

Cálculo de la estructura metálica de una nave industrial y análisis de diferentes técnicas de protección pasiva frente al fuego



UNIVERSITAT
JAUME • I

Alumno: Mario Marzal Ortiz

DNI: 73398166-Z

Tutores: Carmen Ibáñez Usach
David Hernández Figueirido

Departamento: Ingeniería Mecánica y Construcción

Agradecimientos:

A los tutores, por su paciencia,
a los amigos, por su tiempo,
y a los familiares por su apoyo.

Summary

The aim of this project is to design and calculate the steel structure of an industrial building in the city of Villarreal, in the province of Castellón, Valencia, Spain. This industrial building will be dedicated to the storage of electronic equipment. Subsequently, the application of different methods of passive fire protection will be studied and compared.

Firstly, the design and the calculation of the steel structure will be carried out by using specific software. The design is conditioned by the necessities of the future use of the industrial building and its location. The calculation of the structure will be performed in accordance with the national standard *Código Técnico de la Edificación*.

The second part of this work will be to evaluate several techniques of passive fire protection and make a study to determine which one is the best solution from the economic point of view. The different cases studied are unprotected sections and four other scenarios which include different types of passive protection: rock wool, plasterboard, mortar projection and intumescent paint.

This second part will be developed according to the corresponding standards. Again, the *Código Técnico de la Edificación* will be employed, specifically the *Documento Básico de Protección en caso de incendio* (CTE DB-SI). Since the structure will be hold industrial facilities, the *Reglamento de Seguridad contra Incendios en los Establecimientos Industriales (RSCIEI, Real Decreto 2267/2004)* will be used too.

According to these standards, the structure safety requirements in case of fire will be defined and established taking into account its characteristics. Then, for each case outlined above the required passive protection will be calculated and described with detail.

Finally, an economic study of each option considered will be carried out. This analysis will be developed in order to compare the different techniques used, so it will be possible to determine which is the most appropriate method to be applied from the economic point of view.

MEMORIA

1	Introduction.....	5
2	Objeto del proyecto	6
3	El acero	7
3.1	Características mecánicas del acero.....	7
3.2	Características tecnológicas del acero.....	8
3.3	Los tipos de acero más usados en estructuras.....	8
3.4	Ventajas de las estructuras metálicas.....	8
4	Elementos estructurales	10
4.1	Cimentación.....	10
4.1.1	Cimentaciones superficiales o directas.....	10
4.1.2	Cimentaciones profundas	10
4.2	Placas de anclaje	11
4.3	Pilares	11
4.4	Vigas	12
4.4.1	Vigas simples.....	12
4.4.2	Vigas múltiples	12
4.4.3	Vigas reforzadas	12
4.4.4	Vigas o jácenas armadas.....	12
4.4.5	Vigas o jácenas aligeradas	13
4.4.6	Vigas de celosía	13
4.5	Correas	13
4.6	Arriostramientos	14
4.7	Medios de Unión	14
4.7.1	Uniones atornilladas	14
4.7.2	Uniones soldadas.....	14
4.8	Tipologías estructurales	15
4.8.1	Cerchas	15
4.8.2	Pórticos o marcos.....	15
5	Durabilidad de las estructuras.....	16
5.1	Protecciones para estructuras metálicas	16
5.1.1	Protección contra incendios	16
5.1.2	Protección contra corrosión	16
5.2	Durabilidad del Hormigón	17
6	Caso de estudio	18
6.1	Descripción de la nave.....	18
6.2	Localización.....	19
6.3	Normativa municipal	20
6.4	Normativa legal aplicable a toda la nave	21
7	Metodología de cálculo	22
7.1	Generador de pórticos.....	22
7.2	Cype 3D	22
7.3	Generador de precios.....	23
8	Dimensionado	24
8.1	Procedimiento de dimensionado	24
8.1.1	Cálculo de las correas de cubierta.....	24
8.1.2	Creación de la geometría de la nave.....	24
8.1.3	Descripción de los nudos	24
8.1.4	Descripción de barras.....	24

8.1.5 Pandeo	25
8.1.6 Flechas	26
8.1.7 Placas de anclaje	26
8.1.8 Cimentación.....	26
8.2 Acciones consideradas	26
8.2.1 Cargas permanentes	26
8.2.2 Sobrecargas de uso.....	27
8.2.3 Sobrecargas de nieve	27
8.2.4 Sobrecarga de viento	27
8.2.5 Cargas de sismo.....	28
9 Diseño final	29
9.1 Elementos.....	29
10 Carga de fuego	30
10.1 Cálculo de la carga de fuego de la estructura.....	30
11 Sistemas de protección pasiva contra incendios	34
11.1 Elementos de protección.....	34
11.1.1 Lana de roca.....	34
11.1.2 Mortero proyectado	35
11.1.3 Placas de yeso	36
11.1.4 Pintura intumescente.....	37
11.2 Ventajas y desventajas de las protecciones.....	38
12 El fuego y las protecciones	40
12.1 Evolución de la temperatura con el fuego.....	40
12.2 Evolución de la temperatura en perfiles sin protección.....	41
12.3 Evolución de la temperatura en perfiles con protección	44
12.4 Cálculo de las temperaturas críticas.....	48
12.5 Comprobación de las medidas obtenidas por el CYPE	54
13 Conclusiones.....	56
14 Bibliografía	57

ANEXO DE CÁLCULOS

1 Cálculo de las barras.....	59
1.1 Cruz de San Andrés de cubierta	59
1.2 Cruz de San Andrés de los laterales.....	62
1.3 Jácena exterior pórtico de fachada	65
1.4 Jácena exterior pórtico interior	77
1.5 Jácena interior pórtico de fachada.....	89
1.6 Jácena interior pórtico interior.....	101
1.7 Pilar muro piñón	111
1.8 Pilar exterior pórtico de fachada.....	121
1.9 Pilar exterior pórtico interior	133
1.10 Pilar interior pórtico de fachada.....	145
1.11 Pilar interior pórtico interior	157
1.12 Viga perimetral exterior, pórtico de fachada	167
1.13 Viga perimetral exterior pórtico de interior	176
1.14 Viga perimetral interior, pórtico exterior	183
1.15 Viga perimetral interior, pórtico interior.....	192
2 Cálculo de las placas de anclaje	199

2.1 Placa del pilar interior pórtico interior	199
2.2 Placa del pilar exterior pórtico interior.....	204
2.3 Placa del pilar exterior pórtico exterior	209
2.4 Placa del pilar interior pórtico exterior.....	213
2.5 Placa del pilar de fachada.....	217
3 Cálculo de las cimentaciones	222
3.1 Zapata exterior de un pórtico interior	222
3.2 Zapata esquinera	225
3.3 Zapata de pórtico de fachada (IPE 550)	227
3.4 Zapata de pórtico de fachada (HEA 550)	229
3.5 Zapata interior de un pórtico interior (1).....	232
3.6 Zapata interior de un pórtico interior (2).....	234

PLANOS

Plano de cubierta	
Plano de cimentación (1)	
Plano de cimentación (2)	
Pórtico de fachada y lateral	
Plano de placas de anclaje	
Plano pórtico interior	
Plano de zapatas (1)	
Plano de zapatas (2)	
Plano de vigas centradoras (1)	
Plano de vigas centradoras (2)	

PLIEGO DE CONDICIONES

1 Desbroce y limpieza del terreno	237
2 Zapata de cimentación de hormigón armado	238
3 Viga entre zapatas	240
4 Placa de anclaje con pernos soldados y preparación de bordes.....	241
5 Acero en pilares.....	243
6 Acero en vigas	244
7 Acero en correas metálicas	246
8 Cubierta inclinada de placas.....	247
9 Protección de la estructura metálica, sistema rock wool.....	248
10 Protección de la estructura metálica, sistema Placo	249
11 Protección de la estructura metálica con pintura intumescente	250

PRESUPUESTOS

1 Presupuesto de la estructura.....	¡Error! Marcador no definido.
--	--------------------------------------

2 Presupuesto de protección con rock wool..... ¡Error! Marcador no definido.

3 Presupuesto de protección con placas de yeso ... ¡Error! Marcador no definido.

4 Presupuesto de protección con pintura intumescente ¡Error! Marcador no definido.

MEMORIA

1 Introduction

The aim of this project is to calculate the steel structure of an industrial building in Villareal and its fire passive protection with different methods: rock wool, plasterboard, mortar projection and intumescent paint.

This industrial building will be dedicated to the storage of electronic equipment, which has an specific area to develop the activity inside.

The industrial building, whose shape is perfectly rectangular, has the following dimensions: 85m (length) x 50m (width) x 9m (height). It is situated in the industrial area of Villareal, at the street Camí Onda Castelló Vell.

This work borns from the need to study different solutions of fire pasive protection systems to determine which is the best solution from the economic point of view.

After calculating the metallic structure, the design for each one of the alternatives will be developed and from these options it will be studied wich is the best option.

2 Objeto del proyecto

El objeto de dicho proyecto, siempre teniendo en cuenta la normativa vigente, es el siguiente:

-Cálculo y descripción de la estructura metálica que constituirá la nave industrial, así como la justificación de las acciones utilizadas y de las soluciones adoptadas.

-Cálculo de la carga de fuego en la nave industrial calculada.

-Cálculo y descripción de la protección necesaria contra el fuego, comparando técnica y económicamente, el uso de diferentes protecciones.

-Análisis de los presupuestos de las diferentes protecciones para establecer cuál de ellas es mejor desde el punto de vista económico.

3 El acero

Los metales que se emplean en estructuras metálicas son principalmente el acero ordinario, el acero inoxidable y el aluminio.

El acero es el material estructural por excelencia para grandes alturas, puesto que resuelve con éxito los planteamientos estructurales de: soportar el peso con pilares de dimensiones reducidas, resistir el empuje ante el vuelco y evitar movimientos debidos a la acción del viento.

El acero ordinario es el más empleado y existen los siguientes tipos (según la norma EN 10027):

S235JR S235J0 S275JR

S275J0 S355JR S355J0

S235J2 S275J2 S355J2

La primera sigla es una “S” (de Steel acero en lengua inglesa).

La siguiente cantidad numérica es el límite elástico en MPa, en elementos cuyo espesor no supere los 16 mm. En espesores superiores la resistencia de cálculo es menor.

Las últimas siglas indican su sensibilidad a la rotura frágil y su soldabilidad:

- JR para construcciones ordinarias.
- J0 cuando se requiere alta soldabilidad y resistencia a la rotura frágil.
- J2 cuando se requiere exigencias especiales de resistencia, resistencia a la rotura frágil y soldabilidad.

3.1 Características mecánicas del acero

Los valores fundamentales para el diseño de las piezas de acero son:

-El límite elástico. El límite elástico es la carga unitaria para la que se inicia el escalón de cedencia, es decir a partir del cual las deformaciones no son recuperables.

-El límite de rotura. El límite de rotura es la carga unitaria máxima soportada por el acero en el ensayo de tracción. □ Los valores del límite elástico y de rotura dependen del tipo de acero, pero hay otras características que son comunes para todos los aceros:

-Módulo de Elasticidad: $E=210 \text{ GPa}$

-Módulo de Rigidez: $G=81 \text{ GPa}$

-Coeficiente de Poisson: 0,3

-Coeficiente de dilatación térmica: $1,2 \cdot 10^{-5} \text{ (}^\circ\text{C)}^{-1}$

-Densidad: 7.850 kg/m^3

3.2 Características tecnológicas del acero

La soldabilidad es la aptitud de un acero para ser soldado mediante los procedimientos habituales sin que aparezca fisuración en frío. Es una característica tecnológica importante, de cara a la ejecución de la estructura.

La resistencia al desgarro laminar del acero se define como la resistencia a la aparición de defectos en piezas soldadas sometidas a tensiones de tracción en dirección perpendicular a su superficie.

La aptitud al doblado es un índice de la ductilidad del material y se define por la ausencia o presencia de fisuras en el ensayo de doblado.

3.3 Los tipos de acero más usados en estructuras

Los siguientes tipos de acero utilizables en perfiles y chapas para estructuras de acero:

-Aceros laminados en caliente. Se entiende por tales los aceros no aleados, sin características especiales de resistencia mecánica ni resistencia a la corrosión, y con una microestructura normal.

-Aceros con características especiales. Se consideran los siguientes tipos:

-Aceros normalizados de grano fino para construcción soldada.

-Aceros de laminado termomecánico de grano fino para construcción soldada.

-Aceros con resistencia mejorada a la corrosión.

-Aceros templados y revenidos.

-Aceros con resistencia mejorada a la deformación en la dirección perpendicular a la superficie del producto.

-Aceros conformados en frío. Se entiende por tales los aceros cuyo proceso de fabricación consiste en un conformado en frío, que les confiere unas características específicas desde los puntos de vista de la sección y la resistencia mecánica.

3.4 Ventajas de las estructuras metálicas

Antaño, en cuanto al cálculo se refiere, el éxito o el fracaso de la obra se determinaba según si el edificio a calcular en cuestión era capaz de soportar las cargas que se le aplicaban o no.

Progresivamente, a través de siglos de estudio y experiencia, el conocimiento sobre dimensionado de elementos estructurales se ha visto ampliado gracias al estudio de la materia, por lo que se han llegado a establecer diversas técnicas de cálculo que permiten que el diseño estructural tenga unos resultados muy fiables.

Naturalmente, las estructuras metálicas presentan ciertas ventajas frente a las estructuras de hormigón, las cuales vienen principalmente de las diferencias entre los materiales. Las más importantes se relatan a continuación:

-Realización del máximo trabajo en taller, ejecutando todas las soldaduras y dejando todos los elementos listos para el ensamblaje mediante uniones atornilladas en obra.

-Garantiza un estricto control de calidad, reduciendo la posibilidad de fallo humano.

-Permite la proyección de naves con elevadas luces, resultando naves más ligeras y esbeltas.

-Gracias a la ligereza de la estructura y a las diferencias de sección necesarias para la misma obra frente a otros materiales, el aprovechamiento del espacio es máximo.

-Enorme adaptabilidad a cualquier solución deseada, ya sea por medio de entramados rígidos o articulados.

-Gran facilidad en el ensamblaje de la obra durante su ejecución.

-Precios muy competitivos frente a otros materiales, además de la rapidez de ejecución de la obra, lo que lleva a un correcto plan de obra, que a su vez permitirá un ahorro en los costes de construcción. A la vez la ligereza de las estructuras metálicas implican una reducción de los costes de transporte y una reducción del coste de las cimentaciones.

-La adaptabilidad del acero es de especial relevancia en casos de rehabilitación ya sea para reforzar estructuras existentes o para una completa reconstrucción manteniendo las fachadas. El acero se entrega prefabricado en obra; no necesita ser apuntalado y tampoco sufre retracción o fluencia por lo que puede asumir carga de inmediato.

-El desarrollo de nuevos sistemas de protección contra la corrosión, garantizan con un mantenimiento mínimo, una vida casi ilimitada para las estructuras realizadas con acero.

-Cuando termina la vida útil del edificio, la estructura metálica de acero puede ser desmontada y posteriormente utilizada en nuevos usos o ser re-aprovechada con un fácil reciclaje.

-La estructura metálica en acero supone un peso reducido, segura en caso de sismo.

4 Elementos estructurales

Algunos de los elementos resistentes de que constan las estructuras industriales son los siguientes:

4.1 Cimentación

Se denomina cimentación al conjunto de elementos estructurales cuya misión es transmitir las cargas de la edificación o elementos apoyados a este al suelo distribuyéndolas de forma que no superen su presión admisible ni produzcan cargas zonales. Debido a que la resistencia del suelo es, generalmente, menor que la de los pilares o muros que soportará, el área de contacto entre el suelo y la cimentación será proporcionalmente más grande que los elementos soportados.

La elección del tipo de cimentación depende especialmente de las características mecánicas del terreno, como su cohesión, su ángulo de rozamiento interno, posición del nivel freático y también de la magnitud de las cargas existentes. A partir de todos esos datos se calcula la capacidad portante, que junto con la homogeneidad del terreno aconsejan usar un tipo u otro diferente de cimentación. Siempre que es posible se emplean cimentaciones superficiales, ya que son el tipo de cimentación menos costoso y más simple de ejecutar. Cuando por problemas con la capacidad portante o la homogeneidad del mismo no es posible usar cimentación superficial se valoran otros tipos de cimentaciones.

Hay dos tipos fundamentales de cimentación: directas y profundas.

4.1.1 Cimentaciones superficiales o directas

Son aquellas que se apoyan en las capas superficiales o poco profundas del suelo, por tener éste suficiente capacidad portante por tratarse de construcciones de importancia secundaria y relativamente livianas. En este tipo de cimentación, la carga se reparte en un plano de apoyo horizontal.

Las cimentaciones superficiales se clasifican en:

-Cimentaciones ciclópeas.

-Zapatatas:

- Zapatatas aisladas.
- Zapatatas corridas.
- Zapatatas combinadas.

-Losas de cimentación.

4.1.2 Cimentaciones profundas

Se basan en el esfuerzo cortante entre el terreno y la cimentación para soportar las cargas aplicadas, o más exactamente en la fricción vertical entre la cimentación y el terreno. Deben ubicarse más profundamente, para poder distribuir sobre una gran área, un esfuerzo suficientemente grande para soportar la carga. Algunos métodos utilizados en cimentaciones profundas son:

-Pilotes: son elementos de cimentación esbeltos que se hincan (pilotes de desplazamiento prefabricados) o construyen en una cavidad previamente abierta en el

terreno (pilotes de extracción ejecutados in situ).

-Pantallas: es necesario anclar el muro al terreno.

Pantallas isostáticas: con una línea de anclajes

Pantallas hiperestáticas: dos o más líneas de anclajes.

4.2 Placas de anclaje

Las placas de anclaje son elementos estructurales que se emplean para unir los soportes metálicos a la cimentación y que tienen como objeto hacer que la transición del acero al hormigón se realice sin que en ningún punto se sobrepasen las tensiones admisibles en este material.

El material que constituye el cimiento (casi siempre hormigón) es menos resistente que el acero, por lo que la base debe ampliar la sección del soporte de acero hasta conseguir una superficie adecuada de contacto con el hormigón, para que la transmisión de esfuerzos de uno a otro material sea lo más uniforme posible.

La placa de anclaje debe estar sujeta al cimiento mediante unos pernos de anclaje que quedan embebidos en el hormigón, y que al fraguar y endurecer éste trabajan por adherencia.

Los elementos que constituyen una base del tipo generalmente utilizado en edificación son:

-Placa de base o de reparto.

-Cartelas de rigidez.

-Pernos de anclaje. □

Salvo en el caso excepcional de que el pie del soporte sea articulado, los soportes se consideran empotrados en la cimentación, lo que hace que la placa de anclaje deba prepararse para resistir los siguientes esfuerzos: axil, momento flector, cortante y momento torsor.

4.3 Pilares

Los pilares son elementos verticales sometidos principalmente a compresión y a flexión pequeña o nula. Son los elementos que transmiten las cargas verticales al terreno a través de los cimientos y las bases. □ Para dimensionar un pilar se tendrá en cuenta: el tipo de acero, el tipo de carga que va a recibir el perfil, la longitud del soporte (por si hubiese pandeo) y la carga axial de compresión.

Los pilares simples más utilizados son el HEB, el HEA, el IPN y el IPE. Con ellos se obtiene gran aprovechamiento y son muy aptos para formar pilares en pórticos rígidos.

Los pilares simples de varios perfiles más utilizados son los formados por 2 UPN.

Los pilares compuestos se obtienen acoplando perfiles separados enlazados por medio de elementos transversales discontinuos. Pueden estar unidos mediante presillas o

mediante celosía .

4.4 Vigas

Las jácenas o vigas son elementos lineales en las que una dimensión predomina sobre las otras dos. Su forma de trabajo es casi exclusivamente a flexión, por ello suelen adoptar forma de I, para tratar de obtener la máxima inercia y el mayor módulo resistente con el material disponible, tratando de mejorar el rendimiento.

Las vigas son los elementos sustentantes horizontales, o como en las cubiertas, ligeramente inclinados, que reciben las cargas verticales y las transmiten, trabajando a flexión, a los pilares o apoyos.

Las cargas que la viga recibe producen en sus secciones los siguientes esfuerzos: momento flector, esfuerzo cortante y torsiones (algunas veces).

4.4.1 Vigas simples

Los perfiles empleados son IPN, IPE o HE. El empleo de los perfiles IPE resulta más económico en general, tanto por su mayor rendimiento mecánico como por la simplificación que, en empalmes y uniones, proporciona el espesor uniforme de las alas.

Los perfiles simples laminados tienen la ventaja sobre la viga armada que para igual resistencia su coste es menor.

4.4.2 Vigas múltiples

Son las vigas constituidas por dos o más perfiles I adosados, unidos a través de elementos de unión, tales como perfiles, presillas, tornillos, pasantes, etc., que solidaricen eficazmente los perfiles componentes.

4.4.3 Vigas reforzadas

La utilización de refuerzos, con chapa o pletina, en las estructuras metálicas es de gran eficacia para conseguir ahorro de material.

Que un refuerzo sea económico o no, depende de los valores relativos de la chapa, el perfil y el cordón de soldadura.

El elemento de refuerzo más utilizado es la chapa o platabanda. Se utilizan estos refuerzos cuando queremos módulos resistentes (W) mayores que los existentes en el mercado, o cuando exista limitación de canto.

4.4.4 Vigas o jácenas armadas

Las vigas armadas están formadas por varias pletinas o chapas, unidas con cualquiera de los medios de unión: soldadura, roblones, angulares y tornillos, etc.

Para unas solicitaciones determinadas, siempre es posible encontrar una viga armada de menor peso que el perfil laminado que correspondería a esas solicitaciones. Sin embargo, aun con mayor peso, los perfiles laminados son siempre más económicos que las vigas armadas, debido al menor coste de fabricación.

4.4.5 Vigas o jácenas aligeradas

Son vigas de alma aligerada.

La solución de las vigas aligeradas puede resultar muy económica, cuando pueda adoptarse el canto que se estime más conveniente, y cuando la flexión predomine sobre el esfuerzo cortante, es decir, cuando se trate de luces grandes y de cargas moderadas

A esta clase de vigas se les ha dado diversas denominaciones: vigas alveoladas, vigas void, en panal de abeja ...

4.4.6 Vigas de celosía

Las vigas de celosía son de gran utilidad en las construcciones metálicas, especialmente en edificaciones industriales y para grandes luces.

Para luces de cierta importancia el peso de estas vigas es inferior al de las vigas de alma llena equivalentes. El coste de una estructura es el resultado de tres sumandos: coste del material, de la fabricación y del montaje. Estos últimos, varían notablemente según las circunstancias.

El mejor aprovechamiento, a efectos resistentes, de las vigas de celosía con relación a las de alma llena, se refleja en que mientras que en una viga de alma llena las tensiones máximas de agotamiento se alcanzarán sólo en dos puntos de su sección, en una barra triangulada puede conseguirse que toda la sección, tanto los cordones como las diagonales se agoten uniformemente, teniendo en cuenta que las barras a compresión deben dimensionarse teniendo en cuenta el pandeo.

Las vigas de celosía suelen estar constituidas por: cordón superior, cordón inferior, elementos de relleno (montantes y diagonales) y medios de unión (cartelas, soldadura, tornillería, etc.).

Los cordones pueden ser paralelos o no. A aquellos cuyos cordones son paralelos, se les llama “vigas de celosía”, mientras que las que tienen dichos cordones inclinados, se les denomina “cerchas”.

En las cerchas el cordón superior sigue la inclinación de la cubierta. Suelen ser estructuras ligeras, con cartelas simples y barras constituidas por angulares, o simples T.

Las posibilidades y variedades de las vigas de celosía son prácticamente infinitas, según el trazado de los cordones y la disposición de la triangulación. Sin embargo, existen unos tipos que podríamos llamar clásicos, y son: Pratt, Howe y Warren.

4.5 Correas

- Las correas son las vigas en que se apoya la chapa u otro tipo de techumbre, por lo que tienen que soportar su peso, así como el debido a posibles cargas de nieve y viento.
- Se encuentran a su vez apoyadas sobre las cerchas o los pórticos, normalmente en un plano inclinado, lo que hace tender a flectar también en el sentido de la inclinación. Siendo variable su separación, dependiendo del material de cubierta, etc.

El apoyo de las correas sobre las cerchas o pórticos, se asegurará bien mediante uniones soldadas (un cordón por cada lado de la correa con el máximo espesor que permita la

unión), bien mediante uniones remachadas poniéndose un casquillo en angular.

Las correas se calcularán como vigas apoyadas, con carga uniformemente distribuida.

Suelen emplearse perfiles IPN, simple T, perfil Z, o vigas de celosía.

4.6 Arriostramientos

Tienen la función de transmitir los esfuerzos producidos por el viento frontal sobre el pórtico extremo a las paredes laterales, que a su vez los transmitirán al suelo.

El arriostramiento básico es la Cruz de San Andrés, en forma de aspa, que se coloca entre dos cerchas o pórticos y pueden abarcar varias correas para evitar ángulos pequeños y repartir bien los esfuerzos a las barras.

Este tipo de configuración presenta el inconveniente de ser estáticamente indeterminado, con lo que tenemos que hacer hipótesis para llegar a una que sea determinada. Estas hipótesis se hacen respecto a las diagonales cruzadas, observando que, cuando una diagonal está en tensión, la contradiagonal está en compresión. Por lo general, se toman dos métodos de análisis:

-Si las diagonales se diseñan esbeltas, es razonable suponer que no soportarán esfuerzos de compresión, pues en caso contrario podrían pandear con gran facilidad. Por lo tanto la fuerza cortante será absorbida íntegramente por la diagonal en tensión, mientras que la diagonal en compresión se supone que es un elemento que no trabaja, es decir, a todos los efectos es como si no existiese.

-Si las barras diagonales se construyen con secciones robustas, serán capaces de soportar fuerzas de tensión y de compresión. En este caso supondremos que cada diagonal toma la mitad de la fuerza cortante que aparezca.

-Por estar sometidos a esfuerzos de tracción, estos elementos serán esbeltos y de sección circular o rectangular (barras y varillas), existiendo también de sección angular.

-Las varillas (sección circular) han de engrosarse en sus extremos para compensar la pérdida de sección que supone la realización de roscas para su fijación, si bien, en ocasiones se opta por diseñar tomando como sección resistente la correspondiente al área de la sección transversal de la rosca, pues esta solución suele resultar más económica, aunque la pieza en este caso resulta ser más sensible a efectos de impacto y de fatiga, tendiendo a fallar por la zona de la rosca.

4.7 Medios de Unión

4.7.1 Uniones atornilladas

Los medios de unión contemplados son los constituidos por tornillos, tuercas, y arandelas que, deberán estar normalizados y corresponder a los mismos grados del material que unen: límite elástico y resistencia a tracción.

4.7.2 Uniones soldadas

Un acero se considera soldable según un grado, un procedimiento determinado y para una aplicación específica, cuando mediante la técnica apropiada se puede conseguir la

continuidad metálica de la unión y ésta cumpla con las exigencias requeridas.

El material de aportación utilizable para la realización de soldaduras (electrodos) deberá ser apropiado para el proceso de soldeo, teniendo en cuenta al material a soldar y el procedimiento de soldeo; además deberá tener unas características mecánicas, en términos de límite elástico, resistencia a tracción, deformación bajo carga máxima, etc. no inferiores a las correspondientes del material de base que constituye los perfiles o chapas que se pretende soldar.

Métodos de soldadura: □

- Soldadura manual con electrodo recubierto, con recubrimientos de tipo rutilo o básico.
- Soldadura semiautomática bajo protección gaseosa, con hilo macizo tubular relleno de flux, con transferencia de lluvia.
- Soldadura semiautomática con hilo tubular relleno de flux, sin protección gaseosa, con transferencia de lluvia.
- Soldadura automática con arco sumergido.

4.8 Tipologías estructurales

A la combinación de los distintos elementos estructurales y los materiales de que están hechos se les denomina sistema estructural. Dichos sistemas estructurales pueden estar constituidos por la combinación de uno o varios tipos básicos de estructuras. Se recogen seguidamente una breve introducción a algunos de los tipos estructurales más comunes en las construcciones industriales:

4.8.1 Cerchas

Son la parte principal de la cubierta. Sobre éstas se apoyan las correas, de tal forma que permiten que se transmitan las cargas actuantes sobre las correas a los soportes.

Existen muchos tipos diferentes de cerchas, y según sus triangulaciones así podrán ser para mayor o menor luz.

4.8.2 Pórticos o marcos

Se componen de vigas y columnas que están unidas entre sí bien rígidamente o bien mediante articulaciones.

Se clasifican en pórticos simples y pórticos múltiples, según consten de uno o varios vanos.

Suelen ser pórticos a dos aguas, adaptándose a la inclinación de los faldones, con lo que se aprovecha más el interior al no existir tirantes.

El trabajo de un pórtico es el de una viga apoyada por medio de empotramiento, en dos soportes. Los elementos que lo forman suelen ser de alma llena. Los encuentros se refuerzan con cartelas formadas por trozos de perfiles, que rigidizan el nudo y ayudan a contrarrestar el empuje que ejerce el pórtico hacia el exterior.

5 Durabilidad de las estructuras

La durabilidad de una estructura de acero es su capacidad para soportar, durante la vida útil para la que ha sido proyectada, las condiciones físicas y químicas a las que está expuesta, y que podrían llegar a provocar su degradación como consecuencia de efectos diferentes a las cargas y sollicitaciones consideradas en el análisis estructural.

Para conseguir la durabilidad adecuada será necesario seguir una estrategia que contemple todos los posibles mecanismos de degradación, adoptando medidas específicas en función de la agresividad a la que se encuentre sometido cada elemento.

Deberán incluirse, al menos, los siguientes aspectos:

- Selección de la forma estructural, definiendo en el proyecto los esquemas estructurales, las formas geométricas y los detalles que sean compatibles con la consecución de una adecuada durabilidad de la estructura. Se facilitará la preparación de las superficies, el pintado, las inspecciones y el mantenimiento.

- Se procurará evitar el empleo de diseños estructurales que conduzcan a una susceptibilidad elevada a la corrosión, eligiendo formas de los elementos sencillas.

- Se reducirá al mínimo el contacto directo entre las superficies de acero y el agua.

- Se evitará el contacto directo del acero con otros metales (el aluminio de las carpinterías de cerramiento, muros cortina etc.).

- Cuando la estructura presente áreas cerradas o elementos huecos, debe cuidarse que estén protegidos de manera efectiva contra la corrosión, mediante soldadura continua.

En casos de especial agresividad, cuando las medidas normales de protección no se consideren suficientes, se podrá recurrir a la disposición de sistemas especiales de protección (materiales de recubrimiento en polvo, productos para tratamiento químico de superficies...)

5.1 Protecciones para estructuras metálicas

Una vez finalizada la construcción de las estructuras metálicas pueden aparecer problemas por alguna de las siguientes causas:

Efectos del calor, como consecuencia de incendios.

Oxidación excesiva y consiguiente corrosión.

5.1.1 Protección contra incendios

Aunque el hierro no es combustible, no se puede considerar resistente al fuego, no sólo porque disminuye sus resistencia en cuanto pasa de 500°C sino porque por efecto de su dilatación sufre grandes deformaciones. □ Los materiales de protección del acero que pueden utilizarse son: granito, mármol, hormigón, fábrica de ladrillo cerámico con mortero de cemento, placas de yeso, pinturas intumescentes, etc.

5.1.2 Protección contra corrosión

La oxidación constituye el peor enemigo de las construcciones metálicas. Para evitarlo

se cubre con un revestimiento protector y es indispensable que la superficie a tratar esté limpia de suciedad y óxido. □ Deberá considerarse conjuntamente el tratamiento de protección frente a incendio, ya que los requisitos del mismo pueden determinar un grado de defensa frente a la corrosión muy superior al estrictamente necesario, especialmente en el caso de pinturas intumescentes y morteros proyectados.

5.2 Durabilidad del Hormigón

Se define en la Instrucción española EHE, la durabilidad del hormigón como la capacidad para comportarse satisfactoriamente frente a las acciones físicas y químicas agresivas a lo largo de la vida útil de la estructura protegiendo también las armaduras y elementos metálicos embebidos en su interior.

Por tanto no solo hay que considerar los efectos provocados por las cargas y solicitaciones, sino también las condiciones físicas y químicas a las que se expone. Por ello se considera el tipo de ambiente en que se va a encontrar la estructura y que puede afectar a la corrosión de las armaduras, ambientes químicos agresivos, zonas afectadas por ciclos de hielo-deshielo, etc.

Para garantizar la durabilidad del hormigón y la protección de las armaduras frente a la corrosión es importante realizar un hormigón con una permeabilidad reducida, realizando una mezcla con una relación agua/cemento baja, una compactación idónea, un peso en cemento adecuado y la hidratación suficiente de éste añadiendo agua de curado para completarlo. De esta forma se consigue que haya los menos poros posibles y una red capilar interna poco comunicada y así se reducen los ataques al hormigón.

En los casos de existencia de sulfatos en el terreno o de agua de mar se deben emplear cementos especiales. Para prevenir la corrosión de armaduras hay que cuidar el recubrimiento mínimo de las mismas.

6 Caso de estudio

6.1 Descripción de la nave

La nave que se pretende calcular es una nave formada por dos pórticos adosados a dos aguas, con una longitud total de 85m. La separación de los pórticos entre sí, va a ser de 5m. La luz de dicha nave va a ser de 25m por cada pórtico, la altura de cabeza de pilar va a ser de 7m y la de cumbrera de 9m. A continuación se adjunta una foto del esqueleto de la nave, donde se puede observar que en los pórticos de los extremos se han situado arriostramientos para transmitir los efectos de las acciones a la cimentación:

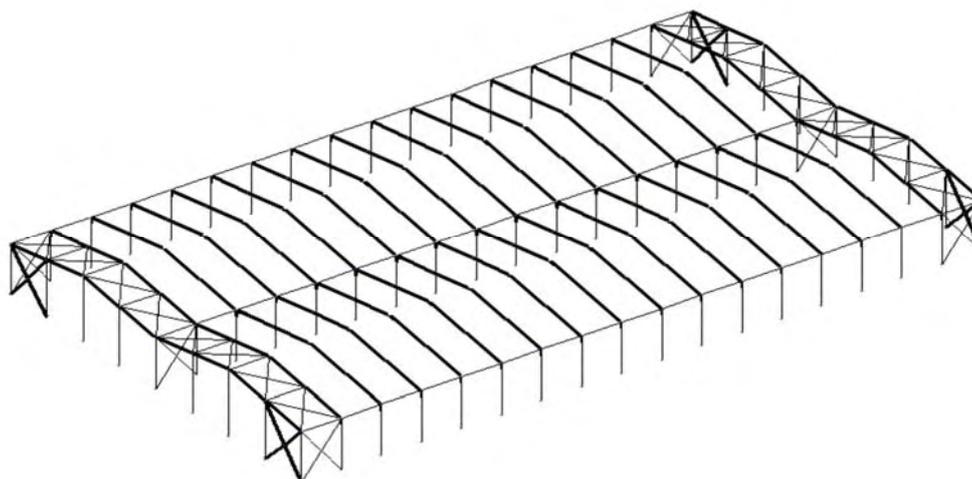


Figura 1: Nave industrial del caso de estudio

6.2 Localización

La nave industrial que se ha calculado en el presente proyecto, se ubicará en la parcela nº36 del polígono industrial de Villareal, con acceso principal en la calle Camí Onda Castelló Vell s/n.

El polígono industrial cuenta con buenos viales de comunicación, que permiten localizarla sin dificultad, como queda definido en la siguiente imagen de situación.

Aclaración:

Tras tomar la salida del polígono industrial desde la nacional 340, por la avenida Castelló, y tomar la primera salida en la primera rotonda, se llega a la calle Camí Onda Castelló Vell donde esta la nave situada.

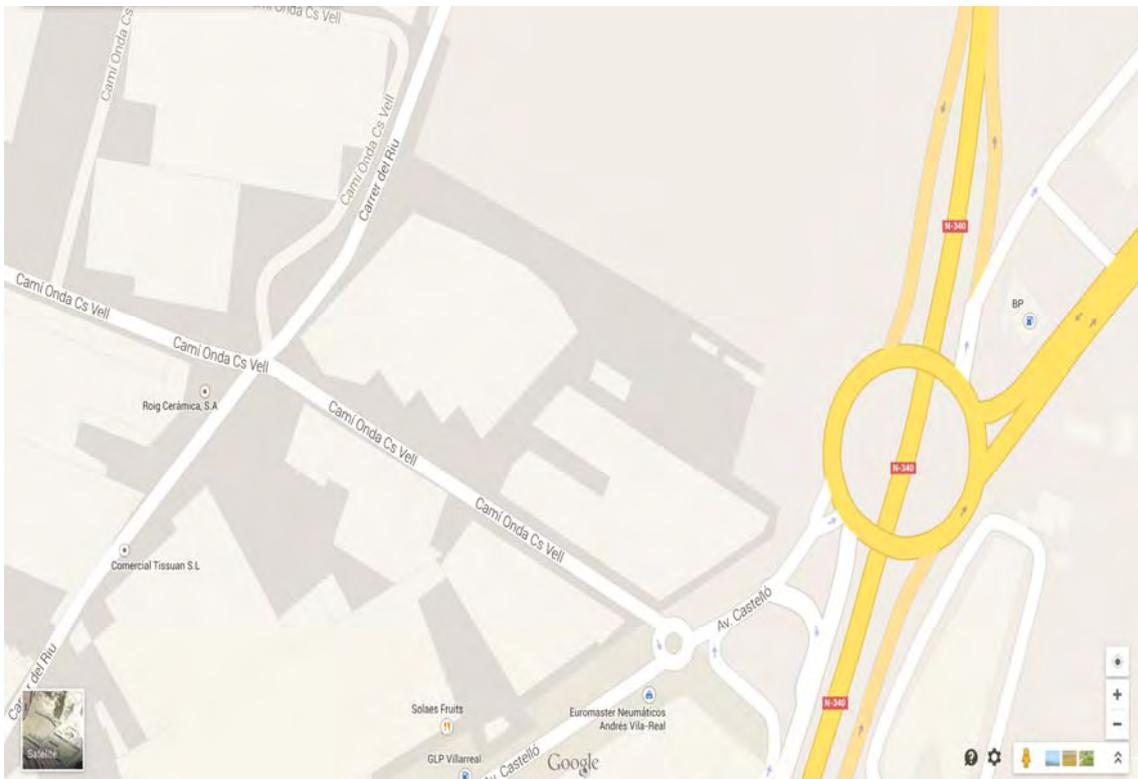


Figura 2: Accesos a la nave industrial

6.3 Normativa municipal

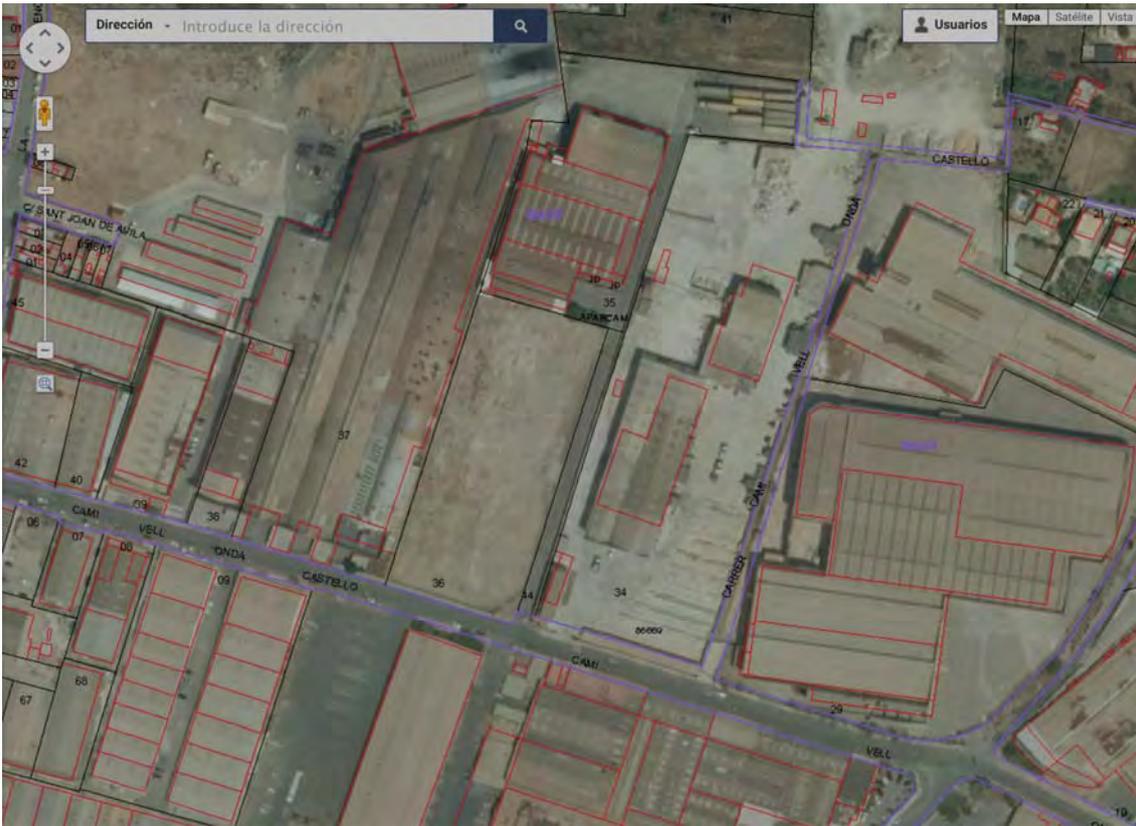


Figura 3: Situación geográfica de la nave industrial

Todas las obras a realizar por el presente proyecto se someterán a la normativa municipal que indique el Excmo. Ayuntamiento de Villareal, Castellón.

La superficie total de la parcela según el catastro es de 7193,33 m²

La parcela está clasificada como suelo urbano Industrial y su aprovechamiento urbanístico es el que se pasa a detallar a continuación:

Superficie máxima edificable: $7193,33 \text{ m}^2 / 1.3 = 5533,33 \text{ m}^2$

Ocupación permitida: 100%.

Volumen máximo: sin especificación.

Plazas de parking: mínimo una plaza por cada 200 m².

Vallado: mínimo 2m de altura.

6.4 Normativa legal aplicable a toda la nave

En la redacción del presente Proyecto de Ejecución se ha tenido en cuenta:

-Código Técnico de la Edificación (C.T.E.) y particularmente sus siguientes documentos básicos (DB):El DB-SE constituye la base para los Documentos Básicos siguientes y se utilizará conjuntamente con ellos:

-Documento Básico SE (Seguridad Estructural)

-Documento Básico SE-AE (Acciones en la Edificación)

En este Documento Básico se establecen las formas en que deben combinarse las diferentes acciones que actúan sobre el edificio, definiendo los diferentes coeficientes de seguridad de forma global para todos los materiales. De esta forma se establecen, entre otros, los límites de las deformaciones admisibles que deben verificar las estructuras de edificación

-Documento Básico SE-A (Acciones de la edificación)

En el campo de aplicación de este Documento Básico es el de la determinación de las acciones permanentes, variables y accidentales sobre los edificios, para verificar el cumplimiento de los requisitos de seguridad estructural (capacidad portante y estabilidad) y aptitud al servicio, establecidos en el DB-SE.

-Documento Básico SE-A (Seguridad Estructural Acero)

En este documento se adopta básicamente el enfoque del Eurocódigo de acero EN-1993, contemplando las distintas combinaciones de cálculo elástico y plástico en base a la clasificación de secciones según el Eurocódigo. El documento se adapta al tipo de aceros que se comercializan actualmente e incluye modelos de análisis para uniones.

-Documento Básico SI (Seguridad en caso de Incendio)

Este Documento Básico es una normativa de construcción española que forma parte del Código Técnico de la Edificación regula específicamente las medidas de protección contra incendios con que deben contar los edificios de nueva planta. Es una normativa de obligado cumplimiento en España, por lo que todos los edificios construidos desde su entrada en vigor en 2006 deben incorporar las soluciones constructivas que recoge la normativa, a excepción de los edificios industriales que se rigen por el Reglamento de seguridad contra incendios en los establecimientos industriales.

7 Metodología de cálculo

El cálculo de la nave se llevará a cabo con la herramienta de software de CYPE Ingenieros, versión 2015.

Este programa es capaz de calcular edificios, naves industriales y cualquier otro tipo de estructura. Mediante la aplicación de métodos matriciales obtiene una forma relativamente sencilla y fiable del dimensionado y la optimización de estructuras.

El software de CYPE Ingenieros se estructura en diferentes aplicaciones, cada una de las cuales está específicamente diseñada para una finalidad concreta.

7.1 Generador de pórticos

El generador de pórticos es un programa perteneciente al paquete CYPE Ingenieros, que dada su sencillez y facilidad de uso, permite hacer un dimensionado fácil y rápido de las correas a disponer. Entre sus funcionalidades destacan:

-Crear de forma sencilla y rápida la geometría y las cargas de peso propio, sobrecarga de uso, viento y nieve de un pórtico formado por nudos rígidos, celosías o cerchas. Las cargas de viento y nieve se generan automáticamente, según la norma y la zona elegida.

-Proporcionar el dimensionado de correas de cubiertas y laterales de fachadas, optimizando el perfil y la separación entre correas.

-Exportar a CYPE 3D la geometría del pórtico con apoyos biarticulados o biempotrados, sus cargas, y los coeficientes de pandeo de las barras que lo componen suponiendo la estructura traslacional o intraslacional. Se exportan todas las cargas de viento: las de cubierta, las de los laterales de la nave y las perpendiculares a los pórticos de pared final (muro piñón). Estas cargas se exportan como cargas superficiales, lo que facilita enormemente la labor de introducción de datos.

7.2 Cype 3D

Este módulo ha sido diseñado para ofrecer al usuario un software de mayores prestaciones con relación al dimensionado de estructuras de acero. Permite calcular cualquier tipo de estructura formada por barras de acero de acuerdo con la normativa seleccionada. Está adaptado al CTE y también a otras normativas nacionales e internacionales. Las funcionalidades más importantes que se han utilizado para este proyecto son:

-Descripción de los nudos: la tipología de los nudos es muy completa. Pueden definirse las vinculaciones interiores y coacciones exteriores, las cuales permiten que los nudos puedan definirse como empotrados, semiempotrados, apoyos elásticos, apoyos con desplazamientos libres según un plano o recta a definir.

-Agrupación y descripción de las barras: permite la agrupación e introducción de barras de acero y dimensiona la sección llegando a su optimización máxima. Emplea perfiles de acero laminado, armado y conformado que gestiona desde su amplia base de datos compuesta por perfiles de los fabricantes más extendidos. Puede crear perfiles compuestos a partir de perfiles simples con unión soldada, platabandas, presillas, etc. También puede definir cartelas en los extremos, perfiles de canto variable, vigas boyd y barras mixtas.

-Introducción a coeficientes de pandeo y pandeo lateral: permite introducir coeficientes de pandeo o longitudes de pandeo, y el coeficiente de momentos de cada barra. También calcula automáticamente la longitud de pandeo de las barras según el método aproximado. El usuario también puede activar en cualquier barra la comprobación de pandeo lateral.

-Restricción de flechas límites de las barras de la estructura: el programa posibilita al usuario limitar la flecha de las barras para que el dimensionado de los perfiles tenga en cuenta las restricción impuesta. El usuario puede imponer límites a las flechas máxima y relativa, tanto para sus calores absolutos como para sus calores relativos a la longitud entre los extremos y los puntos de inflexión de la deformada.

-Cálculo y optimización de la estructura: el programas hace todas las comprobaciones pertinente, siempre de acorde a la norma para que se cumplan todos los requisitos, en caso de no ser así, muestra que condiciones no se están cumpliendo.

-Cálculo y dimensionado de uniones soldadas y atornilladas: el programa realiza el cálculo y dimensionado automático de uniones soldadas y atornilladas de perfiles laminados y armados en doble T.

-Cálculo y dimensionado de placas de anclaje.

-Resultados planos y listados: se proporciona una memoria justificativa del proyecto, los listados detallados de las comprobaciones, según la norma seleccionada, y los planos de la estructura metálica de la nave.

7.3 Generador de precios

El generador de precios es una herramienta informática, que pertenece a CYPE ingenieros, que permite a los arquitectos y responsables de los proyectos obtener precios (para obra nueva, rehabilitación y espacios urbanos) con las previsiones de costes ajustadas al máximo a la realidad, y facilitar la elaboración de una documentación de proyecto de calidad (completa, consistente y con información técnica vinculada a cada unidad de obra), útil para las distintas fases del ciclo de vida del edificio (estudios previos, anteproyecto, proyecto básico y de ejecución, dirección y ejecución de la obra, uso y mantenimiento, deconstrucción y reciclado final). Incluye productos de fabricantes y productos genéricos.

8 Dimensionado

8.1 Procedimiento de dimensionado

8.1.1 Cálculo de las correas de cubierta

Las correas e cubierta son aquellos elementos cuya misión es la de soportar al propio material de cerramiento de la cubierta, transmitiendo su peso a las cerchas, y estas a su vez a los pilares, los cuales transmitirán la carga a los pilares. Así mismo, desempeñan la función de arriostrar los pórticos fuera de su plano.

Utilizando el generador de pórticos se generara un pórtico y se establecerá cierta separación entre ellos, así como también se generarán las diferentes cargas de nieve y viento. Se seleccionarán las correas y por último se exporta a CYPE 3D.

8.1.2 Creación de la geometría de la nave

Aprovechando la estructura que se ha generado con la exportación que se ha realizado desde el generador de pórticos, se introducen los elementos restantes para completar la geometría de la nave.

Entre los más destacados hay que resaltar:

- Pilares intermedios de los pórticos de los extremos.
- Vigas de atados de cabeza de pilar.
- Vigas montantes.
- Tirantes de las cruces de San Andrés.

8.1.3 Descripción de los nudos

Una vez definida la geometría de la nave, se procederá a describir el comportamiento de los nudos de la estructura empotrada, en esta nave se han asignado los siguientes nudos:

- Todos los pilares van con vinculación exterior empotrada en la base.
- Todas las uniones entre pilar-viga se efectuarán con vinculación interior empotrada, que será resuelta a través de cartelas.
- Las uniones entre las vigas de cumbrera irán con vinculación interior empotrada, donde será necesario introducir cartelas.
- Las uniones entre elementos de la estructura como vigas de atado de cabeza de pilares, vigas montantes o las cruces de San Andrés irán articuladas.

8.1.4 Descripción de barras

Para finalizar, se describirán todas las barras de la estructura. Para ello se han agrupado todas las barras del mismo tipo para ahorrar trabajo, optimizando la gestión, el control de cálculo y la ejecución de la estructura.

Todas las barras deben predimensionarse con una porción parecida a la solución final, para que el programa encuentre la solución lo antes posible. También es muy importante disponer una cartela inicial adecuada ajo los dinteles, que sea como mínimo

la décima parte de la luz.

Tras agrupar las barras de forma clara hay que asignar a toda la estructura el tipo de material S275.

8.1.5 Pandeo

En los planos de los pórticos se ha considerado la estructura como traslacional, y en los planos de los cerramientos y las cubiertas la nave puede considerarse como intraslacional.

El criterio que usa CYPE es el siguiente:

-El plano débil del perfil se denomina plano “xy” y se corresponde con el plano paralelo a las alas del perfil.

-El plano fuerte del perfil se denomina plano “xz” y se corresponde al plano que contiene el alma de la pieza.

Por lo que se aplicarán los diferentes coeficientes de pandeo teniendo en cuenta las condiciones de contorno de las que dispone cada barra para cada plano. Los coeficientes asignados son los siguientes:

-Pilares exteriores de los pórticos interiores: $xz \rightarrow 1,4$ $xy \rightarrow 0,7$

-Pilares interiores de los pórticos interiores: $xz \rightarrow 0,7$ $xy \rightarrow 0,7$

-Pilares exteriores de los pórticos exteriores: $xz \rightarrow 0,7$ $xy \rightarrow 0,7$

-Pilares interiores de los pórticos exteriores: $xz \rightarrow 0,7$ $xy \rightarrow 0,7$

-Pilares de los pórticos exteriores: $xz \rightarrow 0,7$ $xy \rightarrow 0,7$

-Jácenas: $xz \rightarrow 1,0$ $xy \rightarrow 0$

-Cruces de San Andrés: $xz \rightarrow 0$ $xy \rightarrow 0$

-Vigas perimetrales de los pórticos interiores: $xz \rightarrow 0$ $xy \rightarrow 0$

-Vigas perimetrales de los pórticos exteriores: $xz \rightarrow 1$ $xy \rightarrow 1$

Estos coeficientes de pandeo van a afectar decisivamente al cálculo de la estructura. Es muy importante aplicar estos coeficientes basados en datos sensatos y coherentes y que después se materialicen en la obra, de lo contrario no estaríamos calculando la obra que se esta construyendo, con el consiguiente riesgo añadido.

Entre alma y alma de los pilares consecutivos, se supone el caso más desfavorable, sin cerramiento,. Esta condición de contorno hace que se ponga a 0,7 este coeficiente de pandeo en el plano xy.

En el plano de inercia xz los pilares están empotrados, teniendo en la base un nudo que imposibilita su desplazamiento y giro, pero en su conexión con el dintel si que puede existir desplazamiento, por ello se asignara un coeficiente de pandeo de 1,4.

En el plano débil de los dinteles, tenemos que las correas los arriostran, y en el plano fuerte, estos dinteles están biempotrados en sus extremos al pilar y al otro dintel respectivamente. En este plano la pieza es biempotrada traslacional, por lo que le corresponde un coeficiente de pandeo aproximadamente de 1.

Una vez razonados y aplicados los coeficientes de pandeo en cada planoprincipal de cada barra, se modificarán los coeficientes de empotramiento de los extremos de las vigas de atado y de los marcos de las cruces de San Andrés en cada uno de sus planos para después articular sus extremos.

8.1.6 Flechas

Se limitará la flecha máxima en el plano fuerte de las barras sometidas a flexión, que es en el plano en que van a dominar las cargas.

Se limita la flecha máxima de acuerdo con el tipo de edificio, y los elementos implicados en la deformación. Según CTE DB-SE apartado 4.3: Cuando se considere la integridad de los elementos constructivos, considerando sólo las deformaciones que se produce después de la puesta en obra del elemento, la flecha relativa es menor que $L/300$ para elementos horizontales y menor de $L/250$ para pilares.

8.1.7 Placas de anclaje

Una vez obtenidos todos los resultados pertinentes de la estructura y fijados como definitivos una serie de perfiles, el propio programa nos calcula las propias placas de anclaje, incluyendo dimensiones de las mismas, rigidizadores y tamaño, longitud y número de pernos debido tanto al peso de la misma como a todas las hipótesis de carga que le hemos definido en base a la norma de obligado cumplimiento correspondiente al CTE.

8.1.8 Cimentación

Una vez obtenidos todos los resultados pertinentes de la estructura y fijados como definitivos una serie de perfiles, además de las placas de anclaje, el propio programa nos calcula las reacciones y cargas a cimentación que nos genera nuestra estructura, debido tanto al peso de la misma como a todas las hipótesis de carga que le hemos definido en base a la norma de obligado cumplimiento correspondiente al CTE.

Utilizaremos como tensión de trabajo del suelo 0,2 MPa, confirmado por el tipo de terreno sobre el que se pretende construir. Tendremos en cuenta para el cálculo de la cimentación de la nave del presente proyecto tanto la Norma EHE, como el CTE en su apartado destinado a cimentaciones, CTE parte 2-DB SE-C- Seguridad Estructural.

8.2 Acciones consideradas

8.2.1 Cargas permanentes

Las cargas permanentes está constituidas por el peso de los diversos elementos estructurales y por los pesos de los cuerpos que están permanentemente unidos a la

estructura. Para un edificio cualquiera las cargas permanentes estarán formadas por los pesos de las columnas, vigas, losas, techo, muros fijos, ventanas, plomería, instalación eléctrica y otros dispositivos diversos.

Para hallar el peso de los elementos de la estructura se puede recurrir a catálogos de fabricantes o prontuarios. También en el Anejo C del CTE-DB-AE (Acciones en la edificación) se incluyen los pesos de materiales, productos u elementos constructivos típicos.

8.2.2 Sobrecargas de uso

Estas cargas pueden variar en magnitud y localización, y son debidas al peso de todos los objetos que pueden gravitar sobre la estructura debido al uso de la misma, o incluso durante su ejecución (sobrecargas de ejecución). Por tanto, estas cargas pueden ser causadas por el peso de los objetos colocados temporalmente sobre una estructura, por vehículos en movimiento, personas, maquinaria, instalaciones, mobiliario, tabiquería...

Para calcular el valor de estas acciones se deben calcular las cargas debidas de cada una de ellas, si bien, en cualquier caso, nunca podrán ser inferiores a las indicadas por las normas de edificación.

8.2.3 Sobrecargas de nieve

Estas cargas son debidas al peso de la nieve que puede acumularse sobre la estructura como consecuencia de nevadas en la zona.

Su determinación vendrá ligada a la zona geográfica en que se proyecta la ejecución de la estructura, principalmente la altura topográfica, así como al tipo de cubierta que se pretende utilizar, la pendiente de la cubierta y su rugosidad o existencia de petos que favorezcan la acumulación de nieve.

En resumen, para la determinación de la sobrecarga de nieve, deberán ser considerados: forma general de la estructura y particularmente la geometría de la cubierta, exposición al viento, pues este puede provocar o impedir el desprendimiento de la capa de nieve, y su localización.

8.2.4 Sobrecarga de viento

Las acciones que provoca el viento vienen determinadas como fuerzas por unidad de superficie, que dependen de la zona eólica, de la altura sobre el terreno, de la situación topográfica (normal o expuesta), de la construcción (abierta o cerrada) y de la forma, posición y orientación de los elementos con respecto al viento.

Cuando las estructuras impiden el flujo de viento, la energía cinética de éste se convierte en energía potencial de presión, lo que causa la carga de viento.

Se considera que el sentido del viento es horizontal en cualquier dirección. Se estudiará en cada caso la dirección más desfavorable. La norma establece la acción del viento como presión dinámica, que depende de la velocidad de éste, así como de su densidad.

La fuerza que actúa sobre los elementos será dicha presión dinámica, afectada por un coeficiente eólico, el cual depende de la forma y superficie del elemento, y posición con respecto al viento. Dicha fuerza se considerará perpendicular a las superficies de los

elementos que componen la estructura.

Dichos coeficientes se obtendrán a partir de tablas y expresiones dadas por la normativa referente a acciones sobre las estructuras.

8.2.5 Cargas de sismo

Un sismo es una sacudida o movimiento brusco de la corteza terrestre. La tierra puede temblar por distintas causas. El origen principal de los movimientos sísmicos más importantes está en la liberación súbita de energía acumulada por movimientos relativos entre fallas, produciéndose el sismo cuando la fuerza de rozamiento es superada por la tensión acumulada.

Los sismos producen cargas sobre una estructura por medio de la interacción del movimiento del suelo y las características de respuesta de la estructura. Estas cargas resultan de la distorsión en la estructura causada por el movimiento del suelo y la resistencia lateral de ésta. Sus magnitudes dependen de la cantidad y tipo de aceleraciones del suelo, así como de la masa y rigidez de la estructura.

La carga sísmica a considerar dependerá de factores tales como la importancia de la construcción, peligrosidad sísmica del territorio en que se ubicará la construcción, periodo de vida para el que se proyecta la construcción, características del suelo en que se asentará la misma, etc.

9 Diseño final

9.1 Elementos

Una vez calculada la estructura por Cype, y se ha revisado que se cumplen todas las comprobaciones los perfiles que conforman la estructura son los siguientes:

Los pórticos interiores están conformados por jácenas IPE 360 con cartelas, tanto superiores como inferiores, y los pilares están formados por IPE 360 con cartelas superiores. Estos pórticos están arriostrados entre ellos por vigas perimetrales IPE 80 que atan las cabezas de los pilares.

En cuanto a los pórticos exteriores están formados por jácenas IPE 360 sin cartelas, los pilares esquineros son también IPE 360 sin cartelas, pero a diferencia de los pórticos interiores el pilar central es un IPE 550 sin cartelas. Estos pórticos exteriores están arriostrados por vigas perimetrales que van en la cabeza de los pilares por unas vigas IPE 300.

Los pórticos exteriores tienen a su vez unos pilares HEA 240 distribuidos de 3 en 3 durante la longitud de la luz.

Entre los pórticos de fachada y los pórticos interiores, además de en el pórtico exterior se encuentran las cruces de San Andrés, las cuales son L 50x50x5.

10 Carga de fuego

10.1 Cálculo de la carga de fuego de la estructura

Actividades principales y secundarias:

La actividad industrial principal de la instalación es la de almacenamiento de aparatos electrónicos. En dichas zonas solo se va a utilizar el 70% del espacio total para almacenar.

Determinación de la configuración del establecimiento industrial:

El tipo de instalación industrial que se pretende proteger es de tipo C, ya que la instalación no tiene ningún edificio alrededor a una distancia inferior a 3m. Además de esto dicha distancia está libre de productos inflamables o propagadores de incendios.

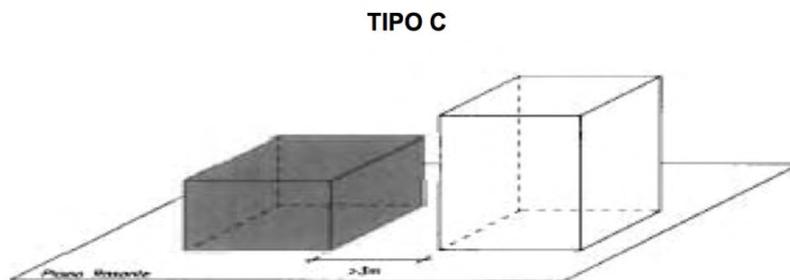


Figura 4: Configuración de la nave industrial

División en sectores y zonas de uso de cada sector: la instalación en cuestión se va a dividir en 2 zonas claramente diferenciadas. Estas dos zonas son totalmente simétricas y en las dos se va a realizar la misma operación

Superficie de cada sector: los dos sectores van a ocupar un total de 2125m² respectivamente.

Carga de fuego de cada sector:

VALORES DEL COEFICIENTE DE PELIGROSIDAD POR COMBUSTIBILIDAD, C _i		
ALTA	MEDIA	BAJA
<ul style="list-style-type: none"> - Líquidos clasificados como clase A en la ITC MIE-APQ1 - Líquidos clasificados como subclase B₁, en la ITC MIE-APQ1. - Sólidos capaces de iniciar su combustión a una temperatura inferior a 100 °C. - Productos que pueden formar mezclas explosivas con el aire a temperatura ambiente. - Productos que pueden iniciar combustión espontánea en el aire a temperatura ambiente. 	<ul style="list-style-type: none"> - Líquidos clasificados como subclase B₂ en la ITC MIE-APQ1. - Líquidos clasificados como clase C en la ITC MIE-APQ1. - Sólidos que comienzan su ignición a una temperatura comprendida entre 100 °C y 200 °C. - Sólidos que emiten gases inflamables. 	<ul style="list-style-type: none"> - Líquidos clasificados como clase D en la ITC MIE-APQ1. - Sólidos que comienzan su ignición a una temperatura superior a 200 °C.
C _i = 1,60	C _i = 1,30	C _i = 1,00

Tabla 1: Valores del coeficiente de peligrosidad por combustibilidad

Determinamos el coeficiente de combustibilidad del elemento tratado en la actividad, en este caso para elementos electrónicos, que se puede considerar que su temperatura de ignición es superior a los 200 °C, por lo que como observamos en la tabla 1.1 del Reglamento un C_i=1, pero para estar del lado de la seguridad se adopta un valor de 1,3, ya que algunos otros elementos del proceso presentan una combustibilidad mayor.

Según la tabla 1.2 del artículo 303 del BOE debemos usar los siguientes valores:

ACTIVIDAD	Fabricación y venta			Almacenamiento		
	Q _s		R _a	q _v		R _a
	MJ/m ²	Mcal/m ²		MJ/m ³	Mcal/m ³	
Aparatos electrónicos	400	96	1,0	400	96	1,0

Tabla 2: Valores necesario para calcular la carga de fuego

$$Q_s = \frac{\sum_i Q_{si} S_i C_i}{A} R_a (MJ/m^2)$$

Datos:

$$Q_{si} = 400 MJ/m^2$$

$$S_i = 2125 * 0,7 = 1487,5m^2$$

$$C_i = 1,3$$

$$R_a = 1$$

$$Q_s = \frac{1,3 * 400 * 1487,5 * 5}{2125} * 1 = 1820 \frac{MJ}{m^2}$$

Nivel de riesgo intrínseco		Densidad de carga de fuego ponderada y corregida	
		Mcal/m ²	MJ/m ²
BAJO	1	$Q_s \leq 100$	$Q_s \leq 425$
	2	$100 < Q_s \leq 200$	$425 < Q_s \leq 850$
MEDIO	3	$200 < Q_s \leq 300$	$850 < Q_s \leq 1275$
	4	$300 < Q_s \leq 400$	$1275 < Q_s \leq 1700$
	5	$400 < Q_s \leq 800$	$1700 < Q_s \leq 3400$
ALTO	6	$800 < Q_s \leq 1600$	$3400 < Q_s \leq 6800$
	7	$1600 < Q_s \leq 3200$	$6800 < Q_s \leq 13600$
	8	$3200 < Q_s$	$13600 < Q_s$

Tabla 3: Valores de la densidad de carga de fuego ponderada y corregida

Con los datos calculados anteriormente y las tablas aportadas la nave industrial que se pretende estudiar dado el uso nombrado anteriormente tiene un nivel de riesgo intrínseco MEDIO 5.

TABLA 2.2
ESTABILIDAD AL FUEGO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES PORTANTES

NIVEL DE RIESGO INTRÍNSECO	TIPO A		TIPO B		TIPO C	
	Planta sótano	Planta sobre rasante	Planta sótano	Planta sobre rasante	Planta sótano	Planta sobre rasante
BAJO	R 120 (EF - 120)	R 90 (EF - 90)	R 90 (EF - 90)	R 60 (EF - 60)	R 60 (EF - 60)	R 30 (EF - 30)
MEDIO	NO ADMITIDO	R 120 (EF - 120)	R 120 (EF - 120)	R 90 (EF - 90)	R 90 (EF - 90)	R 60 (EF - 60)
ALTO	NO ADMITIDO	NO ADMITIDO	R 180 (EF - 180)	R 120 (EF - 120)	R 120 (EF - 120)	R 90 (EF - 90)

Tabla 4: Tabla 2.2 del artículo 303 del BOE

Conociendo que el nivel de riesgo intrínseco es MEDIO 5, la configuración de la nave industrial es de TIPO C y la planta esta SOBRE RASANTE, es correcto afirmar que la estructura metálica debe tener como mínimo un protección de R 60.

11 Sistemas de protección pasiva contra incendios

Los incendios constituyen un importante riesgo para la seguridad de los ocupantes de los edificios. La necesidad de disminuir este riesgo afecta a todas las fases del proceso constructivo, desde el diseño del edificio hasta la puesta en obra, el mantenimiento y el uso. La protección pasiva contra incendios comprende todas aquellas medidas dirigidas a limitar la propagación del fuego y retardar sus efectos. A efectos de minimizar los daños en un edificio, los principales materiales a proteger son el acero la madera en cuanto a la estructura se refiere.

11.1 Elementos de protección

11.1.1 Lana de roca

La lana de roca, perteneciente a la familia de las lanas minerales, es un material fabricado a partir de roca volcánica. Se utiliza principalmente como aislamiento térmico y como protección pasiva contra el fuego en la edificación, debido a su estructura fibrosa multidireccional, que le permite albergar aire relativamente inmóvil en su interior.

El proceso de fabricación de la lana de roca pretende emular la acción natural de un volcán. La roca basáltica (diabasa) es fundida a más de 1600 °C en un horno (cubilote) para así retornarla a su estado inicial de lava. La lava es vertida en unas ruedas que giran a gran velocidad, y se transforma en fibras debido al efecto de la fuerza centrífuga. Tras la pulverización de un ligante orgánico, se reúnen las fibras para formar un colchón de lana primaria. Después de haber sido más o menos comprimido, dependiendo de las prestaciones buscadas, ese colchón pasa a la última fase de curado donde el producto adopta su forma final. La composición de la lana de roca fruto de este proceso es aproximadamente de 98% roca volcánica y 2% ligante orgánico.

La estructura de la lana de roca contiene aire seco y estable en su interior, por lo que actúa como obstáculo a las transferencias de calor caracterizándose por su baja conductividad térmica, la cual está entre los 0.050 y 0.031 W/m*K, aislando tanto de temperaturas bajas como altas.

La lana de roca es un material no combustible, siendo Clase A1 según la clasificación europea de reacción al fuego de los materiales de la construcción (Euroclases). Se utiliza como protección pasiva contra el fuego en edificios, pues conserva sus propiedades mecánicas intactas incluso expuesta a temperaturas superiores a 1000°C.



Figura 5: Protección mediante lana de roca

11.1.2 Mortero proyectado

Los morteros proyectados tienen la ventaja de que envuelven completamente el elemento a proteger, formando una barrera térmica sin uniones ni juntas. Aunque pueden ser de muchos tipos, son habituales los que contienen vermiculita y/o perlita.

En estos morteros se da una importante presencia de agua, tanto en forma de agua libre como químicamente unida a algunos compuestos. Cuando se produce la evaporación del agua, al ser un proceso endotérmico, se puede absorber una importante parte del calor generado en el incendio. De esta forma, se consigue que la temperatura se mantenga constante durante el periodo en que el agua se evapora (meseta de evaporación). En general, se darán este tipo de mesetas siempre que se produzca una transformación endotérmica.



Figura 6: Protección mediante mortero proyectado

11.1.3 Placas de yeso

Las cualidades de incombustibilidad del yeso lo convierten, en formato de placas, en un material óptimo para contrarrestar la propagación de incendios. Las mismas están constituidas por un alma de yeso especial y revestidas su cara y su dorso por un tejido de fibra de vidrio incombustible íntimamente adherido. Pueden ser utilizadas en tabiques, cielorrasos y revestimientos; y en la cobertura de vigas, pilares estructurales y todo tipo de conductos y cableados que se desee proteger, brindando una solución integral en seguridad contra incendios. Los usos particulares para la protección de instalaciones y estructuras, la importancia de lograr estanqueidad de las llamas en los ambientes colapsados mediante la generación de barreras cortafuego es una ventaja fundamental de la utilización de sistemas de tabiques a base de placa. Cabe destacar la solidez estructural y la no emisión de gases tóxicos por combustión que aportan las placas de yeso ya que son también indispensables a la hora de asegurar la permanencia de los ocupantes hasta su evacuación.



Figura 7: Protección mediante placas de yeso

11.1.4 Pintura intumescente

La intumescencia consiste en un conjunto de reacciones químicas capaces de provocar un importante incremento del espesor del material, de manera que en caso de incendio el material intumescente desarrolla un importante volumen de espuma carbonosa aislante (de hasta entre 20 y 30 veces su espesor original) que evita que la temperatura afecte al elemento protegido.

Un ejemplo de producto intumescente son las pinturas protectoras de estructuras de acero. El acero pierde su resistencia estructural alrededor de los 500°C, pero una pintura intumescente correctamente formulada y aplicada puede ser capaz de mantener la temperatura del acero por debajo 120 minutos.

Como ejemplo del comportamiento de las pinturas intumescentes, en la figura se muestra un caso en el que se aplica una fuente de calor (radiador eléctrico, imagen (a) a unas muestras de madera. La imagen (b) corresponde a una madera sin recubrimiento, mientras que las imágenes (c) y (d) corresponden a una madera recubierta con pintura intumescente. En el caso de la madera pintada, la muestra ha estado sometida a la fuente

de calor durante mucho más tiempo que en el caso no pintado. Se observa con claridad el efecto espumante de la pintura, que actúa como un “colchón” aislante protector frente a las altas temperaturas. En la imagen (d) se aprecia el extraordinario grosor que adquiere la capa formada.

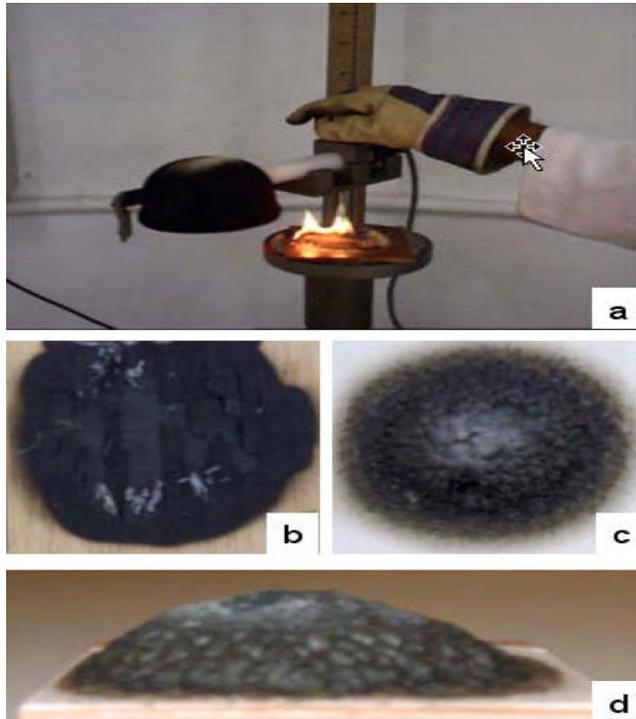


Figura 8: Ensayo realizado sobre madera sin y con pintura intumescente

Además de la pinturas, existen otros productos intumescentes, como masillas selladoras de juntas o uniones, o dispositivos en forma de abrazaderas para los conductos. En caso de altas temperaturas, el material intumescente del que están fabricados se expande, taponando la junta o el conducto y bloqueando así el paso al fuego y al humo. Este tipo de productos pueden resultar de gran utilidad a fin de limitar la propagación de un fuego en el interior de un edificio. Hay que tener muy en cuenta, ya en la fase de diseño del edificio, que para limitar una eventual propagación del fuego no solo hay que compartimentar correctamente en sectores de incendio, sino que hay que asegurarse de que la compartimentación de los espacios ocupables tenga una continuidad en los espacios ocultos (como falsos techos) y zonas de paso de instalaciones. Así, la resistencia al fuego requerida a un elemento de compartimentación se tiene que mantener en los puntos en que estos elementos son atravesados por elementos de las instalaciones. Para conseguirlo, una de las posibilidades es la colocación de productos intumescentes anteriormente descritos.

11.2 Ventajas y desventajas de las protecciones

Tanto la lana de roca como las placas de yeso presentan gran versatilidad ya que forman un cajón alrededor del perfil metálico que se fija de forma mecánica, además de ser ligeros y manejables, en cualquier momento en el que sufren un golpe o haya algún

desperfecto, es tan fácil como cambiar la sección que haya sufrido el desperfecto para solucionarlo. La parte negativa es que afectan de forma muy notable a la percepción de la estructura en la parte visual. La protección que ofrecen ambas, al aplicar iguales espesores, es bastante similar, siendo un poco mejor las placas de yeso que la lana de roca.

En contraportada tanto la pintura intumescente como el mortero de perlita son protecciones proyectadas que si que permiten conservar el estilismo inicial de la estructura, siendo la pintura intumescente la que lo conservaría de una forma total. En cambio estos elementos proyectados presentan la dificultad de que cuando hay desperfectos, requieren de que se vuelva a proyectar la protección otra vez, un proceso mucho más costos de lo que sería una sustitución como la del caso anterior. Estos dos elementos proyectados se diferencian en la cantidad de espesor que se requiere para lograr la misma protección, siendo el espesor requerido de pintura intumescente mucho menos que el de mortero proyectado para alcanzar el mismo nivel de protección.

La gran desventaja de la pintura intumescente es que para cierta especificación de protección esta solo cubre ciertas masividades, requiriendo de cierto sobredimensionamiento en algún caso concreto para poder aplicar este tipo de tratamiento.

12 El fuego y las protecciones

12.1 Evolución de la temperatura con el fuego

La temperatura que se alcanza en un incendio, viene definida en la norma EN-1363-1:1999, la cual sigue la siguiente expresión:

$$\theta_g = 20 + 345 \log_{10}(8t + 1)$$

Donde:

Og: Temperatura del gas en el sector. (°C)

t: tiempo transcurrido desde la finalización del incendio. (min)

Tiempo (min)	Temperatura (°C)	Tiempo (min)	Temperatura (°C)
0	20	90	1 006
5	576	120	1 049
10	678	150	1 082
15	738	180	1 110
20	781	210	1 133
30	842	240	1 153
45	902	300	1 186
60	945	360	1 214

Tabla 5: Relación entre el tiempo transcurrido y la temperatura de un incendio

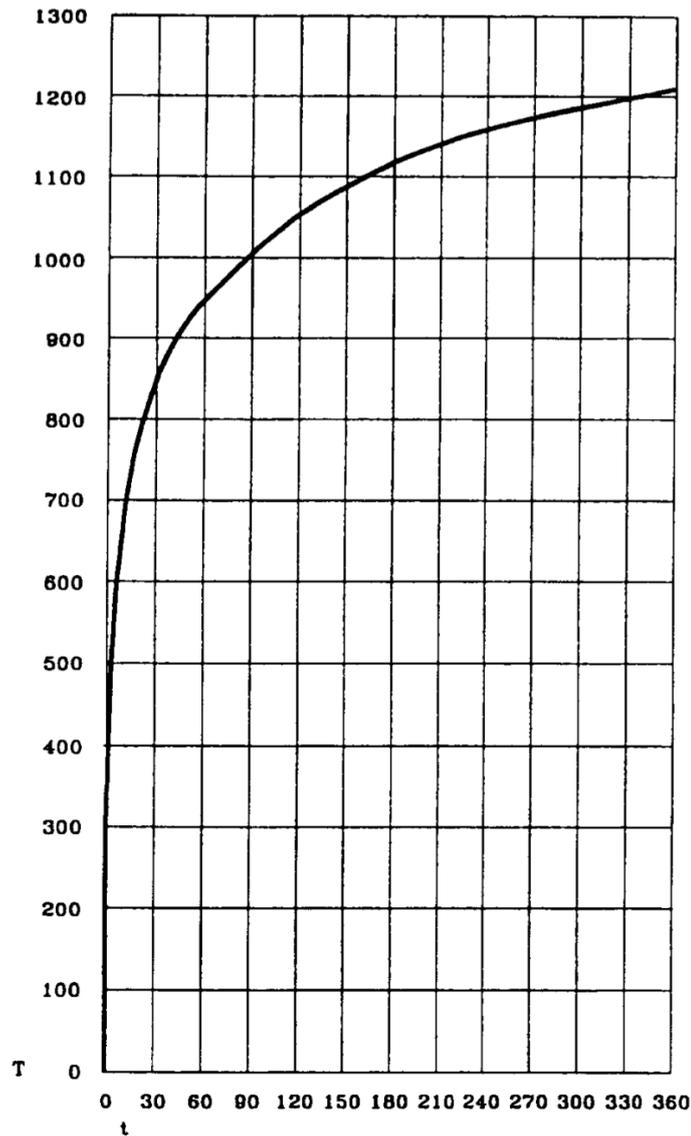


Figura 9: Evolución de la temperatura en función del tiempo en un incendio

12.2 Evolución de la temperatura en perfiles sin protección

Una vez conocida la temperatura de gas en el sector, cualquier momento después de que se inicie el incendio, es necesario conocer la temperatura de los perfiles metálicos que componen la estructura, en cada instante de tiempo en concreto.

Para ello, se debe usar la expresión que se encuentra en el apartado D.2.3 del DBSI:

$$\Delta\theta_{s,t} = \frac{A_m/V}{c_p\rho_s} h_{net,d}\Delta t$$

Donde:

A_m/V : Factor de forma (m^{-1})

C_s : Calor específico del acero (600J/kgK)

$h_{net,d}$: valor del flujo de calor neto por unidad de área (W/m^2), que se considera suma del valor del flujo de calor por radiación $h_{net,r}$ y por convección $h_{net,c}$, siendo:

$$h_{net,r} = \Phi \varepsilon_f \varepsilon_m \sigma [(\theta_r + 273)^4 - (\theta_s + 273)^4]$$

Donde:

Φ : factor de configuración, 1.0 si no existen valores específicos.

ε_f : emisividad del fuego, 1.0 si no existen valores específicos.

ε_m : emisividad superficial del material, 0.5 para el acero.

θ_r : temperatura de radiación efectiva en el incendio ($^{\circ}C$)

θ_s : temperatura superficial del elemento ($^{\circ}C$).

σ : constante de Boltzmann ($5,67 \cdot 10^{-8} W/m^2 K^4$)

$$h_{net,c} = \alpha_c (\theta_g - \theta_s)$$

Donde:

α_c : coeficiente de transferencia de calor por convección ($25 W/m^2K$)

θ_g : temperatura del gas en el sector de incendio ($^{\circ}C$)

θ_s : temperatura superficial del elemento ($^{\circ}C$)

Δt : intervalo de tiempo, no superior a 5 segundos.

ρ_s : densidad del acero ($7850 kg/m^3$)

Con todos los datos facilitados se puede observar que la temperatura que se alcanza en cualquier perfil de la estructura, siempre considerada la exposición de las 4 caras del perfil a fuego, viene intrínsecamente relacionada con la masividad de dicho perfil.

Según la masividad del perfil, y el tiempo transcurrido después del inicio del incendio se pueden establecer las siguientes temperaturas:

M/T	15	20	30	45	60	90	120	150	240	360
70	381,04	524	735,8	873,37	930,77	998,29	1044	1078,7	1150,8	1212,4
100	488,5	635,59	797,84	887,22	935,94	1000,7	1045,5	1079,8	1151,4	1212,7
130	567,32	698,08	817,59	891,54	938,3	1002	1046,3	1080,4	1151,7	1212,9
160	621,73	730,69	825	893,81	939,71	1002,8	1046,9	1080,8	1151,9	1213
190	657,69	828,59	828,59	895,28	940,65	1003,3	1047,2	1081,1	1152,1	1213,1
220	680,88	830,78	830,78	896,31	941,31	1003,8	1047,5	1081,3	1152,2	1213,2
250	695,75	832,29	832,29	897,08	941,82	1004	1047,7	1081,4	1152,3	1213,2
280	705,37	833,42	833,42	897,67	942,21	1004,2	1047,8	1081,5	1152,3	1213,2
310	711,73	834,31	834,31	898,14	942,52	1004,4	1047,9	1081,6	1152,4	1213,3

Tabla 6: temperaturas de diferentes perfiles en un incendio al cabo de cierto tiempo

De estos resultados se puede concluir que la temperatura de un perfil de acero en un incendio va relacionada de forma directamente proporcional al tiempo e inversamente proporcional a la masividad.

Para ilustrar estos resultados de una forma gráfica, se ha realizado una gráficas donde se visualiza de forma clara el cambio en la evolución de la temperatura en función de la masividad:

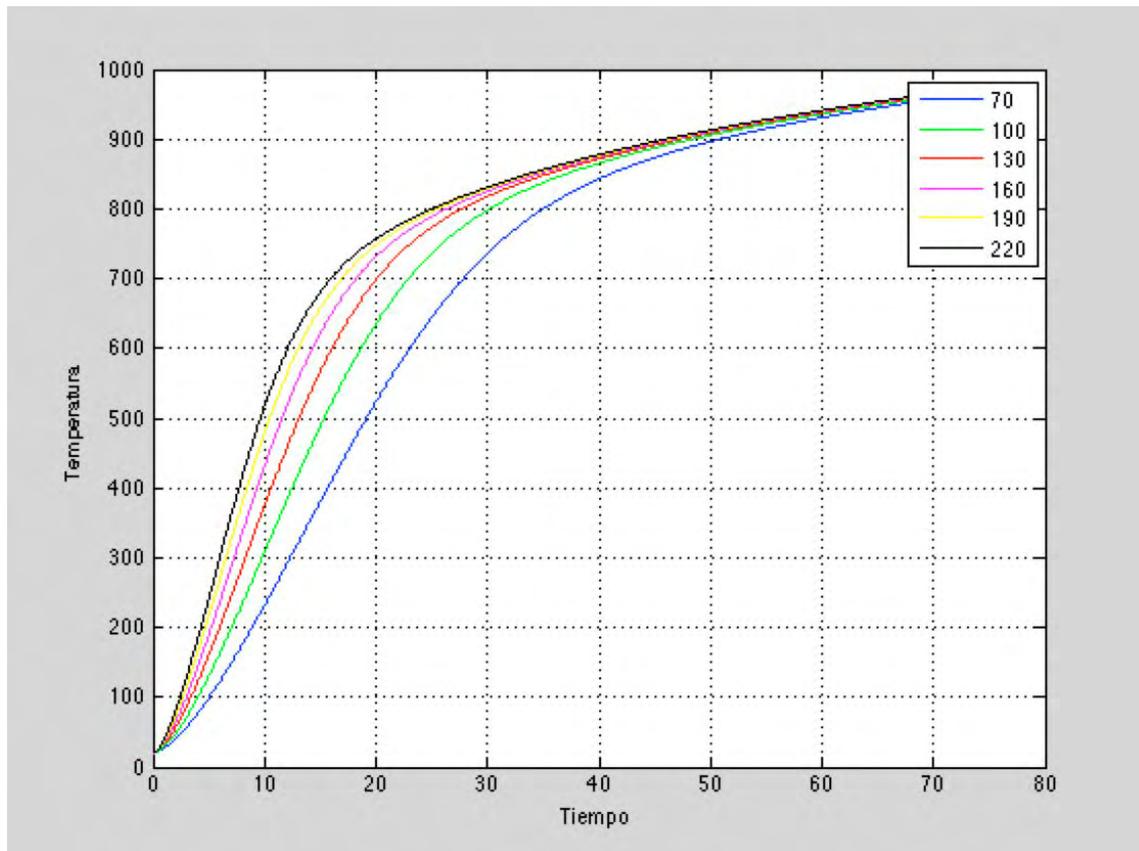


Figura 10: Evolución de la temperatura en función del tiempo en un incendio en perfiles de diferentes masividades sin proteger

En la gráfica se ha decidido cortar la representación en un tiempo de 75 minutos ya que a partir de este tiempo las variaciones de temperatura son muy poco significativas y para todas las masividades muy parecidas, y respecto a la masividad solo se ha representado hasta una masividad de 220, ya que los perfiles más significativos de la nave para la que se pretende diseñar la protección no superarán este valor.

12.3 Evolución de la temperatura en perfiles con protección

Una vez conocida la evolución de la temperatura en perfiles de acero sin proteger, se pretende ver el efecto de ciertas protecciones contra incendios.

Para acero revestido, el incremento de temperatura en el acero, se determina mediante la siguiente expresión del apartado D.2.3 del DBSI:

$$\Delta\theta_{s,t} = \frac{\lambda_p A_m / V}{d c_s \rho_s} \frac{(\theta_{g,t} - \theta_{s,t})}{(1 + \phi/3)} \Delta t - (e^{\frac{\phi}{10}} - 1) \Delta\theta_{g,t}$$

siendo:

$$\phi = \frac{c_p \rho_p d A_m}{c_s \rho_s V}$$

Donde:

A_m/V : Factor de forma (m^{-1})

d : espesor del recubrimiento (m)

$\theta_{g,t}$: temperatura del gas en el instante t ($^{\circ}C$)

$\theta_{s,t}$: temperatura del acero en el instante t ($^{\circ}C$)

λ_p : conductividad térmica del material de revestimiento (W/mK)

c_p : calor específico del revestimiento (J/kgK)

c_s : calor específico del acero (600J/kgK)

ρ_p : densidad del acero (7850 kg/m³)

ρ_s : densidad del revestimiento (kg/m³)

Una vez conocidas las expresiones y las siguientes propiedades de los materiales de protección, se puede evaluar cuanto de buena es la protección:

Material	λ_{pk} W/(m°K)	c_{pk} J/(kg°K)	ρ_{pk} kg/m ³	P_x % peso
Hormigón de densidad normal con árido silíceo (¹).	1,60	1000	2300	0
Placas de yeso.	0,20	1700	800	20
Lana de roca, lana mineral.	0,20	1200	150	0

Tabla 7: Tabla 45.2 DBSI

2 cm de lana de roca

MASIM/TIEMPO	15	20	30	45	60	90	120
70	87,74	116,17	174,58	260,51	342,17	489,08	613,8
100	113,88	152,54	229,41	338,76	438,23	606,28	737,81
130	138,47	186,03	278,56	405,59	516,4	692,99	821,43
160	161,63	217,08	322,69	462,82	580,27	757,63	878,55
190	183,46	245,88	362,4	511,98	632,7	806,24	918,14
220	204,04	272,65	398,19	554,34	675,93	843,1	945,97
250	223,48	297,53	430,3	590,93	711,71	871,28	965,85
280	241,83	320,71	459,71	622,62	741,47	893,04	980,29
310	259,18	342,3	486,17	659,19	766,32	909,97	990,95

Tabla 8: temperaturas de diferentes perfiles protegido con lana de roca en un incendio al cabo de cierto tiempo

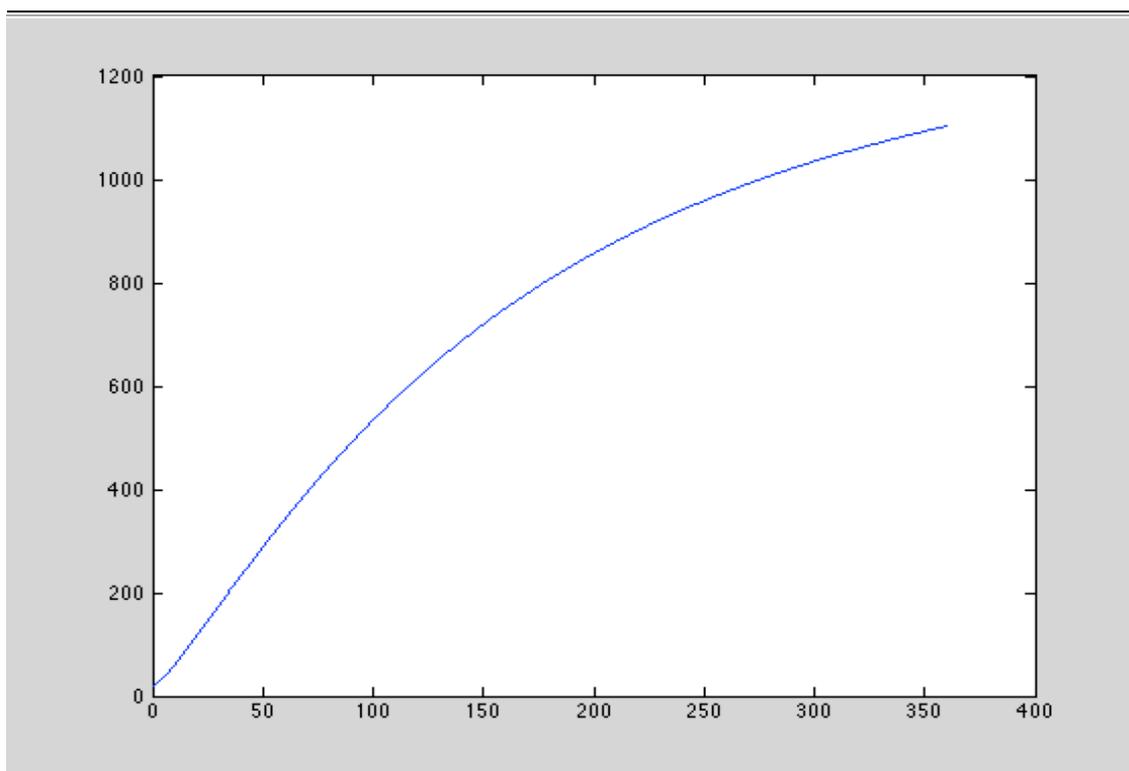


Figura 11: Masividad de 70, protección de lana de roca para un tiempo de 360 minutos.

2 cm de placas de yeso

MASIM/TIEMPO	15	20	30	45	60	90	120
70	57,26	82,64	135,51	215,36	292,63	434,56	557,92
100	68,16	101,72	170,5	271,49	365,97	531,11	665,66
130	76,77	117,4	199,46	316,96	423,62	602,14	739,61
160	83,47	130,28	223,6	354,26	469,7	655,69	792,28
190	88,54	140,84	243,86	385,2	507,07	696,92	830,65
220	92,22	149,43	260,92	411,1	537,75	729,26	859,37
250	94,69	156,35	265,33	432,92	563,22	755,62	881,3
280	96,1	161,81	287,51	451,44	584,54	775,83	898,34
310	96,57	166,03	297,8	467,24	602,55	792,84	911,85

Tabla 9: temperaturas de diferentes perfiles protegido con placas de yeso en un incendio al cabo de cierto tiempo