



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ETS INGENIEROS DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS

TRABAJO DE FIN DE MASTER

Diseño estructural de una nave metálica para uso industrial
en el polígono Parc Sagunt, en Sagunto (Valencia).
Solución con sistema de pórticos con dintel de tipo cercha.

Presentado por

Cuñat Miro, Rafael Maria


Para la obtención del

Master en Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos

Curso: 2018/2019

Fecha: JUNIO 2019

Tutor: Federico Jesús Bonet Zapater





**Diseño estructural de una nave metálica para uso industrial
en el polígono Parc Sagunt, en Sagunto (Valencia)**



SOLUCIÓN CON SISTEMA DE PÓRTICOS CON DINTEL DE TIPO CERCHA

Índice de documentos

1. MEMORIA
2. ANEJO I. ESTUDIO GEOTÉCNICO
3. ANEJO II. CALCULO ESTRUCTURAL
4. ANEJO III. CIMENTACIÓN
5. ANEJO IV. RELACION VALORADA
6. PLANOS



Índice Memoria

1.-	Introducción y objetivos	4
2.-	Descripción de la nave	4
2.1.-	Descripción de la nave	4
2.2.-	Descripción del pórtico tipo	5
2.3.-	Descripción de los cerramientos.....	5
2.3.1.-	Cubierta	5
2.3.2.-	Fachadas.....	5
3.-	Bases de caculo	5
3.1.-	Legislación aplicable	5
3.1.1.-	Normas referentes al cálculo estructural	6
3.1.2.-	Normas de disciplina urbanística:	6
3.2.-	Características de los materiales.....	6
3.3.-	Acciones.....	7
3.3.1.-	Permanentes	7
3.3.2.-	Sobrecargas de uso	8
3.3.3.-	Viento	8
3.3.4.-	Nieve.....	8
3.3.5.-	Sismo	8
3.4.-	Combinación de acciones.....	9
3.5.-	Características geotécnicas	10
4.-	Cálculo y Comparativa de los modelos	12
4.1.-	Modelo 1: Solución con sistema de pórticos con dintel de tipo cercha, con pórticos separados cada 6 metros	12
4.1.1.-	Comprobación pórtico 2D	13
4.1.2.-	Comprobación Tridimensional.....	14
4.2.-	Tabla con perfiles.....	16
4.3.-	Modelo 2: Solución con sistema de pórticos con dintel de tipo cercha, con pórticos separados cada 12 metros	16
4.3.1.-	Comprobación pórtico 2D	17
4.3.2.-	Comprobación Tridimensional.....	18



Diseño estructural de una nave metálica para uso industrial en el polígono Parc Sagunt, en Sagunto (Valencia)



4.3.3.-	Tabla con perfiles	19
4.4.-	Modelo 3. Solución con sistema de pórticos con dintel de viga de alma llena, con pórticos separados cada 6 metros.....	20
4.4.1.-	Comprobación Tridimensional.....	22
4.4.2.-	Tabla con perfiles	23
4.5.-	23
4.6.-	Modelo 4. Solución con sistema de pórticos con dintel de viga de alma llena, con pórticos separados cada 12 metros.....	23
4.6.1.-	Comprobación Tridimensional.....	24
4.6.2.-	Tabla con perfiles	26
5.-	Dimensionamiento de la cimentación	26
5.1.-	Solución con sistema de pórticos con dintel de tipo cercha.....	26
5.1.1.-	Zapatas	26
5.1.2.-	Elementos de arrostramiento	28
5.1.3.-	Placas de anclaje	28
5.2.-	Solución con sistema de pórticos con dintel de viga de alma llena.....	29
5.2.1.-	Zapatas	29
5.2.2.-	Elementos de arriostramiento	31
5.2.3.-	Placas de anclaje	31
6.-	Solución adoptada	31
7.-	Conclusiones	36
8.-	Bibliografía y referencias	37



1.- Introducción y objetivos

El presente trabajo titulado "Diseño estructural de una nave metálica para uso industrial en el polígono Parc Sagunt, en Sagunto (Valencia)" se presenta como Trabajo Final del Máster de Ingeniería de Caminos Canales y Puertos.

El objetivo del trabajo es exponer diversos tipos de nave, con diferentes configuraciones de pórticos con el fin de comprobar el comportamiento de cada una de ellas y escoger la más óptima desde el punto de vista técnico, funcional y económico.

Se realiza el análisis de esta nave ubicada en Sagunto con uso industrial y el propietario es *Crown Holdings*, empresa dedicada al reciclaje de latas de metal, actualmente la zona donde se ubica la nave se encuentra en expansión siendo el mayor parque empresarial de Europa.

El trabajo nos ha servido para conocer el comportamiento naves con distintas tipologías estructurales y la obtención de tipología óptima.

El objetivo principal del trabajo es el estudio de los siguientes elementos de la nave:

- Cimentación de la nave
- Solera y su cimentación
- Estructura principal de pórticos
- Correas de cubierta y fachada
- Sistema de arrojamiento de la estructura
- Definición de planos de los elementos principales de la estructura
- Análisis y valoración de las distintas soluciones estructurales

La finalidad última del trabajo es la de obtener la mejor solución analizando estructuralmente y económicamente diferentes tipos de configuración de pórticos.

2.- Descripción de la nave

2.1.- Descripción de la nave

La estructura proyectada estará formada por perfiles metálicos que conformarán los soportes y los dinteles o cerchas, según el caso, de cada uno de los pórticos de la nave.



Diseño estructural de una nave metálica para uso industrial en el polígono Parc Sagunt, en Sagunto (Valencia)



La nave cuenta con una longitud total de 84 metros de largo por 40 metros de ancho de los pórticos. Estará formada por 15 pórticos separados 6 metros en una solución y 7 pórticos separados 12 metros para la segunda solución.

2.2.- Descripción del pórtico tipo

El pórtico estará formado por perfiles metálicos de acero con unas dimensiones de 10 metros de altura en fachada y 12 metros en el centro de la nave con una longitud ya mencionada de 40 metros con 3 pilares intermedios separados 10 metros cada uno.

La altura del pórtico variara para la solución del modelo 3 con cercha que será de 14 metros en el centro de la nave para dar mayor canto a la cercha que será necesaria para soportar las cargas.

2.3.- Descripción de los cerramientos

2.3.1.- *Cubierta*

La nave se resuelve mediante una cubierta ligera tipo panel sándwich (PUR) de 50 mm de espesor compuesta por dos chapas prelacadas blancas de 0,5mm/0,5 mm y núcleo de poliuretano inyectado de 40 kg/m³ de densidad. El panel sándwich se dispone en un 85% del total de la superficie de cubierta, mientras que en el 15% restante se dispone policarbonato celular de 30 mm de espesor.

2.3.2.- *Fachadas*

Para el caso de las fachadas de la nave, tanto hastiales como laterales, se escoge fachada ligera tipo panel sándwich con las mismas características que la dispuesta en cubierta.

3.- Bases de caculo

En el anejo de cálculo estructural se expone con más detalle las bases de cálculo que se usaran en el análisis de la nave industrial así como la normativa utilizada.

3.1.- Legislación aplicable

Para el análisis y obtención de los resultados se han aplicado las siguientes normativas y reglamentos vigentes:



3.1.1.- Normas referentes al cálculo estructural

- Ministerio de fomento (2011). *Instrucción de Acero Estructural (EAE-11)*. ISBN 978-84-498-0912-5. Madrid: Secretaría General Técnica
- Comité Europeo de Normalización (1993). *Eurocódigo 3: Diseño de Estructuras de Acero*.
- Ministerio de fomento (2008). *Instrucción de Hormigón Estructural (EHE-08)*. ISBN. Madrid: Secretaría General Técnica
- Ministerio de fomento (2009). *Documento Básico. Seguridad Estructural (CTE-DB-SE)*. Madrid: Secretaría General Técnica
- Ministerio de fomento (2009). *Documento Básico. Acciones en la edificación (CTE-SE-AE)*. Madrid: Secretaría General Técnica
- Ministerio de fomento (2007). *Documento Básico. Seguridad estructural cimientos (CTE-SE-C)*. Madrid: Secretaría General Técnica
- Ministerio de fomento (2009). *Norma de Construcción Sismorresistentes: Parte General y Edificación (NCSE-02)*. NIPO. Madrid: Secretaría General Técnica

3.1.2.- Normas de disciplina urbanística:

- *Plan General de Ordenación Urbana de Sagunt*.

3.2.- Características de los materiales

- Acero estructural de perfiles
 - o Tipo: S-275 J0H
 - o J0H: aplicación en construcción con altas exigencias de soldabilidad
 - o Resistencia a tracción: 430 MPa
 - o Limite elástico: 275 MPa
 - o Coeficiente de minoración: 1,05 (según CTE-SE-DB-A)
 - o Módulo de elasticidad: 210 000 MPa
 - o Coeficiente de Poisson: 0,3
 - o Resistencia de cálculo: 262 MPa

- Acero estructural de perfiles
 - o Tipo: S-355 J0H
 - o J0H: aplicación en construcción con altas exigencias de soldabilidad
 - o Resistencia a tracción: 490 MPa
 - o Limite elástico: 355 MPa
 - o Coeficiente de minoración: 1,05 (según CTE-SE-DB-A)
 - o Módulo de elasticidad: 210 000 MPa



Diseño estructural de una nave metálica para uso industrial en el polígono Parc Sagunt, en Sagunto (Valencia)



- Coeficiente de Poisson: 0,3
- Resistencia de cálculo: 338 MPa

- Acero estructural de correas
 - Tipo: S-275 JR
 - Nivel de control: normal
 - Resistencia a tracción: 430 MPa
 - Limite elástico: 275 MPa
 - Coeficiente de minoración: 1,05 (según CTE-SE-DB-A)
 - Módulo de elasticidad: 210 000 MPa
 - Coeficiente de Poisson: 0,3
 - Resistencia de cálculo: 262 MPa

- Hormigón armado en zapatas
 - Tipo: HA-25/B/20/IIaNivel de control: estadístico
 - Resistencia a compresión: 25 MPa
 - Resistencia media: 33 MPa
 - Coeficiente de minoración: 1,5
 - Coeficiente de Poisson: 0,2
 - Peso por unidad de volumen: 25 kN/m

- Armadura pasiva
 - Tipo: B-500SD
 - Nivel de control: normal
 - Resistencia característica: 500 MPa
 - Coeficiente de minoración: 1,15
 - Módulo de elasticidad: 200 000 MPa
 - Resistencia de cálculo: 435 MPa

3.3.- Acciones

3.3.1.- **Permanentes**

- Peso propio: en este caso esta acción estará determinada por el peso propio de los elementos que dispondremos sobre la nave tanto los perfiles dimensionados como en las correas y quedaran determinados por el programa SAP2000

- Cargas muertas: para las cargas muertas se ha decidido colocar paneles sándwich para los cerramientos de la nave.
 - Paneles sándwich de 5 cm de espesor
 - $15\text{Kg/m}^2 - 0,15\text{ kN/m}^2$



3.3.2.- Sobrecargas de uso

En este caso la sobrecarga de uso en las cubiertas que se puedan producir es únicamente por mantenimiento.

- Para el predimensionamiento: $0,75\text{kN/m}^2$
- Según CTE: $0,4\text{ kN/m}^2$

3.3.3.- Viento

Para la obtención de las acciones relativas al viento se ha seguido lo establecido en la normativa Documento Básico SE-Acciones en la Edificación en su artículo 3.3 Viento.

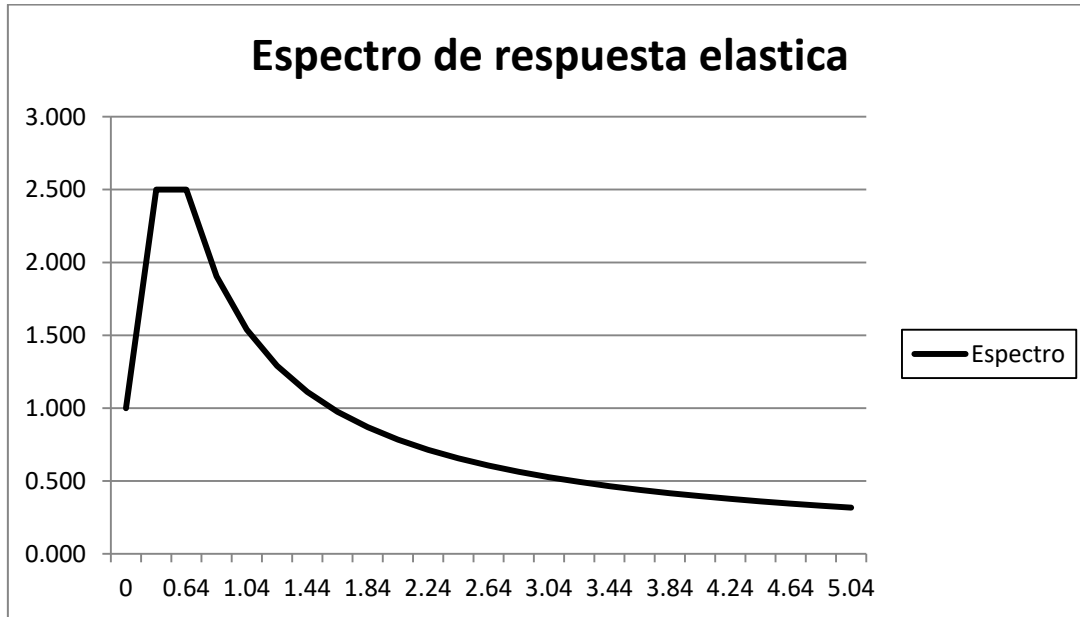
3.3.4.- Nieve

Con una altitud de la zona de 8 metros aproximadamente, según el anejo E y la tabla E.2 que muestra la sobrecarga por nieve en terreno horizontal en función de la zona climática invernal y la altitud.

- Zona climática invernal (levante): 5
- Altitud: 8 metros
- Sobrecarga por nieve: $0,2\text{ kN/m}^2$

3.3.5.- Sismo

En el anejo de cálculo se detalla el procedimiento para la obtención del espectro de pseudo aceleraciones para el cálculo de la acción sísmica, de acuerdo con la norma NCSP-02 Norma de Construcción Sismorresistentes: Parte General y Edificación, en la que se detalla el procedimiento a seguir, teniendo en cuenta que nos encontramos en Sagunto con una aceleración sísmica de $0,04g$ la mínima necesaria para tener en cuenta en el análisis dicho calculo.



3.4.- Combinación de acciones

- Situación persistente o transitoria ELU

El valor de cálculo de los efectos de las acciones por situaciones permanentes o transitorias se determina mediante la siguiente expresión:

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

- o Acciones permanentes $\gamma_G \cdot G_k$
- o Acción variable cualquiera $\gamma_Q \cdot Q_k$
- o Resto de acciones variables $\gamma_Q \cdot \psi_0 \cdot Q_k$
- Situación accidental

En este caso tenemos en cuenta la acción sísmica como acción accidental determinada cuyas acciones variables concomitantes se tendrán en cuenta con su valor casi permanente y se determina a partir de la siguiente expresión:

$$\sum_{j>1} G_{k,j} + A_d + \sum_{i>1} \psi_{2,j} \cdot Q_{k,j}$$

- Combinación ELS

A continuación, las acciones de carácter de corta duración en la etapa de servicio de la estructura que puedan considerarse en el cálculo para las hipótesis de combinaciones se determinan con la siguiente expresión:



Diseño estructural de una nave metálica para uso industrial en el polígono Parc Sagunt, en Sagunto (Valencia)



$$\sum_{j>1} G_{k,j} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i>1} \psi_{0,j} \cdot Q_{k,j}$$

Siendo:

- G todas las acciones permanentes con valor característico
- Q una acción variable cualquiera con valor característico

$\psi \cdot Q$ el resto de acciones variables con valor de combinación

3.5.- Características geotécnicas

Para el presente trabajo se ha recopilado información acerca de la geotecnia y la geología del suelo donde se pretende implantar la nave industrial, para ello se ha recurrido a un estudio realizado por la empresa G2G CONSULTORES, GEOTECNIA Y MEDIO AMBIENTE S.L. y solicitado por IVER INGENIEROS S.L en la que se han obtenido tanto los sondeos que se adjuntan en el anejo geotécnico como los ensayos de laboratorio. A continuación, resumiremos las conclusiones que se han obtenido de dicho estudio.

Información básica del suelo	
UTM X	736064
UTM Y	4392300
Municipio	SAGUNTO/SAGUNT
Comarca	el Camp de Morvedre
Provincia	VALÈNCIA / VALENCIA
Número de hoja / Nombre	1514
Tipo de suelo	Arcillas medias, arenas y gravas
Geomorfología	Cuaternario
Litología	
Riesgos geotécnicos	No se indican
Aceleración sísmica	0.04
Coefficiente de contribución	1
Tensión característica inicial	100
Espesor conocido de suelos blandos	No se conocen
Pendiente mayor de 15°	No
Trasladar datos a los impresos	
Cerrar	

Las unidades geotécnicas definidas han sido las siguientes:

- Tierra vegetal: cota 0 - 0,4 metros.
- Arcillas y limos: cota 0,9 – 2,2 metros.
- Gravas: cota 3,4 – 4,9 metros.



Diseño estructural de una nave metálica para uso industrial en el polígono Parc Sagunt, en Sagunto (Valencia)



- Arcillas y limos: cota 4,8 – 5,1 metros.

En el análisis del agua encontrada bajo la superficie del terreno se ha llegado a la conclusión que se trata de un agua con agresividad débil para el hormigón, con un ambiente de tipo Qa, en el que se ha llegado a la conclusión de que no va a ser necesario el uso de aditivos extra para hacer frente al ataque del sulfuro. Por tanto, tampoco será necesario el uso de cemento sulfo-resistente (SR), ya que como hemos mencionado el contenido en sulfatos hace que no sea necesario ningún tipo de protección en la estructura de cimentación contra este tipo de ataques químicos del terreno, ya que en conclusión se trata de un terreno no agresivo.

En cuanto a la sismicidad se ha llegado a que estamos en una zona sísmica con una aceleración básica de 0,04g y como ya hemos mencionado en el apartado de sismicidad, según la norma sismorresistente (NCSE-02) tendremos que tener en cuenta la acción del sismo en nuestra estructura.

En cuanto a la excavabilidad del terreno como ya hemos mencionado, para las dos primeras unidades geotécnicas que son la tierra vegetal y las arcillas y limos podremos usar métodos mecánicos convencionales sin necesidad de usar un martillo picador mientras que en la unidad geotécnica siguiente perteneciente a las gravas es probable que se considere el uso de dicho martillo picador.

CONCLUSIONES			
Ud. Geotécnicas	4 unidades a tener en cuenta	-	-
Nivel Freático	A partir de la cota 5,2 m	-	-
Agresividad Terreno	A tener en cuenta	No agresivo	Sin medidas
Agresividad Agua	A tener en cuenta	Agresividad Débil	Sin medidas
Excavabilidad	Tierra vegetal con Métodos mecánicos convencionales	Arcillas y limos con Métodos convencionales	Gravas con martillos picador

En cuanto a la cimentación se han llegado a varias conclusiones gracias a los cálculos realizados, en la que se ha llegado a los siguientes resultados:

Cimentación	Ud. Geotécnica	Presión vertical(kN/m2)	Asientos(mm)
Zapatatas aisladas	Arcillas y limos	200	6,8
Arriostradas	gravas	400	13,1

4.- Cálculo y Comparativa de los modelos

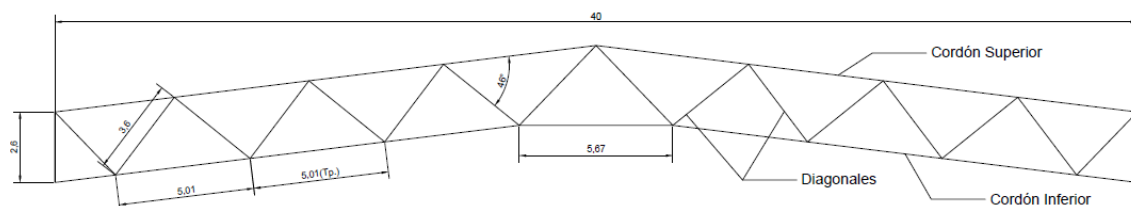
A continuación, se definen los 4 modelos que vamos a estudiar y que tendremos que analizar estructuralmente para realizar un estudio de soluciones para tomar una decisión sobre el modelo final a construir para ello se definen dos tipologías cada una desarrollada y analizada por un alumno, en la cual se definirán dos separaciones diferentes, una solución con pórticos cada 6 metros y otra solución con pórticos cada 12 metros, analizando también la solución más eficiente en cuanto a separación de pórticos.

Con anterioridad se ha realizado un predimensionamiento de las correas que vamos a disponer sobre nuestras naves y las cuales se van a llevar las cargas que tendremos en cuenta, por tanto, analizaremos dos tipos de correas una de 6 metros y otras de 12 metros de longitud. Las conclusiones finales a dicho dimensionamiento previo y que se detallan en el anejo de cálculo estructural en el apartado 3 común al trabajo.

		PERFIL
Correa 6m	Cubierta	IPE 160
	Fachada	UPN 160
Correa 12m	Cubierta	IPE 330
	Fachada	UPN 350

4.1.- Modelo 1: Solución con sistema de pórticos con dintel de tipo cercha, con pórticos separados cada 6 metros

La primera solución estudiada es una solución con pórticos tipo cercha separados cada 6 metros



Se realiza un primer dimensionamiento a mano de la cercha para tener una idea del alcance de los perfiles que se pretenden comprobar posteriormente con el programa SAP2000, dando los siguientes resultados.



Diseño estructural de una nave metálica para uso industrial en el polígono Parc Sagunt, en Sagunto (Valencia)



	Perfil	Masa	Ud.	Masa total	Ud.		
Cordón superior	SHS 140x8	32,6	Kg/m	1313,8	kg	41,88	%
Cordón inferior	SHS 120x8	27,6	Kg/m	1112,3	kg	35,46	%
Diagonal comprimida	SHS 100x5	14,7	Kg/m	423,4	kg	13,50	%
Diagonal traccionada	SHS 70x5	9,99	Kg/m	287,7	kg	9,17	%
			peso cercha	3137,1	kg		

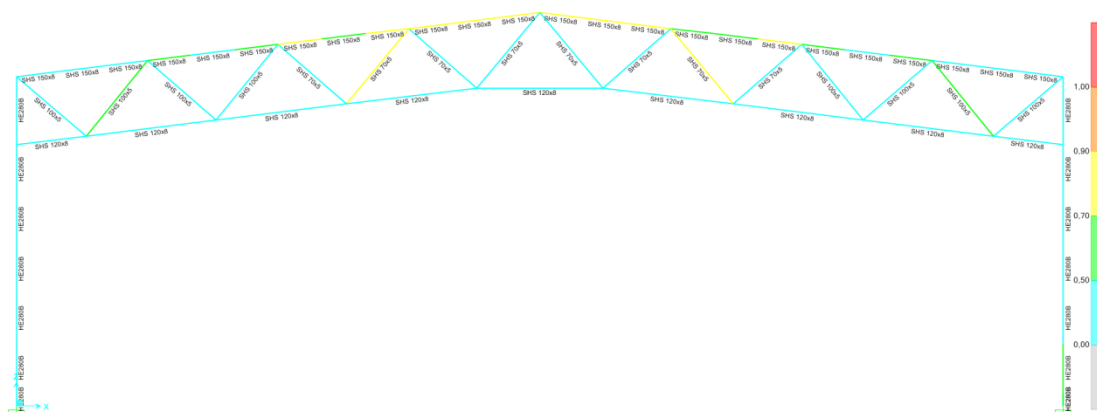
4.1.1.- Comprobación pórtico 2D

Se realiza una primera comprobación del pórtico bidimensional que hemos diseñado para nuestra solución, buscando el siguiente aprovechamiento.

	objetivo
aprovechamiento	<1

Para ello se hacen varias pasadas en el cálculo hasta alcanzar un aprovechamiento por debajo de 1 en todos los perfiles, buscando que estén entre valores de 0,6 y 0,8 para la mayor eficiencia de los perfiles.

Se realizan algunas comprobaciones y se llega a la siguiente solución para el pórtico bidimensional



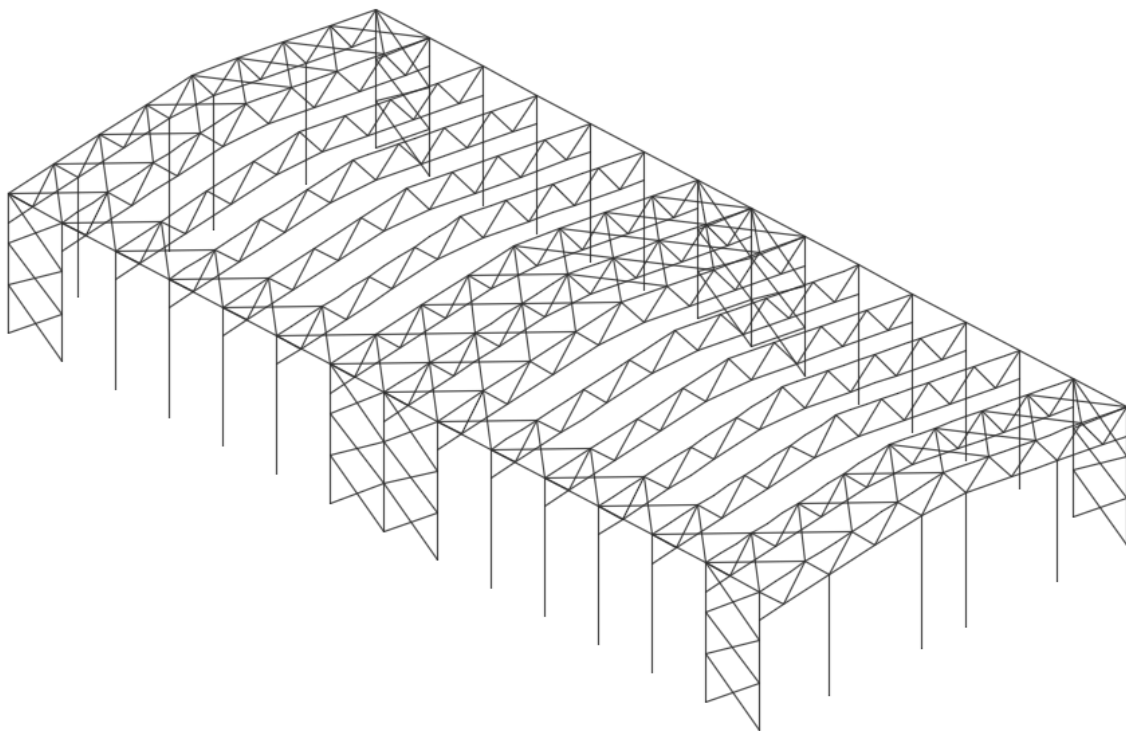
Es importante también tener en cuenta la comprobación de flechas ya que en el programa no sabe diferencia que elementos debe comprobar y su longitud, por tanto, hay que realizar una comprobación a mano llegando a la

conclusión que cumple los límites de flecha establecidos por la norma, tanto por desplome como verticalmente.

COMPROBACION FLECHAS HORIZONTALES MÁXIMAS			
Nudo	U1	DESPLOME	
NP7	0,0456	0,05	CUMPLE
NP8	0,0454	0,05	CUMPLE
NP17	0,0488	0,05	CUMPLE
NP18	0,0463	0,05	CUMPLE

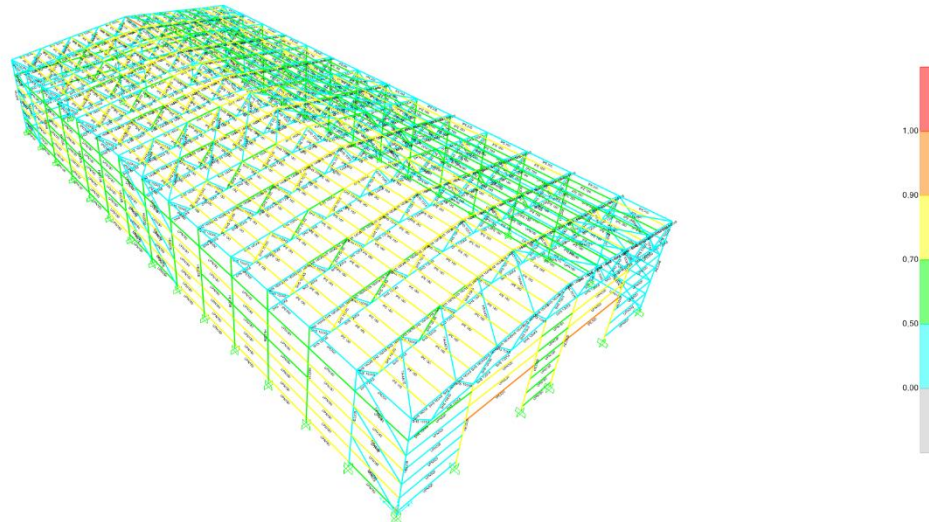
4.1.2.- *Comprobación Tridimensional*

Para el análisis tridimensional se colocan los pórticos comprobados anteriormente separados cada 6 metros con la siguiente disposición de arrostramientos:



Primero se realizan las comprobaciones de los pórticos con las vigas de atado que arriostran los pórticos y posteriormente se comprueban el comportamiento de las correas para luego realizar las comprobaciones de flecha a mano ya que el programa no las realiza correctamente.

Como se observa por la siguiente imagen adjunta tanto los perfiles de las cerchas como los pilares y las correas dimensionadas cumplen los requisitos de comprobación teniendo un aprovechamiento por debajo de 1.



A continuación, se estudia la flecha máxima para los casos se describen en el anejo de cálculo estructural, el caso con arrostramientos transversales que hacen frente al viento longitudinal y con un arrostramiento longitudinal que hace frente al viento transversal, dando lo siguientes resultados.

COMPROBACION FLECHAS HORIZONTALES				
Nudo	U1(2) (mm)	U1(1) (mm)	DESPLOME	
6	0,039	0,048	0,05	
7	0,035	0,050	0,05	
9	0,031	0,041	0,05	
10	0,032	0,048	0,05	

Siendo:

- (1) Solución con arriostramientos transversales únicamente
- (2) Solución con arriostramientos transversales y longitudinales.

La flecha vertical cumple en todos los casos, pero la flecha horizontal por desplome es importante comprobarla y como se observa por la tabla adjunta con ambas tipologías de arrostramientos se consiguen mejores resultados para límites de flechas.



4.2.- Tabla con perfiles

Por ultimo una vez realizadas las comprobaciones de las cerchas, pilares y correas, así como las comprobaciones por flechas y decidido el sistema de arriostramientos se adjunta la tabla con todos los perfiles comprobados, así como su peso para poder realizar una comparación final con el resto de modelos que se van a estudiar.

CERCHA 6m					
Elemento	perfil	Masa	Ud.	Masa total	Ud.
Cordón superior	SHS 160x8	37,6	Kg/m	1515,3	kg
Cordón inferior	SHS 120x8	27,6	Kg/m	1112,3	kg
Diagonal comprimida	SHS 100x5	14,7	Kg/m	423,4	kg
Diagonal traccionada	SHS 70x5	9,99	Kg/m	287,7	kg
				peso cercha	3338,6 kg

NAVE 6 m					
ELEMENTO	PERFIL	PESO UD(kg/m)	NUMERO	LONGITUD	PESO TOTAL (KG)
CORREAS CUBIERTA	IPE 180	18,8	322	6,00	36321,6
CORREAS FACHADA	UPN 180	22,0	168	6,00	22176
VIGAS DE ATADO	IPE 300	42,2	28	6,00	7089,6
CORREAS PORTICO	UPN 300	46,1	24	7,64	8453
	UPN 300	46,1	8	9,95	3670
	UPN 160	18,9	12	4,83	1096
DINTEL PUERTA	IPE 330	49,1	4	9,95	1954
PILARES FACHADA	HEB220	71,5	30	10,00	21450
PILARES PORTICO	HEB 330	127,0	8	10,00	10160

4.3.- Modelo 2: Solución con sistema de pórticos con dintel de tipo cercha, con pórticos separados cada 12 metros

A continuación, analizaremos los resultados obtenidos para la misma tipología de pórtico, pero con estos separados 12 metros entre sí.

De nuevo se realiza un predimensionamiento a mano para tener una idea básica de los perfiles a comprobar, obteniendo los siguientes resultados:

	perfil	Masa	Ud.	Masa total	Ud.		
Cordón superior	SHS 200x8	47,7	Kg/m	1922,3	kg	43,16	%
Cordón inferior	SHS 150x8	35,1	Kg/m	1414,5	kg	31,76	%
Diagonal comprimida	SHS 140x5	21	Kg/m	604,8	kg	13,58	%



Diseño estructural de una nave metálica para uso industrial en el polígono Parc Sagunt, en Sagunto (Valencia)



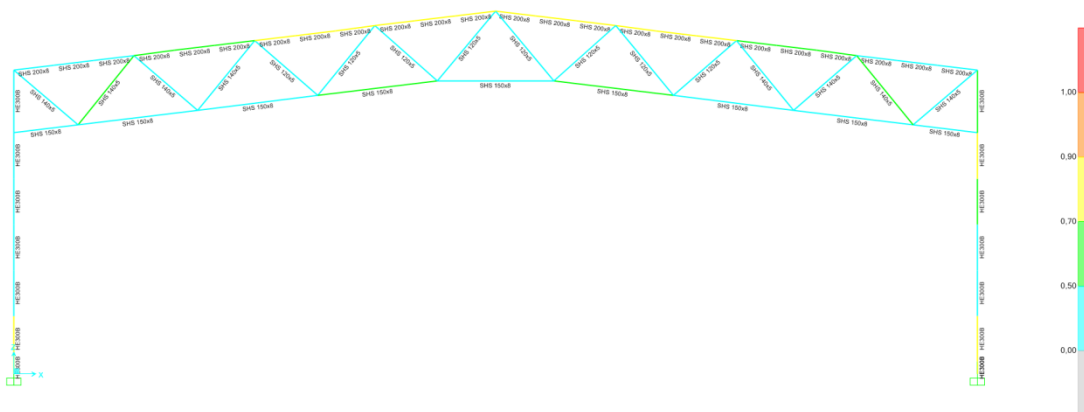
Diagonal traccionada	SHS 120x5	17,8	Kg/m	512,6	kg	11,51	%
			Peso cercha	4454,3	kg		

4.3.1.- Comprobación pórtico 2D

Se realiza una primera comprobación del pórtico bidimensional como en el caso anterior, buscando el siguiente aprovechamiento.

$$\frac{\text{objetivo}}{\text{aprovechamiento}} < 1$$

Para ello se hacen varias pasadas en el cálculo hasta alcanzar un aprovechamiento por debajo de 1 en todos los perfiles, buscando que estén entre valores de 0,6 y 0,8 para la mayor eficiencia de los perfiles, obteniendo los siguientes resultados

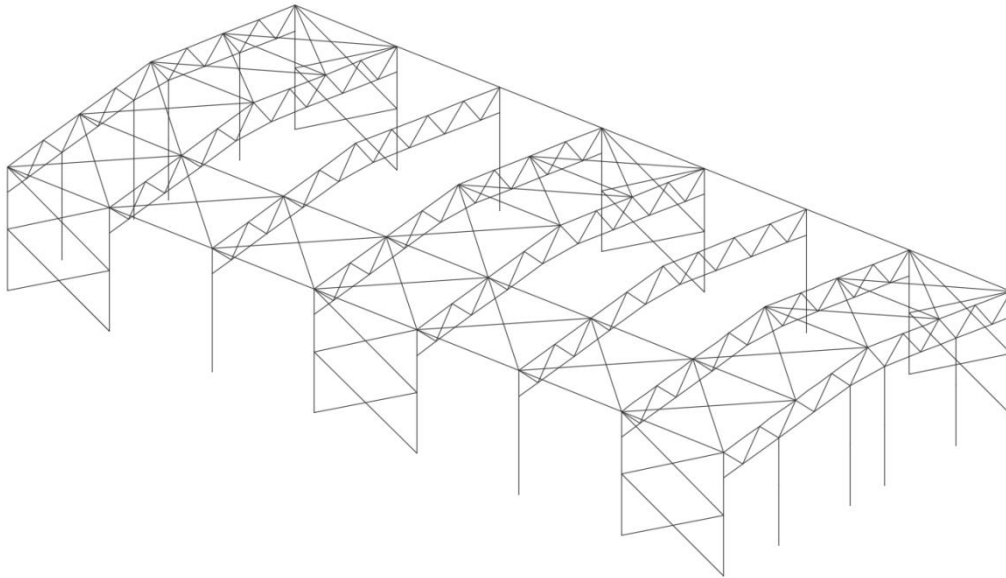


De nuevo se realizan a mano las comprobaciones de límites de flecha y se llegan a las siguientes conclusiones:

COMPROBACION FLECHAS HORIZONTALES MAXIMAS			
Nudo	U1 (mm)	DESPLOME	
NP7	0,0318	0,05	CUMPLE
NP8	0,0394	0,05	CUMPLE
NP17	0,0439	0,05	CUMPLE
NP18	0,0412	0,05	CUMPLE

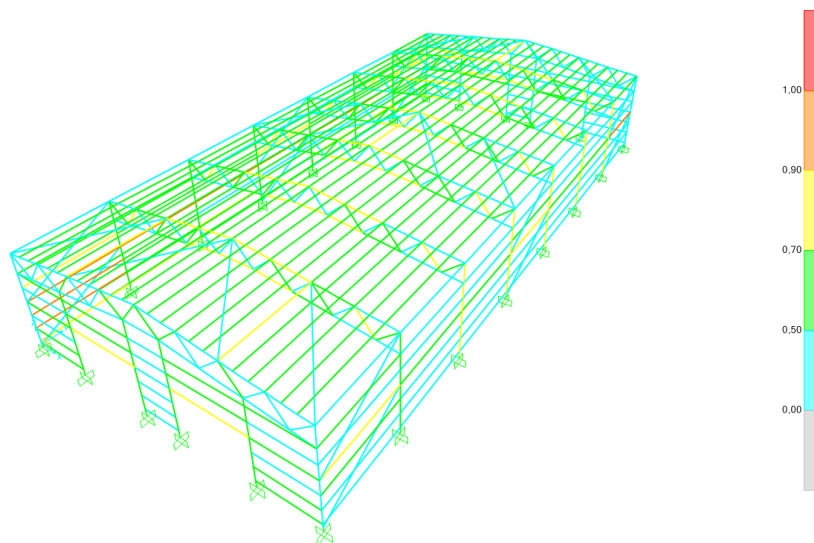
4.3.2.- Comprobación Tridimensional

Realizamos las mismas comprobaciones que en el modelo anterior para una nave con pórticos cada 12 metros siguiendo el mismo procedimiento que antes.



Primero se realizan las comprobaciones de los pórticos con las vigas de atado que arriostran los pórticos y posteriormente se comprueban el comportamiento de las correas para luego realizar las comprobaciones de flecha a mano ya que el programa no las realiza correctamente.

Como se observa por la siguiente imagen adjunta tanto los perfiles de las cerchas como los pilares y las correas dimensionadas cumplen los requisitos de comprobación teniendo un aprovechamiento por debajo de 1.





Diseño estructural de una nave metálica para uso industrial en el polígono Parc Sagunt, en Sagunto (Valencia)



A continuación, se estudia la flecha máxima para los casos se describen en el anejo de cálculo estructural, el caso con arriostramientos transversales que hacen frente al viento longitudinal y con un arriostramiento longitudinal que hace frente al viento transversal, dando lo siguientes resultados.

Estudiemos en este caso también la necesidad de arriostramientos longitudinal.

COMPROBACION FLECHAS HORIZONTALES			
Nudo	U1(1) (mm)	U1(2) (mm)	DESPLOME
5	0,0614	0,0485	0,05
6	0,0639	0,0498	0,05
7	0,0520	0,0485	0,05
8	0,0512	0,0457	0,05

Siendo:

- (1) Solución con arriostramientos transversales únicamente
- (2) Solución con arriostramientos transversales y longitudinales.

Como se observa en este caso es más necesario aun la utilización de arriostramientos longitudinal para hacer frente a las cargas de viento transversal.

4.3.3.- Tabla con perfiles

CERCHA 12m					
Elemento	perfil	Masa	Ud.	Masa total	Ud.
Cordón superior	SHS 220x8	52,7	Kg/m	2123,8	kg
Cordón inferior	SHS 150x8	35,1	Kg/m	1414,5	kg
Diagonal comprimida	SHS 150x5	22,6	Kg/m	650,9	kg
Diagonal traccionada	SHS 120x5	17,8	Kg/m	512,6	kg
				peso cercha	4701,9 kg

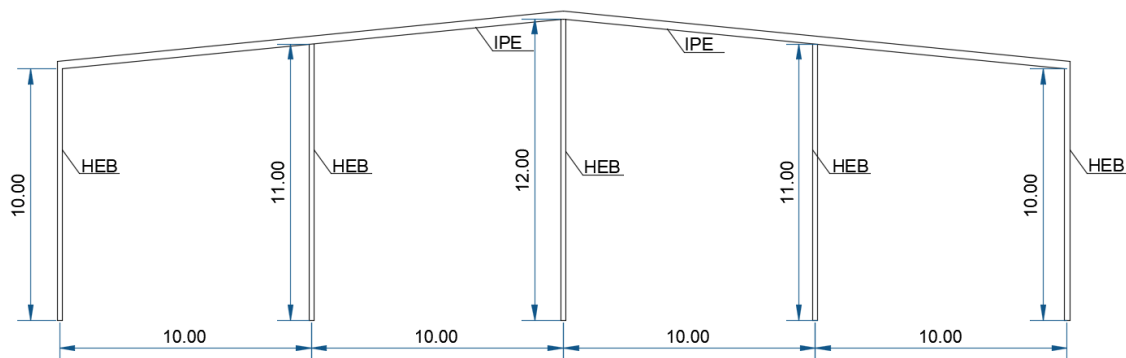
NAVE 12 m					
ELEMENTO	PERFIL	PESO UD(kg/m)	NUMERO	LONGITUD	PESO TOTAL(KG)
CORREAS CUBIERTA	IPE 360	57,1	161	12	110317,2
VIGAS ATADO	IPE 360	57,1	14	12	9592,8
CORREAS FACHADA	UPN 320	59,5	84	12	59976
CORREAS PORTICO	UPN 280	41,9	24	7,64	7683
	UPN 320	59,5	8	9,95	4736
	UPN 160	18,9	12	4,8	1089
DINTEL PUERTA	IPE 360	57,1	4	9,95	2273
PILARES	HEB280	103	24	10	24720

	Cercha (kg)	Resto(Kg)	Total(Kg)	kN/m ²
Nave 6	46741	112370	159111	0,474
Nave 12	32913	220386	253299	0,754

4.4.- Modelo 3. Solución con sistema de pórticos con dintel de viga de alma llena, con pórticos separados cada 6 metros

Para el dimensionamiento del Modelo 3, en el que se analiza el comportamiento de una estructura con pórticos con dinteles de viga de alma llena (tipo IPE) y con separaciones cada 6 metros, se describe lo siguiente.

La geometría del pórtico es la que se muestra a continuación, con pórticos formados por perfiles HEB para los soportes y perfiles tipo IPE para los dinteles.



Se realiza una primera comprobación del pórtico bidimensional que hemos diseñado para nuestra solución, buscando el siguiente aprovechamiento.

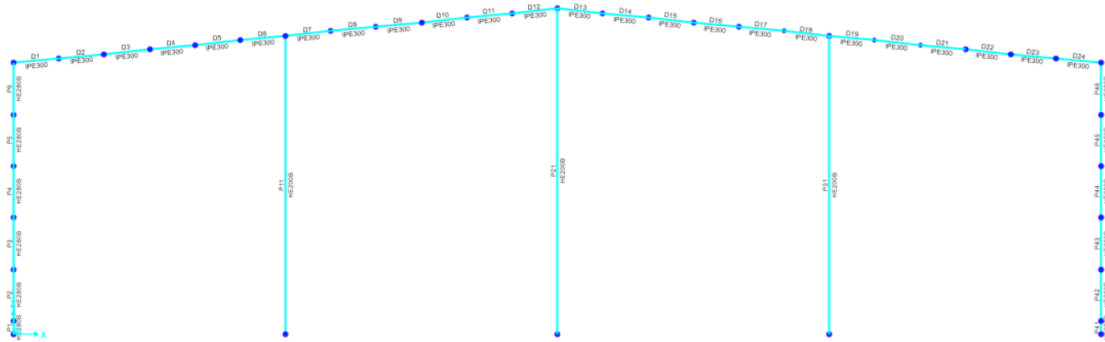
Previo al análisis de la estructura tridimensional, es necesario realizar un primer análisis del pórtico bidimensional. Al igual que ocurrirá con el dimensionamiento 3D se busca que el aprovechamiento de las barras siempre sea inferior a 1.

	objetivo
aprovechamiento	<1

Para ello se hacen varias pasadas en el cálculo hasta alcanzar un aprovechamiento por debajo de 1 en todos los perfiles, buscando que estén entre valores de 0,6 y 0,8 para la mayor eficiencia de los perfiles.

Se realizan algunas comprobaciones y se llega a la siguiente solución para el pórtico bidimensional.

- Dinteles: IPE 300
- Pilares fachada: HEB 280
- Pilares intermedios: HEB 200



Es importante también tener en cuenta la comprobación de flechas ya que en el programa no sabe diferencia que elementos debe comprobar y su longitud, por tanto, hay que realizar una comprobación del desplome que se produce en la cabeza del pilar. En este caso, se comprueba el nudo más desfavorable.

Combinación	U1 (m)	U2(m)	U3 (m)
ELS1	0.000021	0	-8.5E-05
ELS2	0.000037	0	-0.00013
ELS3	0.000025	0	-9.5E-05
ELS4	0.032121	0	-3.5E-05
ELS5	0.019297	0	-9.6E-05
ELS6	0.019280	0	-0.00005

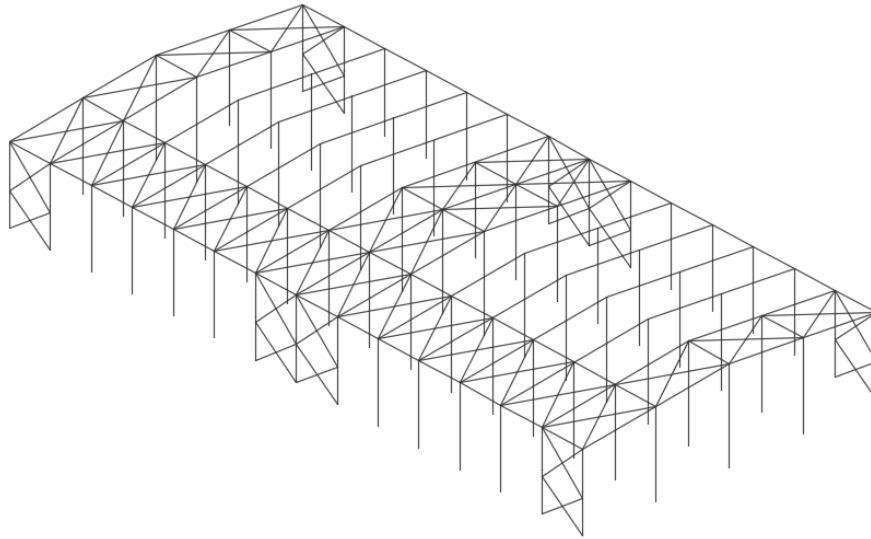
Siendo la limitación de desplome del pilar $L/250$, y teniendo una longitud de pilar de 10 metros; el desplome máximo que se puede producir en el pilar para ELS es de 4 centímetros. Por lo que cumpliría.

Combinación	U1 (m)	U2(m)	U3 (m)
ELS1	0.000516	0	-0.00511
ELS2	0.001031	0	-0.01021
ELS3	0.000646	0	-0.0064
ELS4	0.032748	0	0.000076
ELS5	0.020371	0	-0.0071
ELS6	0.019886	0	-0.00231

En el caso de la flecha producida en los dinteles, la máxima es $L/300$, y siendo la luz 10 metros, se cumple que el desplazamiento es menor.

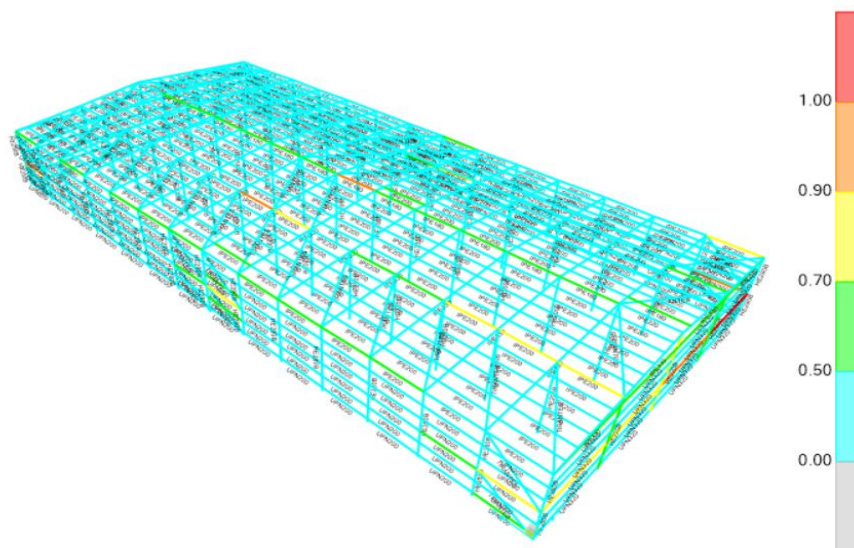
4.4.1.- Comprobación Tridimensional

Para el análisis tridimensional se colocan los pórticos comprobados anteriormente separados cada 6 metros con la siguiente disposición de arrostramientos:



Primero se realizan las comprobaciones de los pórticos con las vigas de atado que arriestran los pórticos y posteriormente se comprueban el comportamiento de las correas para luego realizar las comprobaciones de flecha a mano ya que el programa no las realiza correctamente.

Como se observa por la siguiente imagen adjunta tanto los perfiles de las cerchas como los pilares y las correas dimensionadas cumplen los requisitos de comprobación teniendo un aprovechamiento por debajo de 1.





Diseño estructural de una nave metálica para uso industrial en el polígono Parc Sagunt, en Sagunto (Valencia)



Al igual que ocurre con el pórtico bidimensional, se analizan las flechas máximas producidas en la cabeza de los pilares y en centro luz de dinteles y se comprueba que cumplen la limitación establecida por la norma. Tal y como se justifica en el Anexo de Cálculo Estructural.

4.4.2.- Tabla con perfiles

Por último una vez realizadas las comprobaciones de las cerchas, pilares y correas, así como las comprobaciones por flechas y decidido el sistema de arriostramientos se adjunta la tabla con todos los perfiles comprobados, así como su peso para poder realizar una comparación final con el resto de modelos que se van a estudiar.

	TIPO PERFIL	LONGITUD (m)	Nº BARRAS	PESO (kg)	PESO TOTAL(kg)
PILARES INTERMEDIOS HASTIAL	HEB 220	11	4	71,5	3146
PILARES CENTRAL HASTIAL	HEB 220	12	2	71,5	1716
PILARES FACHADAS HASTIAL	HEB 280	10	4	103,0	4120
DINTELES	IPE 330	20	30	49.1	29607.3
PILARES INTERMEDIOS	HEB 200	11	26	61.3	17531.8
PILAR CENTRAL	HEB 200	12	13	61.3	9562.8
PILARES FACHADAS	HEB 280	10	26	103	26780
CORREAS FACHADA HASTIAL	UPN 320	10	24	60.9	14637.6
CORREAS FACHADA LATERALES	UPN 200	6	140	25.9	21781.2
CORREAS CUBIERTA	IPE 200	6	322	18.8	36321.6
DINTEL ARRIOSTRAMIENTO	IPE 200	12	22	18.8	4963.2

4.5.-

4.6.- Modelo 4. Solución con sistema de pórticos con dintel de viga de alma llena, con pórticos separados cada 12 metros

El modelo 4 geoméricamente es igual que el modelo 3, con la excepción de que la equidistancia entre los pórticos es de 12 metros en lugar de 6 metros, y por tanto los perfiles obtenidos variarán respecto al modelo 3

Al igual que en los anteriores modelos, primero se realiza un análisis del pórtico bidimensional buscando que el aprovechamiento de las barras siempre sea inferior a 1.

objetivo

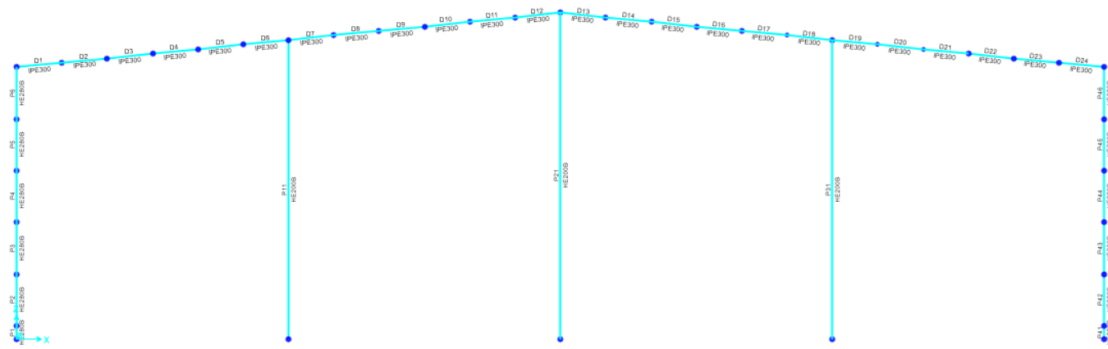
aprovechamiento

<1

Para ello se hacen varias pasadas en el cálculo hasta alcanzar un aprovechamiento por debajo de 1 en todos los perfiles, buscando que estén entre valores de 0,6 y 0,8 para la mayor eficiencia de los perfiles.

Se realizan algunas comprobaciones y se llega a la siguiente solución para el pórtico bidimensional.

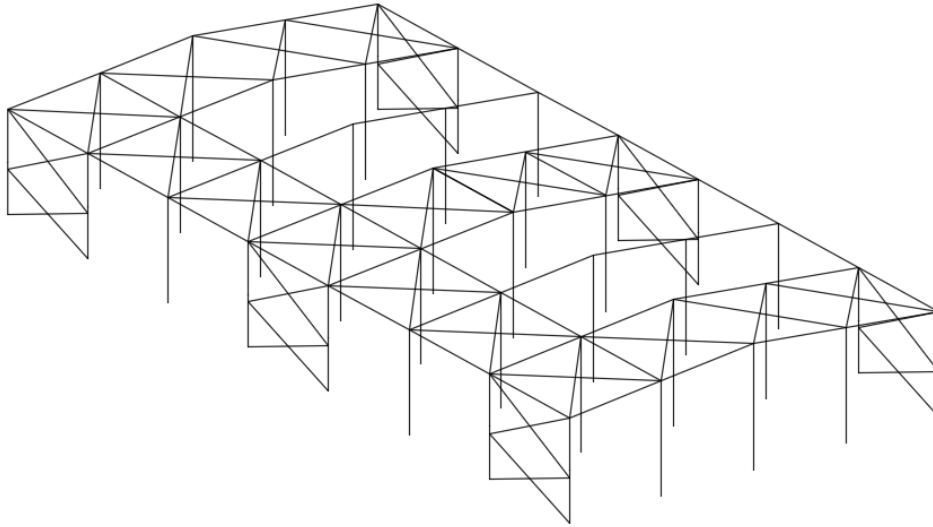
- Dinteles: IPE 330
- Pilares fachada: HEB 280
- Pilares intermedios: HEB 280



En el anejo de Cálculo estructural se encuentra justificado con amplio detalle cumplimiento de los perfiles por resistencia para las acciones a las que se encuentra sometido. Al igual que el cumplimiento de las deformaciones máximas, que en todo momento son inferiores a lo permitido en la normativa.

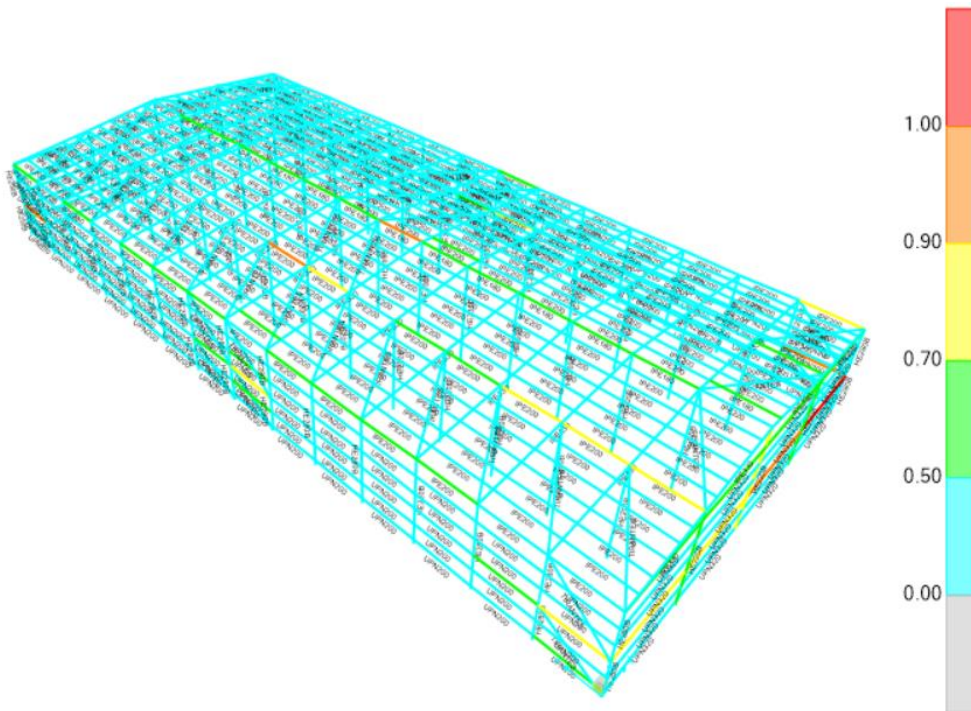
4.6.1.- Comprobación Tridimensional

Para el análisis tridimensional se colocan los pórticos comprobados anteriormente separados cada 6 metros con la siguiente disposición de arrostros:



Primero se realizan las comprobaciones de los pórticos con las vigas de atado que arriostran los pórticos y posteriormente se comprueban el comportamiento de las correas para luego realizar las comprobaciones de flecha a mano ya que el programa no las realiza correctamente.

Como se observa por la siguiente imagen adjunta tanto los perfiles de las cerchas como los pilares y las correas dimensionadas cumplen los requisitos de comprobación teniendo un aprovechamiento por debajo de 1.





Diseño estructural de una nave metálica para uso industrial en el polígono Parc Sagunt, en Sagunto (Valencia)



Al igual que ocurre con el pórtico bidimensional, se analizan las flechas máximas producidas en la cabeza de los pilares y en centro luz de dinteles y se comprueba que cumplen la limitación establecida por la norma. Tal y como se justifica en el Anexo de Cálculo Estructural.

4.6.2.- Tabla con perfiles

Por último una vez realizadas las comprobaciones de las cerchas, pilares y correas, así como las comprobaciones por flechas y decidido el sistema de arriostramientos se adjunta la tabla con todos los perfiles comprobados, así como su peso para poder realizar una comparación final con el resto de modelos que se van a estudiar.

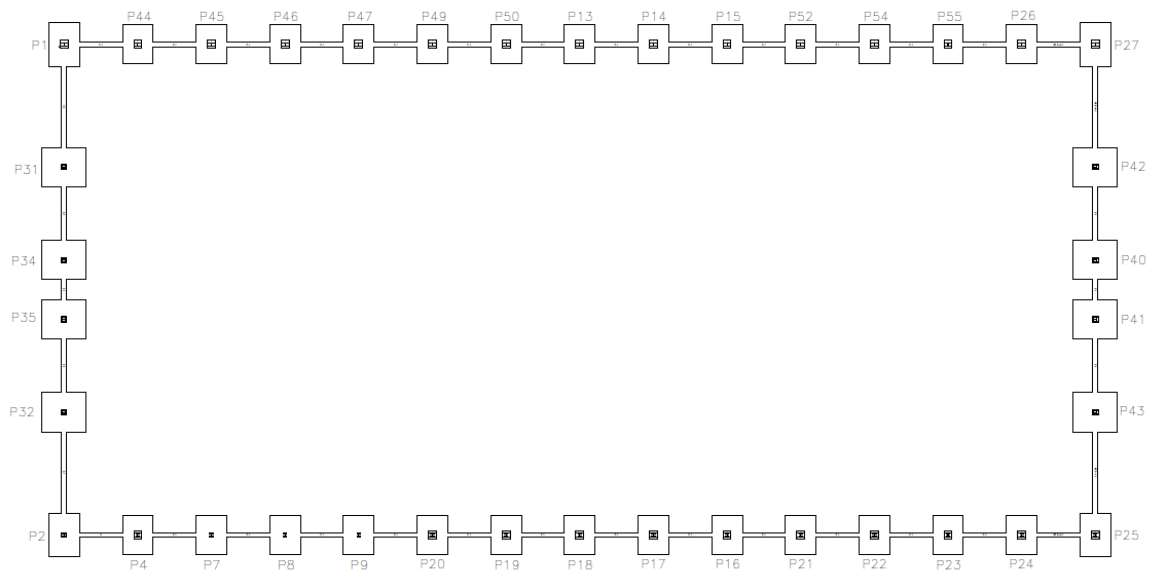
	TIPO PERFIL	LONGITUD (m)	Nº BARRAS	PESO (kg)	PESO TOTAL (kg)
PILARES INTERMEDIOS HASTIAL	HEB 320	11	4	127	5588
PILARES CENTRAL HASTIAL	HEB 320	12	2	127	3048
PILARES FACHADAS HASTIAL	HEB 280	10	4	103	4120
DINTELES	IPE 400	20	16	66.3	21322.1
PILARES INTERMEDIOS	HEB 280	11	12	127	16764
PILAR CENTRAL	HEB 280	12	6	134	9648
PILARES FACHADAS	HEB 280	10	12	134	16080
CORREAS FACHADA HASTIAL	UPN 320	10	24	60.9	14637.6
CORREAS FACHADA LATERALES	UPN 350	12	70	60.9	51231.6
CORREAS CUBIERTA	IPE 360	12	161	57.1	110317.2
DINTEL ARRIOSTRAMIENTO	IPE 360	12	23	57.1	15759.6

5.- Dimensionamiento de la cimentación

5.1.- Solución con sistema de pórticos con dintel de tipo cercha

5.1.1.- Zapatas

A continuación, se detallan la numeración de las zapatas para su identificación en las tablas.



Se adjunta también las zapatas con la geometría detallada, así como el armado que se ha dimensionado. Los detalles de las cimentación de se encuentran en el anejo de planos del presente trabajo.

Referencias	Geometría	Armado
P1, P25, P27	Zapata rectangular excéntrica Ancho inicial X: 125.0 cm Ancho inicial Y: 180.0 cm Ancho final X: 125.0 cm Ancho final Y: 180.0 cm Ancho zapata X: 250.0 cm Ancho zapata Y: 360.0 cm Canto: 110.0 cm	Sup X: 23Ø20c/15 Sup Y: 16Ø20c/15 Inf X: 19Ø20c/18 Inf Y: 13Ø20c/18
P2	Zapata rectangular excéntrica Ancho inicial X: 125.0 cm Ancho inicial Y: 180.0 cm Ancho final X: 125.0 cm Ancho final Y: 180.0 cm Ancho zapata X: 250.0 cm Ancho zapata Y: 360.0 cm Canto: 110.0 cm	Sup X: 23Ø20c/15 Sup Y: 16Ø20c/15 Inf X: 19Ø20c/18 Inf Y: 13Ø20c/18
P4, P13, P14, P15, P16, P17, P18, P19, P20, P21, P22, P23, P24, P26, P44, P45, P46, P47, P49, P50, P52, P54, P55	Zapata rectangular excéntrica Ancho inicial X: 160.0 cm Ancho inicial Y: 125.0 cm Ancho final X: 160.0 cm Ancho final Y: 125.0 cm Ancho zapata X: 320.0 cm Ancho zapata Y: 250.0 cm Canto: 110.0 cm	Sup X: 13Ø16c/18 Sup Y: 17Ø16c/18 Inf X: 13Ø20c/18 Inf Y: 17Ø20c/18

Referencias	Geometría	Armado
P7, P8, P9	Zapata rectangular excéntrica Ancho inicial X: 160.0 cm Ancho inicial Y: 125.0 cm Ancho final X: 160.0 cm Ancho final Y: 125.0 cm Ancho zapata X: 320.0 cm Ancho zapata Y: 250.0 cm Canto: 110.0 cm	Sup X: 13Ø16c/18 Sup Y: 17Ø16c/18 Inf X: 13Ø20c/18 Inf Y: 17Ø20c/18
P31, P32, P34, P35, P40, P41, P42, P43	Zapata rectangular excéntrica Ancho inicial X: 160.0 cm Ancho inicial Y: 180.0 cm Ancho final X: 160.0 cm Ancho final Y: 180.0 cm Ancho zapata X: 320.0 cm Ancho zapata Y: 360.0 cm Canto: 110.0 cm	Sup X: 17Ø20c/20 Sup Y: 15Ø20c/20 Inf X: 17Ø20c/20 Inf Y: 15Ø20c/20

5.1.2.- Elementos de arrostramiento

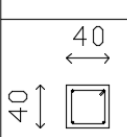
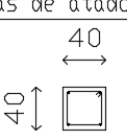
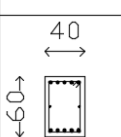
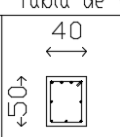
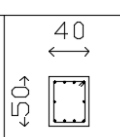
Tabla de vigas de atado	
 <p>C.1 Arm. sup.: 2Ø12 Arm. inf.: 2Ø12 Estribos: 1xØ8c/30</p>	 <p>C Arm. sup.: 2Ø12 Arm. inf.: 2Ø12 Estribos: 1xØ6c/25</p>

Tabla de vigas centradoras		
 <p>VC.S-3.1 Arm. sup.: 5Ø25 Arm. inf.: 5Ø25 Arm. piel: 1x2Ø12 Estribos: 1xØ8c/20</p>	 <p>VC.T-1.1 Arm. sup.: 4Ø16 Arm. inf.: 3Ø12 Arm. piel: 1x2Ø12 Estribos: 1xØ8c/20</p>	 <p>VC.S-1.1 Arm. sup.: 4Ø16 Arm. inf.: 4Ø16 Arm. piel: 1x2Ø12 Estribos: 1xØ8c/20</p>

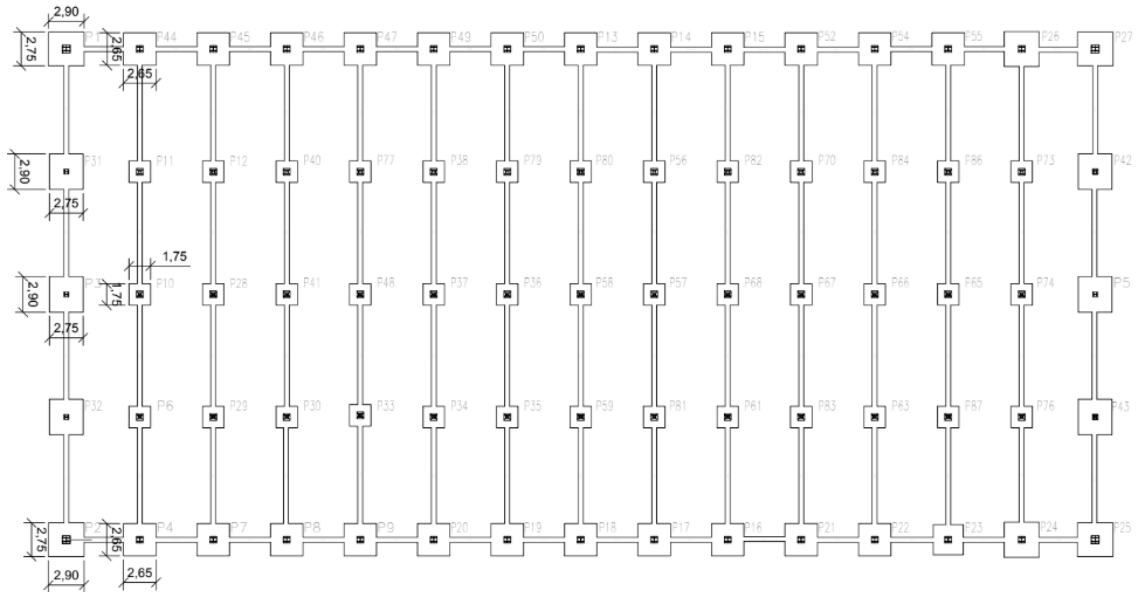
5.1.3.- Placas de anclaje

Se han dimensionado 3 placas de anclaje para cada una de los tipos de zapata que se han comprobado y que se encuentran detalladas en el anejo de planos adjunto en el presente trabajo.

5.2.- Solución con sistema de pórticos con dintel de viga de alma llena

5.2.1.- Zapatas

A continuación se procede a detallar brevemente la descripción de las zapatas de cimentación de la estructura.



Se adjunta también las zapatas con la geometría detallada, así como su armado para cada una.

Referencias	Geometría	Armado
P1, P2, P25, P27	Zapata rectangular excéntrica Ancho inicial X: 145.0 cm Ancho inicial Y: 137.5 cm Ancho final X: 145.0 cm Ancho final Y: 137.5 cm Ancho zapata X: 290.0 cm Ancho zapata Y: 275.0 cm Canto: 70.0 cm	Sup X: 16Ø12c/16 Sup Y: 17Ø12c/16 Inf X: 16Ø12c/16 Inf Y: 17Ø12c/16
P3, P31, P32	Zapata rectangular excéntrica Ancho inicial X: 145.0 cm Ancho inicial Y: 137.5 cm Ancho final X: 145.0 cm Ancho final Y: 137.5 cm Ancho zapata X: 290.0 cm Ancho zapata Y: 275.0 cm Canto: 70.0 cm	Sup X: 16Ø12c/16 Sup Y: 17Ø12c/16 Inf X: 16Ø12c/16 Inf Y: 17Ø12c/16



Diseño estructural de una nave metálica para uso industrial en el polígono Parc Sagunt, en Sagunto (Valencia)



Referencias	Geometría	Armado
P4, P7, P8, P9, P14, P15, P16, P17, P19, P20, P21, P22, P44, P45, P46, P47, P49, P50, P52, P54, P55	Zapata rectangular excéntrica Ancho inicial X: 132.5 cm Ancho inicial Y: 132.5 cm Ancho final X: 132.5 cm Ancho final Y: 132.5 cm Ancho zapata X: 265.0 cm Ancho zapata Y: 265.0 cm Canto: 75.0 cm	Sup X: 17Ø12c/15 Sup Y: 17Ø12c/15 Inf X: 17Ø12c/15 Inf Y: 17Ø12c/15
P5	Zapata rectangular excéntrica Ancho inicial X: 145.0 cm Ancho inicial Y: 137.5 cm Ancho final X: 145.0 cm Ancho final Y: 137.5 cm Ancho zapata X: 290.0 cm Ancho zapata Y: 275.0 cm Canto: 70.0 cm	Sup X: 16Ø12c/16 Sup Y: 17Ø12c/16 Inf X: 16Ø12c/16 Inf Y: 17Ø12c/16
P6, P10, P11, P12, P28, P29, P30, P33, P34, P35, P36, P37, P38, P40, P41, P48, P56, P57, P58, P59, P61, P63, P65, P66, P67, P68, P70, P73, P74, P76, P77, P79, P80, P81, P82, P83, P84, P86, P87	Zapata rectangular excéntrica Ancho inicial X: 87.5 cm Ancho inicial Y: 87.5 cm Ancho final X: 87.5 cm Ancho final Y: 87.5 cm Ancho zapata X: 175.0 cm Ancho zapata Y: 175.0 cm Canto: 70.0 cm	Sup X: 10Ø12c/16 Sup Y: 10Ø12c/16 Inf X: 10Ø12c/16 Inf Y: 10Ø12c/16
P13, P18	Zapata rectangular excéntrica Ancho inicial X: 140.0 cm Ancho inicial Y: 140.0 cm Ancho final X: 140.0 cm Ancho final Y: 140.0 cm Ancho zapata X: 280.0 cm Ancho zapata Y: 280.0 cm Canto: 80.0 cm	Sup X: 13Ø20c/20 Sup Y: 13Ø20c/20 Inf X: 13Ø20c/20 Inf Y: 13Ø20c/20
P23	Zapata rectangular excéntrica Ancho inicial X: 122.5 cm Ancho inicial Y: 122.5 cm Ancho final X: 122.5 cm Ancho final Y: 122.5 cm Ancho zapata X: 245.0 cm Ancho zapata Y: 245.0 cm Canto: 75.0 cm	Sup X: 16Ø12c/15 Sup Y: 16Ø12c/15 Inf X: 16Ø12c/15 Inf Y: 16Ø12c/15
P24, P26	Zapata rectangular excéntrica Ancho inicial X: 142.5 cm Ancho inicial Y: 142.5 cm Ancho final X: 142.5 cm Ancho final Y: 142.5 cm Ancho zapata X: 285.0 cm Ancho zapata Y: 285.0 cm Canto: 75.0 cm	Sup X: 18Ø12c/15 Sup Y: 18Ø12c/15 Inf X: 18Ø12c/15 Inf Y: 18Ø12c/15
P42, P43	Zapata rectangular excéntrica Ancho inicial X: 145.0 cm Ancho inicial Y: 137.5 cm Ancho final X: 145.0 cm Ancho final Y: 137.5 cm Ancho zapata X: 290.0 cm Ancho zapata Y: 275.0 cm Canto: 70.0 cm	Sup X: 16Ø12c/16 Sup Y: 17Ø12c/16 Inf X: 16Ø12c/16 Inf Y: 17Ø12c/16



5.2.2.- Elementos de arriostramiento

Las vigas de atado que se disponen entre las zapatas como elemento de unión y atado tienen dimensiones de 40 cm de ancho por 40 cm de canto.

Se dispone dos barras de armado $\varnothing 12$ en la parte superior y dos barras de $\varnothing 12$ en la parte inferior. Además se disponen cercos formados por barras $\varnothing 8$ con separaciones cada 30 cm.

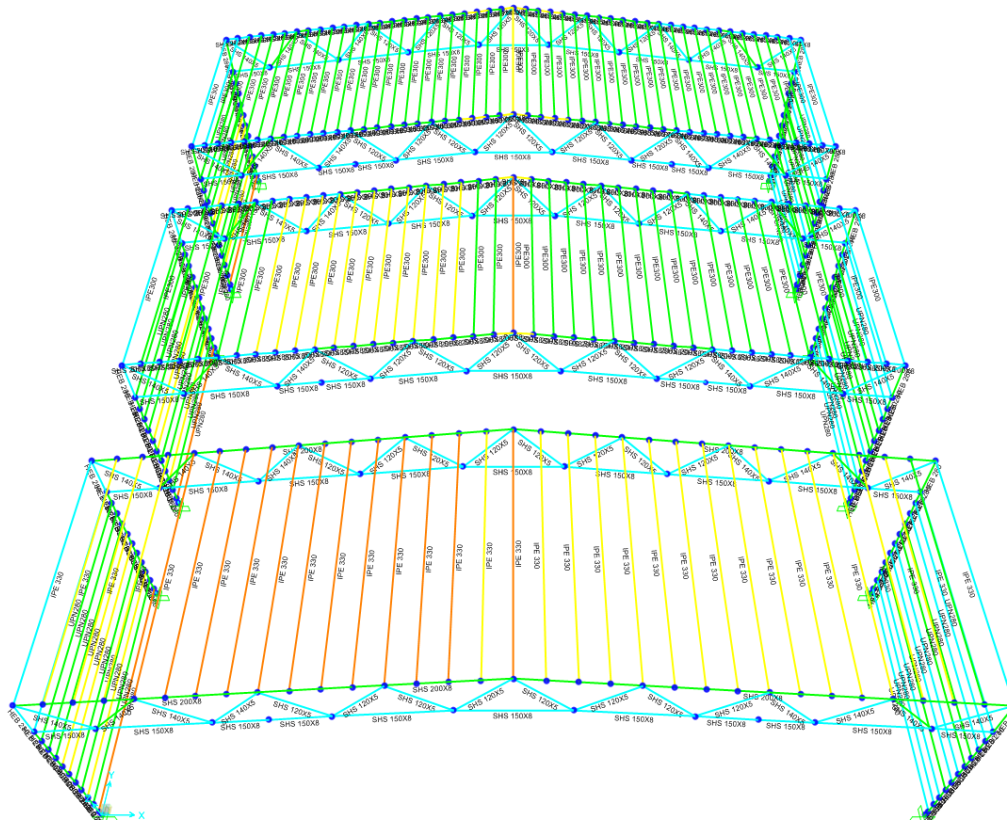
5.2.3.- Placas de anclaje

Todos los detalles de las placas de anclaje y los pernos para las zapatas de esquina intermedia e interior se detallan en el anejo de planos.

6.- Solución adoptada

Si analizamos los resultados nos damos cuenta de que la diferencia, entre las dos naves, de kilogramos de acero obtenido para la estructura, es muy grande y esto se debe sobre todo a las correas de 12 metros ya que se ha comprobado que pueden llegar a perfiles IPE 360, con pesos de 57,1 kg/m. Se obtiene un peso total de 110.000 kg, lo que supone un 43 % del peso de la nave con pórticos cada 12 metros respecto a la nave con pórticos con equidistancias a 6 metros. Esto implica que el peso de las correas de cubierta nos condiciona en exceso la elección de nuestra solución y habría que buscar una alternativa.

Se planteas dos alternativas a este caso, o reducir el número de correas y aumentar la inercia de la sección o bien, intentar reducir la sección disminuyendo la separación de las correas. En este caso, se estudiaron ambas alternativas y se llegó a la conclusión que, efectivamente, al reducir la separación entre correas se conseguía reducir la sección pero no compensaba con el aumento de peso de las correas debido a la necesidad de disponer más cantidad de éstas, a continuación, se muestra el por qué.



Como se puede observar en la imagen anterior, se consiguen factores de aprovechamientos similares para las correas reduciendo la separación entre estas a su vez que reducimos la sección.

A continuación se muestra una tabla con el cálculo total del peso para los tres casos estudiados en los que se ha reducido la sección y se han comprobado las correas para un pórtico ejemplo de 12 metros.

COMPARACIÓN CORREAS				
Separación (m)	Perfil	Número	Peso (kg)	Peso total (kg)
1,20	IPE 330	31	49,1	18265,2
1,00	IPE 300	39	42,2	19749,6
0,80	IPE 270	47	36,1	20360,4

Como podemos observar por la tabla, la reducción de separación entre correas no es una buena opción para conseguir reducir el peso total de la estructura de la nave con pórticos cada 12 metros, ya que conseguimos el efecto contrario.



Diseño estructural de una nave metálica para uso industrial en el polígono Parc Sagunt, en Sagunto (Valencia)



Otra alternativa, es reducir el peso de las correas sin necesidad de disminuir la inercia, con perfiles aligerados o con una correa en celosías.

A modo de ejemplo podemos irnos a los catálogos de ArcelorMittal para perfiles alveolares tanto circulares, hexagonales e octogonales podemos observar que se reduce el peso considerablemente, sin apenas reducir la inercia de la sección.

Perfil IPE	Peso (Kg/m)
360 convencional	57,10
360 circular	46,90
360 hexagonal	50,20

Llegamos a la conclusión de que esta reducción, con perfiles alveolares, nos sería suficiente ya que reduciríamos el peso de la estructura de la nave en aproximadamente 20.000 kg de acero, quedando un peso total de la nave en 233.000 Kg. No obstante, esta sería una medida insuficiente frente a los 160.000 kg del peso de la nave de la segunda solución con pórticos cada 6 metros.

Si bien podríamos irnos a correas con forma de celosía que reduciría aún más el peso de estas sin apenas reducir la inercia, tendríamos que reducir en 100.000 Kg dicha solución reduciendo todas las correas tanto la de cubierta como las de fachada lo que suponen actualmente el 67% del peso de la nave total, 170.000 kg en total.

- Comparación de pesos de las naves

Una vez se han realizado todos los cálculos tanto bidimensional como tridimensionalmente y se han realizado todas las comprobaciones de todos los modelos se resume una tabla de los pesos para tener un orden de magnitud del coste de cada una de los modelos estudiados.

El primer resultado al que se ha llegado tanto en la solución tipo cercha como en la solución con dintel de alma llena es que la nave con pórticos cada 6 metros es más eficiente estructuralmente y económicamente que la solución con pórticos con equidistancias de 12 metro. Por tanto, solo quedaría comparar las naves con pórticos cada 6 metros entre la solución con cercha o con viga de alma llena.

Para poder hacer esta comparación adjuntamos una tabla con la relación de los pesos obtenidos una vez realizado todo el cálculo.



Diseño estructural de una nave metálica para uso industrial en el polígono Parc Sagunt, en Sagunto (Valencia)



CERCHA	Total(Kg)	DINTEL	Total(Kg)		
Nave 6	162.449,67	Nave 6 m	170.167,50	4,54	%
Nave 12	253.299,22	Nave 12 m	268.516,08	5,67	%

Como vemos por la tabla adjunta de los pesos de los 4 modelos estudiados, la cercha con pórticos cada 6 metros es la solución más eficiente en cuanto al peso de acero que vamos a utilizar, siendo un 5% más ligero que la solución con dintel viga de alma llena.

- Comparación con los pesos de las dos cimentaciones

También es importante tener en cuenta los resultados obtenidos en el cálculo de la cimentación de cada caso. Para nuestro estudio hemos tenido en cuenta que como la nave con pórticos cada 12 metros es del orden del doble de peso que la de 6 metros, se calculará la cimentación de las dos soluciones con pórticos cada 6 metros para establecer si existe una diferencia determinante para tomar una decisión, por tanto, los resultados de los pesos de las dos soluciones han sido los siguientes.

	Solución Cercha		Solución Viga Alma Llena	
	HORMIGON (m3)	ACERO(kg)	HORMIGON (m3)	ACERO (kg)
ZAPATAS	369,77	20978,42	276,37	9319,00
VIGAS CENT	17,28	1052,92	92,05	4096,25
VIGAS ATADO	33,54	1118,71		
PLACAS	-	2455,05	-	4234,62
TOTAL	420,59	23.150,05	368,42	17.649,87

	Hormigón (Kg)	Acero (Kg)
Cercha	1.009.416	23.150
Dintel	884.208	17.649
%	12,40	23,76

Como podemos ver en este caso el peso del hormigón total que deberíamos utilizar para la cimentación de la nave es de 12,4 % más ligero para la solución con viga de alma llena. En cuanto al acero de las armaduras, es del orden del 24 % menor en la solución con viga de alma llena que con la solución tipo cercha.



Diseño estructural de una nave metálica para uso industrial en el polígono Parc Sagunt, en Sagunto (Valencia)



	Hormigón (Kg)	Acero (Kg)
Cercha	1.009.416	185.599,72
Alma llena	884.208	187.817,37

Atendiendo a los kilogramos totales empleados en la estructura metálica de ambas soluciones se llega a la conclusión que, si bien la estructura de la nave es más eficiente en cuestión de peso de acero con una cercha que con un dintel con viga de alma llena, la cimentación de la solución de la cercha es demasiado determinante ya que estaríamos empleando mucho más hormigón para la cimentación y más acero para las armaduras. Siendo los kg de acero casi idénticos para las dos naves si sumamos el acero estructural al acero de las barras y los kg de hormigón de la cimentación son mayores para la solución tipo cercha.

Esto nos da una clara interpretación dando como solución óptima con todos los cálculos realizados la nave con solución con dintel viga de alma llena y pórticos separados 6 metros.

Es importante realizar una relación valorada de los resultados de los pesos en función a los precios de mercado en España actualmente para poder realizar una conclusión final del modelo más eficiente económicamente hablando, ya que esto nos determinara a la hora de tomar una decisión. Para ello, obteniendo los precios del generador de precios de CYPE Ingenieros podemos obtener un orden de magnitud del coste de nuestras soluciones, dando valores de 1,96 euros para el acero estructural por kilogramo, 138,35 euros por metro cubico de hormigón para las zapatas teniendo en cuenta ya una cuantía de armado similar al caso y su ejecución y 146,70 euros por metro cubico para las vigas de atado.

	Solución Cercha		Solución Viga Alma Llena		Precio unitario (€)	Cercha	Alma Llena
	HORMIGÓN (m3)	ACERO (kg)	HORMIGÓN (m3)	ACERO (kg)			
ZAPATAS	369,776	-	276,37	-	138,35 €	51.158,51 €	38.235,79 €
VIGAS CENT	17,28	-	92,05	-	146,70 €	2.534,98 €	13.503,44 €
VIGAS ATADO	33,536	-		-	146,70 €	4.919,73 €	
PLACAS	-	2455,05	-	4234,62	1,96 €	4.811,90 €	8.299,86 €
ACERO ESTR.	-	162449,67	-	170167,50	1,96 €	318.401,35 €	333.528,30 €
						381.826,46 €	393.567,39 €



Como podemos observar por los precios finales de nuestra nave industrial, la solución tipo cercha es ligeramente más barata que la solución con viga de alma llena, aproximadamente 12.000 euros más barata. Por tanto, nuestra solución adoptada final será la **nave industrial con solución tipo cercha con pórticos separados cada 6 metros**.

7.- Conclusiones

Finalmente, se resumen las conclusiones a las que se han llegado en el presente trabajo.

- Acciones

En primer lugar, teniendo en cuenta el efecto de las acciones sobre nuestra estructura podemos decir que la acción del viento es predominante mientras que las acciones del sismo se demuestran que no son importantes, aunque se han calculado porque la norma obliga a ello. Se disponen dos juntas de dilatación transversales, por ello, la acción térmica no resulta aplicable.

- La influencia de las correas

Como ya se ha explicado en el apartado anterior, las correas son muy pesadas para la solución de 12 metros y habría que buscar una alternativa con correas de celosía o perfiles aligerados, aun así, dichas correas nos condicionan la solución de porticas cada 12 metros en exceso y esa ha sido una de las razones de la elección de la solución con pórticos cada 6 metros.

- Arriostramientos longitudinal vs transversal o ambas

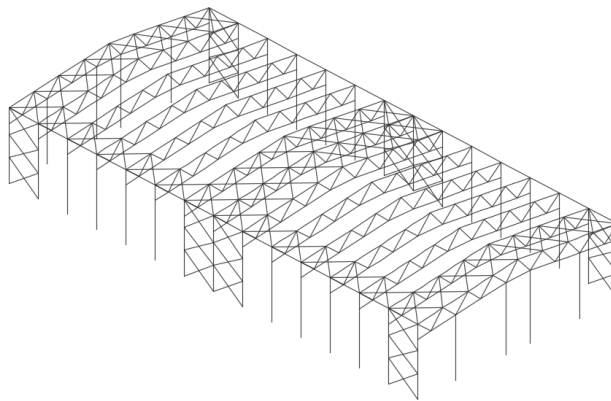
Se ha optado en ambas soluciones por arriostramientos transversales para hacer frente a las cargas del viento longitudinal en ambos extremos de los pórticos de fachada y entre los pórticos centrales. Del mismo modo, se han dispuesto arriostramientos longitudinales en cubierta para hacer frente al viento transversal y se ha concluido que dichos arriostramientos reducen la flecha por desplome considerablemente.

- Cimentación de las dos soluciones de cada tipo

Se ha estudiado la cimentación para la solución de tipo cercha y de viga de alma llena para los pórticos separados 6 metros y se ha llegado a la conclusión que, aunque hay más elementos de vigas centradoras y zapatas en la solución con dintel de alma llena son más pequeños y el volumen final de hormigón y peso de acero de éstos son menores, algo que se tendrá en cuenta a la hora de escoger nuestra solución final.

- Por qué hemos optado por la solución

Una vez realizadas las comprobaciones de todos los perfiles de las distintas alternativas y considerado los pesos de ambas naves y cimentaciones, se realiza una valoración económica de todos los elementos constructivos y se concluye que la solución más eficiente y económica es la solución con pórtico tipo cercha separados con separaciones de 6 metros.



8.- Bibliografía y referencias

MONTALVÁ SUBIRATS.J.M, (2014). *Proyecto estructural de edificio industrial: diseño y cálculo de estructura metálica*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.

ARGÜELLES ÁLVAREZ, R. (2001). *Estructuras de acero. Vol 1. Cálculo*. Madrid: Bellisco, 2005.

ARGÜELLES ÁLVAREZ, R. (2001). *Estructuras de acero. Vol 2, Uniones y sistemas estructurales*. Madrid: Bellisco, 2005.

España. Real Decreto 751/2011 de 27 de Mayo, por el que se aprueba la Instrucción de Acero Estructural (EAE).

España. Real Decreto 1247/2008, de 18 de Julio por el que se aprueba la instrucción de hormigón estructural (EHE-08).

STATIC STOOLS. *Propiedades de perfiles*. < <http://www.staticstools.eu/es> >

ARCELORMITTAL. *Prontuario*

<<https://ds.arcelormittal.com/repository/AMDS%20Iberia/Prontuario.pdf>>