....	44
Tabla 26: Resumen de medición zapatas pórtico de celosía con tirantes en fachada y cubierta y modulación de 4,29 m.....	44



Tabla 27: Resumen de medición vigas de atado pórtico de celosía con tirantes en fachada y cubierta y modulación de 4,29 m .....	45
Tabla 28: Resumen mediciones y precios pórtico de celosía con tirantes en fachada y cubierta y modulación de 4,29 m .....	46
Tabla 29: Resumen de medición estructura Pórtico de celosía con tirantes en fachada y cubierta y modulación de 5 m .....	49
Tabla 30: Resumen de medición zapatas pórtico de celosía con tirantes en fachada y cubierta y modulación de 5 m .....	49
Tabla 31: Resumen de medición vigas de atado pórtico de celosía con tirantes en fachada y cubierta y modulación de 5 m .....	50
Tabla 32: Resumen mediciones y precios pórtico de celosía con tirantes en fachada y cubierta y modulación de 5 m .....	51
Tabla 33: Resumen de medición estructura Pórtico de celosía con tirantes en fachada y cubierta y modulación de 7,5 m .....	54
Tabla 34: Resumen de medición zapatas pórtico de celosía con tirantes en fachada y cubierta y modulación de 7,5 m .....	54
Tabla 35: Resumen de medición vigas de atado pórtico de celosía con tirantes en fachada y cubierta y modulación de 5 m .....	55
Tabla 36: Resumen mediciones y precios pórtico de celosía con tirantes en fachada y cubierta y modulación de 7,5 m .....	56
Tabla 37: Resumen distintas separaciones de pórticos .....	56
Tabla 38: Ficha técnica de correa tipo Dalla .....	59
Tabla 39: Cuadro resumen pórticos y mínimo de correas .....	69
Tabla 40: Resumen precios por separación de pórticos .....	70

## ÍNDICE GRÁFICAS

Gráfica 1: Comparativa por variables y tipología estructural .....	8
Gráfica 2: Comparativa total puntuación por tipología estructural .....	8
Gráfica 3: Comparativa por precio de las 3 soluciones de cimentación y estructura .....	31
Gráfica 4: Comparativa por precio de las 3 soluciones de cimentación y estructura .....	31
Gráfica 5: Comparativa por precio de las 4 separaciones de pórticos de correas cimentación y estructura .....	57
Gráfica 6: Comparativa precio total de las 4 separaciones de pórtico .....	57
Gráfica 7: Comparativa de precio de estructura de las distintas alternativas .....	71

## 1. INTRODUCCIÓN

El presente anejo titulado Estudio de Soluciones tiene como objeto la selección de la tipología de nave industrial más adecuada tal que satisfaga las necesidades de Ford España en Almussafes.

La selección de la solución más adecuada se desarrolla de la siguiente manera:

- 1) Seleccionando un conjunto de las variables más importantes que condicionen de forma significativa la elección de una tipología u otra.
- 2) Clasificando dichas variables según su importancia relativa asignándole a cada una de ellas un peso. Dicho peso se sintetiza en forma de valor cuantitativo porcentual.
- 3) Desarrollo de distintas soluciones y su valoración. Su valoración se realiza puntuando cada una de las variables seleccionadas asignándoles a cada una de estas un coeficiente del 1 al 10 según su idoneidad.
- 4) Elección de la solución de tipología de nave con mejor valoración.

El objetivo de este anejo es definir todas y cada una de las posibles características de la nave industrial que se va a proyectar en este proyecto. Se tratarán los siguientes aspectos:

- **Situación de la posición de la nave industrial dentro de la parcela**
- **Elección de la pendiente de la cubierta de la nave industrial.** Se elegirá la pendiente de la cubierta de la nave según una serie de parámetros como cargas de viento variantes en función de la inclinación de la cubierta, carga de la nieve y su evacuación de la cubierta, que pueden afectar al funcionamiento de la actividad de la nave.
- **Elección de los materiales de la estructura de la nave.** Se procederá a elegir el material a emplear en la estructura y en función del material elegido se conocerán las cargas a transmitir a la estructura de la nave industrial.
- **Elección de la tipología estructural de los pórticos.** Se han estudiado 4 opciones de tipologías de entre estas soluciones se elegirá la más conveniente tanto económicamente como por rapidez de ejecución tras realizar un análisis exhaustivo de las soluciones tras ver las ventajas e inconvenientes de cada una de las soluciones.
- **Elección de la separación de pórticos y de la separación entre correas.** La elección de la separación de los pórticos y de las correas dependen fundamentalmente de las cargas actuantes sobre la estructura de la nave industrial.
- **Elección del material de cerramiento.** Elegido fundamentalmente en base a la insonorización, protección frente al fuego, peso, y en menor medida aunque no menos importante en cuanto a cuestiones estéticas.

## 2. VARIABLES CONDICIONANTES Y ASIGNACIÓN DE PESOS

Las dos variables prioritarias son el coste inicial (Precio de Ejecución Material) de la solución propuesta y la seguridad de los trabajadores durante la ejecución de ésta.

Se considera también una variable significativa la rapidez de ejecución debido a que cuanto antes esté operativa la nave antes comenzará la factoría a producir. Por último cabe recalcar la importancia del coste de mantenimiento y por último factores estéticos.

A cada una de las variables mencionadas se le asigna una importancia relativa en forma de porcentaje, quedando de la siguiente manera:

VARIABLE	DENOMINACIÓN	PESO
Coste (PEM)	PEM	50%
Seguridad	SEG	20%
Plazo de ejecución	RAP	15%
Mantenimiento	MANT	10%
Factores estéticos	EST	5%

Tabla 1: Resumen pesos variables

$$\text{Valoración} = 0.5 * PEM + 0.20 * SEG + 0.15 * RAP + 0.1 * MANT + 0.05 * EST$$

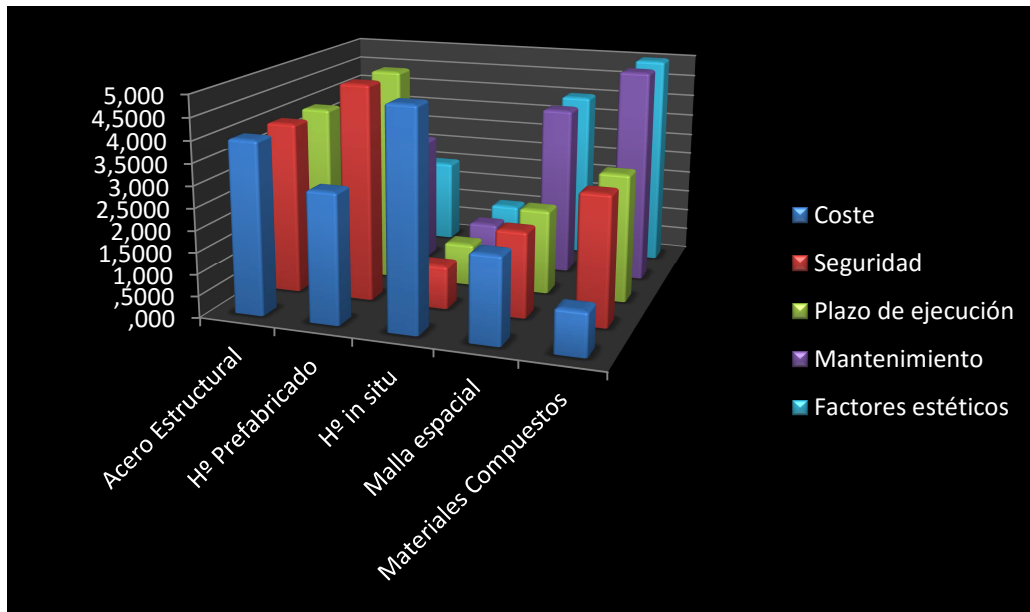
Se van a analizar estas 5 variables para las siguientes 5 tipologías estructurales puntuando de 1 a 5 de manera subjetiva su importancia dentro de cada caso obteniendo las siguientes tablas y gráficas:

- Acero estructural
- Hormigón prefabricado
- Hormigón in situ
- Malla espacial
- Materiales compuestos

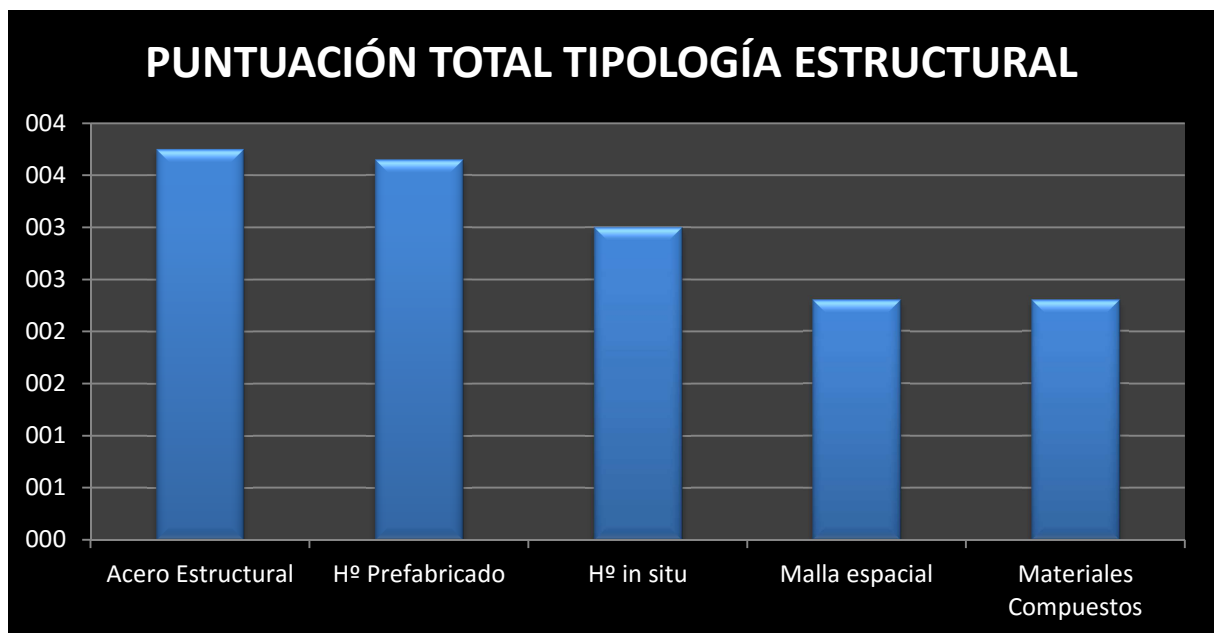
VARIABLE	PESO	TIPOLOGÍA ESTRUCTURAL				
		Acero Estructural	Hº Prefabricado	Hº in situ	Malla espacial	Materiales Compuestos
Coste	50%	4,00	3,00	5,00	2,00	1,00
Seguridad	20%	4,00	5,00	1,00	2,00	3,00
Plazo de ejecución	15%	4,00	5,00	1,00	2,00	3,00
Mantenimiento	10%	2,00	3,00	1,00	4,00	5,00
Factores estéticos	5%	3,00	2,00	1,00	4,00	5,00
TOTAL	100%	3,75	3,65	3,00	2,30	2,30

Tabla 2: Resumen de puntuación por tipología estructural

NOTA: El valor mayor es el mejor



Gráfica 1: Comparativa por variables y tipología estructural



Gráfica 2: Comparativa total puntuación por tipología estructural

De esta manera, se observa que para una construcción de una nave industrial de las características indicadas en el anejo del pliego de necesidades, las 2 opciones mejores son las de acero estructural y hormigón prefabricado puesto que son las que han obtenido mejores puntuaciones en la comparativa.

Por tanto, son las dos alternativas que se pasarán a analizar en el punto 5 y siguientes del presente anejo.

### 3. SITUACIÓN DE LA POSICIÓN DE LA NAVE INDUSTRIAL DENTRO DE LA PARCELA

La situación definitiva de la nave industrial dentro de la parcela viene marcada por la Factoría de Ford puesto que en este caso es la propiedad y decide la disposición y las dimensiones de la nave para albergar todas las instalaciones necesarias para la nueva línea de extracción de chatarra.

Las dimensiones definitivas de la nave industrial a proyectar será 30 m de larga y 17 m de ancha.

Dada la forma rectangular de la parcela, la disposición definitiva en planta más razonable es la que se muestra en los planos de este proyecto, ya que de esta forma permite una superficie alrededor de las zonas de acceso de la vía a la nave de ancho suficiente para que pueda ser posible la entrada y salida de vehículos para personal y pesados o de transporte de materiales.

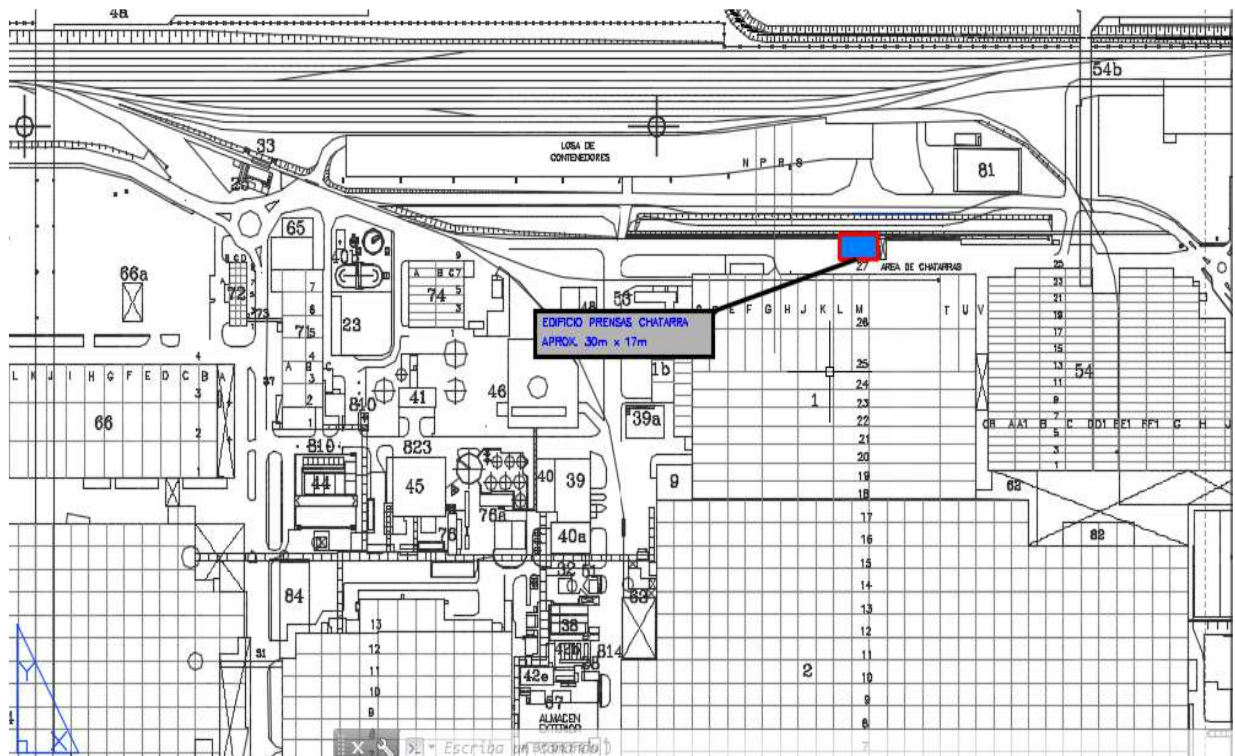


Figura 1: Situación nave de chatarra en la Ford España

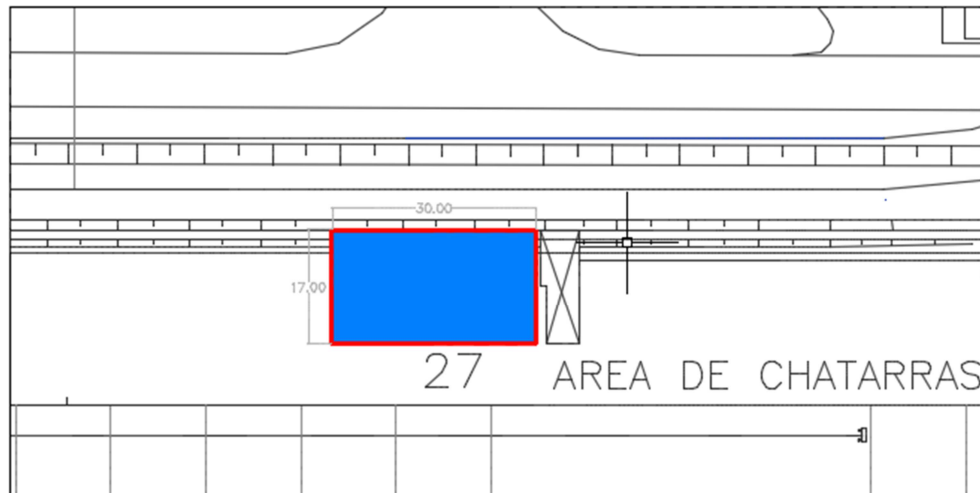


Figura 2: Emplazamiento de la nave

#### 4. ELECCIÓN DE LA PENDIENTE DE LA CUBIERTA DE LA NAVE INDUSTRIAL

El uso de la nave va a ser el de un taller de almacenamiento de chatarra por tanto la actividad a desarrollar en la nave industrial no condiciona la inclinación de la cubierta de la estructura.

La cubierta puede presentar varias posibilidades. Puede ser plana o inclinada, a una o dos aguas, también puede ser una cubierta en arco o con dientes de sierra, etc.

La cubierta se diseñará a dos aguas y con respecto a la pendiente las cubiertas de las naves industriales construidas con perfiles metálicos suelen estar por debajo del 25%. Las construidas con elementos prefabricados de hormigón suelen estar en torno al 10%.

Mientras más pendiente tenga una cubierta mejor suele trabajar la estructura, porque es más abovedada y porque la nieve resbalara mejor, además tendremos menos goteras.

Por otra parte mientras menos pendiente tenga, menos sensible es al viento.

Se colocaran pilares hastiales para conformar a la estructura una resistencia adecuada al viento frontal.

Se adopta una pendiente de alrededor del 12 % en estructura metálica, común para este tipo de edificaciones industriales en la zona donde se va a proyectar. En elementos prefabricados de hormigón viene determinado por la viga delta a emplear a modo de dintel de los pórticos, que para una luz de 17m, es del 10% conforme al catálogo comercial de PRAINSA.

#### 5. ELECCIÓN DE LOS MATERIALES DE LA ESTRUCTURA DE LA NAVE

Tras haber escogido las dimensiones de la nave y su posición dentro de la parcela se va a proceder a elegir los materiales de la nave industrial.

Quedando la Fórmula de valoración definida se procede a desarrollar diferentes soluciones. Dichas soluciones pertenecerán a las dos grandes alternativas para este tipo de edificaciones:

- Acero estructural
- Prefabricados de hormigón

En cada uno de los bloques se efectuará el desarrollo de diversas propuestas y se escogerá la óptima. En última instancia se procederá a la comparativa de la valoración de estos dos bloques.

### 5.1. Solución en acero estructural

#### *VENTAJAS DE ESTRUCTURA METÁLICA FRENTE A LA DE PREFABRICADOS DE HORMIGÓN:*

La principal ventaja del acero estructural es la alta resistencia mecánica y reducido peso propio, que conlleva a la necesidad de secciones resistentes reducidas frente a las solicitaciones existentes, por lo que los elementos estructurales suelen ser ligeros en comparación con elementos de hormigón in situ o prefabricado. Reducción aproximada de 200 Kg/m<sup>2</sup> (-33%) respecto a estructuras de Hormigón Armado.

Cuando el peso de la estructura es una parte muy importante de la carga solicitante como es el caso de las naves industriales hace a las estructuras metálicas insustituibles en aquellos casos en que el peso de la estructura es una parte sustancial de la carga total. En segundo lugar destacar otra ventaja como la facilidad de montaje y transporte debido a su ligereza, así como también la rapidez de su ejecución.

Otras ventajas:

- Gran resistencia al choque y a las solicitaciones dinámicas como sismos.
- Material homogéneo y de una calidad controlada garantizada por parte del fabricante
- Ausencia de deformaciones diferidas en el acero
- Ventajas de la prefabricación, elementos fabricados en taller unidos en obra mediante soldadura o tornillos de forma simple.
- Corto período de construcción, con rápida utilización y mínimos costes de capital.
- Reducción de las dimensiones de la estructura portante.
- Luces mayores entre pilares, lo que permitirá una entrada ágil y cómoda de camiones en la nave.
- Alta resistencia y ductilidad intrínseca del material.
- Fabricación en taller de algunos elementos. Lo cual facilita y acelera el montaje de estos en obra.
- Integración racional de los servicios (instalaciones) en la estructura metálica.
- Flexibilidad y adaptabilidad.
- Facilidad para cambios futuros.
- Fácil desmontaje y reutilización de la estructura metálica.
- Mínima perturbación para otras actividades
- Dimensiones reducidas de elementos (soportes), debido a su elevada relación resistencia/peso  $\Rightarrow$  grandes luces y menores medios auxiliares
- Rapidez de ejecución (especialmente en uniones atornilladas). Permite solapar plazo de ejecución de la cimentación y elementos metálicos en taller



### DESVENTAJAS DEL ACERO ESTRUCTURAL

- Son necesarios dispositivos adicionales para conseguir la rigidez (diagonales, nudos rígidos, pantallas, etc.)
- La elevada resistencia del material origina problemas de esbeltez.
- Es necesario proteger las estructuras metálicas de la corrosión y del fuego.
- El resultado de las uniones soldadas es dudoso, especialmente en piezas trabajando a tracción. (Defectos: falta de penetración, falta de fusión, poros y oclusiones, grietas, mordeduras, picaduras y desbordamientos)
- Excesiva flexibilidad, lo que produce un desaprovechamiento de la resistencia mecánica al limitar las flechas, y produce falta de confort al transmitir las vibraciones.

### PROPIEDADES DEL ACERO ESTRUCTURAL

- Las estructuras metálicas, al tomar grandes deformaciones, antes de producirse el fallo definitivo “avisan”.
- El material es homogéneo y la posibilidad de fallos humanos es mucho más reducida que en estructuras construidas con otros materiales. Lo que permite realizar diseños más ajustados, y por tanto más económicos.
- Ocupan poco espacio. Los soportes molestan muy poco, para efectos de la distribución interior, por lo que se obtiene buena rentabilidad a toda la superficie construida. Los cantos de las vigas son reducidos y los anchos aún son menores. En general las estructuras metálicas pesan poco y tienen elevada resistencia.
- Las estructuras metálicas no sufren fenómenos reológicos que, salvo deformaciones térmicas, deban tenerse en cuenta. Conservan indefinidamente sus excelentes propiedades.
- Estas estructuras admiten reformas, por lo que las necesidades y los usos pueden variar, adaptándose con facilidad a las nuevas circunstancias. Su refuerzo, en general, es sencillo.
- Las estructuras metálicas se construyen de forma rápida, ya que al ser elementos prefabricados, en parte, pueden montarse en taller. Asimismo tienen resistencia completa desde el instante de su colocación en obra.
- Al demolerlas todavía conserva el valor residual del material, ya que este es recuperable.

## 5.2. Solución en prefabricados de hormigón

### VENTAJAS DE ESTRUCTURA DE PREFABRICADOS DE HORMIGÓN FRENTE A LA METÁLICA:

- Mayor control en la realización de los elementos. Materiales, dosificación...
- Posibilidad de conseguir grandes luces debido a los efectos de pretensado.
- Buena resistencia al fuego.
- Rápida instalación. Reducción de tiempos de ejecución en obra.
- Disminución de personal en obra, eliminando así riesgos.

- Bajo coste de mantenimiento.
- Buenos acabados.
- Materiales reciclables o reutilizables.
- Mayor seguridad en el montaje.

#### INCONVENIENTES DE ESTRUCTURA DE PREFABRICADOS DE HORMIGÓN FRENTE A LA METÁLICA:

- Escasa resistencia frente a esfuerzos horizontales especialmente en fase de montaje y transporte, lo que induce a tomar especiales precauciones.
- Necesidad de personal y equipo especializado para las labores de acopio, transporte e izado.
- El transporte está influenciado por la normativa en vigor de cada país en cuanto a peso, longitud y anchura de los elementos y condicionado por las características geométricas de la propia vía.
- El diseño debe ser muy cuidadoso y el montaje muy preciso por las escasas tolerancias admisibles.

La segunda solución propuesta consiste en un sistema de pórticos con pilares de hormigón prefabricado sobre los cuales se apoyan vigas delta a modo de dintel. Sobre las vigas delta descansarán las correas, y sobre éstas últimas la cubierta, que quedará a dos aguas.

#### 6. CERRAMIENTOS DE CUBIERTA Y FACHADA CONSIDERADOS

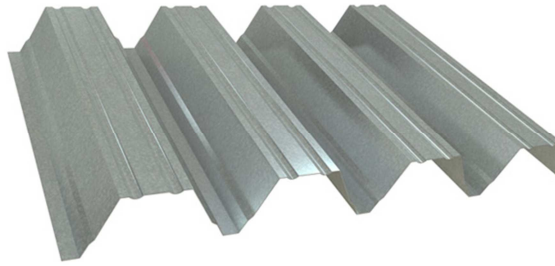
Características deseables: Impermeabilidad, protección de la radiación solar, protección frente al viento, estabilidad estructural y durabilidad.

Dado que la nave se encuentra en un polígono industrial no serán significativas las exigencias de aislamiento acústico y térmico. Se busca por tanto la cubierta más liviana y barata que cumpla las siguientes condiciones:

- Impermeabilidad
- Protección de la radiación solar
- Protección frente al viento
- Estabilidad estructural
- Durabilidad

Teniendo en cuenta esto, las soluciones consideradas son las expuestas a continuación:

1. Chapa grecada metálica con tirantes metálicos de rigidización en su plano.

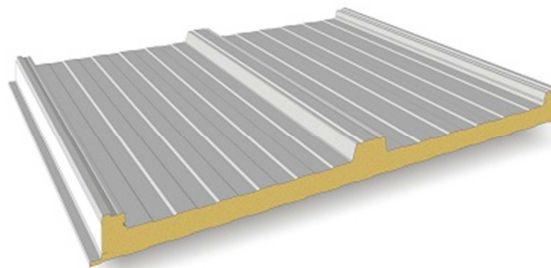


Espesor: 0.8mm

Peso: 0.08 KN/m<sup>2</sup>

PROS	CONTRAS
Durabilidad	Peor aislamiento térmico que tipo sándwich
Resistencia y ligereza	
Buen coste	

2. Cubierta tipo sándwich



Espesor: 30mm

Peso: 0.12 KN/m<sup>2</sup>

PROS	CONTRAS
Durabilidad	Mayor coste que chapa grecada
Buena resistencia	Mayor peso que chapa grecada
Buen comportamiento térmico y acústico	

Espesor del panel (mm)	Transmitancia Térmica (U) W/m <sup>2</sup> K	Peso del panel Acero/Acero (Kg/m <sup>2</sup> )
30	0.652	9.20
40	0.498	9.60
50	0.406	10.00
60	0.342	10.40
80	0.260	11.20
100	0.209	12.00
120	0.175	12.80

Tabla 3: Ficha técnica de panel sándwich tipo. Fuente: Grupo Panel Sandwich

### 3. Panel de cerramiento de hormigón prefabricado



Peso: 3 kN/m<sup>2</sup>

Longitud máxima: 5m

Resistencia al fuego EI-120

PROS	CONTRAS
Excelente resistencia al fuego	Peso elevado
Sencillez de montaje	
Buen comportamiento acústico	

## 7. ELECCIÓN DE TIPOLOGÍA DE SISTEMA ESTRUCTURAL METÁLICO

Debido a las importantes ventajas que presentan las estructuras metálicas y después de obtener la mayor puntuación en la comparativa del punto 2 del presente anejo, en lo que sigue se centrará el estudio en este tipo de construcciones.

En lo referente al sistema estructural, podemos encontrarnos con las siguientes posibilidades: - Nave única o nave doble. - Empotrada o articulada en los apoyos. - Con nudos rígidos o articulados. A la promotora del proyecto le interesa que la construcción se realice no solo basándose en el aspecto económico de coste del material sino también con la mayor celeridad posible, tanto en ejecución como puesta en servicio y en este aspecto la estructura metálica cobra ventaja sobre el hormigón. Pero además tiene otras ventajas como son la relación coste-mano de obra y la mayor facilidad frente a posibles ampliaciones, que aconsejan la estructura de acero más oportuna.

Para la elección del tipo de estructura y debemos analizar las diferentes tipologías para los diferentes usos específicos, los pórticos son una solución estándar y muy utilizada.

Al diseñar la nave se han tenido en cuenta las diferentes opciones de pórticos que se utilizan más comúnmente. La solución tipo pórtico se adapta a nuestra finalidad considerando que con otras soluciones no se consigue un espacio diáfano tan grande con un consumo más o menos óptimo de recursos.

Desde el punto de vista de la funcionalidad elegimos una estructura formada por pórticos metálicos orientada a disponer de un gran volumen interior, diáfano, con una capacidad de

soportar cargas media y disponiendo de nudos rígidos pudiendo llegar a longitudes máximas de 30-35 m.

Estudiaremos, basándonos en parámetros como el peso y el coste tanto material como de montaje y ejecución, distintas configuraciones estructurales metálicas para la luz de 17m ya definida.

### **7.1. Modulación entre pórticos**

En este tipo de estructuras la modulación óptima (distancia entre pórticos) es de 5m, basándonos en recomendaciones para esta tipología estructural. Con esta separación optimizamos las estructuras desde el punto de vista económico y desde el punto de vista de la comodidad de construcción y montaje. Dispondremos de 6 módulos de 5m para alcanzar los 30 metros totales de longitud de la nave. De todas formas, más adelante se analizan distintas modulaciones de pórticos para concluir que la modulación de 5 metros entre pórticos es la modulación idónea.

### **7.2. Elección de cerramientos**

Puesto que en el interior de la nave no van a trabajar personas sino que va a haber equipamiento necesario para el tratamiento de la chatarra que se extrae de la planta de prensas tanto el cerramiento de fachada como el de cubierta estará compuesto por chapa grecada simple de 0,8 mm de espesor y 30 mm de altura.

Son elementos que se han impuesto en la mayoría de edificaciones de este tipo cuando no se tienen que cumplir la normativa de aislamiento acústico y térmico.

Algunas de las ventajas de la utilización de esta solución son:

- Ahorro en el consumo energético, gran funcionalidad y estética.
- Aprovechamiento bajo cubierta inclinada.
- No supone una carga excesiva en la estructura (alrededor de 8 Kg/m<sup>2</sup>) permitiendo una mayor distancia entre apoyos.
- Sencillez en la instalación, seguridad y ligereza.
- Rapidez en cuanto a realización y montaje.

## **8. ANÁLISIS DE LAS POSIBLES SOLUCIONES ESTRUCTURALES METÁLICAS**

Una vez definidas las dimensiones en planta de la nave, la pendiente, el tipo de cubierta, los cerramientos y haber justificado la realización de la misma mediante acero estructural vamos a analizar las tres tipologías más comunes en cuando a la configuración de los pórticos ya descritos y sacaremos conclusiones en cuanto a coste y peso de la estructura entre otras variables para finalmente elegir y desarrollar una de ellas, la más óptima.

Las tipologías estructurales que se van a estudiar son:

Tipología 1: Nave Industrial con Pórticos de nudos rígidos empotrados en cimentación materializados mediante perfiles laminados.

Tipología 2: Nave Industrial de Pórticos tipo celosía.

Tipología 3: Nave Industrial con Perfiles de Inercia Variable.

Con este estudio se conocerá si el coste de una de estas soluciones debido al trabajo en taller es compensable al resto de soluciones propuestas, para las condiciones de luces, dimensiones etc. ya definidas.

En primer lugar utilizaremos el programa Generador de Pórticos para introducir las diferentes tipologías de pórticos y dimensionar las correas y su separación en cubierta y en fachada.

En primer lugar se fijan 5 vanos y una separación entre pórticos de 6 metros, es decir, 6 pórticos para dar los 30 metros totales.

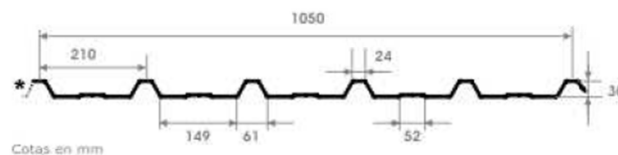
Utilizando este programa modelamos el pórtico típico al cual le aplicamos los datos correspondientes de peso de cerramientos y su sobrecarga, los huecos para el viento, coeficiente de exposición y la presión dinámica de éste según la localización al igual que la carga de nieve correspondiente.

Las acciones directas consideradas en el cálculo de la estructura y cimentación, conforme a CTE-DB-SE-A, "Código técnico de la edificación. Documento Básico de Seguridad Estructural. Acciones en la Edificación", son las siguientes:

- Cargas muertas:

Peso propio de chapa grecada de 0,8 mm: 8 kg/m<sup>2</sup>

#### DIMENSIONES



#### APLICACIONES

Cubiertas simples  
Cubiertas sandwich  
Encofrado perdido  
Falsos Techos

#### CARACT. MECÁNICAS DEL MATERIAL

Límite Elástico  $\geq 250$  N/mm<sup>2</sup>.  
Material Base Calidad S250GD  
Límite de rotura  $\geq 330$  N/mm<sup>2</sup>  
Módulo de elasticidad = 210.000 N/mm<sup>2</sup>  
Alargamiento de Rotura Min. 19%

#### VALORES EFICACES DEL PERFIL

Espesor	Peso	M. Inercia	M. Resistente (positivos)	M. Resistente (negativos)
mm	kg/m <sup>2</sup>	mm <sup>4</sup> /m	mm <sup>3</sup> /m	mm <sup>3</sup> /m
0,5	4,64	61.700	2.705	2.658
0,6	5,56	77.846	3.443	3.252
0,7	6,50	94.361	4.199	3.849
0,8	7,43	108.705	4.836	4.450
1	9,28	135.747	6.009	5.654

Figura 3: Ficha técnica chapa de altura 30 mm. Fuente: Incoperfil

- Sobrecargas:

Sobrecarga de uso para cubierta, con inclinación menor a 20°, accesible sólo para conservación: 1 kN/m<sup>2</sup>= 100 kg/m<sup>2</sup>, puesto que la pendiente es del 12%.

Categoría de uso		Subcategorías de uso		Carga uniforme [kN/m <sup>2</sup> ]	Carga concentrada [kN]
A	Zonas residenciales	A1	Viviendas y zonas de habitaciones en, hospitales y hoteles	2	2
		A2	Trasteros	3	2
B	Zonas administrativas			2	2
C	Zonas de acceso al público (con la excepción de las superficies pertenecientes a las categorías A, B, y D)	C1	Zonas con mesas y sillas	3	4
		C2	Zonas con asientos fijos	4	4
		C3	Zonas sin obstáculos que impidan el libre movimiento de las personas como vestíbulos de edificios públicos, administrativos, hoteles; salas de exposición en museos; etc.	5	4
		C4	Zonas destinadas a gimnasio u actividades físicas	5	7
		C5	Zonas de aglomeración (salas de conciertos, estadios, etc)	5	4
D	Zonas comerciales	D1	Locales comerciales	5	4
		D2	Supermercados, hipermercados o grandes superficies	5	7
E	Zonas de tráfico y de aparcamiento para vehículos ligeros (peso total < 30 kN)			2	20 <sup>(1)</sup>
F	Cubiertas transitables accesibles sólo privadamente <sup>(2)</sup>			1	2
G	Cubiertas accesibles únicamente para conservación <sup>(3)</sup>	G1	Cubiertas con inclinación inferior a 20°	1 <sup>(4)</sup>	2
		G2	Cubiertas con inclinación superior a 40°	0	2

Tabla 4: Valores característicos de sobrecargas de uso. Fuente: CTE-DB-SE-AE

Se ha considerado muretes de 1 metro de altura a base de bloques de hormigón de cerramiento donde descansará la chapa de fachada.

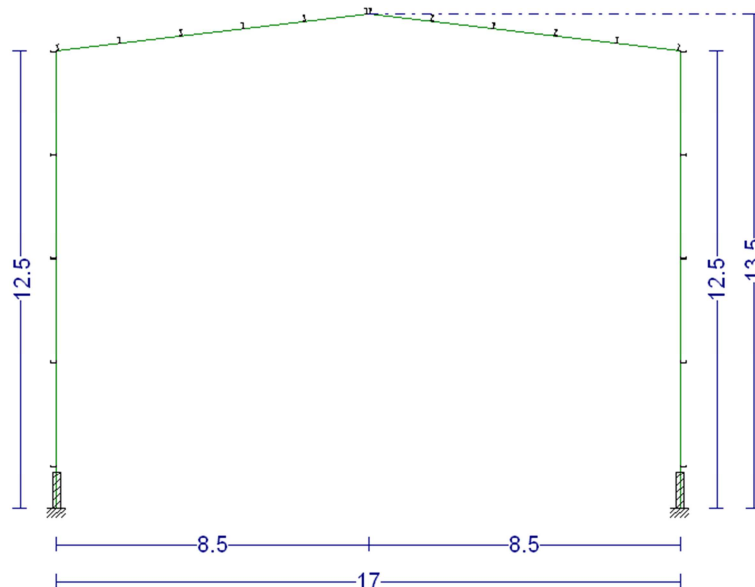


Figura 4: Pórtico tipo

A continuación se dimensionaran las correas de cubierta y de fachada de la misma manera para las tres tipologías introducidas.

- Correas de cubierta: Se ha supuesto una separación de correas de 1,80 metros



- Correas de fachada: Se ha supuesto una separación de correas de 2,875 metros

En ambos casos se impuso un límite de flecha de  $L/300$ , tres vanos para hacerlas continuas y tipo de fijación rígida. Así mismo se exigió al programa un tipo de perfil IPE dando como resultado un IPE-160.

La elección de una tipología u otra se basara en la que resulte más económica no solo en el aspecto de coste de material sino también en la rapidez de ejecución y puesta en servicio de la nave industrial, siendo este un aspecto fundamental a la hora de la elección de la tipología estructural definitiva de la nave industrial.

Una vez dimensionado el pórtico compararemos el precio de cada solución al que hay que añadirle el factor de rapidez y facilidad de construcción.

La tipología o solución estructural más rentable teniendo en cuenta estos factores mencionados será la que hemos escogido para resolver la estructura de la nave industrial al completo.

### **8.1. Tipología 1: Nave Industrial con Pórticos de nudos rígidos empotrados en cimentación materializados mediante perfiles laminados.**

A continuación se han exportado el pórtico del generador de pórticos al nuevo metal 3D para dimensionar los pilares y dinteles que conforman el pórtico imponiendo todos los nudos rígidos.

A la hora de realizar la exportación desde el generador de pórticos se ha considerado pórtico translacional en la dirección del pórtico e intranslacional en la dirección perpendicular asegurando el desplazamiento nulo en esta dirección.

La solución se diseña mediante perfiles laminados de acero S275, imponiendo perfiles HEB para los pilares y perfiles IPE para los dinteles. Para los pilares de los pórticos de fachada se han dispuesto con el alma perpendicular al plano de fachada mientras que para los pórticos intermedios se disponen con el alma paralela al plano. Para los dinteles se disponen IPE con el alma perpendicular al plano de la cubierta.

De ésta manera nos queda una disposición de los pórticos de fachada como de los intermedios según las figuras 6 y 7 siguientes:

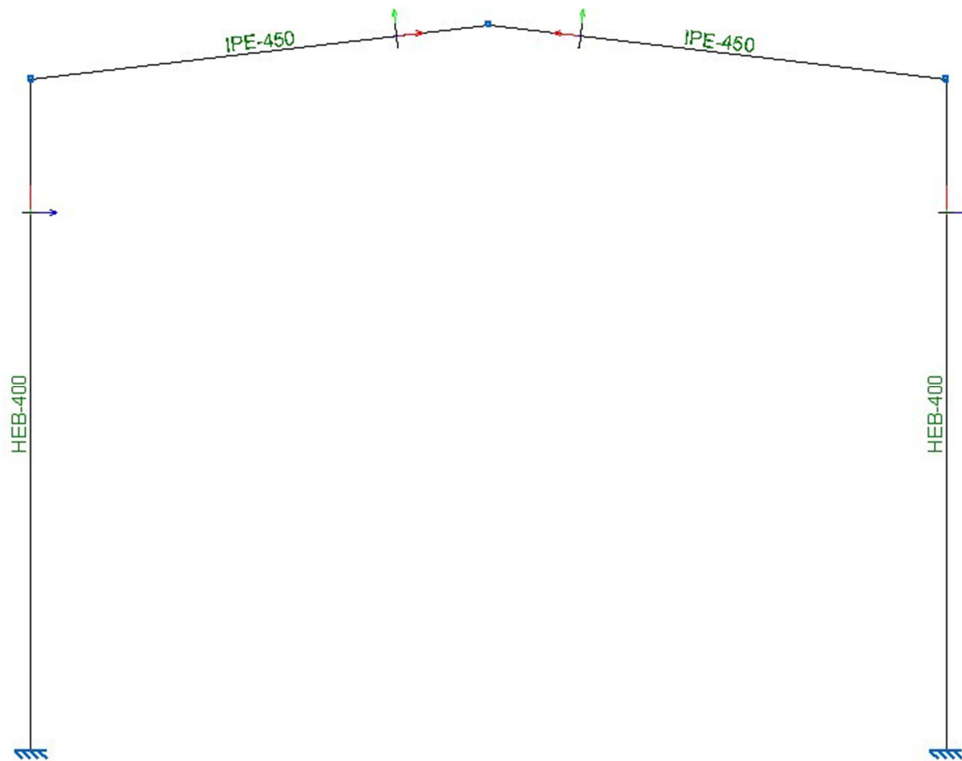


Figura 5: Pórtico rígido de fachada

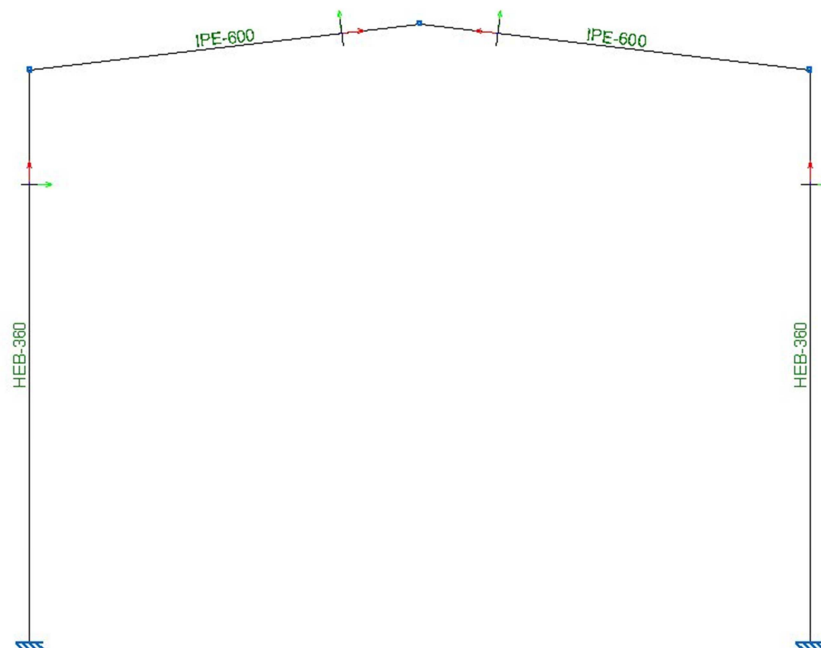


Figura 6: Pórtico rígido intermedio

Para la cimentación se han considerado vigas de atado con una disposición y medidas según la figura 8:

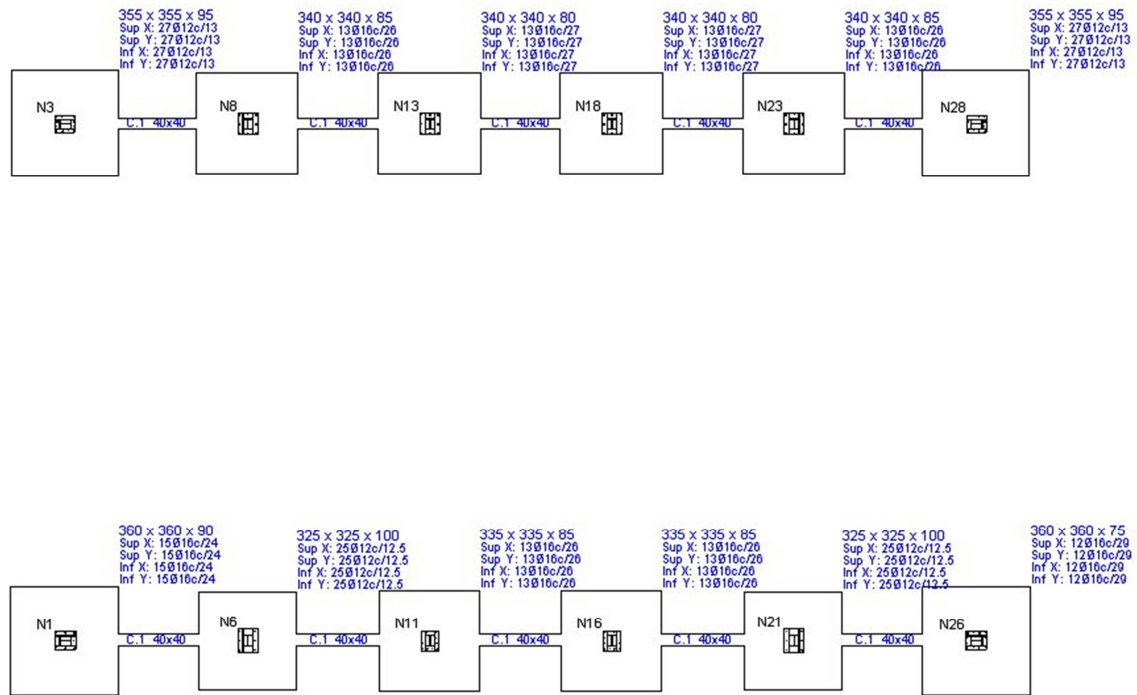


Figura 7: Cimentación Pórtico rígido

Con todo esto sale unas mediciones de la estructura y la cimentación siguientes:

Resumen de medición												
Material		Serie	Perfil	Longitud			Volumen			Peso		
Tipo	Designación			Perfil (m)	Serie (m)	Material (m)	Perfil (m³)	Serie (m³)	Material (m³)	Perfil (kg)	Serie (kg)	Material (kg)
Acero laminado	S275	HEB	HEB-400	50.000	150.000		0.989	2.795		7763.65	21940.75	
			HEB-360	100.000			1.806			14177.10		
			IPE-450	34.234			0.338			2655.16		
			IPE-600	51.352			0.796			6248.22		
			IPE-550	17.117			0.229			1800.56		
			IPE-330	90.000			0.563			4422.69		
		IPE			192.703			1.927		15126.63		
						342.703			4.722			37067.38

Tabla 5: Resumen de medición estructura Pórtico rígido

Elemento	B 500 S, Ys=1.15 (kg)			Hormigón (m³)	
	Ø12	Ø16	Total	HA-25, Yc=1.5	Limpieza
Referencia: N1		364.58	364.58	11.66	1.30
Referencias: N3 y N28	2x363.88		727.76	2x11.97	2x1.26
Referencias: N6 y N21	2x307.65		615.30	2x10.56	2x1.06
Referencias: N8 y N23		2x297.92	595.84	2x9.83	2x1.16
Referencias: N11 y N16		2x293.39	586.78	2x9.54	2x1.12
Referencias: N13 y N18		2x297.92	595.84	2x9.25	2x1.16
Referencia: N26		291.68	291.68	9.72	1.30
Totales	1343.06	2434.72	3777.78	123.68	14.09

Tabla 6: Resumen de medición zapatas pórtico rígido

Elemento	B 500 S, Ys=1.15 (kg)			Hormigón (m³)	
	Ø8	Ø12	Total	HA-25, Yc=1.5	Limpieza
Referencias: C.1 [N28-N23], C.1 [N6-N1], C.1 [N11-N6], C.1 [N26-N21], C.1 [N8-N3], C.1 [N16-N11], C.1 [N23-N18], C.1 [N13-N8], C.1 [N18-N13] y C.1 [N21-N16]	10x5.77	10x24.62	303.90	10x0.40	10x0.10
Totales	57.70	246.20	303.90	4.04	1.01

Tabla 7: Resumen de medición vigas de atado pórtico rígido

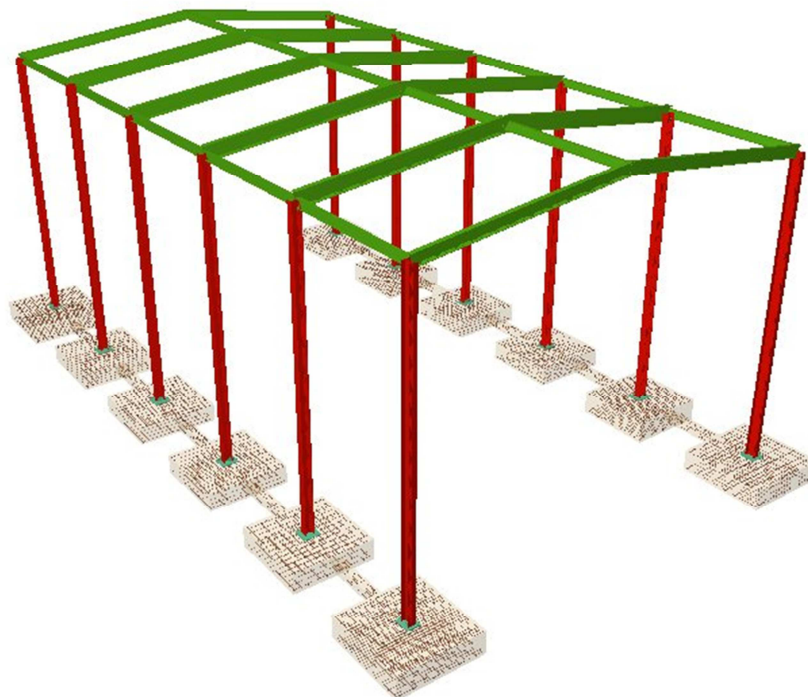


Figura 8: Vista 3D Tipología1 Pórtico rígido

A modo de resumen se expone la siguiente tabla para sacar el precio de esta tipología:

		TIPO	MEDICIÓN	PRECIO	IMPORTE
CORREAS	CUBIERTA	IPE-160	5.688,00 Kg	1,80 €/Kg	10.238,40 €
	FACHADA	IPE-160	4.740,00 Kg	1,80 €/Kg	8.532,00 €
ESTRUCTURA	PILARES	HEB-400 Y HEB-360	21.940,75 Kg	1,80 €/Kg	39.493,35 €
	VIGAS	IPE-330, IPE-450, IPE-550 Y IPE-600	15.126,63 Kg	1,80 €/Kg	27.227,93 €
CIMENTACIÓN	ZAPATAS	Excavación	137,77 m3	23,00 €/m3	3.168,71 €
		B-500 S	3.777,78 Kg	1,00 €/Kg	3.777,78 €
		HA-25	137,77 m3	82,00 €/m3	11.297,14 €
	VIGAS DE ATADO	Excavación	5,05 m3	23,00 €/m3	116,15 €
		B-500 S	303,90 Kg	1,00 €/Kg	303,90 €
		HA-25	5,05 m3	82,00 €/m3	414,10 €
				TOTAL	104.569,46 €

Tabla 8: Resumen mediciones y precios pórtico rígido

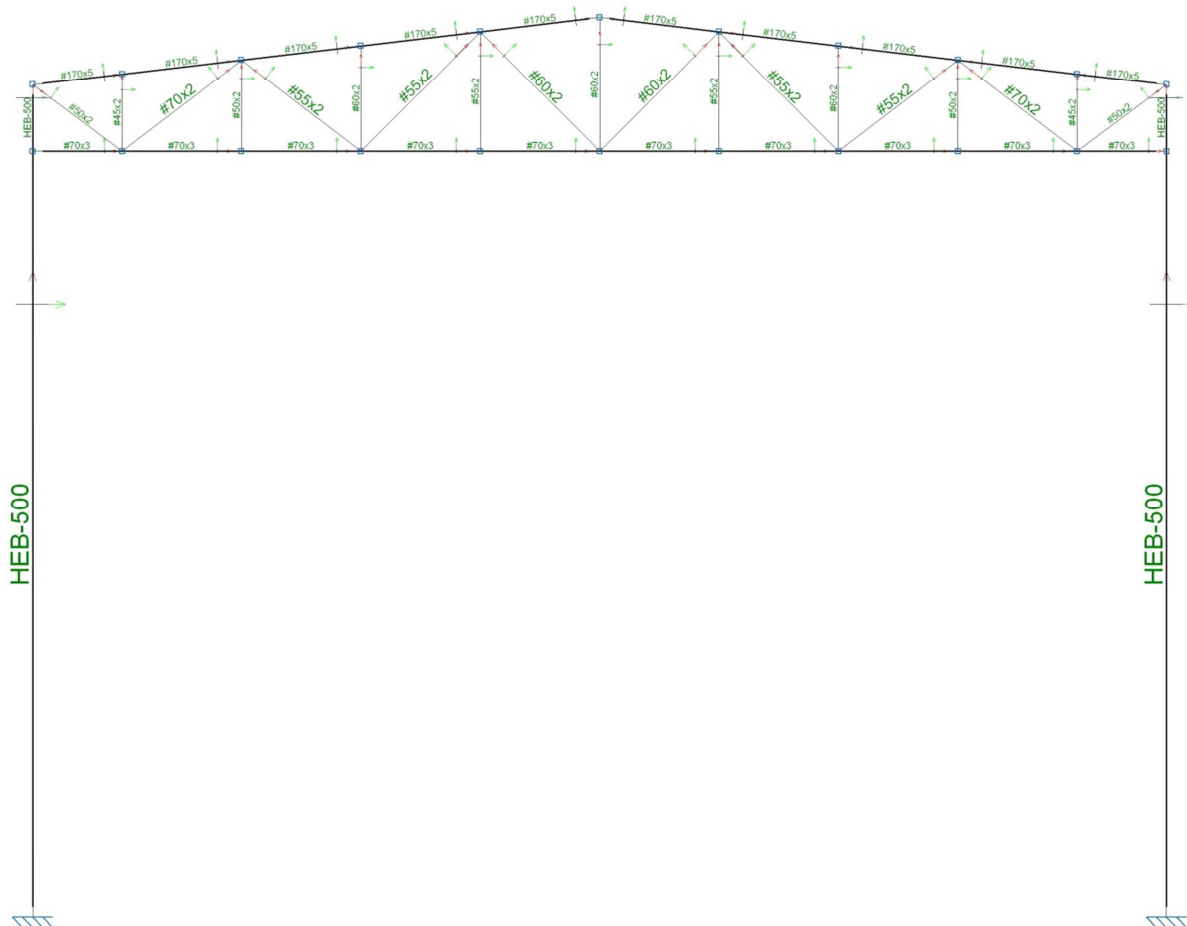
## 8.2. Tipología 2: Nave Industrial de Pórticos tipo celosía.

A continuación se han exportado el pórtico del generador de pórticos al nuevo metal 3D para dimensionar los pilares y dinteles que conforman el pórtico imponiendo todos los nudos rígidos.

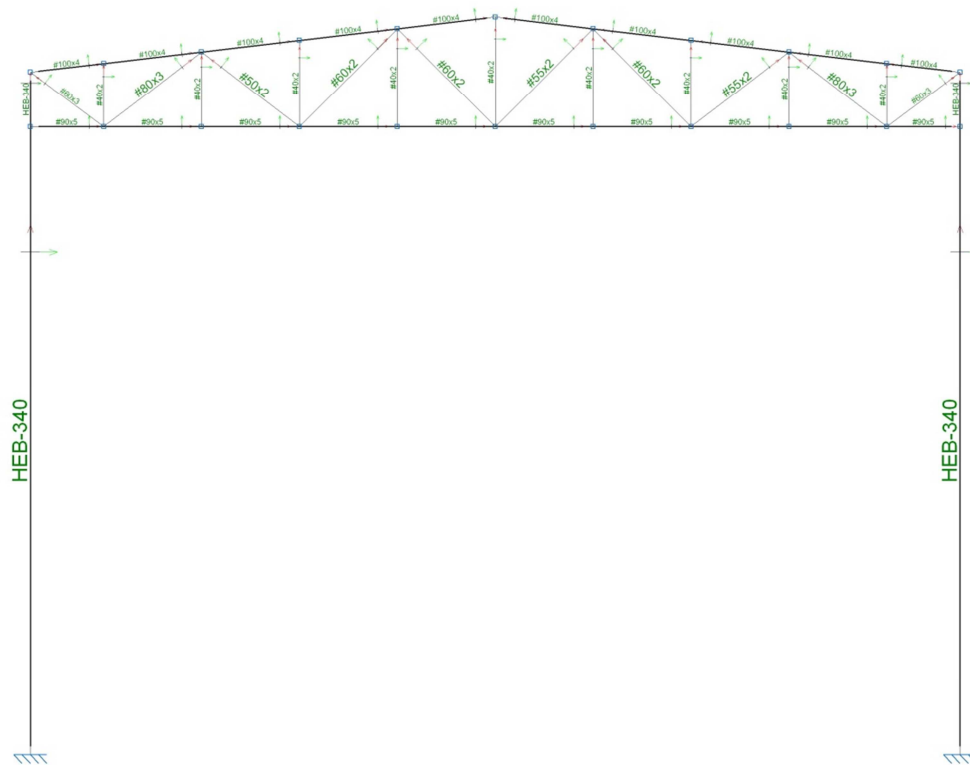
A la hora de realizar la exportación desde el generador de pórticos se ha considerado pórtico translacional en la dirección del pórtico e intranslacional en la dirección perpendicular asegurando el desplazamiento nulo en esta dirección.

La solución se diseña mediante perfiles laminados de acero S275, imponiendo perfiles HEB para los pilares y perfiles cuadrados para las celosías. Para los pilares de los pórticos de fachada se han dispuesto con el alma perpendicular al plano de fachada mientras que para los pórticos intermedios se disponen con el alma paralela al plano.

De ésta manera nos queda una disposición de los pórticos de fachada como de los intermedios según las figuras 8 y 9 siguientes:

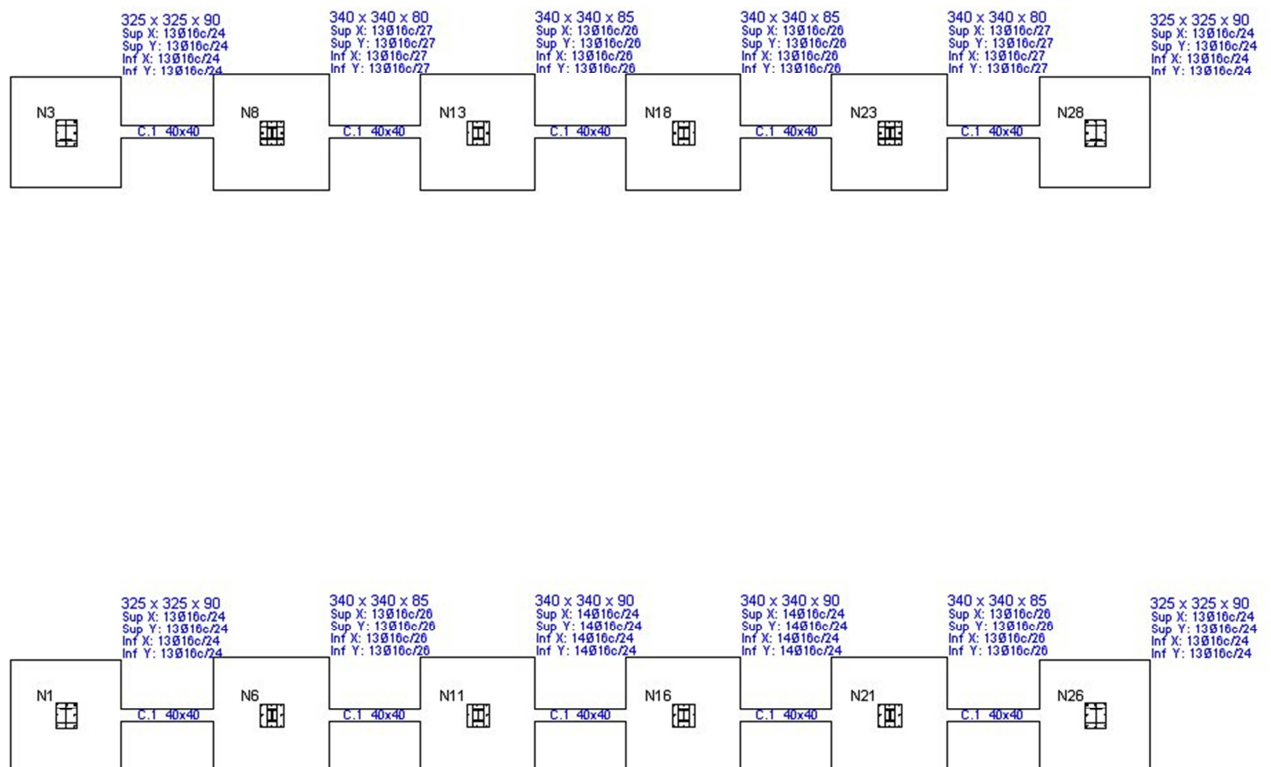


*Figura 9: Pórtico de celosía de fachada*



*Figura 10: Pórtico de celosía intermedio*

Para la cimentación se han considerado vigas de atado con una disposición y medidas según la figura 10:



*Figura 11: Cimentación Pórtico de celosía*

Con todo esto sale unas mediciones de la estructura y la cimentación siguientes:

Resumen de medición												
Material		Serie	Perfil	Longitud			Volumen			Peso		
Tipo	Designación			Perfil (m)	Serie (m)	Material (m)	Perfil (m³)	Serie (m³)	Material (m³)	Perfil (kg)	Serie (kg)	Material (kg)
Acero laminado	S275	HEB	HEB-450	50.000	150.000		1.090	2.799		8556.50	21972.15	
			HEB-340	100.000			1.709			13415.65		
			#170x5	34.234			0.110			862.05		
			#100x4	68.469			0.101			795.35		
			#90x5	68.000			0.109			858.22		
			#40x2	59.784			0.017			136.07		
			#60x3	13.376			0.009			68.22		
			#80x3	18.024			0.016			125.89		
			#50x2	16.170			0.006			46.96		
			#60x2	46.812			0.021			165.34		
			#55x2	48.961			0.020			157.56		
			#160x8	60.000			0.278			2185.01		
			#70x3	34.000			0.026			205.44		
			#45x2	5.473			0.002			14.18		
			#70x2	9.012			0.005			37.49		
			Huecos cuadrados		482.314			0.721			5657.78	
						632.314			3.520			27629.93

Tabla 9: Resumen de medición estructura Pórtico de celosía

Elemento	B 500 S, Ys=1.15 (kg)		Hormigón (m³)	
	Ø16	HA-25, Yc=1.5	Limpieza	
Referencias: N1, N3, N26 y N28	4x284.37	4x9.51	4x1.06	
Referencias: N6, N13, N18 y N21	4x297.92	4x9.83	4x1.16	
Referencias: N8 y N23	2x297.92	2x9.25	2x1.16	
Referencias: N11 y N16	2x320.85	2x10.40	2x1.16	
Totales	3566.70	116.63	13.47	

Tabla 10: Resumen de medición zapatas pórtico de celosía

Elemento	B 500 S, Ys=1.15 (kg)			Hormigón (m³)	
	Ø8	Ø12	Total	HA-25, Yc=1.5	Limpieza
Referencias: C.1 [N28-N23], C.1 [N6-N1], C.1 [N11-N6], C.1 [N26-N21], C.1 [N8-N3], C.1 [N16-N11], C.1 [N23-N18], C.1 [N13-N8], C.1 [N18-N13] y C.1 [N21-N16]	10x5.77	10x24.62	303.90	10x0.43	10x0.11
Totales	57.70	246.20	303.90	4.28	1.07

Tabla 11: Resumen de medición vigas de atado pórtico de celosía



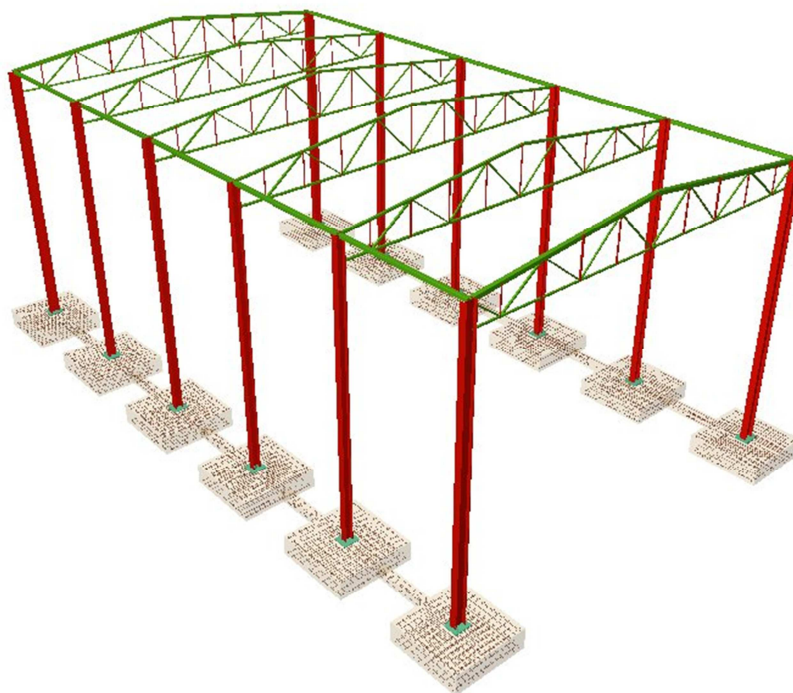


Figura 12: Vista 3D Tipología 2 Pórtico de celosía

A modo de resumen se expone la siguiente tabla para sacar el precio de esta tipología:

		TIPO	MEDICIÓN	PRECIO	IMPORTE
CORREAS	CUBIERTA	IPE-160	5.688,00 Kg	1,80 €/Kg	10.238,40 €
	FACHADA	IPE-160	4.740,00 Kg	1,80 €/Kg	8.532,00 €
ESTRUCTURA	PILARES	HEB-450 Y HEB-340	21.972,15 Kg	1,80 €/Kg	39.549,87 €
	CERCHAS	#170x5, #100x4, #90x5, #40x2, #60x3, #80x3, #50x2, #60x2, #55x2, #160x8, #70x3, #45x2 Y #70x2	5.657,78 Kg	1,80 €/Kg	10.184,00 €
CIMENTACIÓN	ZAPATAS	Excavación	130,10 m3	23,00 €/m3	2.992,30 €
		B-500 S	3.566,70 Kg	1,00 €/Kg	3.566,70 €
		HA-25	130,10 m3	82,00 €/m3	10.668,20 €
	VIGAS DE ATADO	Excavación	5,35 m3	23,00 €/m3	123,05 €
		B-500 S	303,90 Kg	1,00 €/Kg	303,90 €
		HA-25	5,35 m3	82,00 €/m3	438,70 €
				TOTAL	86.597,12 €

Tabla 12: Resumen mediciones y precios pórtico de celosía

### 8.3. Tipología 3: Nave Industrial con Perfiles de Inercia Variable

A continuación se han exportado el pórtico del generador de pórticos al nuevo metal 3D para dimensionar los pilares y dinteles que conforman el pórtico imponiendo todos los nudos rígidos, excepto la conexión al suelo que es una articulación.

La diferencia más transcendente del diseño de esta estructura es su conexión al suelo. Los pilares de sección variable se articulan al suelo.

Al no transmitir momentos a la cimentación, ésta se reduce ahorrando en este aspecto, al igual que con esta tipología se pueden llegar a una modulación entre pórticos de 10m reduciendo así el número total de zapatas.

De esta manera, se fijan 3 vanos y una separación entre pórticos de 10 metros para dar los 30 metros totales, con lo que las correas que salen de esta modulación son IPE-240.

Por ello los nudos deben ser extraordinariamente rígidos al igual que las barras para soportar mayores momentos flectores.

Haremos el perfil más robusto en las zonas donde más momento flector tenga que soportar.

En este juego de perfiles y en el ahorro en la cimentación vamos a basar nuestro ahorro económico que compararemos con los casos anteriores.

Para conseguir este perfil variable, cada dintel constara de dos barras distintas, una desde el pilar del punto medio y otra desde este punto hasta la cumbre.

Los perfiles de sección variable se arman soldando entre si chapas y platabandas, por lo que son perfiles armados.

Ahora vamos a definir los cantos, partiendo de un canto de 200 mm en la base donde no tenemos momentos y tendremos poca tensión y un canto de 550 en la cabeza del pilar o unión con el dintel donde estará nuestro momento máximo.

Se debe definir también la disposición de los rigidizadores de alma. Se disponen a diferentes alturas para arriostrar las barras y evitar el alabeo de las alas.

Mientras más arriostrados este el perfil menos sensible será al colapso por esbeltez. Se dispondrán cada 1500mm con un espesor de 7 mm.

Las barras de las bases de los dinteles se han dispuesto con un canto inicial de 350 y final de 150mm disponiéndose rigidizadores cada 2000mm con un espesor de 5 mm.

La barra final del dintel hasta la cumbrera tendrá un canto constante de 200mm.

A la hora de realizar la exportación desde el generador de pórticos se ha considerado pórtico translacional en la dirección del pórtico e intranslacional en la dirección perpendicular asegurando el desplazamiento nulo en esta dirección.

La solución se diseña mediante perfiles laminados de acero S275, imponiendo perfiles armados tanto para los pilares como para las vigas.

De ésta manera nos queda una disposición de los pórticos de fachada como de los intermedios según las figuras 13 y 14 siguientes:

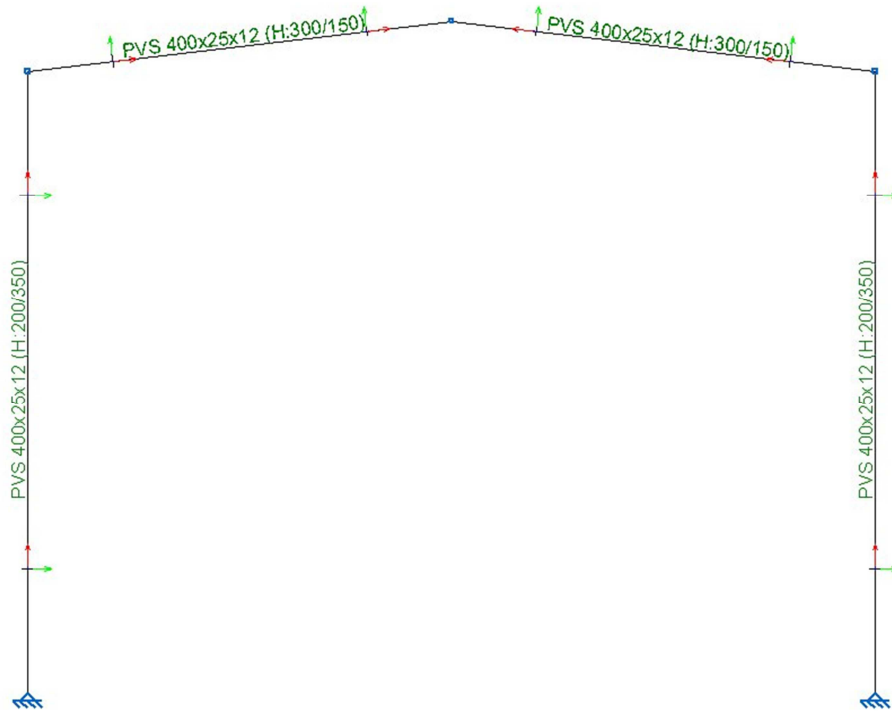


Figura 13: Pórtico de Inercia variable de fachada



Figura 14: Pórtico de Inercia variable intermedio

Para la cimentación no se han considerado vigas de atado con una disposición y medidas según la figura 16:

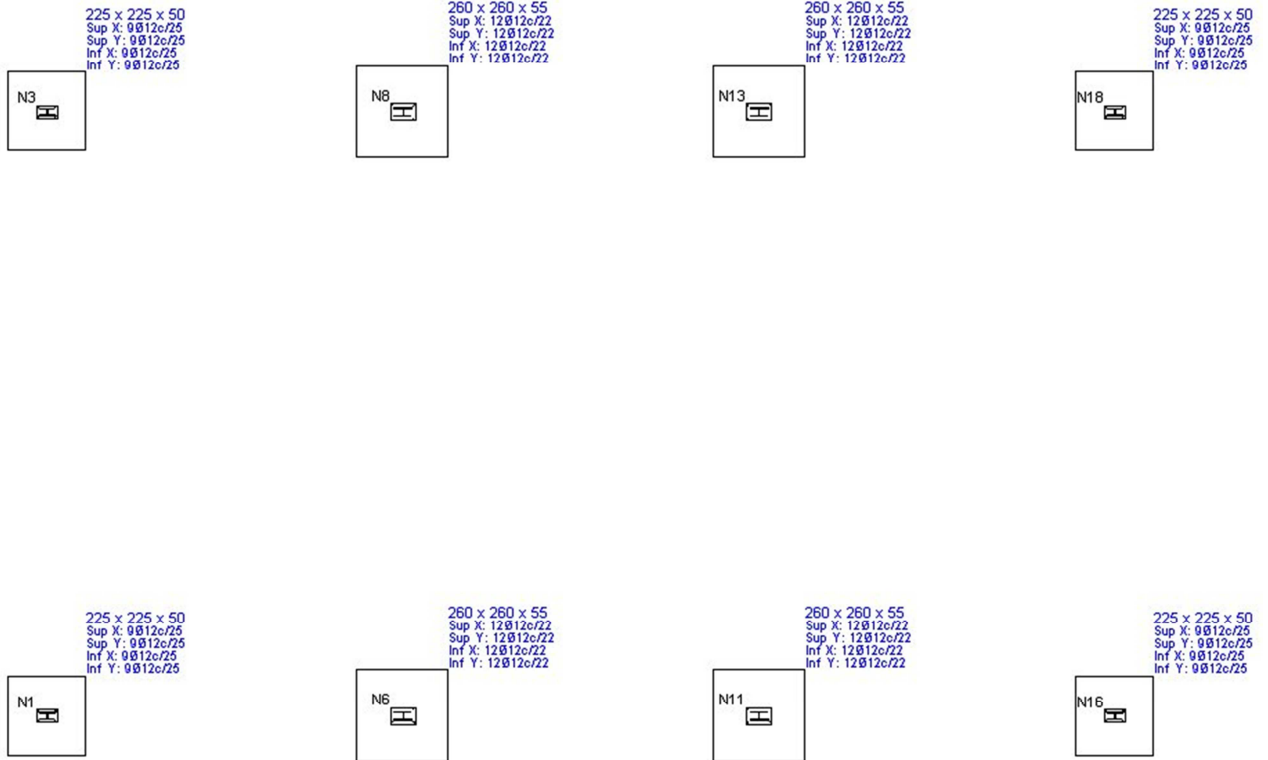


Figura 15: Cimentación Pórtico Inercia variable

Con todo esto sale unas mediciones de la estructura y la cimentación siguientes:

Resumen de medición												
Material		Serie	Perfil	Longitud			Volumen			Peso		
Tipo	Designación			Perfil (m)	Serie (m)	Material (m)	Perfil (m³)	Serie (m³)	Material (m³)	Perfil (kg)	Serie (kg)	Material (kg)
Acero laminado	S275	PVS	PVS 400x25x12 (H:200/350)	50.000			1.135			8909.75		
			PVS 400x25x12 (H:300/150)	34.234			0.757			5939.17		
			PVS 500x25x15 (H:250/550)	50.000			1.513			11873.13		
			PVS 500x30x15 (H:350/150)	34.234			1.125			8828.13		
			PVS 250x20x10 (H:200)	30.000			0.348			2731.80		
			PVS 300x15x10 (H:200)	30.000			0.321			2519.85		
					228.469			5.198			40801.83	
						228.469			5.198			40801.83

Tabla 13: Resumen de medición estructura Pórtico de Inercia variable

Elemento	B 500 S, Ys=1.15 (kg)	Hormigón (m³)	
	Ø12	HA-25, Yc=1.5	Limpieza
Referencias: N1, N3, N16 y N18	4x75.59	4x2.53	4x0.51
Referencias: N6, N8, N11 y N13	4x117.22	4x3.72	4x0.68
Totales	771.24	25.00	4.73

Tabla 14: Resumen de medición zapatas pórtico de Inercia variable

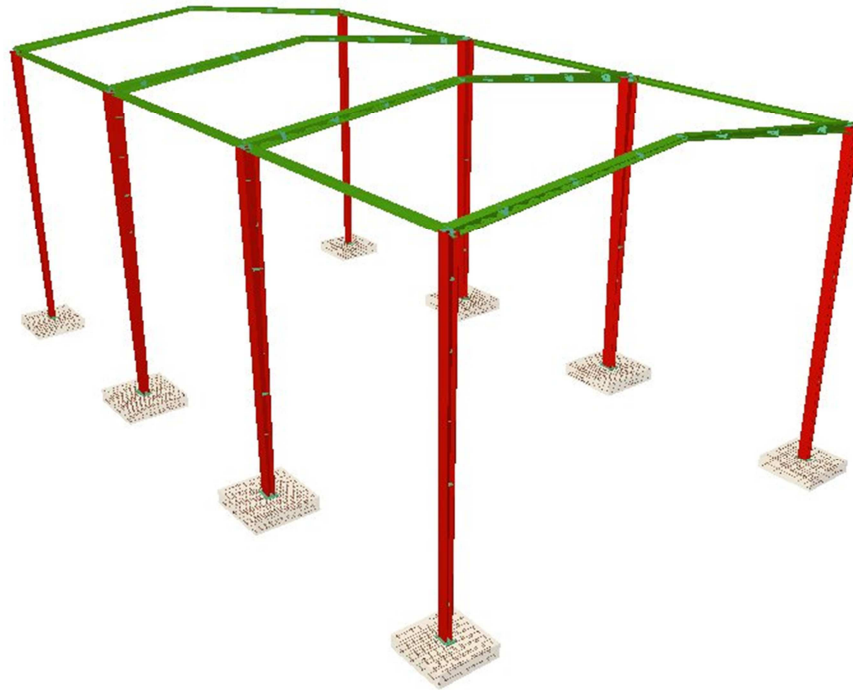


Figura 16: Vista 3D Tipología 3 Pórtico de Inercia variable

A modo de resumen se expone la siguiente tabla para sacar el precio de esta tipología:

		TIPO	MEDICIÓN	PRECIO	IMPORTE
CORREAS	CUBIERTA	IPE-240	11.052,00 Kg	1,80 €/Kg	19.893,60 €
	FACHADA	IPE-240	9.210,00 Kg	1,80 €/Kg	16.578,00 €
ESTRUCTURA	PILARES	PVS 400x25x12 (H:200/350) PVS 500x25x15 (H:250/550)	20.782,88 Kg	1,80 €/Kg	37.409,18 €
	VIGAS	PVS 400x25x12 (H:300/150) PVS 500x30x15 (H:350/150) PVS 250x20x10 (H:200) PVS 300x15x10 (H:200)	20.018,95 Kg	1,80 €/Kg	36.034,11 €
CIMENTACIÓN	ZAPATAS	Excavación	29,73 m3	23,00 €/m3	683,79 €
		B-500 S	771,24 Kg	1,00 €/Kg	771,24 €
		HA-25	29,73 m3	82,00 €/m3	2.437,86 €
				TOTAL	113.807,78 €

Tabla 15: Resumen mediciones y precios pórtico de Inercia variable

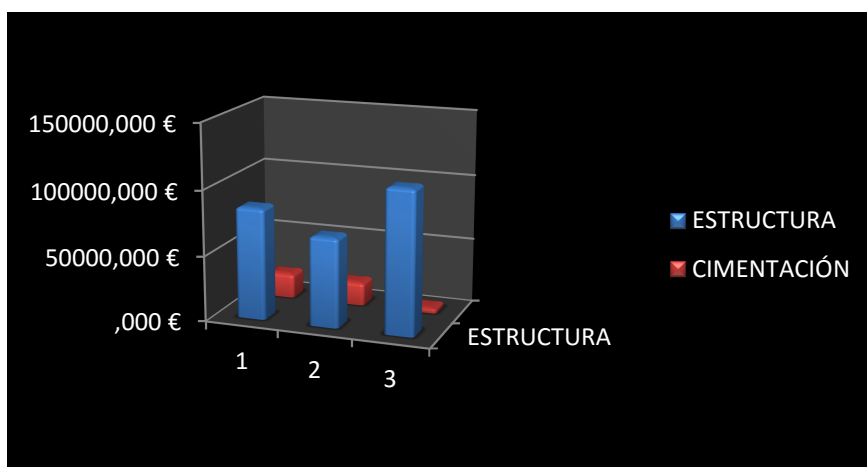
#### 8.4. Elección de la solución más óptima

Una vez se han dimensionado y calculado las tres tipologías descritas para un pórtico tipo con las dimensiones y acciones de nuestra nave industrial, procedemos a valorar y justificar cuál de ellas es más conveniente proyectar basándonos en principalmente en aspectos como el peso de la estructura y cimentación y el coste facilidad de montaje, ejecución, transporte y otros criterios funcionales.

La tablas y gráfica siguientes recogen para cada tipología descrita todos estos criterios y resultados obtenidos con el fin de valorar y elegir la más óptima.

TIPOLOGÍA	DESCRIPCIÓN	ESTRUCTURA		CIMENTACIÓN		TOTAL
		MEDICIÓN	IMPORTE	MEDICIÓN	IMPORTE	
1	PÓRTICO RÍGIDO	47.495,38 Kg	85.491,68 €	142,82 m3	19.077,78 €	<b>104.569,46 €</b>
2	PÓRTICO DE CELOSÍA	38.057,93 Kg	68.504,27 €	135,45 m3	18.092,85 €	<b>86.597,12 €</b>
3	PÓRTICO DE INERCIA VARIABLE	61.063,83 Kg	109.914,89 €	29,73 m3	3.892,89 €	<b>113.807,78 €</b>

Tabla 16: Resumen 3 tipologías



Gráfica 3: Comparativa por precio de las 3 soluciones de cimentación y estructura



Gráfica 4: Comparativa por precio de las 3 soluciones de cimentación y estructura

Puesto que como se puede observar de las tres alternativas estudiadas la más económica es la de pórtico con celosía con una reducción del 23,91 % respecto de la solución de pórtico de inercia variable y del 17,19 % respecto de la solución de pórtico rígido, a continuación se analizará la solución de celosía considerando arriostramientos a modo de cruces de San Andrés sólo en fachada y en fachada y cubierta.

## 9. ESTUDIO DE SOLUCIONES ESTRUCTURA DE PÓRTICO DE CELOSÍA

A continuación después de analizar que la solución más óptima es la de pórtico de celosía, veamos otras alternativas considerando los arriostramientos a modo de tirantes dentro de esta tipología. Esto produce un efecto que garantiza que las cabezas de los pilares hastiales no sufran desplazamiento en el sentido longitudinal de la nave, impidiendo que estos se salgan del plano del pórtico que los contiene.

Tipología 2.1: Nave Industrial de Pórticos tipo celosía con tirantes en fachada.

Tipología 2.2: Nave Industrial de Pórticos tipo celosía con tirantes en fachada y cubierta.

### 9.1. Tipología 2.1: Nave Industrial de Pórticos tipo celosía con tirantes en fachada.

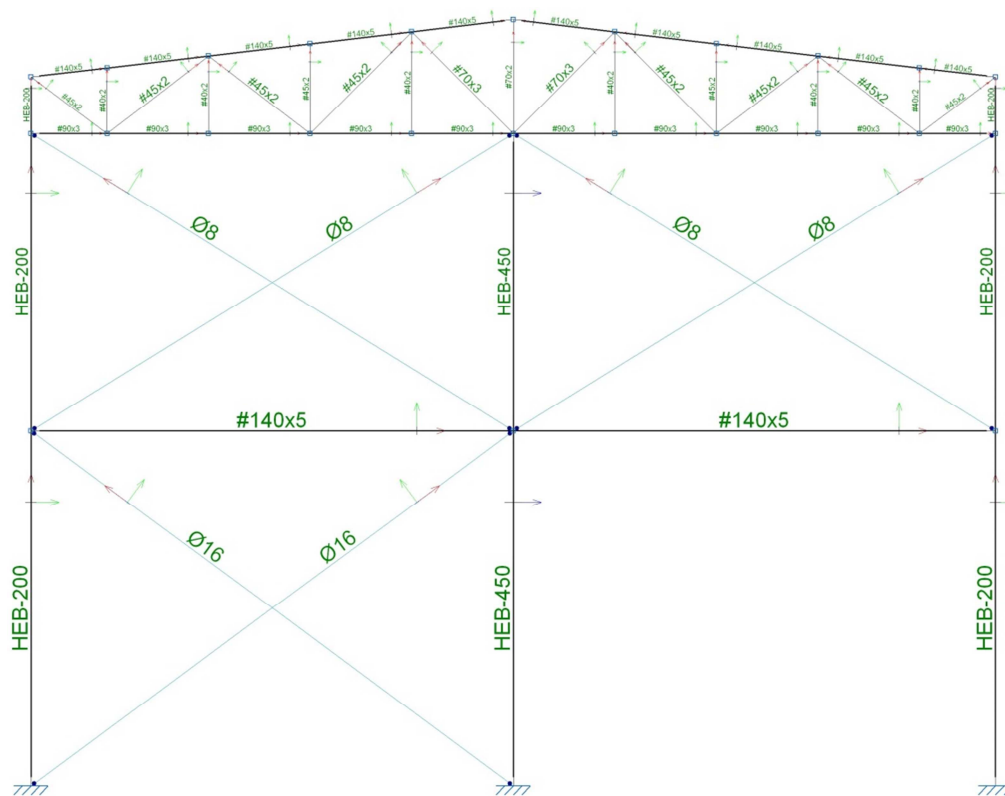
A continuación se han exportado el pórtico del generador de pórticos al nuevo metal 3D para dimensionar los pilares y dinteles que conforman el pórtico imponiendo todos los nudos rígidos.

A la hora de realizar la exportación desde el generador de pórticos se ha considerado pórtico translacional en la dirección del pórtico e intranslacional en la dirección perpendicular asegurando el desplazamiento nulo en esta dirección.

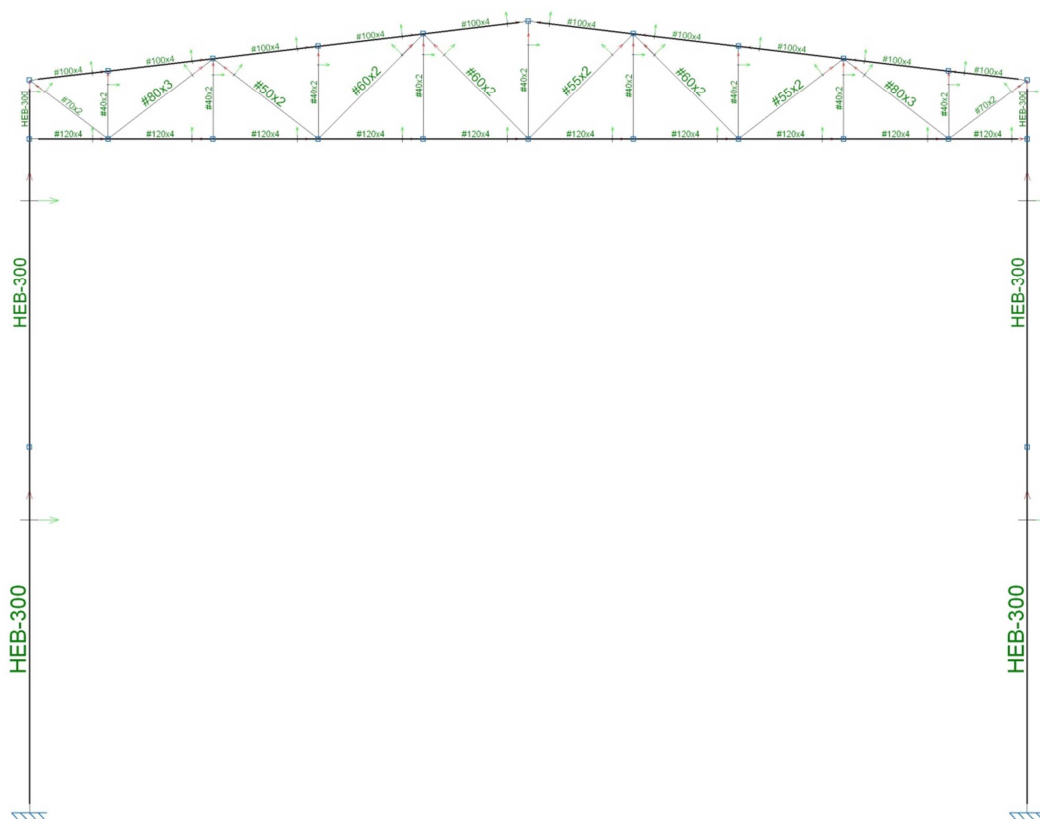
La solución se diseña mediante perfiles laminados de acero S275, imponiendo perfiles HEB para los pilares, perfiles cuadrados para las celosías y cables redondos para los tirantes de fachada. Para los pilares de los pórticos de fachada se han dispuesto con el alma perpendicular al plano de fachada mientras que para los pórticos intermedios se disponen con el alma paralela al plano.

De ésta manera nos queda una disposición de los pórticos de fachada como de los intermedios según las figuras 18 y 19 siguientes:





*Figura 17: Pórtico de celosía de fachada con tirantes en fachada*



*Figura 18: Pórtico de celosía intermedio con tirantes en fachada*

El alzado lateral queda de la siguiente manera:

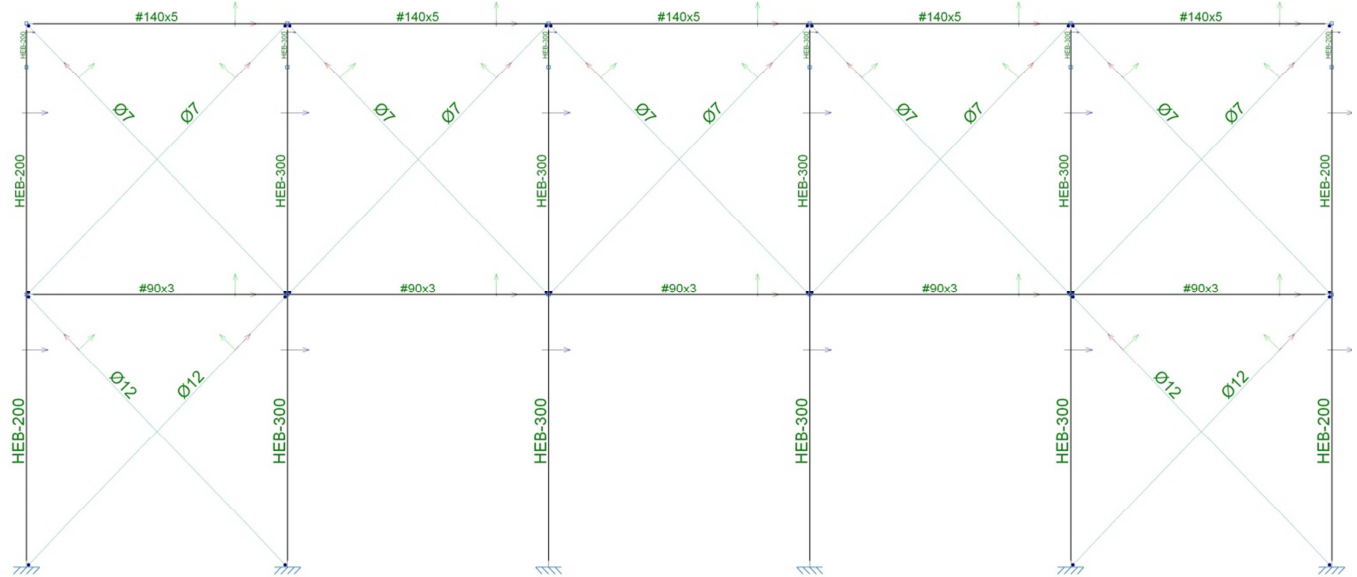


Figura 19: Alzado lateral de pórtico de celosía con tirantes en fachada

Para la cimentación se han considerado vigas de atado con una disposición y medidas según la figura 21:

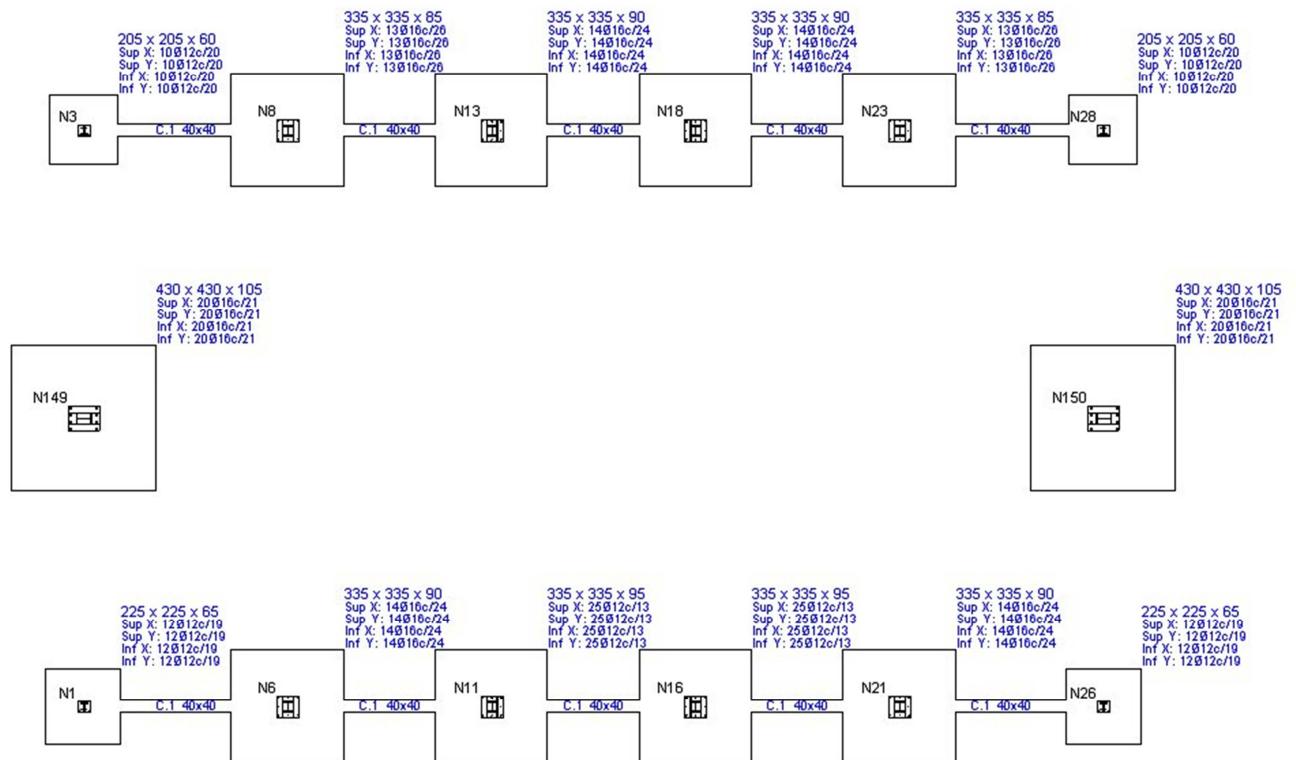


Figura 20: Cimentación Pórtico de celosía con tirantes en fachada

Con todo esto sale unas mediciones de la estructura y la cimentación siguientes:

Resumen de medición												
Material		Serie	Perfil	Longitud			Volumen			Peso		
Tipo	Designación			Perfil (m)	Serie (m)	Material (m)	Perfil (m³)	Serie (m³)	Material (m³)	Perfil (kg)	Serie (kg)	Material (kg)
Acero laminado	S275	HEB	HEB-200	50.000	173.000		0.390	2.383		3065.42	18705.76	
			HEB-300	100.000			1.491			11704.35		
			HEB-450	23.000			0.501			3935.99		
			#140x5	128.234			0.334			2625.07		
			#100x4	68.469			0.101			795.35		
			#120x4	68.000			0.122			960.72		
			#40x2	72.414			0.021			164.82		
			#70x2	17.376			0.009			72.29		
			#80x3	18.024			0.016			125.89		
			#50x2	9.012			0.003			26.17		
		Huecos cuadrados	#60x2	30.372	576.314		0.014	0.745		107.28	5852.00	
			#55x2	19.136			0.008			61.58		
			#90x3	94.000			0.095			745.08		
			#45x2	41.152			0.014			106.59		
			#70x3	10.124			0.008			61.17		
			Ø8	79.925			0.004			31.54		
			Ø16	42.202			0.008			66.61		
			Ø7	173.277			0.007			52.35		
			Ø12	69.311			0.008			61.54		
		Redondos			364.715			0.027			212.03	
						1114.029			3.155			24769.80

Tabla 17: Resumen de medición estructura Pórtico de celosía con tirantes en fachada

Elemento	B 500 S, Ys=1.15 (kg)			Hormigón (m³)	
	Ø12	Ø16	Total	HA-25, Yc=1.5	Limpieza
Referencias: N1 y N26	2x100.80		201.60	2x3.29	2x0.51
Referencias: N3 y N28	2x76.16		152.32	2x2.52	2x0.42
Referencias: N6, N13, N18 y N21		4x315.96	1263.84	4x10.10	4x1.12
Referencias: N8 y N23		2x293.39	586.78	2x9.54	2x1.12
Referencias: N11 y N16	2x317.42		634.84	2x10.66	2x1.12
Referencias: N149 y N150		2x583.35	1166.70	2x19.41	2x1.85
Totales	988.76	3017.32	4006.08	131.26	14.53

Tabla 18: Resumen de medición zapatas pórtico de celosía con tirantes en fachada

Elemento	B 500 S, Ys=1.15 (kg)			Hormigón (m³)	
	Ø8	Ø12	Total	HA-25, Yc=1.5	Limpieza
Referencias: C.1 [N18-N13], C.1 [N6-N1], C.1 [N16-N11], C.1 [N21-N16], C.1 [N8-N3], C.1 [N23-N18], C.1 [N13-N8], C.1 [N28-N23], C.1 [N11-N6] y C.1 [N26-N21]	10x5.77	10x24.62	303.90	10x0.42	10x0.11
Totales	57.70	246.20	303.90	4.24	1.06

Tabla 19: Resumen de medición vigas de atado pórtico de celosía con tirantes en fachada

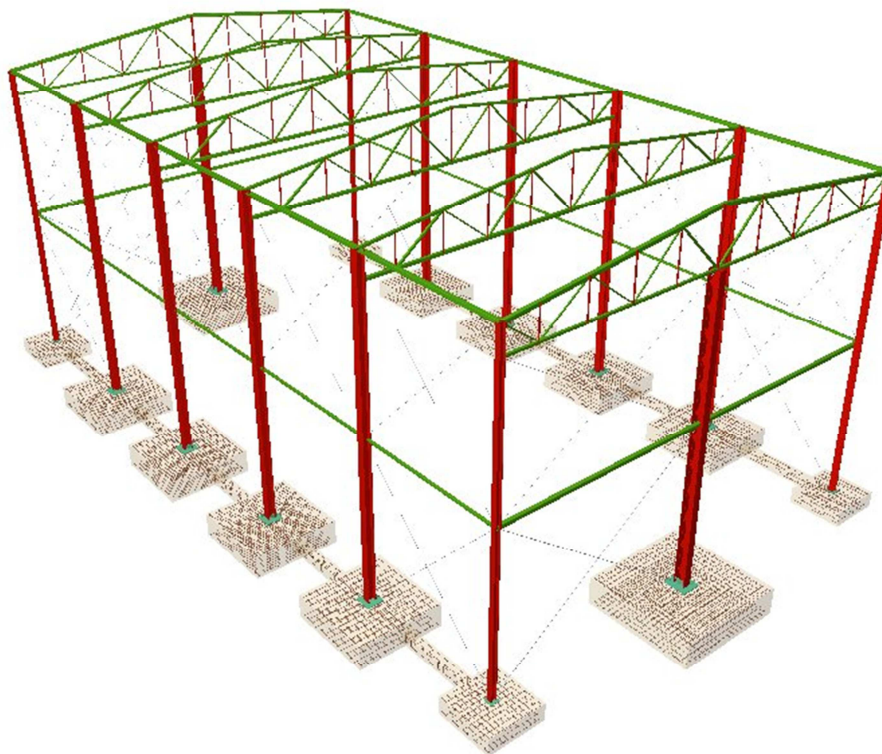


Figura 21: Vista 3D Tipología 2.1 Pórtico de celosía con tirantes en fachada

A modo de resumen se expone la siguiente tabla para sacar el precio de esta tipología:

		TIPO	MEDICIÓN	PRECIO	IMPORTE
CORREAS	CUBIERTA	IPE-160	5.688,00 Kg	1,80 €/Kg	10.238,40 €
	FACHADA	IPE-160	4.740,00 Kg	1,80 €/Kg	8.532,00 €
ESTRUCTURA	PILARES	HEB-200, HEB-300 Y HEB-450	18.705,76 Kg	1,80 €/Kg	33.670,37 €
	CERCHAS	#140x5, #100x4, #120x4, #40x2, #70x2, #80x3, #50x2, #60x2, #55x2, #90x3, #45x2 y #70x3	5.852,00 Kg	1,80 €/Kg	10.533,60 €
	TIRANTES	Ø8, Ø16, Ø7 y Ø12	212,03 Kg	1,80 €/Kg	381,65 €
CIMENTACIÓN	ZAPATAS	Excavación	145,79 m3	23,00 €/m3	3.353,17 €
		B-500 S	4.006,08 Kg	1,00 €/Kg	4.006,08 €
		HA-25	145,79 m3	82,00 €/m3	11.954,78 €
	VIGAS DE ATADO	Excavación	5,30 m3	23,00 €/m3	121,90 €
		B-500 S	303,90 Kg	1,00 €/Kg	303,90 €
		HA-25	5,30 m3	82,00 €/m3	434,60 €
				TOTAL	83.530,45 €

Tabla 20: Resumen mediciones y precios pórtico de celosía con tirantes en fachada

## 9.2. Tipología 2.2: Nave Industrial de Pórticos tipo celosía con tirantes en fachada y cubierta.

La solución se diseña mediante perfiles laminados de acero S275, imponiendo perfiles HEB para los pilares, perfiles cuadrados para las celosías y cables redondos para los tirantes tanto de fachada como de cubierta. Para los pilares de los pórticos de fachada se han dispuesto con

"PROYECTO BÁSICO DE NAVE INDUSTRIAL PARA LA MODERNIZACIÓN DE LA LÍNEA DE EXTRACCIÓN DE CHATARRA DE LA NAVE DE PRENSAS DE FORD ESPAÑA EN ALMUSSAFES (VALENCIA)"

el alma perpendicular al plano de fachada mientras que para los pórticos intermedios se disponen con el alma paralela al plano.

De ésta manera nos queda una disposición de los pórticos de fachada como de los intermedios según las figuras 23 y 24 siguientes:

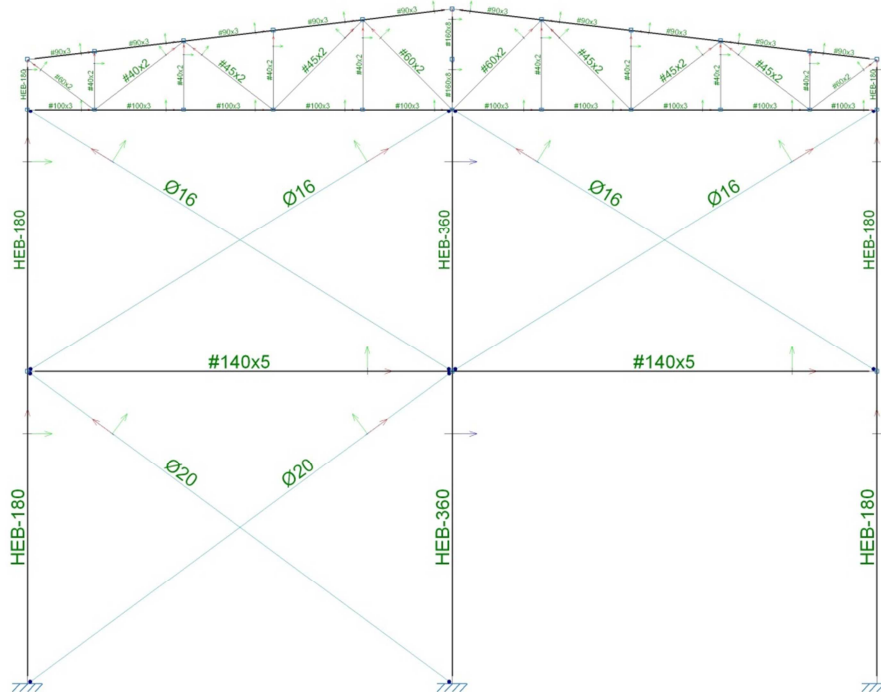


Figura 22: Pórtico de celosía de fachada con tirantes en fachada y cubierta

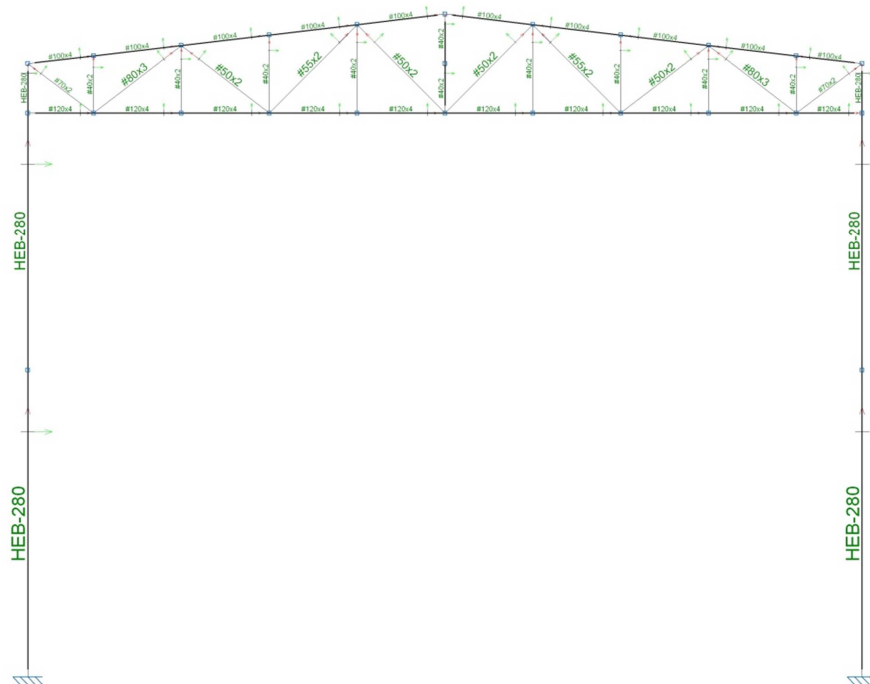


Figura 23: Pórtico de celosía intermedio con tirantes en fachada y cubierta

El alzado lateral queda de la siguiente manera:

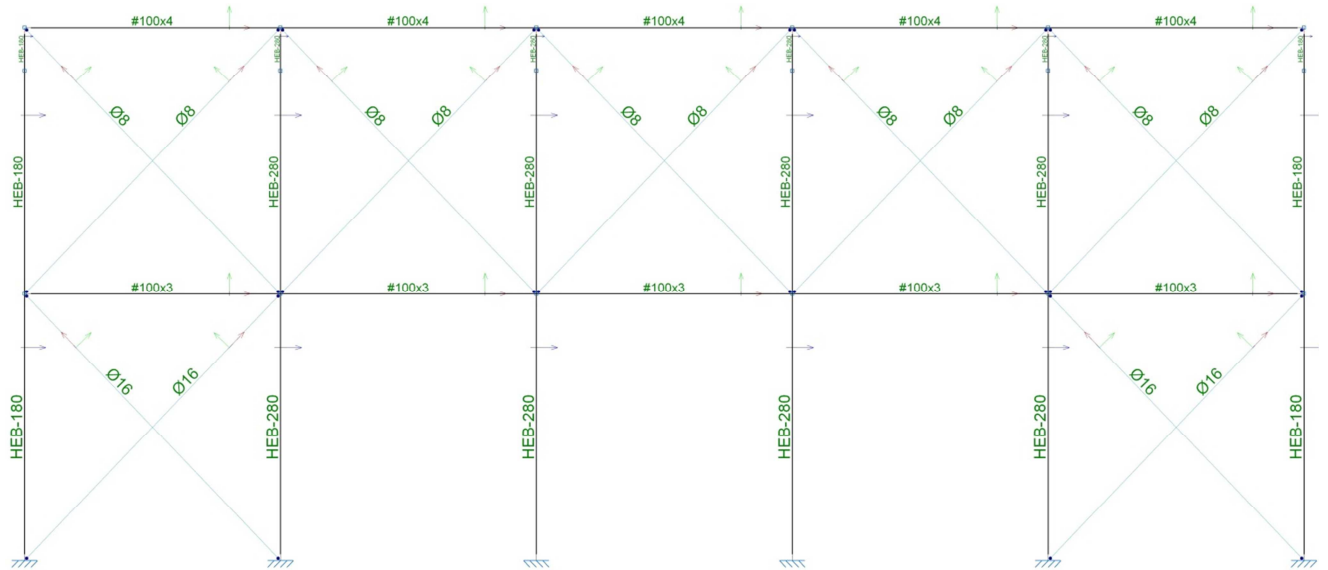


Figura 24: Alzado lateral de pórtico de celosía con tirantes en fachada y cubierta

Para la cimentación se han considerado vigas de atado con una disposición y medidas según la figura 26:

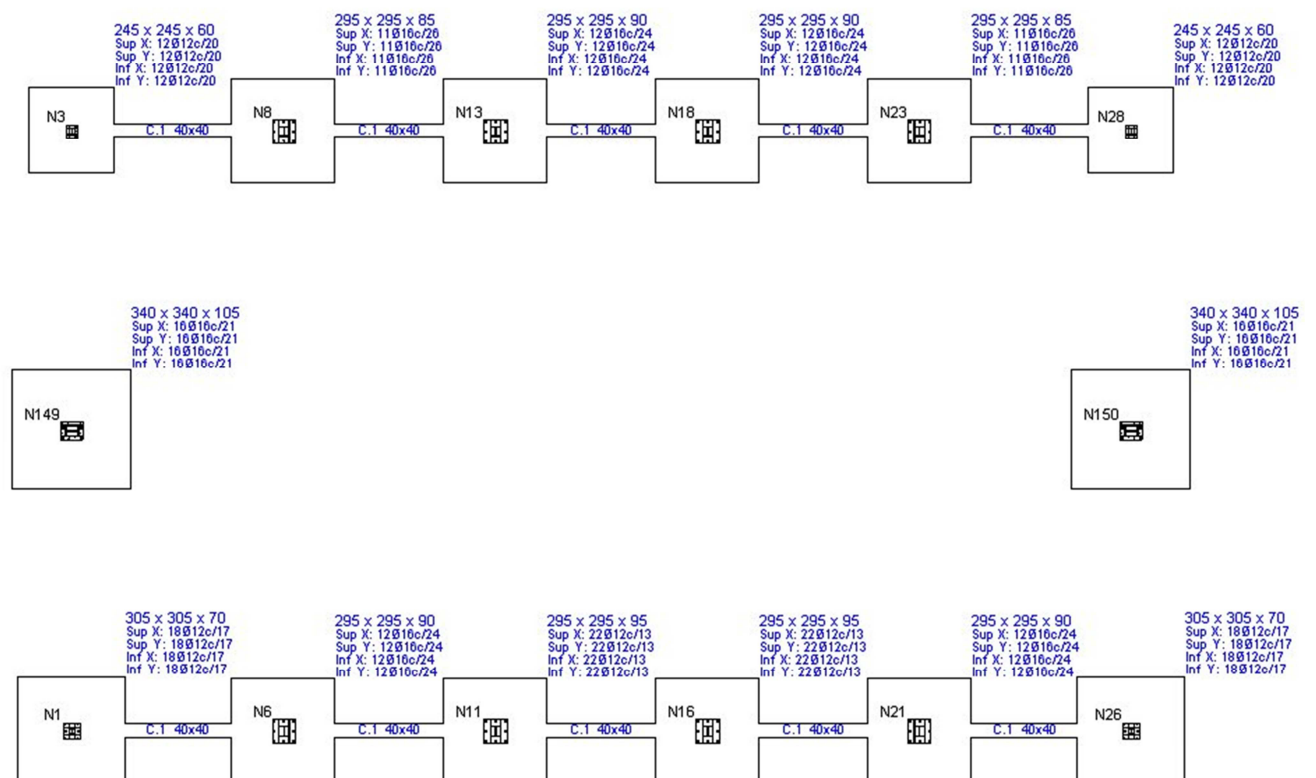


Figura 25: Cimentación Pórtico de celosía con tirantes en fachada y cubierta

Con todo esto sale unas mediciones de la estructura y la cimentación siguientes:

"PROYECTO BÁSICO DE NAVE INDUSTRIAL PARA LA MODERNIZACIÓN DE LA LÍNEA DE EXTRACCIÓN DE CHATARRA DE LA NAVE DE PRENSAS DE FORD ESPAÑA EN ALMUSSAFES (VALENCIA)"



Resumen de medición												
Material		Serie	Perfil	Longitud			Volumen			Peso		
Tipo	Designación			Perfil (m)	Serie (m)	Material (m)	Perfil (m³)	Serie (m³)	Material (m³)	Perfil (kg)	Serie (kg)	Material (kg)
Acero laminado	S275	HEB	HEB-180	50.000	173.000		0.326	2.056		2563.02	16138.66	
			HEB-280	100.000			1.314			10314.90		
			HEB-360	23.000			0.415			3260.73		
			#90x3	34.234			0.035			271.36		
			#100x4	128.469			0.190			1492.32		
			#120x4	98.000			0.176			1384.56		
			#40x2	83.235			0.024			189.45		
			#70x2	13.376			0.007			55.65		
			#80x3	18.024			0.016			125.89		
			#50x2	38.272			0.014			111.15		
			#55x2	20.248			0.008			65.16		
			#100x3	94.000			0.106			833.63		
			#160x8	4.000			0.019			145.67		
			#60x2	16.812			0.008			59.38		
			#45x2	23.642			0.008			61.23		
		Huecos cuadrados	#140x5	34.000			0.089	0.700		696.01	5491.46	
			Ø16	232.854			0.047			367.52		
			Ø20	42.202			0.013			104.08		
			Ø8	173.277			0.009			68.37		
			Ø10	83.618			0.007			51.55		
		Redondos	Ø6	41.809	573.760		0.001	0.077		9.28	600.80	
						1353.075			2.832			22230.92

Tabla 21: Resumen de medición estructura Pórtico de celosía con tirantes en fachada y cubierta

Elemento	B 500 S, Ys=1.15 (kg)			Hormigón (m³)	
	Ø12	Ø16	Total	HA-25, Yc=1.5	Limpieza
Referencias: N1 y N26	2x207.42		414.84	2x6.51	2x0.93
Referencias: N3 y N28	2x110.18		220.36	2x3.60	2x0.60
Referencias: N6, N13, N18 y N21		4x237.51	950.04	4x7.83	4x0.87
Referencias: N8 y N23		2x217.71	435.42	2x7.40	2x0.87
Referencias: N11 y N16	2x244.95		489.90	2x8.27	2x0.87
Referencias: N149 y N150		2x366.70	733.40	2x12.14	2x1.16
Totales	1125.10	2118.86	3243.96	107.16	12.34

Tabla 22: Resumen de medición zapatas pórtico de celosía con tirantes en fachada y cubierta

Elemento	B 500 S, Ys=1.15 (kg)			Hormigón (m³)	
	Ø8	Ø12	Total	HA-25, Yc=1.5	Limpieza



Elemento	B 500 S, Ys=1.15 (kg)			Hormigón (m³)	
	Ø8	Ø12	Total	HA-25, Yc=1.5	Limpieza
Referencias: C.1 [N18-N13], C.1 [N6-N1], C.1 [N16-N11], C.1 [N21-N16], C.1 [N8-N3], C.1 [N23-N18], C.1 [N13-N8], C.1 [N28-N23], C.1 [N11-N6] y C.1 [N26-N21]	10x6.93	10x24.62	315.50	10x0.49	10x0.12
Totales	69.30	246.20	315.50	4.88	1.22

Tabla 23: Resumen de medición vigas de atado pórtico de celosía con tirantes en fachada y cubierta

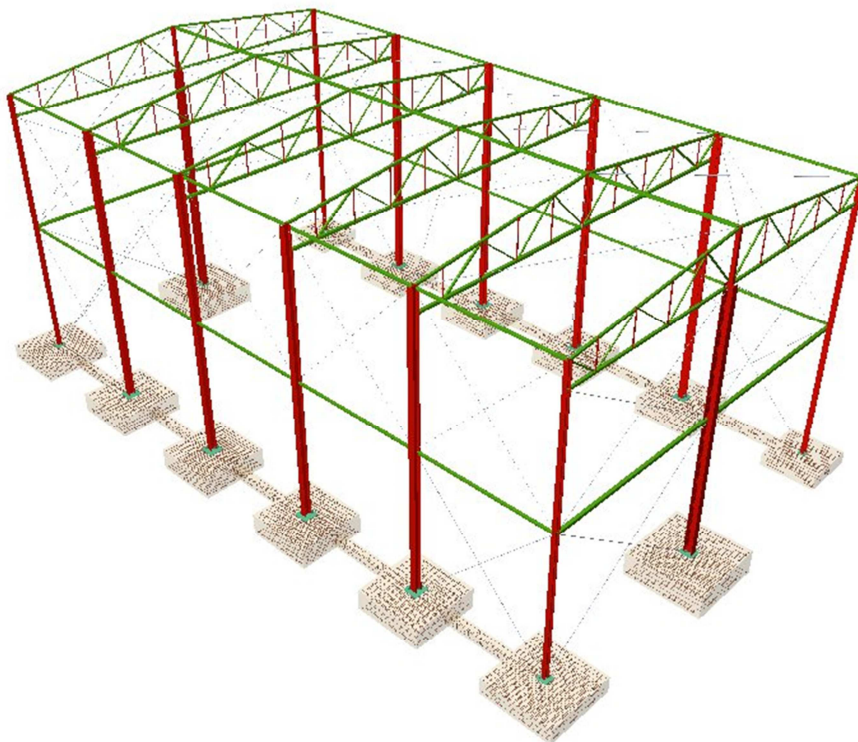


Figura 26: Vista 3D Tipología 2.2 Pórtico de celosía con tirantes en fachada y cubierta

A modo de resumen se expone la siguiente tabla para sacar el precio de esta tipología:

		TIPO	MEDICIÓN	PRECIO	IMPORTE
CORREAS	CUBIERTA	IPE-160	5.688,00 Kg	1,80 €/Kg	10.238,40 €
	FACHADA	IPE-160	4.740,00 Kg	1,80 €/Kg	8.532,00 €
ESTRUCTURA	PILARES	HEB-180, HEB-280 Y HEB-360	16.138,66 Kg	1,80 €/Kg	29.049,59 €
	CERCHAS	#90x3, #100x4, #120x4, #40x2, #70x2, #80x3, #50x2, #55x2, #100x3, #160x8, #60x2, #45x2, #140x5	5.491,46 Kg	1,80 €/Kg	9.884,63 €
	TIRANTES	Ø16, Ø20, Ø8, Ø10, Ø6	600,80 Kg	1,80 €/Kg	1.081,44 €
CIMENTACIÓN	ZAPATAS	Excavación	119,50 m3	23,00 €/m3	2.748,50 €
		B-500 S	3.243,96 Kg	1,00 €/Kg	3.243,96 €
		HA-25	119,50 m3	82,00 €/m3	9.799,00 €
	VIGAS DE ATADO	Excavación	6,10 m3	23,00 €/m3	140,30 €
		B-500 S	315,50 Kg	1,00 €/Kg	315,50 €
		HA-25	6,10 m3	82,00 €/m3	500,20 €
				TOTAL	75.533,52 €

Tabla 24: Resumen mediciones y precios pórtico de celosía con tirantes en fachada y cubierta

Puesto que la solución más económica para una modulación entre pórticos de 6 metros sale la alternativa con cruces de San Andrés a modo de tirantes en fachada y cubierta, a continuación se analizará la misma estructura para una modulación entre pórticos de 4,29 metros (30 m entre 7 pórticos), 5 metros (30 m entre 6 pórticos) y 7,5 metros (30 m entre 4 pórticos), para ver cuál sale más rentable.

Mediante el programa Generador de Pórticos se introducirán las diferentes separaciones de pórticos y se dimensionarán las correas fijando su separación en 1,8 metros en cubierta y 2,875 metros en fachada como anteriormente.

#### *9.2.1 Nave Industrial de pórticos tipo celosía con tirantes en fachada y cubierta con una modulación de 4,29 metros entre pórticos.*

Se modela el pórtico típico al cual le aplicamos los datos correspondientes de peso de cerramientos y su sobrecarga, los huecos para el viento, coeficiente de exposición y la presión dinámica de éste según la localización al igual que la carga de nieve correspondiente.

A continuación se han exportado el pórtico del generador de pórticos al nuevo metal 3D para dimensionar los pilares y dinteles que conforman el pórtico imponiendo todos los nudos rígidos con 7 vanos a 4,29 metros, es decir, 8 pórticos para llegar a los 30 metros de longitud.

De esta manera, al fijar 7 vanos y una separación entre pórticos de 4,29 metros las correas que salen de esta modulación son IPE-120 en cubierta e IPE-140 en fachada.

A la hora de realizar la exportación desde el generador de pórticos se ha considerado pórtico translacional en la dirección del pórtico e intranslacional en la dirección perpendicular asegurando el desplazamiento nulo en esta dirección.

La solución se diseña mediante perfiles laminados de acero S275, imponiendo perfiles HEB para los pilares, perfiles cuadrados para las celosías y cables redondos para los tirantes tanto de fachada como de cubierta. Para los pilares de los pórticos de fachada se han dispuesto con el alma perpendicular al plano de fachada mientras que para los pórticos intermedios se disponen con el alma paralela al plano.

De ésta manera nos queda una disposición de los pórticos de fachada como de los intermedios según las figuras 28 y 29 siguientes:

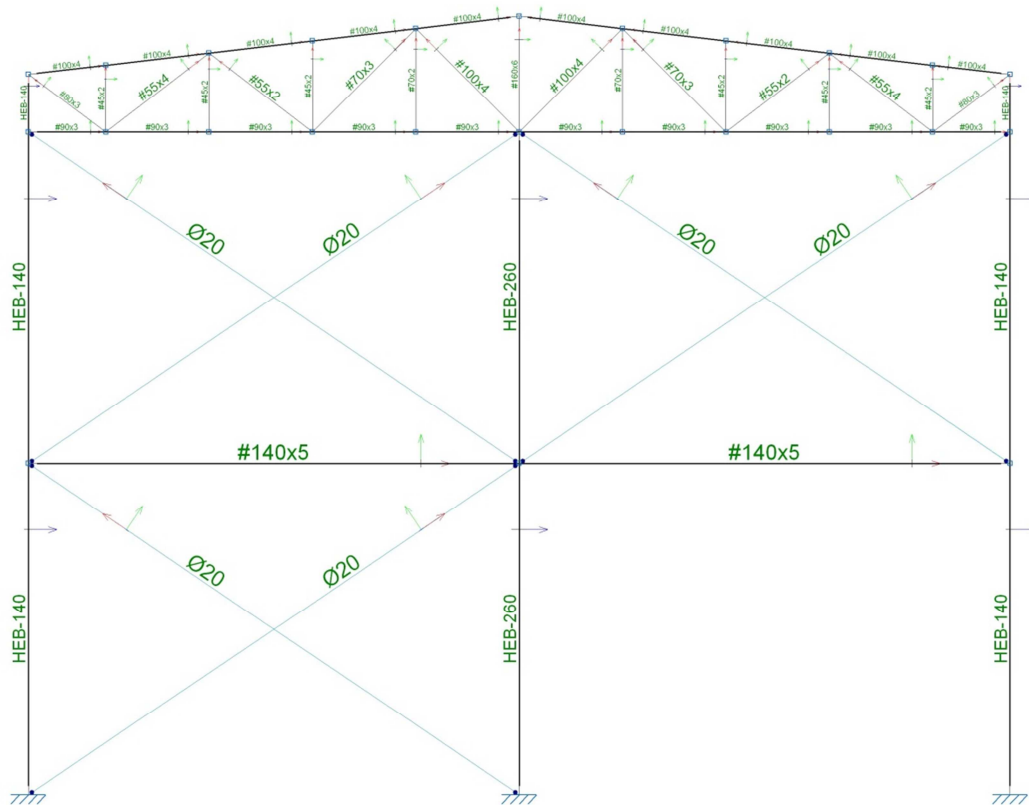


Figura 27: Pórtico de celosía de fachada con tirantes en fachada y cubierta y modulación de 4,29 m

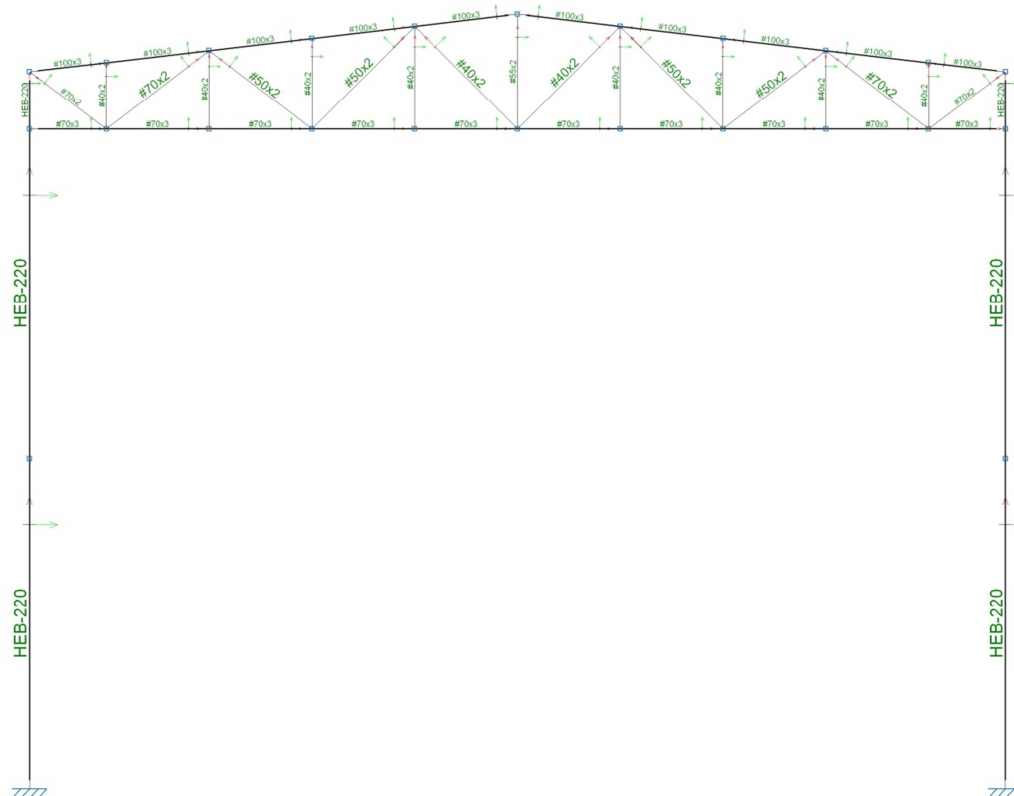


Figura 28: Pórtico de celosía intermedio con tirantes en fachada y cubierta y modulación de 4,29 m

El alzado lateral queda de la siguiente manera:

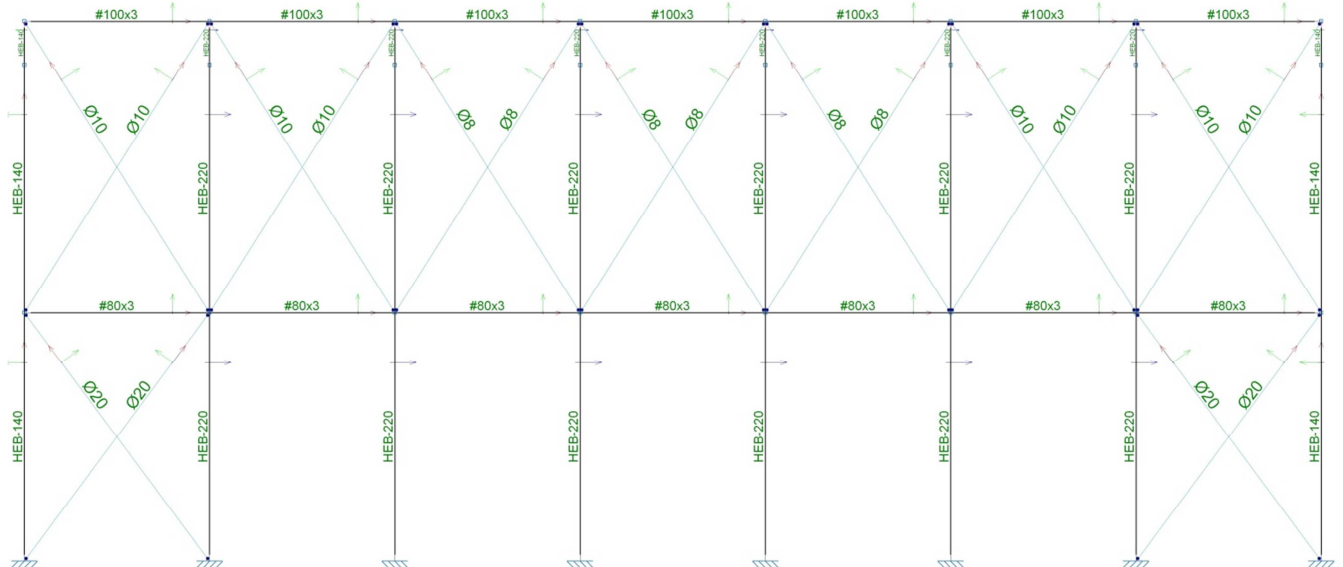


Figura 29: Alzado lateral de pórtico de celosía con tirantes en fachada y cubierta y modulación de 4,29 m

Para la cimentación se han considerado vigas de atado con una disposición y medidas según la figura 31:

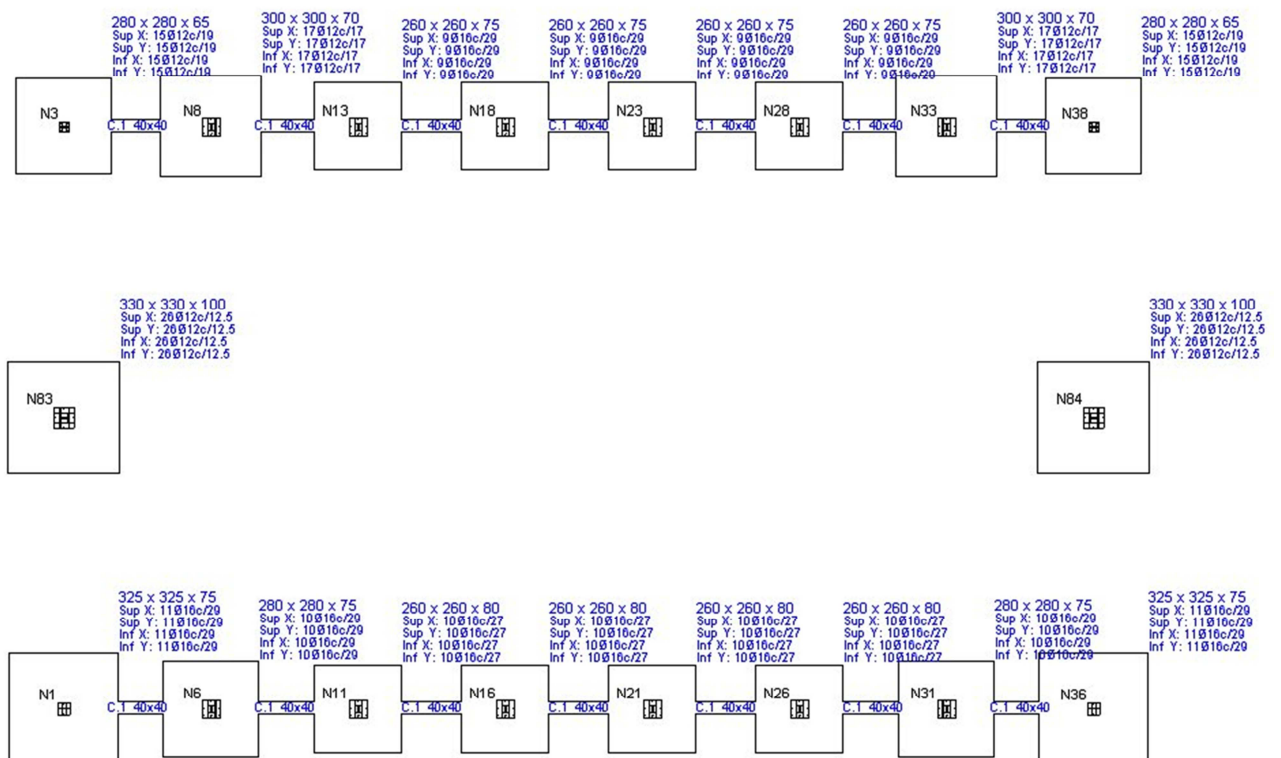


Figura 30: Cimentación Pórtico de celosía con tirantes en fachada y cubierta y modulación de 4,29 m

Con todo esto sale unas mediciones de la estructura y la cimentación siguientes:

Resumen de medición												
Material		Serie	Perfil	Longitud			Volumen			Peso		
Tipo	Designación			Perfil (m)	Serie (m)	Material (m)	Perfil (m³)	Serie (m³)	Material (m³)	Perfil (kg)	Serie (kg)	Material (kg)
Acero laminado	S275	HEB	HEB-140	50.000	223.000		0.215	1.852		1687.75	14540.71	
			HEB-220	150.000			1.365			10715.25		
			HEB-260	23.000			0.272			2137.71		
			#100x4	44.359			0.066			515.28		
			#100x3	162.763			0.184			1443.46		
			#140x5	64.030			0.167			1310.75		
			#90x3	34.000			0.034			269.50		
			#45x2	16.419			0.005			42.53		
			#70x2	54.258			0.029			225.72		
			#160x6	4.000			0.014			112.08		
			#80x3	66.748			0.059			466.20		
			#55x4	9.012			0.007			53.75		
			#55x2	21.012			0.009			67.62		
			#70x3	112.124			0.086			677.50		
		Huecos cuadrados	#40x2	101.102	747.236		0.029	0.711		230.11	5581.21	
			#50x2	57.409			0.021			166.72		
			Ø10	127.967			0.010			78.90		
			Ø8	95.975			0.005			37.87		
			Ø20	180.538			0.057			445.23		
			Ø18	76.589			0.019			152.99		
			Ø16	76.589			0.015			120.88		
			Ø12	76.589			0.009			68.00		
			Ø7	38.294			0.001			11.57		
		Redondos			672.541			0.117			915.44	
						1642.777			2.680			21037.36

Tabla 25: Resumen de medición estructura Pórtico de celosía con tirantes en fachada y cubierta y modulación de 4,29 m

Elemento	B 500 S, Ys=1.15 (kg)			Hormigón (m³)	
	Ø12	Ø16	Total	HA-25, Yc=1.5	Limpieza
Referencias: N1 y N36		2x240.64	481.28	2x7.92	2x1.06
Referencias: N3 y N38	2x158.22		316.44	2x5.10	2x0.78
Referencias: N6 y N31		2x187.48	374.96	2x5.88	2x0.78
Referencias: N8 y N33	2x192.59		385.18	2x6.30	2x0.90
Referencias: N11, N16, N21 y N26		4x173.62	694.48	4x5.41	4x0.68
Referencias: N13, N18, N23 y N28		4x156.24	624.96	4x5.07	4x0.68
Referencias: N83 y N84	2x325.03		650.06	2x10.89	2x1.09
Totales	1351.68	2175.68	3527.36	114.09	14.63

Tabla 26: Resumen de medición zapatas pórtico de celosía con tirantes en fachada y cubierta y modulación de 4,29 m



Elemento	B 500 S, Ys=1.15 (kg)			Hormigón (m³)	
	Ø8	Ø12	Total	HA-25, Yc=1.5	Limpieza
Referencias: C.1 [N38-N33], C.1 [N6-N1], C.1 [N33-N28], C.1 [N31-N26], C.1 [N8-N3], C.1 [N26-N21], C.1 [N23-N18], C.1 [N21-N16], C.1 [N11-N6], C.1 [N16-N11], C.1 [N13-N8], C.1 [N28-N23], C.1 [N18-N13] y C.1 [N36-N31]	14x3.47	14x17.93	299.60	14x0.22	14x0.06
Totales	48.58	251.02	299.60	3.11	0.78

Tabla 27: Resumen de medición vigas de atado pórtico de celosía con tirantes en fachada y cubierta y modulación de 4,29 m

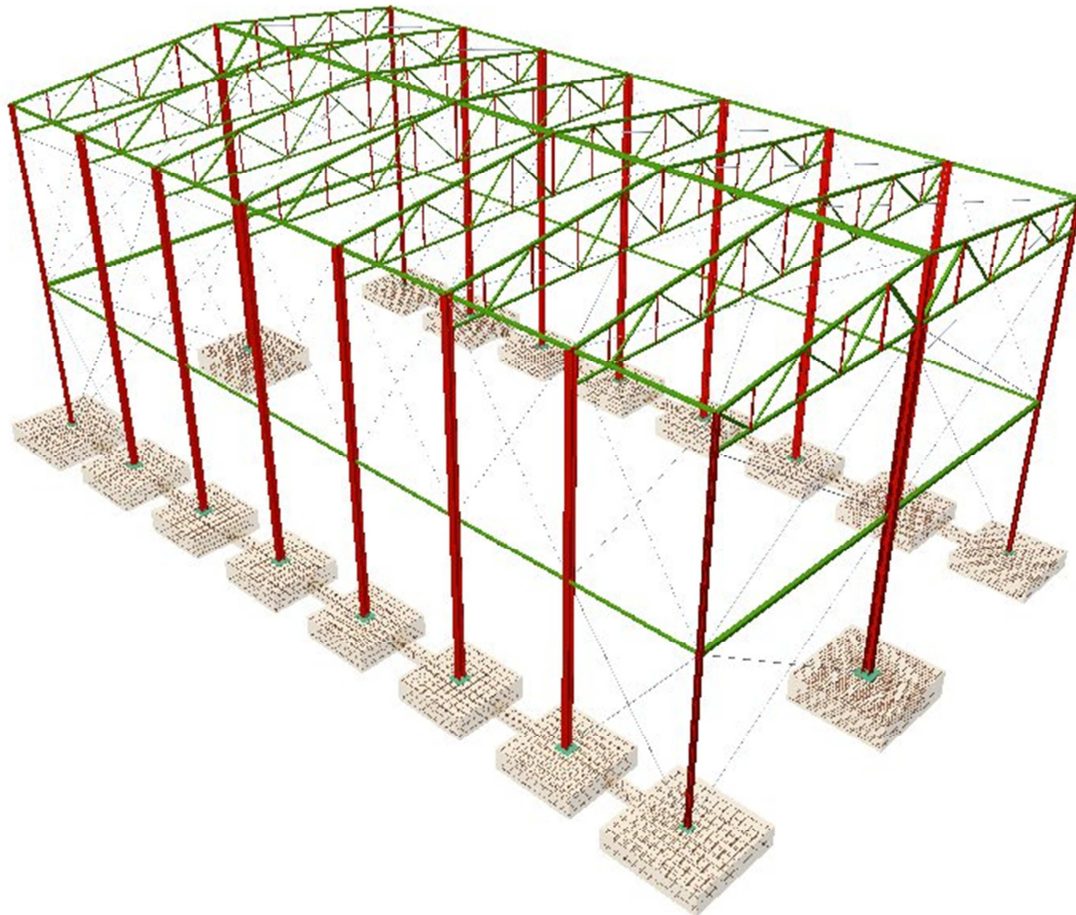


Figura 31: Vista 3D Pórtico de celosía con tirantes en fachada y cubierta y modulación de 4,29 m

A modo de resumen se expone la siguiente tabla para sacar el precio de esta tipología:

		TIPO	MEDICIÓN	PRECIO		IMPORTE
CORREAS	CUBIERTA	IPE-120	3.856,32 Kg	1,80	€/Kg	6.941,38 €
	FACHADA	IPE-140	3.986,10 Kg	1,80	€/Kg	7.174,98 €
ESTRUCTURA	PILARES	HEB-140, HEB-220 Y HEB-260	14.976,20 Kg	1,80	€/Kg	26.957,16 €
	CERCHAS	#100x4, #100x3, #140x5, #90x3, #45x2, #70x2, #160x6, #80x3, #55x4, #55x2, #70x3, #40x2, #50x2	5.748,65 Kg	1,80	€/Kg	10.347,56 €
	TIRANTES	Ø10, Ø8, Ø20, Ø18, Ø16, Ø16 y Ø7	942,90 Kg	1,80	€/Kg	1.697,23 €
CIMENTACIÓN	ZAPATAS	Excavación	132,58 m3	23,00	€/m3	3.049,38 €
		B-500 S	3.633,18 Kg	1,00	€/Kg	3.633,18 €
		HA-25	132,58 m3	82,00	€/m3	10.871,69 €
	VIGAS DE ATADO	Excavación	4,01 m3	23,00	€/m3	92,15 €
		B-500 S	308,59 Kg	1,00	€/Kg	308,59 €
		HA-25	4,01 m3	82,00	€/m3	328,55 €
					TOTAL	71.401,85 €

Tabla 28: Resumen mediciones y precios pórtico de celosía con tirantes en fachada y cubierta y modulación de 4,29 m

### 9.2.2 Nave Industrial de pórticos tipo celosía con tirantes en fachada y cubierta con una modulación de 5 metros entre pórticos.

A continuación se han exportado el pórtico del generador de pórticos al nuevo metal 3D para dimensionar los pilares y dinteles que conforman el pórtico imponiendo todos los nudos rígidos con 6 vanos a 5 metros, es decir, 7 pórticos para llegar a los 30 metros de longitud.

De esta manera, al fijar 6 vanos y una separación entre pórticos de 5 metros las correas que salen de esta modulación son IPE-140.

A la hora de realizar la exportación desde el generador de pórticos se ha considerado pórtico translacional en la dirección del pórtico e intranslacional en la dirección perpendicular asegurando el desplazamiento nulo en esta dirección.

La solución se diseña mediante perfiles laminados de acero S275, imponiendo perfiles HEB para los pilares, perfiles cuadrados para las celosías y cables redondos para los tirantes tanto de fachada como de cubierta. Para los pilares de los pórticos de fachada se han dispuesto con el alma perpendicular al plano de fachada mientras que para los pórticos intermedios se disponen con el alma paralela al plano.

De ésta manera nos queda una disposición de los pórticos de fachada como de los intermedios según las figuras 33 y 34 siguientes:



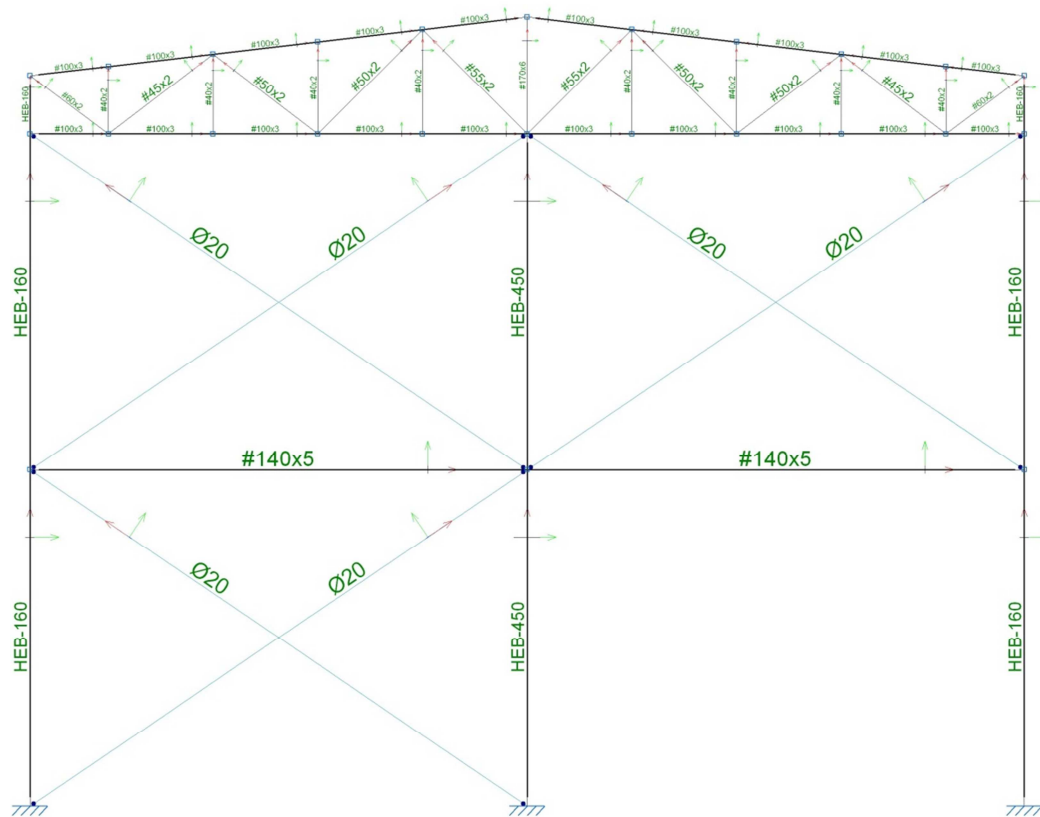


Figura 32: Pórtico de celosía de fachada con tirantes en fachada y cubierta y modulación de 5 m

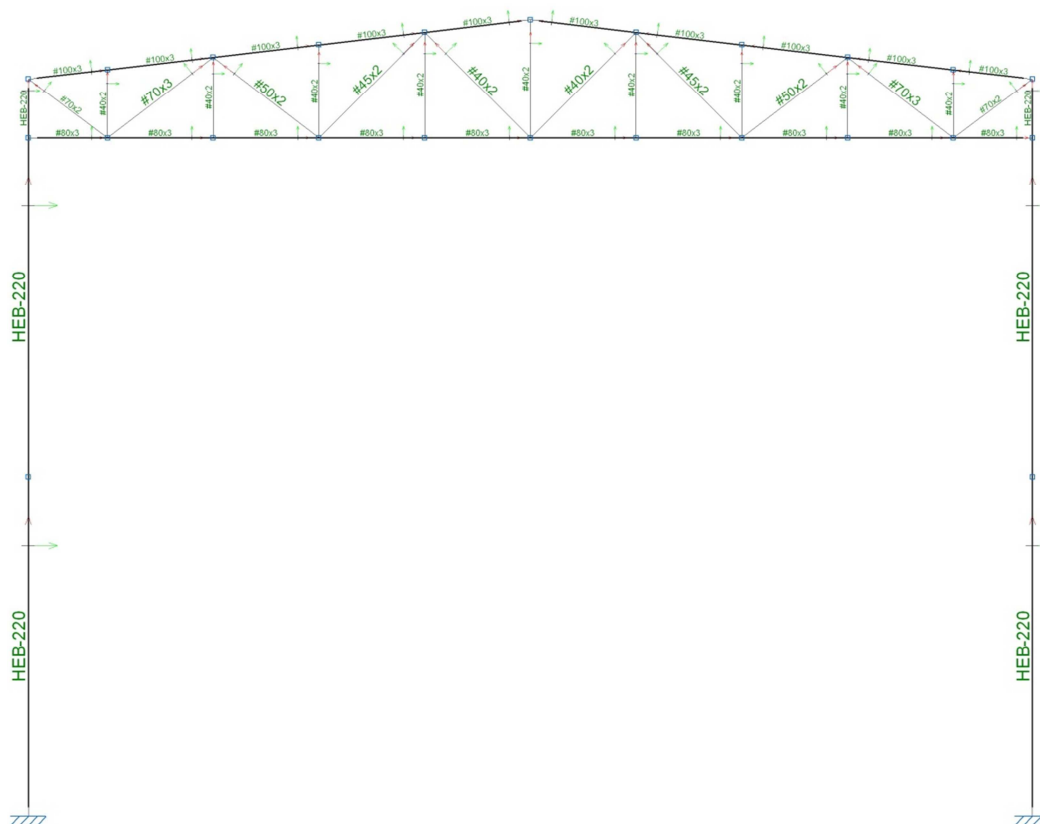


Figura 33: Pórtico de celosía intermedio con tirantes en fachada y cubierta y modulación de 5 m

El alzado lateral queda de la siguiente manera:

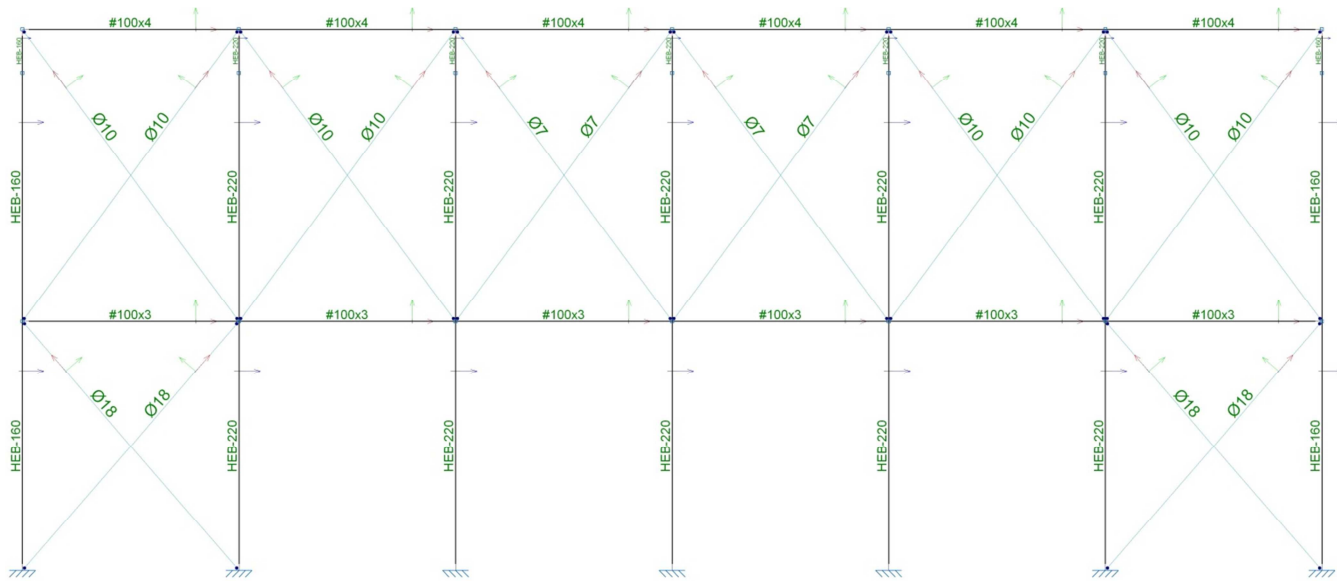


Figura 34: Alzado lateral de pórtico de celosía con tirantes en fachada y cubierta y modulación de 5 m

Para la cimentación se han considerado vigas de atado con una disposición y medidas según la figura 36:

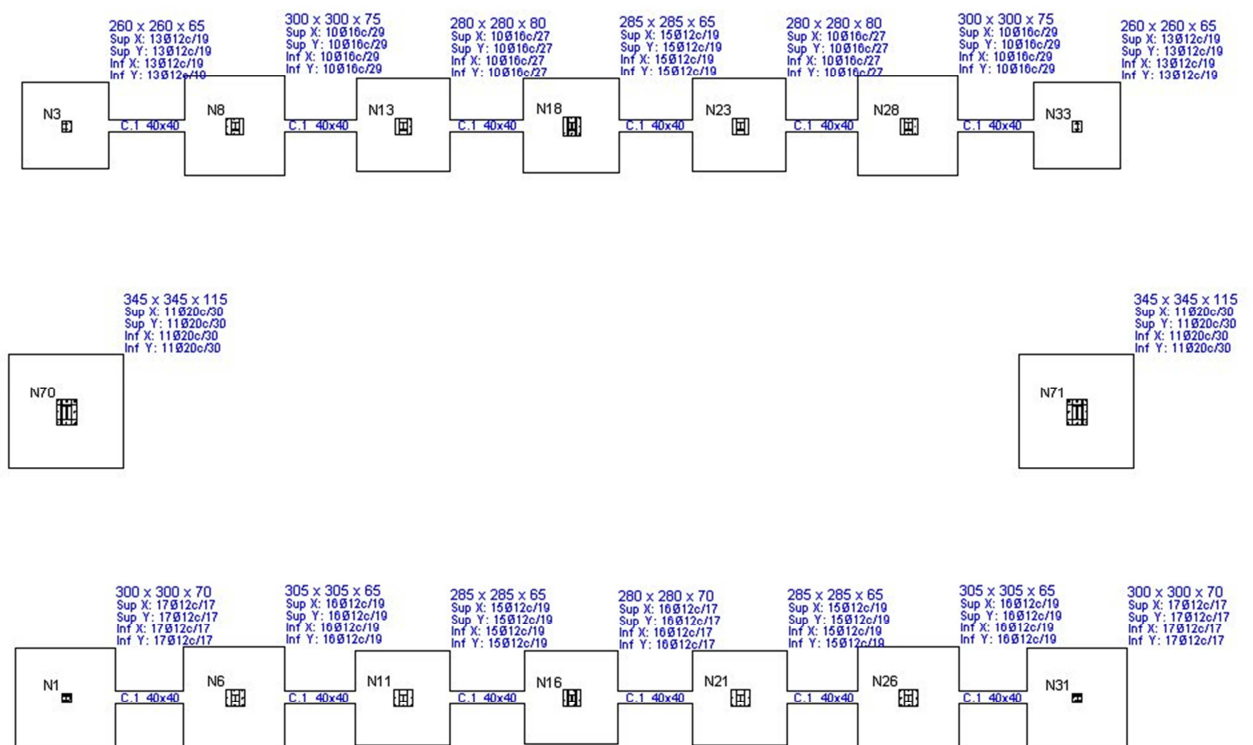


Figura 35: Cimentación Pórtico de celosía con tirantes en fachada y cubierta y modulación de 5 m

Con todo esto sale unas mediciones de la estructura y la cimentación siguientes:

Resumen de medición												
Material		Serie	Perfil	Longitud			Volumen			Peso		
Tipo	Designación			Perfil (m)	Serie (m)	Material (m)	Perfil (m³)	Serie (m³)	Material (m³)	Perfil (kg)	Serie (kg)	Material (kg)
Acero laminado	S275	HEB	HEB-160	50.000	198.000		0.272	1.910		2131.28	14996.64	
			HEB-220	125.000			1.138			8929.38		
			HEB-450	23.000			0.501			3935.99		
			#100x3	213.821			0.242			1896.25		
			#140x5	34.000			0.089			696.01		
			#60x2	6.688			0.003			23.62		
			#45x2	34.322			0.011			88.90		
			#50x2	41.666			0.015			121.00		
			#55x2	10.124			0.004			32.58		
			#170x6	4.000			0.015			119.62		
			#40x2	117.826			0.034			268.18		
			#80x3	85.000			0.076			593.68		
			#70x2	16.720			0.009			69.56		
			#70x3	22.530			0.017			136.14		
			#100x4	60.000			0.089			696.97		
			#160x5	30.000			0.090			708.33		
		Huecos cuadrados	Ø10	134.402	676.697		0.011	0.694		82.86	5450.83	
			Ø7	146.498			0.006			44.26		
			Ø18	140.256			0.036			280.17		
			Ø20	123.146			0.039			303.70		
			Ø14	79.297			0.012			95.82		
		Redondos			623.600			0.103			806.81	
						1498.296			2.708			21254.28

Tabla 29: Resumen de medición estructura Pórtico de celosía con tirantes en fachada y cubierta y modulación de 5 m

Elemento	B 500 S, Ys=1.15 (kg)				Hormigón (m³)	
	Ø12	Ø16	Ø20	Total	HA-25, Yc=1.5	Limpieza
Referencias: N1 y N31	2x192.59			385.18	2x6.30	2x0.90
Referencias: N3 y N33	2x126.94			253.88	2x4.39	2x0.68
Referencias: N6 y N26	2x184.40			368.80	2x6.05	2x0.93
Referencias: N8 y N28		2x201.39		402.78	2x6.75	2x0.90
Referencias: N11, N18 y N21	3x161.13			483.39	3x5.28	3x0.81
Referencias: N13 y N23		2x187.48		374.96	2x6.27	2x0.78
Referencia: N16	168.74			168.74	5.49	0.78
Referencias: N70 y N71			2x399.87	799.74	2x13.69	2x1.19
Totales	1659.99	777.74	799.74	3237.47	108.23	13.98

Tabla 30: Resumen de medición zapatas pórtico de celosía con tirantes en fachada y cubierta y modulación de 5 m

Elemento	B 500 S, Ys=1.15 (kg)			Hormigón (m³)	
	Ø8	Ø12	Total	HA-25, Yc=1.5	Limpieza
Referencias: C.1 [N26-N21], C.1 [N6-N1], C.1 [N23-N18], C.1 [N21-N16], C.1 [N8-N3], C.1 [N28-N23], C.1 [N18-N13], C.1 [N31-N26], C.1 [N11-N6], C.1 [N33-N28], C.1 [N13-N8] y C.1 [N16-N11]	12x4.62	12x20.70	303.84	12x0.33	12x0.08
Totales	55.44	248.40	303.84	3.94	0.98

Tabla 31: Resumen de medición vigas de atado pórtico de celosía con tirantes en fachada y cubierta y modulación de 5 m

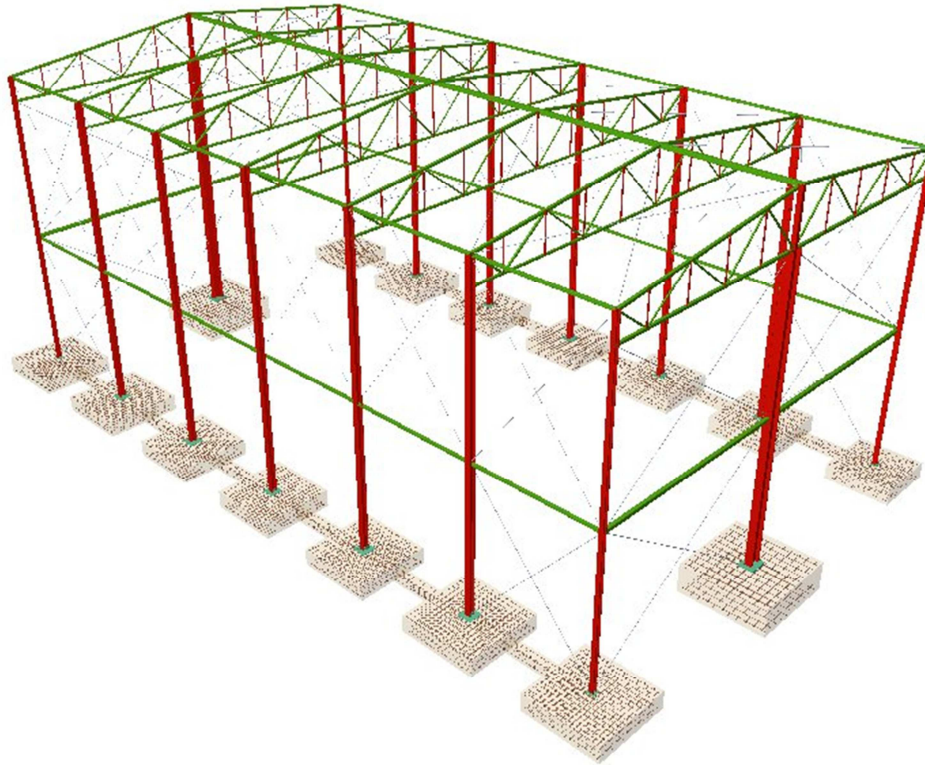


Figura 36: Vista 3D Pórtico de celosía con tirantes en fachada y cubierta y modulación de 5 m

A modo de resumen se expone la siguiente tabla para sacar el precio de esta tipología:

		TIPO	MEDICIÓN	PRECIO	IMPORTE
CORREAS	CUBIERTA	IPE-140	4.644,00 Kg	1,80 €/Kg	8.359,20 €
	FACHADA	IPE-140	3.870,00 Kg	1,80 €/Kg	6.966,00 €
ESTRUCTURA	PILARES	HEB-160, HEB-220 Y HEB-450	14.996,64 Kg	1,80 €/Kg	26.993,95 €
	CERCHAS	#100x3, #140x5, #60x2, #45x2, #50x2, #55x2, #170x6, #40x2, #80x3, #70x2, #70x3, #100x4 y #160x5	5.450,83 Kg	1,80 €/Kg	9.811,49 €
	TIRANTES	Ø10, Ø7, Ø18, Ø20, Ø14	806,81 Kg	1,80 €/Kg	1.452,26 €
CIMENTACIÓN	ZAPATAS	Excavación	122,21 m3	23,00 €/m3	2.810,83 €
		B-500 S	3.237,47 Kg	1,00 €/Kg	3.237,47 €
		HA-25	122,21 m3	82,00 €/m3	10.021,22 €
	VIGAS DE ATADO	Excavación	4,92 m3	23,00 €/m3	113,16 €
		B-500 S	303,84 Kg	1,00 €/Kg	303,84 €
		HA-25	4,92 m3	82,00 €/m3	403,44 €
				TOTAL	70.472,86 €

Tabla 32: Resumen mediciones y precios pórtico de celosía con tirantes en fachada y cubierta y modulación de 5 m

### 9.2.3 Nave Industrial de pórticos tipo celosía con tirantes en fachada y cubierta con una modulación de 7,5 metros entre pórticos

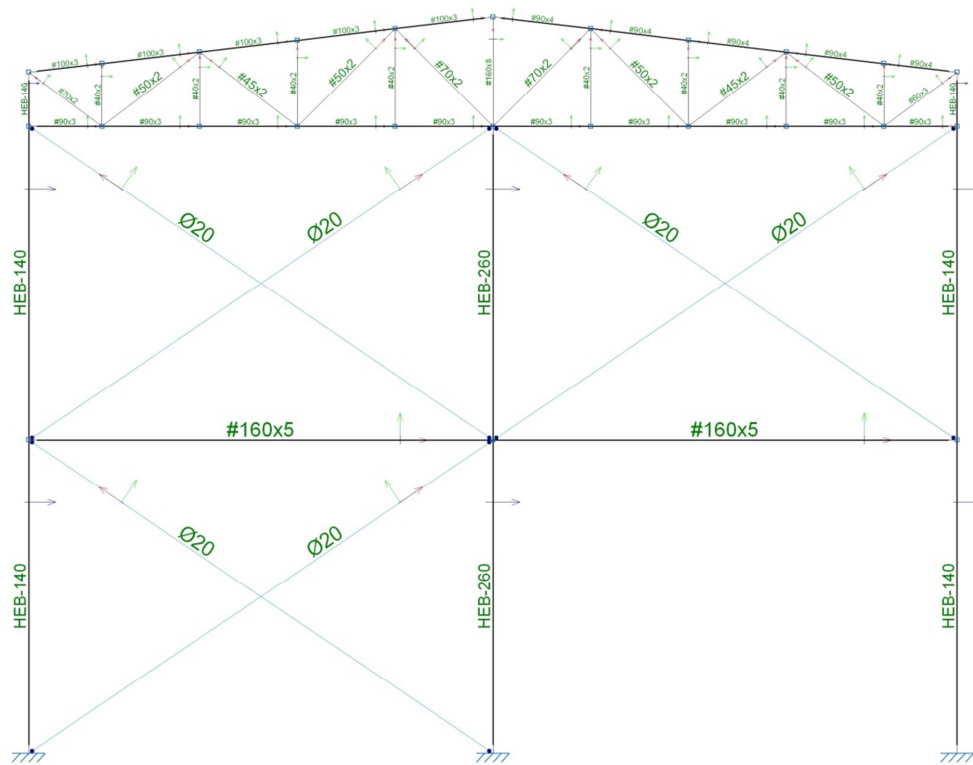
A continuación se han exportado el pórtico del generador de pórticos al nuevo metal 3D para dimensionar los pilares y dinteles que conforman el pórtico imponiendo todos los nudos rígidos con 4 vanos a 7,5 metros, es decir, 5 pórticos para llegar a los 30 metros de longitud.

De esta manera, al fijar 4 vanos y una separación entre pórticos de 7,5 metros las correas que salen de esta modulación son IPE-200.

A la hora de realizar la exportación desde el generador de pórticos se ha considerado pórtico translacional en la dirección del pórtico e intranslacional en la dirección perpendicular asegurando el desplazamiento nulo en esta dirección.

La solución se diseña mediante perfiles laminados de acero S275, imponiendo perfiles HEB para los pilares, perfiles cuadrados para las celosías y cables redondos para los tirantes tanto de fachada como de cubierta. Para los pilares de los pórticos de fachada se han dispuesto con el alma perpendicular al plano de fachada mientras que para los pórticos intermedios se disponen con el alma paralela al plano.

De ésta manera nos queda una disposición de los pórticos de fachada como de los intermedios según las figuras 38 y 39 siguientes:



*Figura 37: Pórtico de celosía de fachada con tirantes en fachada y cubierta y modulación de 7,5 m*

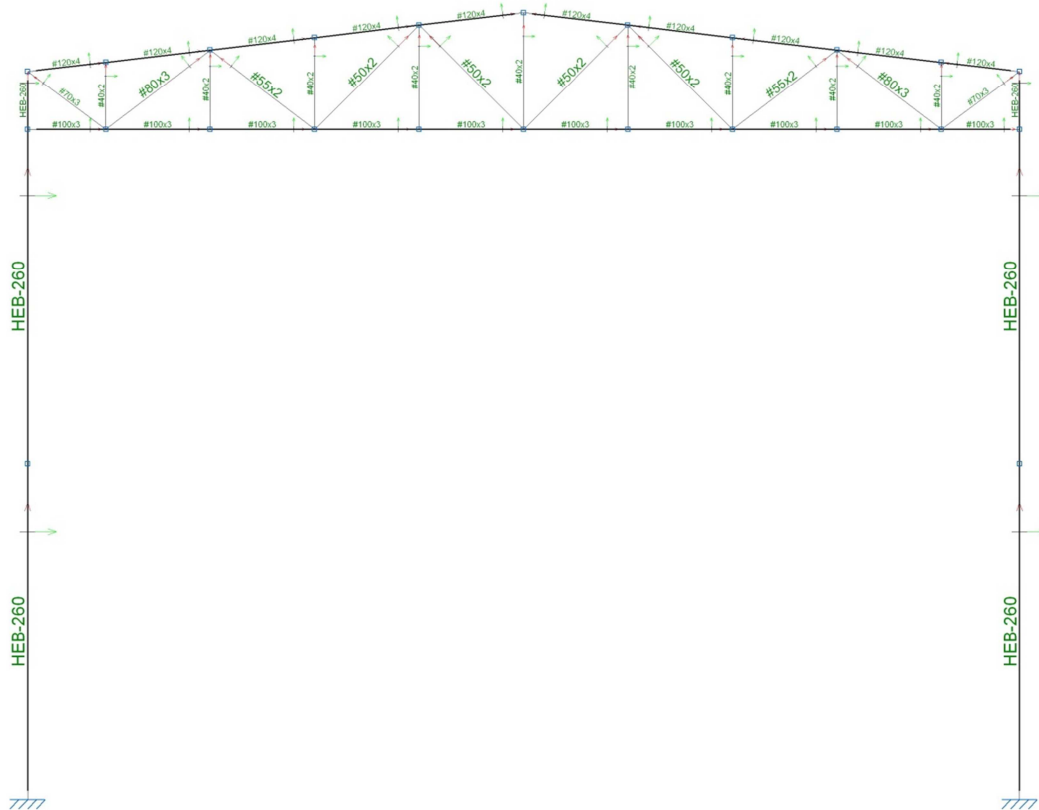


Figura 38: Pórtico de celosía intermedio con tirantes en fachada y cubierta y modulación de 7,5 m



El alzado lateral queda de la siguiente manera:

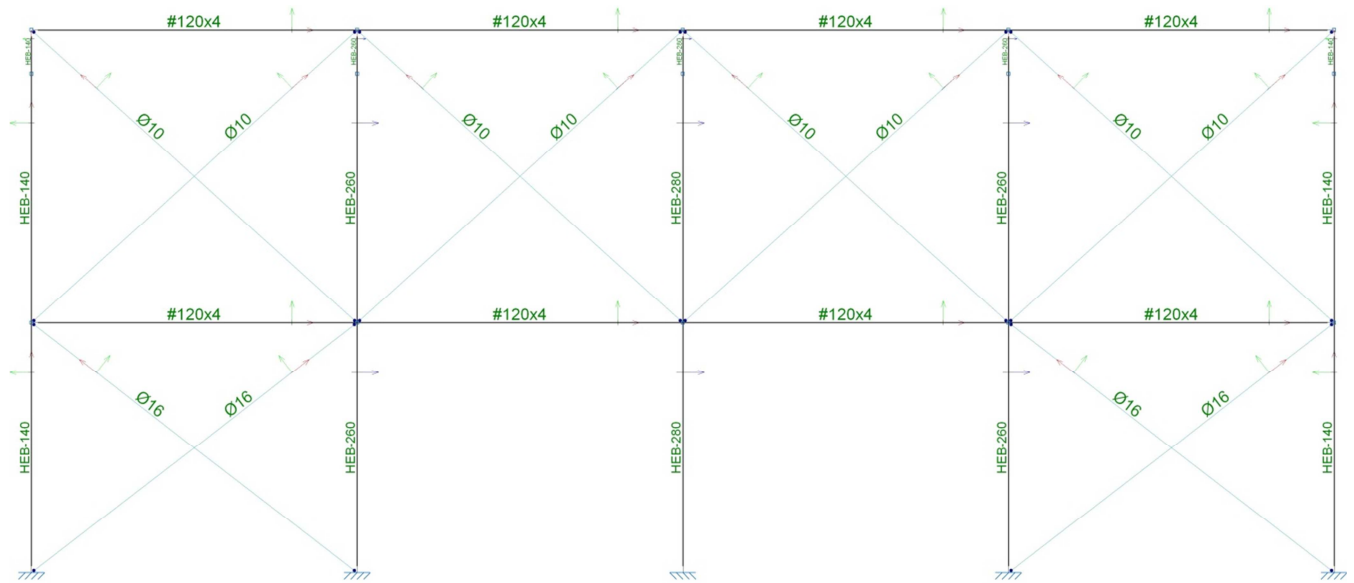


Figura 39: Alzado lateral de pórtico de celosía con tirantes en fachada y cubierta y modulación de 7,5 m

Para la cimentación se han considerado vigas de atado con una disposición y medidas según la figura 41:

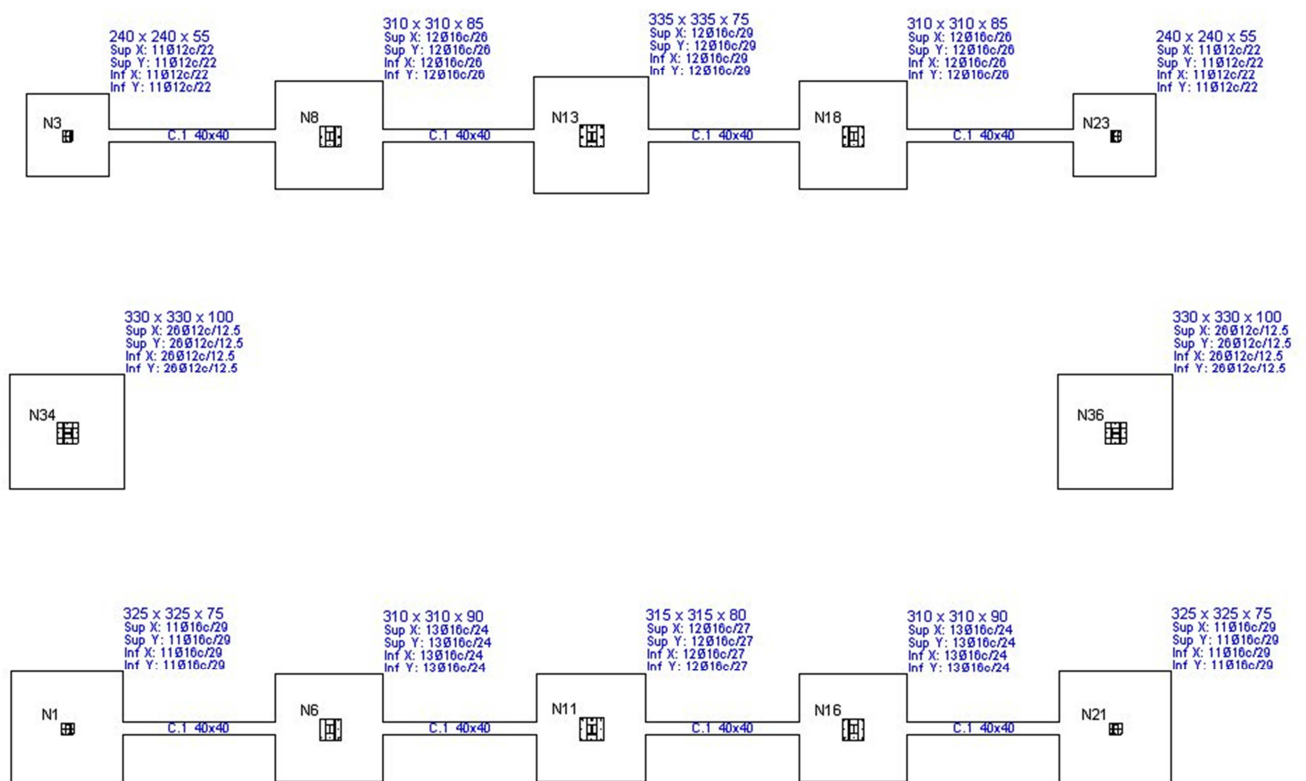


Figura 40: Cimentación Pórtico de celosía con tirantes en fachada y cubierta y modulación de 7,5 m



Con todo esto sale unas mediciones de la estructura y la cimentación siguientes:

Resumen de medición												
Material		Serie	Perfil	Longitud			Volumen			Peso		
Tipo	Designación			Perfil (m)	Serie (m)	Material (m)	Perfil (m³)	Serie (m³)	Material (m³)	Perfil (kg)	Serie (kg)	Material (kg)
Acero laminado	S275	HEB	HEB-140	50.000	148.000		0.215	1.408		1687.75	11051.39	
			HEB-260	73.000			0.864			6784.91		
			HEB-280	25.000			0.329			2578.72		
			#100x3	68.117			0.077			604.09		
			#90x4	17.117			0.023			177.34		
			#120x4	171.352			0.308			2420.89		
			#140x5	30.000			0.078			614.13		
			#160x5	34.000			0.102			802.77		
			#90x3	34.000			0.034			269.50		
			#70x2	13.470			0.007			56.04		
			#50x2	49.515			0.018			143.79		
			#45x2	9.012			0.003			23.34		
			#60x3	3.344			0.002			17.06		
			#40x2	64.950			0.019			147.83		
			#160x8	4.000			0.019			145.67		
			#70x3	10.032			0.008			60.62		
			#80x3	13.518			0.012			94.42		
			#55x2	13.518			0.006			43.50		
		Huecos cuadrados	Ø20	123.146	535.946		0.039	0.716		303.70	5620.98	
			Ø10	252.482			0.020			155.66		
			Ø16	75.604			0.015			119.33		
			Ø18	91.038			0.023			181.86		
		Redondos			542.271			0.097			760.55	
						1226.217			2.221			17432.91

Tabla 33: Resumen de medición estructura Pórtico de celosía con tirantes en fachada y cubierta y modulación de 7,5 m

Elemento	B 500 S, Ys=1.15 (kg)			Hormigón (m³)	
	Ø12	Ø16	Total	HA-25, Yc=1.5	Limpieza
Referencias: N1 y N21		2x240.64	481.28	2x7.92	2x1.06
Referencias: N3 y N23	2x98.82		197.64	2x3.17	2x0.58
Referencias: N6 y N16		2x270.82	541.64	2x8.65	2x0.96
Referencias: N8 y N18		2x250.01	500.02	2x8.17	2x0.96
Referencia: N11		254.19	254.19	7.94	0.99
Referencia: N13		270.82	270.82	8.42	1.12
Referencias: N34 y N36	2x325.03		650.06	2x10.89	2x1.09
Totales	847.70	2047.95	2895.65	93.95	11.40

Tabla 34: Resumen de medición zapatas pórtico de celosía con tirantes en fachada y cubierta y modulación de 7,5 m

Elemento	B 500 S, Ys=1.15 (kg)			Hormigón (m³)	
	Ø8	Ø12	Total	HA-25, Yc=1.5	Limpieza
Referencias: C.1 [N16-N11], C.1 [N6-N1], C.1 [N18-N13], C.1 [N21-N16], C.1 [N8-N3], C.1 [N13-N8], C.1 [N23-N18] y C.1 [N11-N6]	8x9.24	8x30.47	317.68	8x0.70	8x0.18
Totales	73.92	243.76	317.68	5.60	1.40

Tabla 35: Resumen de medición vigas de atado pórtico de celosía con tirantes en fachada y cubierta y modulación de 5 m

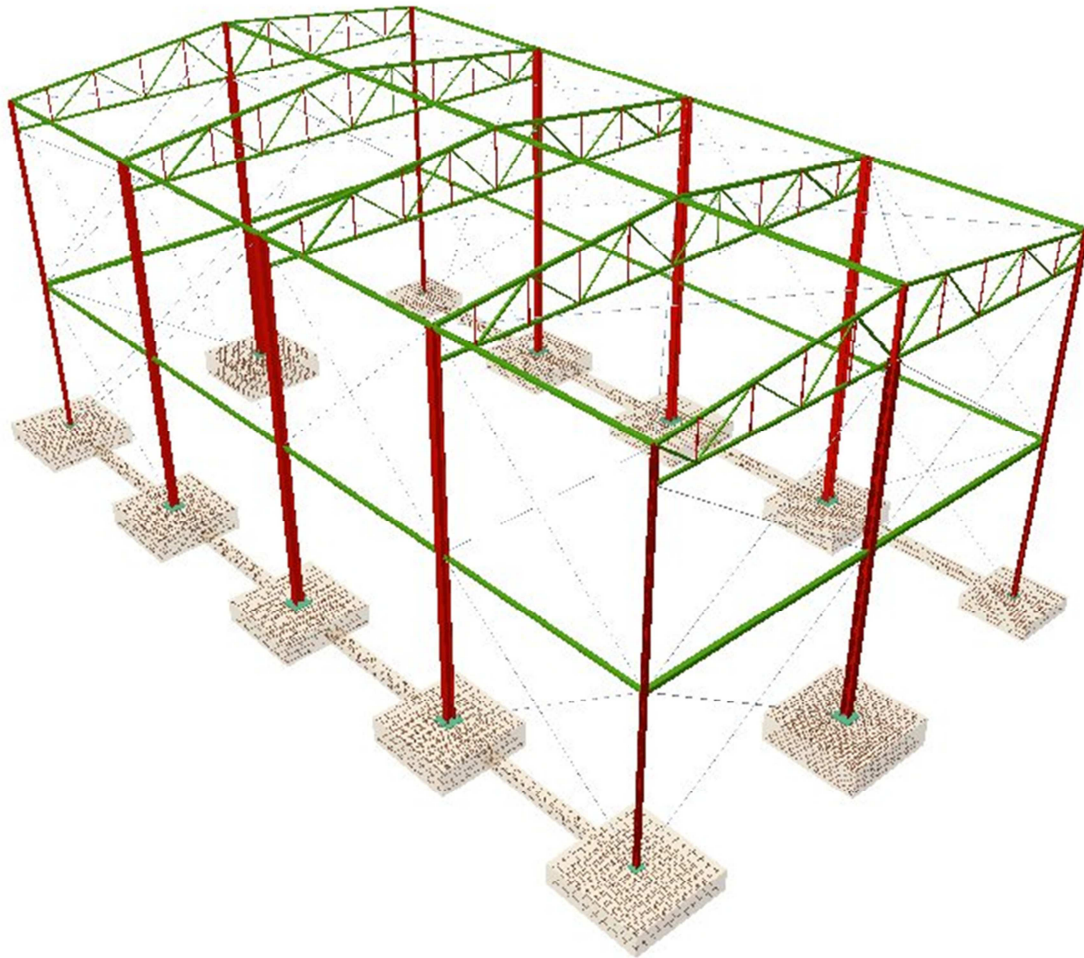


Figura 41: Vista 3D Tipología 2.2 Pórtico de celosía con tirantes en fachada y cubierta y modulación de 7,5 m

A modo de resumen se expone la siguiente tabla para sacar el precio de esta tipología:

		TIPO	MEDICIÓN		PRECIO		IMPORTE
CORREAS	CUBIERTA	IPE-200	8.064,00	Kg	1,80	€/Kg	14.515,20 €
	FACHADA	IPE-200	6.720,00	Kg	1,80	€/Kg	12.096,00 €
ESTRUCTURA	PILARES	HEB-140, HEB-260 Y HEB-280	11.051,39	Kg	1,80	€/Kg	19.892,50 €
	CERCHAS	#100x3, #90x4, #120x4, #140x5, #160x5, #90x3, #70x2, #50x2, #45x2, #60x3, #40x2, #160x8, #70x3, #80x3, #55x2	5.620,98	Kg	1,80	€/Kg	10.117,76 €
	TIRANTES	Ø20, Ø10, Ø16 y Ø18	760,55	Kg	1,80	€/Kg	1.368,99 €
CIMENTACIÓN	ZAPATAS	Excavación	105,35	m3	23,00	€/m3	2.423,05 €
		B-500 S	2.895,65	Kg	1,00	€/Kg	2.895,65 €
		HA-25	105,35	m3	82,00	€/m3	8.638,70 €
	VIGAS DE ATADO	Excavación	7,00	m3	23,00	€/m3	161,00 €
		B-500 S	317,68	Kg	1,00	€/Kg	317,68 €
		HA-25	7,00	m3	82,00	€/m3	574,00 €
					TOTAL	73.000,54 €	

Tabla 36: Resumen mediciones y precios pórtico de celosía con tirantes en fachada y cubierta y modulación de 7,5 m

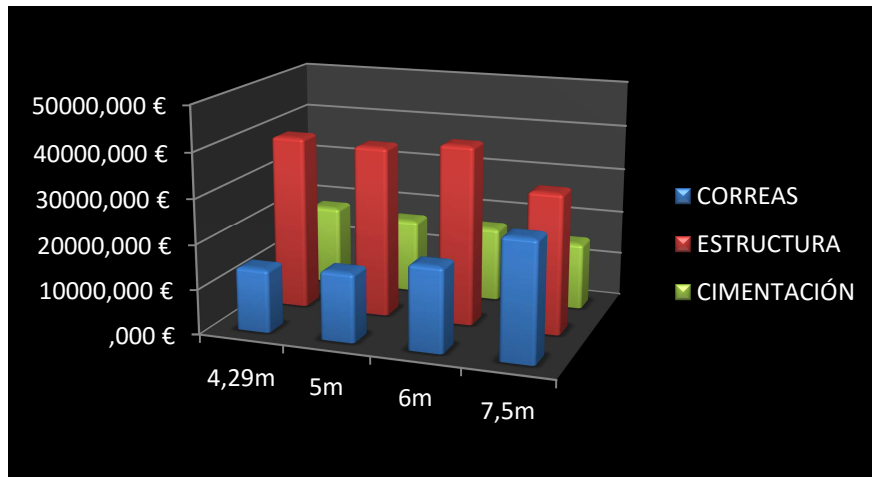
#### 9.2.4 Elección de la solución más óptima entre pórticos de celosía

Una vez se han dimensionado y calculado las cuatro separaciones distintas de pórticos para un pórtico tipo con las dimensiones y acciones de nuestra nave industrial, procedemos a valorar y justificar cuál de ellas es más conveniente proyectar basándonos en principalmente en aspectos como el peso de la estructura y cimentación y el coste facilidad de montaje, ejecución, transporte y otros criterios funcionales.

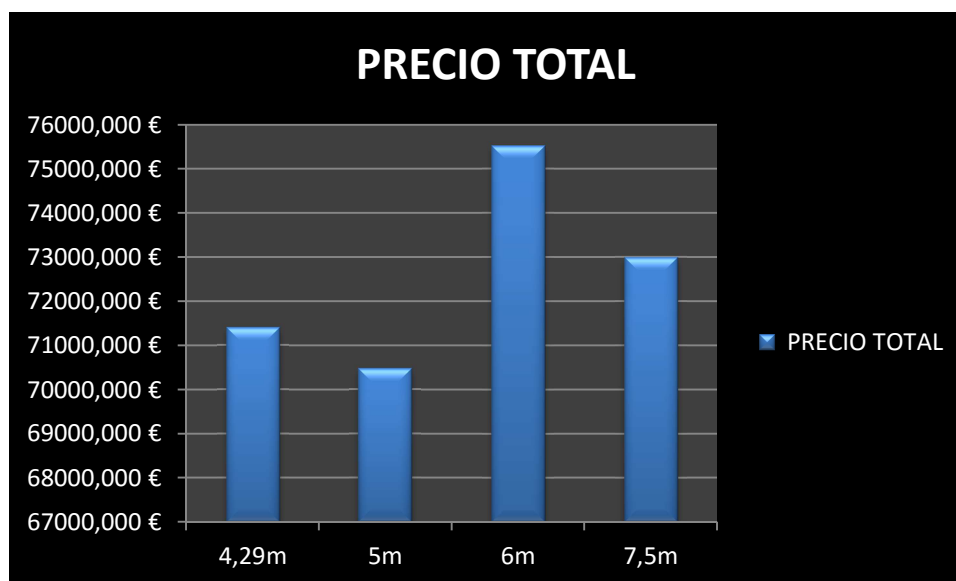
Las tablas y gráficas siguientes recogen para cada separación entre pórticos descrita todos estos criterios y resultados obtenidos con el fin de valorar y elegir la más óptima.

MODULACIÓN PÓRTICOS	NÚMERO DE VANOS	NÚMERO DE PÓRTICOS	CORREAS		ESTRUCTURA		CIMENTACIÓN		TOTAL
			MEDICIÓN	IMPORTE	MEDICIÓN	IMPORTE	MEDICIÓN	IMPORTE	
4,29m	7	8	7.842,42 Kg	14.116,36 €	21.667,75 Kg	39.001,95 €	136,59 m3	18.283,54 €	71.401,85 €
5m	6	7	8.514,00 Kg	15.325,20 €	21.254,28 Kg	38.257,70 €	135,45 m3	16.889,96 €	70.472,86 €
6m	5	6	10.428,00 Kg	18.770,40 €	22.230,92 Kg	40.015,66 €	142,82 m3	16.747,46 €	75.533,52 €
7,5m	4	5	14.784,00 Kg	26.611,20 €	17.432,92 Kg	31.379,26 €	112,35 m3	15.010,08 €	73.000,54 €

Tabla 37: Resumen distintas separaciones de pórticos



Gráfica 5: Comparativa por precio de las 4 separaciones de pórticos de correas cimentación y estructura



Gráfica 6: Comparativa precio total de las 4 separaciones de pórtico

Como se puede observar de las cuatro separaciones entre pórticos estudiadas la más económica es la de **separación de pórticos de 5 metros** y por tanto 6 vanos, es decir, 7 pórticos. Dicha solución tiene una reducción del 1,23 % respecto de la de separación de 4,29 metros, 3,35 % de reducción respecto de la separación de 7,5 y del 6,70 % respecto de la separación de 6 metros. Por lo tanto, es la solución que en el anejo correspondiente de estructura se pasará a analizar para el caso de solución con estructura metálica.

## 10. ELECCIÓN DE TIPOLOGÍA DE SISTEMA ESTRUCTURAL EN PREFABRICADOS DE HORMIGÓN

Debido a las ventajas consideradas en el punto 5.2 por los sistemas estructurales realizados en prefabricados de hormigón, en lo que sigue el estudio se centrará en esta tipología constructiva.

Dichas ventajas, a modo de síntesis, entre otras, la posibilidad de realizar un “solape” de tareas en cuanto a realización de los elementos prefabricados en fábrica con la colocación de otros en obra esta tipología de estructuras puede ser muy interesante para ahorrar tiempo, lo que es una prioridad para la promotora.

El otro motivo de la elección de realizar un estudio más detallado en esta línea es la del coste. Éste resulta altamente competitivo con respecto a las estructuras de carácter metálico, de hormigón in situ, de malla espacial y de materiales compuestos.

Desde el punto de vista funcional conviene realizar un sistema de pórticos que sobrevuele toda la luz de 17m que conforma el ancho de la nave. De esta manera se consigue un espacio diáfano en su interior que permite la cómoda circulación del tráfico rodado. Este criterio es de capital importancia, por lo que en adelante las alternativas estudiadas tendrán este punto común.

En este tipo de estructuras la cubierta descansa sobre las correas, y éstas distribuyen las cargas a los dinteles de los pórticos constituidos por vigas delta. Las vigas delta a su vez distribuyen la carga a los soportes y éstos a la cimentación.

Como no hay forjados intermedios los pilares prefabricados no requieren de ménsulas. En su cabeza sobresalen unos pasadores metálicos que se “conectan” con las vigas delta para evitar su desplazamiento. En el apoyo estará dispuesta una lámina de neopreno para facilitar la transmisión de esfuerzos entre ambos.

Por las características de este tipo de estructuras se puede modelizar como un sistema aporticado en la que los apoyos están empotrados a la cimentación y la viga delta que descansa sobre los soportes a modo de dintel está biapoyada.

### 10.1. Elección de cubierta y fachada

Debido a la sencillez y rapidez del montaje la elección de cubierta será la de panel de cubierta tipo sándwich de 50mm de espesor. Por ejemplo, 2 o 3 montadores pueden instalar 600m<sup>2</sup> de este tipo de cubierta en un solo día.

Algunas de las ventajas de la utilización de esta solución son:

- Rendimiento óptimo a lo largo de los años. Reducción de costes de mantenimiento.
- Excelente relación Ligereza-aislamiento.
- Fácil y rápida instalación, lo que se traduce en tiempo y seguridad.

- Buena resistencia mecánica
- Buena estética.
- Buena insonorización.
- Buena protección frente al fuego.

Para cerramientos será de 30mm.

### 10.2. Elección de correas

Como se ha explicado la correa es la encargada de transmitir las cargas provenientes de las acciones externas y de la cubierta a las vigas delta. Las características deseables de una correa es que sea resistente a flexión. Por ello, por el precio aceptable y por la proximidad de la casa de prefabricados que la produce (lo que se traduce en menor coste de transporte) se seleccionan correas Dalla tipo AL 30 de PRAINSA de 25 cm de canto y con una resistencia de 711KNxm.

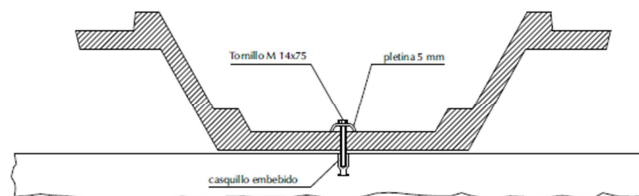


Figura 42: Correa Dalla tipo

#### CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Tipo		AL 30	AL 30R
Peso	kN/m	1.59	1.73
	(Kp/m)	(159)	(173)
Mmáx.	mkn	71.10	89.90
Longitud normalizada	m	10	
Long. Máx.	m	12.50	
EF	min	90	

Tabla 38: Ficha técnica de correa tipo Dalla

### 10.3. Elección de sistema de pórticos óptimo

A continuación, para facilitar la elección de la separación entre pórticos, se va a proceder al tanteo de 4 separaciones distintas y se va a comparar el precio entre ellas.

Dichas separaciones se han extraído de subdividir la longitud de la nave, 30m, en 2, 3, 4 y 5 partes.

En cuanto a su separación, a continuación se exponen varias soluciones, constituyentes en:

- Pórticos cada 6m. 5 vanos. 4 pórticos intermedios.

- b) Pórticos cada 7.5m. 4 vanos. 3 pórticos intermedios.
- c) Pórticos cada 10m. 3 vanos. 2 pórticos intermedios
- d) Pórticos cada 15m. 2 vanos. 1 pórtico intermedio.

En cada una de las alternativas se busca el menor número de correas Dalla que satisfagan las solicitaciones de las acciones exteriores y del peso propio de la cubierta. De ahí la importancia de haber prefijado una cubierta con un peso aproximado. En el anejo estructural se incidirá con mayor detalle en los próximos cálculos justificativos.

### 10.3.1 PÓRTICOS CADA 6 METROS. 5 VANOS.

Teniendo una luz entre pórticos de 6 metros y las siguientes acciones sobre la cubierta:

- Peso propio de cubierta=0.12 KN/m<sup>2</sup>
- S.C.U.(para conservación) = 1KN/m<sup>2</sup>
- Viento=0.7KN/m<sup>2</sup>
- Nieve=0.2KN/m<sup>2</sup>

Y la siguiente disposición geométrica de las correas, conforme a las especificaciones de la casa comercial:

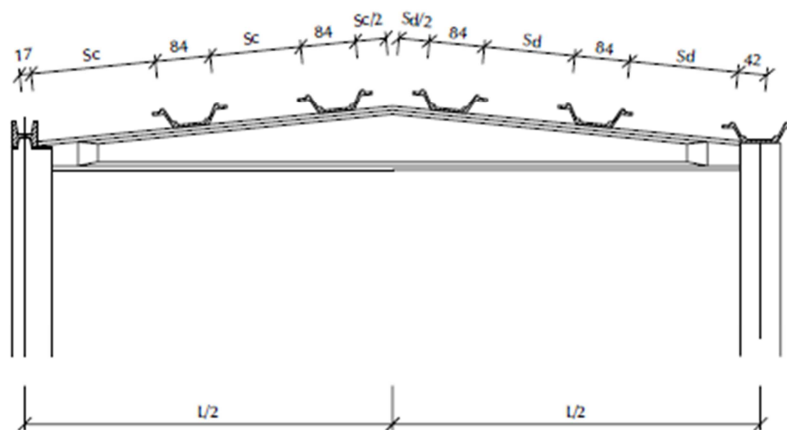


Figura 43: Disposición geométrica de correas tipo Dalla

Para una viga delta de 17m entre ejes y con un canto máximo de 1.5m conforma una pendiente de cubierta,  $\alpha$  del 10%, o lo que es lo mismo, 5.71°.

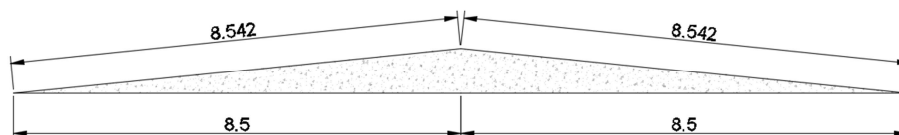


Figura 44: Dimensiones estimadas de viga delta de 17 m de luz

Desarrollando según la disposición de las ilustraciones, para cada mitad de pórtico, a continuación comprobaremos si las correas cumplen estructuralmente o no tanto para  $n=4,3,2,1$ , siendo para situaciones persistentes o transitorias:



$n$ =número de correas

$Sc$ =separación entre correas

$$L/2=850\text{cm}=17+nxSc+nx84+Sc/2$$

### CÁLCULOS:

Para  $n=4$  correas:

Obtenemos una separación de correas, uniformemente repartidas de:

$$Sc=110.45 \text{ cm.}$$

### SEPARACIÓN DE 110.45CM

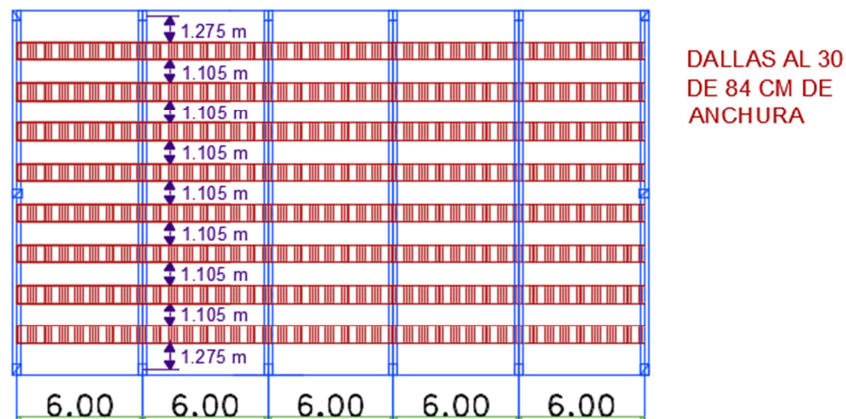


Figura 45: Separación de 110.45cm entre correas con luces de 6m

Quedando el ancho tributario por correa en proyección horizontal:

$$AT=(Sc+84)xcos\alpha=(110.45+84)xcos5.71=193.49 \text{ cm}$$

Y siendo, para situaciones persistentes o transitorias de ELU, la siguiente combinación de cargas:

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

Actuando sobre la cubierta las siguientes cargas:

- $G_{k,1}=0.12 \text{ KN/m}^2$  para el peso propio de la cubierta
- $Q_{k,1}=1 \text{ KN/m}^2$  como sobrecarga de uso para conservación
- $Q_{k,2}=0.7 \text{ KN/m}^2$  como sobrecarga por viento
- $Q_{k,3}=0.2 \text{ KN/m}^2$  como sobrecarga por nieve

Extrayendo de la tabla 4.1 Coeficientes de seguridad ( $\gamma$ ) del CTE DB-SE para verificación de resistencia:

- $\gamma_{G,1}=1.35$
- $\gamma_{Q,1}=1.5$
- $\gamma_{Q,2}=1.5$
- $\gamma_{Q,3}=1.5$

Extrayendo de la tabla 4.2 Coeficientes de simultaneidad ( $\Psi$ ) del CTE DB-SE:

- $\Psi_{0,1}=0.6$  para viento
- $\Psi_{0,2}=0.5$  para nieve a altitudes <1000m

Obtenemos un carga total sobre las correas multiplicando la carga superficial actuante sobre la cubierta por el ancho tributario de la correa correspondiente a:

$$Q=1.935 \times 1.35 \times 0.12 + 1.935 \times 1.5 \times 1 + 1.935 \times (1.5 \times 0.7 \times 0.6 + 1.5 \times 0.2 \times 0.5) = 4.72 \text{ kN/m}$$

Y en consecuencia el momento para una correa biapoyada, para una luz de 6 m es de:

$$M=1/8 \times Q \times L^2 = 1/8 \times 4.72 \times 6^2 = 21.26 \text{ kN} \cdot \text{m} < M_{\text{max}} = 71.1 \text{ kN} \cdot \text{m}. \text{ CUMPLE.}$$

Véase que el momento  $M_{\text{max}}$  de 71.1 kNm es el correspondiente al que resiste la correa tipo AL 30. Dato extraído de su ficha técnica.

**Para n=3 correas:**

Con el mismo procedimiento obtenemos, para n=3 correas, una separación:

$$S_c = 166 \text{ cm}$$

#### SEPARACIÓN DE 166CM

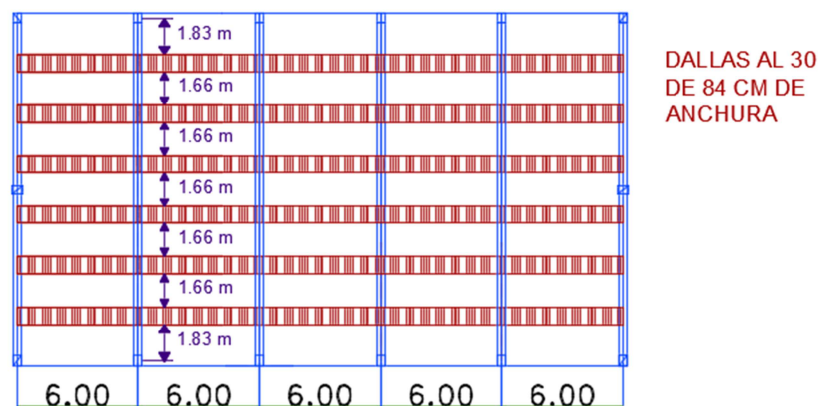


Figura 46: Separación de 166cm entre correas con luces de 6

Quedando un ancho tributario por correa en proyección horizontal:

$$AT = 248.76 \text{ cm}$$

Una carga total sobre las correas:

$$Q = 2.488 \times 1.35 \times 0.12 + 2.488 \times 1.5 \times 1 + 2.488 \times (1.5 \times 0.7 \times 0.6 + 1.5 \times 0.2 \times 0.5) = 6.076 \text{ kN/m}$$

Y el momento:

$$M = 1/8 \times Q \times L^2 = 1/8 \times 6.076 \times 6^2 = 27.34 \text{ kN} \cdot \text{m} < M_{\max} = 71.1 \text{ kN} \cdot \text{m}. \text{ CUMPLE.}$$

Para  $n=2$  correas:

Obtenemos una separación:

$$Sc = 266 \text{ cm}$$

### SEPARACIÓN DE 266CM

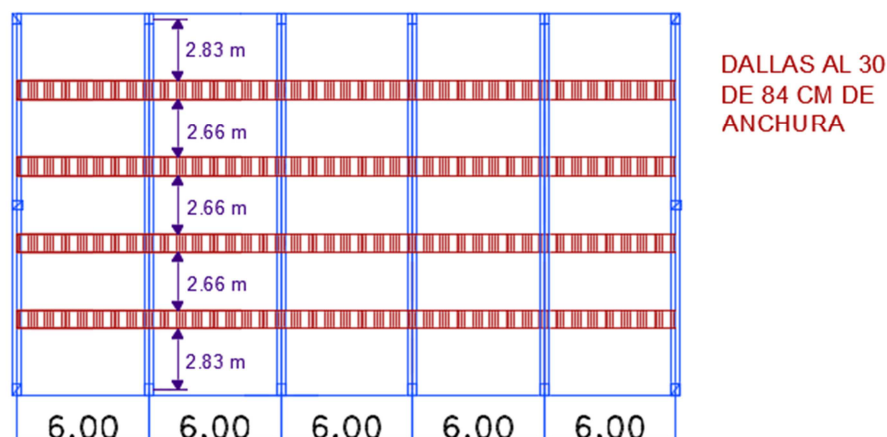


Figura 47: Separación de 266 cm entre correas con luces de 6m

Quedando un ancho tributario por correa en proyección horizontal:

$$AT = 348.26 \text{ cm}$$

Una carga total sobre las correas:

$$Q = 3.482 \times 1.35 \times 0.12 + 3.483 \times 1.5 \times 1 + 3.483 \times (1.5 \times 0.7 \times 0.6 + 1.5 \times 0.2 \times 0.5) = 8.5 \text{ kN/m}$$

Y el momento:

$$M = 1/8 \times Q \times L^2 = 1/8 \times 8.5 \times 6^2 = 38.26 \text{ kN} \cdot \text{m} < M_{\max} = 71.1 \text{ kN} \cdot \text{m}. \text{ CUMPLE.}$$

Para  $n=1$  correa: **NO ES VIABLE**

10.3.2 PÓRTICOS CADA 7.5 METROS. 4 VANOS.

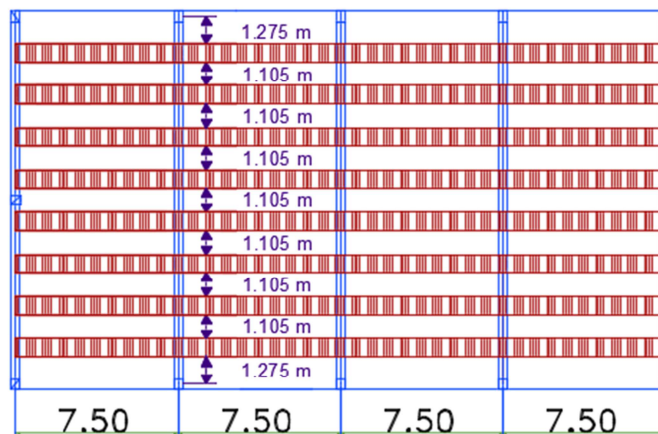
**CÁLCULOS:**

**Para n=4 correas:**

Obtenemos una separación de correas, uniformemente repartidas de:

$S_c = 110.45 \text{ cm}$ .

**SEPARACIÓN DE 110.45CM**



DALLAS AL 30  
DE 84 CM DE  
ANCHURA

Figura 48: Separación de 110.45cm entre correas con luces de 7.5m

Quedando el ancho tributario por correa en proyección horizontal:

$$AT = (S_c + 84) \times \cos \alpha = (110.45 + 84) \times \cos 5.71^\circ = 193.49 \text{ cm}$$

Por lo tanto la carga total sobre las correas es:

$$Q = 1.935 \times 1.35 \times 0.12 + 1.935 \times 1.5 \times 1 + 1.935 \times (1.5 \times 0.7 \times 0.6 + 1.5 \times 0.2 \times 0.5) = 4.72 \text{ kN/m}$$

Y en consecuencia el momento, para una luz de 7.5m:

$$M = 1/8 \times Q \times L^2 = 1/8 \times 4.72 \times 7.5^2 = 33.22 \text{ kN} \cdot \text{m} < M_{\max} = 71.1 \text{ kN} \cdot \text{m}. \text{ CUMPLE.}$$

**Para n=3 correas:**

Con el mismo procedimiento obtenemos una separación:

$S_c = 166 \text{ cm}$

### SEPARACIÓN DE 166CM

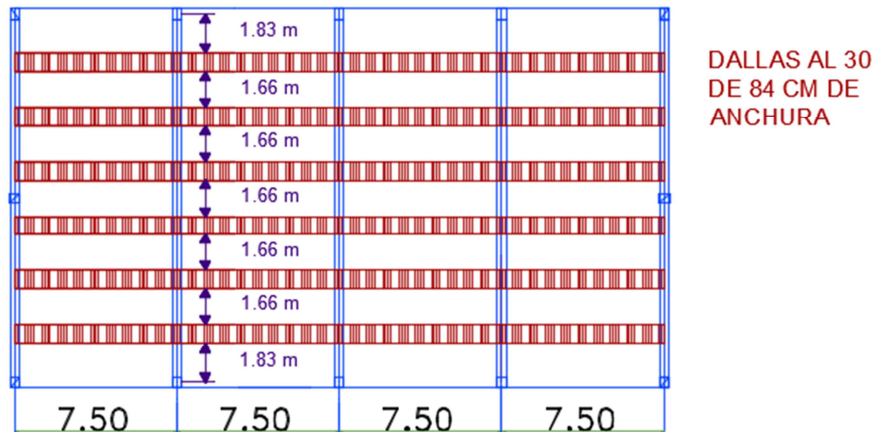


Figura 49: Separación de 166cm entre correas con luces de 7.5m

Quedando un ancho tributario por correa en proyección horizontal:

$$AT = 248.76 \text{ cm}$$

Una carga total sobre las correas:

$$Q = 2.488 \times 1.35 \times 0.12 + 2.488 \times 1.5 \times 1 + 2.488 \times (1.5 \times 0.7 \times 0.6 + 1.5 \times 0.2 \times 0.5) = 6.076 \text{ kN/m}$$

Y el momento:

$$M = 1/8 \times Q \times L^2 = 1/8 \times 6.076 \times 7.5^2 = 42.72.48 \text{ kN} \cdot \text{m} < M_{\text{max}} = 71.1 \text{ kN} \cdot \text{m}. \text{ CUMPLE.}$$

Para  $n=2$  correas:

Obtenemos una separación:

$$Sc = 266 \text{ cm}$$

## SEPARACIÓN DE 266CM

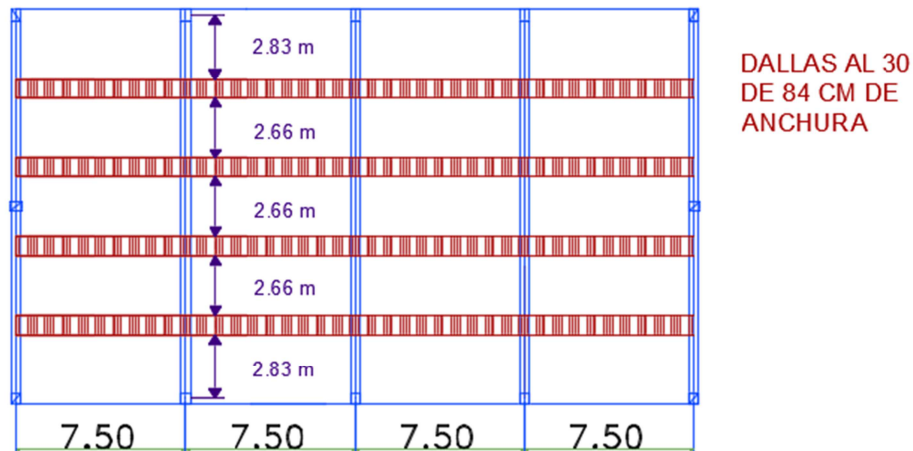


Figura 50: Separación de 266cm entre correas con luces de 7.5m

Quedando un ancho tributario por correa en proyección horizontal:

$$AT=348.26 \text{ cm}$$

Una carga total sobre las correas:

$$Q=3.482 \times 1.35 \times 0.12 + 3.483 \times 1.5 \times 1 + 3.483 \times (1.5 \times 0.7 \times 0.6 + 1.5 \times 0.2 \times 0.5) = 8.5 \text{ KN/m}$$

Y el momento:

$$M=1/8 \times Q \times L^2 = 1/8 \times 8.5 \times 7.5^2 = 59.79 \text{ KN} \cdot \text{m} < M_{\max} = 71.1 \text{ KN} \cdot \text{m}. \text{ CUMPLE.}$$

Para  $n=1$  correa: **NO ES VIABLE**

### 10.3.3 PÓRTICOS CADA 10 METROS. 3 VANOS.

#### CÁLCULOS:

Para  $n=4$  correas:

Obtenemos una separación:

$$Sc=110.45 \text{ cm}$$



## SEPARACIÓN DE 110.45CM

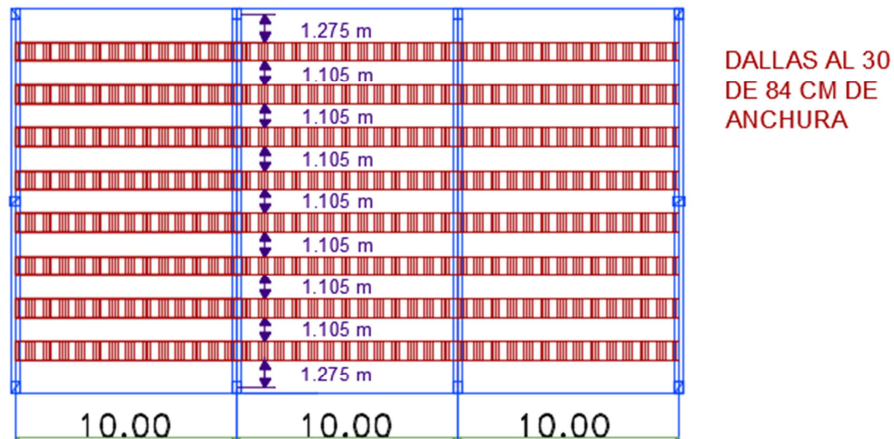


Figura 51: Separación de 110.45cm entre correas con luces de 10m

Un ancho tributario por correa en proyección horizontal:

$$AT = (Sc + 84) \times \cos \alpha = 193.49 \text{ cm}$$

Una carga total sobre las correas:

$$Q = 1.935 \times 1.35 \times 0.12 + 1.935 \times 1.5 \times 1 + 1.935 \times (1.5 \times 0.7 \times 0.6 + 1.5 \times 0.2 \times 0.5) = 4.72 \text{ kN/m}$$

Y en consecuencia el momento para una luz de 10m:

$$M = 1/8 \times Q \times L^2 = 1/8 \times 4.72 \times 10^2 = 59 \text{ kN} \cdot \text{m} < M_{\text{max}} = 71.1 \text{ kN} \cdot \text{m}. \text{ CUMPLE.}$$

Para n=3 correas:

Obtenemos una separación:

$$Sc = 166 \text{ cm}$$

### SEPARACIÓN DE 166CM

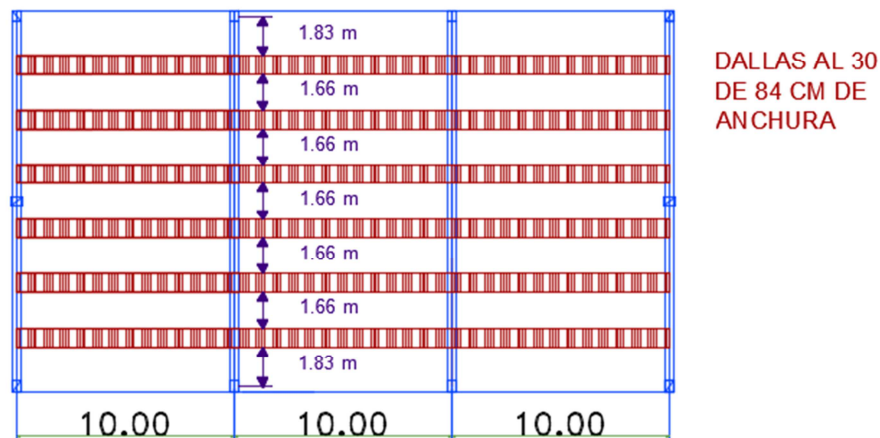


Figura 52: de 166cm entre correas con luces de 10m

Un ancho tributario por correa en proyección horizontal:

$$AT=248.76 \text{ cm}$$

Una carga total sobre las correas:

$$Q=2.488 \times 1.35 \times 0.12 + 2.488 \times 1.5 \times 1 + 2.488 \times (1.5 \times 0.7 \times 0.6 + 1.5 \times 0.2 \times 0.5) = 6.076 \text{ KN/m}$$

Y el momento:

$$M=1/8 \times Q \times L^2 = 1/8 \times 6.076 \times 10^2 = 75.95 \text{ KN} \cdot \text{m} > M_{\max} = 71.1 \text{ KN} \cdot \text{m}. \text{ NO CUMPLE.}$$

#### 10.3.4 PÓRTICOS CADA 15 METROS. 2 VANOS.

**CÁLCULOS:**

**Para n=4 correas:**

$$Sc=110.45 \text{ cm}$$

### PEPARACIÓN DE 110.45CM

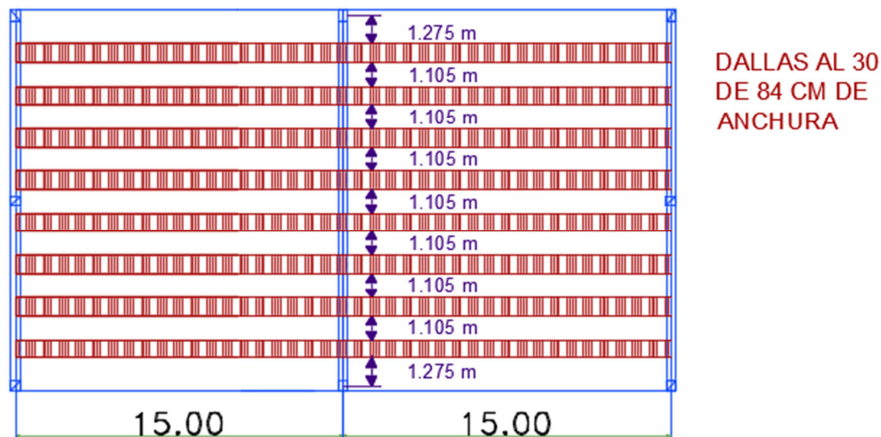


Figura 53: de 110.45cm entre correas con luces de 15m

Un ancho tributario por correa en proyección horizontal

$$AT = 193.49 \text{ cm}$$

Una carga total sobre las correas:

$$Q = 1.935 \times 1.35 \times 0.12 + 1.935 \times 1.5 \times 1 + 1.935 \times (1.5 \times 0.7 \times 0.6 + 1.5 \times 0.2 \times 0.5) = 4.72 \text{ kN/m}$$

Y el momento:

$$M = 1/8 \times Q \times L^2 = 1/8 \times 4.72 \times 15^2 = 132.75 \text{ kN} \cdot \text{m} > M_{\text{max}} = 71.1 \text{ kN} \cdot \text{m}. \text{ NO CUMPLE.}$$

#### 10.3.5 CUADRO RESUMEN

Distancia entre pórticos	Nº mínimo de correas
6	4
7.5	4
10	8
15	INVIALE

Tabla 39: Cuadro resumen pórticos y mínimo de correas

#### 10.4. Precios aproximados de PEM

A continuación extraeremos el precio aproximado de pórtico tipo, del muro piñón de fachada, el precio del metro lineal de correa dalla y por último el cuadro que resume el precio de cada una de las alternativas:

##### 10.4.1 PRECIO DE PÓRTICO TIPO

- Excavación de cimentación= $23\text{€/m}^3 \times 3.12\text{m} \times 2.42\text{m} \times 1.4\text{m} \times 2\text{uds}=486.25\text{€}$
- Hormigón de limpieza= $7.42\text{€/m}^2 \times 3.12\text{m} \times 2.42\text{m} \times 2\text{uds}=112.05\text{€}$
- Cimentación con zapata prefabricada tipo cáliz= $2\text{uds} \times 400\text{€/ud}=800\text{€}$
- Mortero tipo Grout= $1.377,39\text{€/m}^3 \times 0.008\text{m}^3=11\text{€}$
- Pilar de 64x40cm de 12m de altura= $1.033,43\text{€/ud} \times 2\text{uds}=2066.86\text{€}$
- Viga delta de 17m de luz y 10% de pendiente= $98\text{€/m} \times 17\text{m}=1666\text{€}$

Total precio de pórtico tipo=**5142.16€/pórtico.**

#### 10.4.2 PRECIO DE MURO PIÑÓN

- Excavación de cimentación= $23\text{€/m}^3 \times 3.12\text{m} \times 2.42\text{m} \times 1.4\text{m} \times 3\text{uds}=729.37\text{€}$
- Hormigón de limpieza= $7.42\text{€/m}^2 \times 3.12\text{m} \times 2.42\text{m} \times 3\text{uds}=168.07\text{€}$
- Cimentación con zapata prefabricada tipo cáliz= $3\text{uds} \times 400\text{€/ud}=1200\text{€}$
- Mortero tipo Grout= $1.377,39\text{€/m}^3 \times 0.012\text{m}^3=16.5\text{€}$
- Pilar de 64x40cm de 12m de altura= $1.033,43\text{€/ud} \times 3\text{uds}=3100.29\text{€}$
- Viga T de fachada de 8.5m de luz y 10% de pendiente= $132.5\text{€/m} \times 17\text{m}=2252.5\text{€}$

Total precio de estructura de fachada=**7466.73€.**

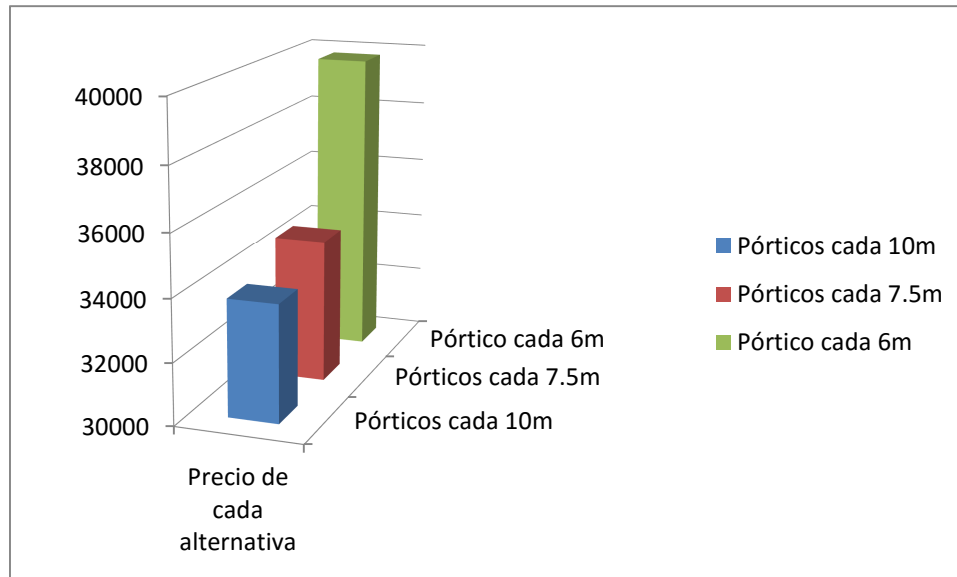
#### 10.4.3 PRECIO DE CORREA DALLA

Precio por metro lineal de correa Dalla totalmente instalada: **35.65 €/m.**

### 10.5. Precio de la estructura de cada alternativa

Nº PÓRTICOS INTERMEDIOS	PRECIO DE PÓRTICOS (€)	PRECIO DE FACHADAS (€)	Nº CORREAS	METROS DE CORREA	PRECIO DE CORREAS (€)	PRECIO TOTAL (€)
2	10284,32	14933,46	8	240	8556	33773,78
3	15426,48	14933,46	4	120	4278	34637,94
4	20568,64	14933,46	4	120	4278	39780,1

Tabla 40: Resumen precios por separación de pórticos



Gráfica 7: Comparativa de precio de estructura de las distintas alternativas

### 10.6. Selección de separación entre pórticos

Como se puede observar, con pórticos cada 6m se encarece en cerca de 5100€ con respecto al sistema con pórticos separados a 7.5m. Esta cantidad se corresponde con el coste de un pórtico completo, que a priori parece innecesario.

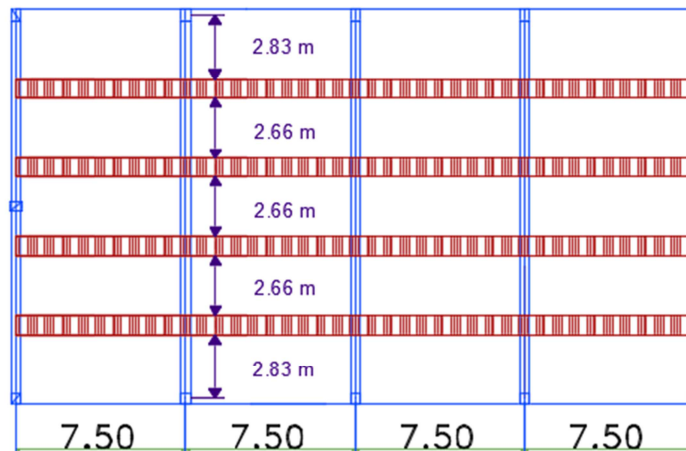
El sistema estructural con pórticos cada 7.5m se encarece cerca de 900€ con respecto al sistema de 10m (2 pórticos intermedios).

A priori, en cuanto a coste, parece preferible la alternativa de 2 pórticos intermedios, a una distancia de 10m con respecto al de que tiene una separación de 7.5 m; no obstante, de entre ambas, seleccionamos esta última opción.

El motivo por el que se escoge tener 7.5 m de separación y no 10, es que debido a la significativa altura de la nave, y a falta de un cálculo estructural más exhaustivo, careciendo ésta de forjados intermedios que arriostren la estructura en su plano, el único mecanismo de estabilidad frente a acciones horizontales existente es el efecto pórtico de cada uno de los pórticos. Esta configuración seleccionada le confiere mayor rigidez lateral y por tanto mayor estabilidad frente esfuerzos horizontales y por tanto mayor seguridad sin aumentar significativamente el coste.

El precio aproximado estimado de la estructura es del orden de 35.000 € en términos de PEM. Este precio incluye cimentación, soportes, vigas delta y correas, fabricación y colocación.

## SEPARACIÓN DE 266CM



DALLAS AL 30  
DE 84 CM DE  
ANCHURA

Ilustración 1: Selección de sistema estructural. Separación entre correas de 266cm. Pórticos cada 7.5m

### 11. SOLUCIÓN FINAL TIPOLOGÍA ESTRUCTURA METÁLICA Y DE PREFABRICADOS DE HORMIGÓN.

Después de haber analizado en los puntos 9 y 10 de este anejo las mejores alternativas para cada una de las tipologías de estructura metálica y de elementos de hormigón prefabricado nos queda:

**Estructura metálica:** Pórticos de celosías de nudos rígidos separados a 5 metros arriostrados con tirantes en cubierta y fachada. Precio aproximado estructura y cimentación: **70.472,86 €**

**Hormigón prefabricado:** Pórticos de vigas delta y correas Dalla separados a 7,5 metros. Precio aproximado estructura y cimentación: **34.637,94 €**