



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

CAMPUS D'ALCOI

# UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

## Escuela Politécnica Superior de Alcoy

Diseño y dimensionado de una nave industrial para el desarrollo de procesos de producción industrial en el término municipal de Alcoy, Alicante.

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería Mecánica

AUTOR/A: Oliver Verdú, Carlos

Tutor/a: Pérez Sánchez, Modesto

CURSO ACADÉMICO: 2021/2022

## Resumen

El presente TFG tiene como objetivo principal el dimensionamiento y cálculo de la estructura principal de una nave industrial situada en el término municipal de Alcoy. La construcción de la nave industrial tendrá la función de albergar en su interior una planta de producción de hidrógeno mediante el procedimiento químico de electrólisis del agua. El diseño, dimensionado y selección de los elementos que conforman la planta de producción no son objeto del presente TFG y vendrán dados como hipótesis del mismo. El TFG tiene como objetivo secundario el máximo aprovechamiento de los espacios de su emplazamiento, así como el de su superficie disponible cumpliendo con las normativas aplicables a las industrias que operan con combustibles altamente inflamables. El desarrollo del TFG permitirá que el alumno desarrolle competencias propias de la profesión de ingeniería mecánica adquiridas a lo largo de los estudios referentes a la capacidad para el cálculo y diseño de estructuras y construcciones industriales.

Palabras clave: Dimensionado; Nave Industrial; Alcoy.

## **Resum**

El present TFG té com a objectiu principal el dimensionament i càlcul de l'estructura principal d'una nau industrial situada en el terme municipal d'Alcoi. La construcció de la nau industrial tindrà la funció d'albergar en el seu interior una planta de producció d'hidrogen mitjançant el procediment químic d'electròlisi de l'aigua. El disseny, dimensionament i selecció dels elements que conformen la planta de producció no són objecte del present TFG i vindran donats com a hipòtesi d'aquest. El TFG té com a objectiu secundari el màxim aprofitament dels espais del seu emplaçament, així com el de la seua superfície disponible complint amb les normatives aplicables a les indústries que operen amb combustibles altament inflamables. El desenvolupament del TFG permetrà que l'alumne desenvolupe competències pròpies de la professió d'enginyeria mecànica adquirides al llarg dels estudis referents a la capacitat per al càlcul i disseny d'estructures i construccions industrials.

Paraules clau: Dimensionat; Nau Industrial; Alcoi.

## **Abstract**

The main objective of this FDP is the dimensioning and calculation of the main structure of an industrial warehouse located in the municipality of Alcoy. The construction of the industrial warehouse will have the function of housing a hydrogen production plant inside it through the chemical process of electrolysis of water. The design, dimensioning and selection of the elements that make up the production plant are not the subject of this FDP and will be given as a hypothesis of it. The secondary objective of the FDP is the maximum use of spaces of its location, as well as the use of available surfaces complying with regulations applicable to industries that operate with highly flammable fuels. The development of the FDP will allow the student to develop skills of the mechanical engineering profession that have been acquired along the studies relating to the ability for calculating and designing industrial structures and constructions.

Keywords: Dimensioning; Industrial Warehouse; Alcoy.

### **Agradecimientos:**

Me gustaría transmitir mis más sinceros agradecimientos a las personas que cito a continuación:

- A mi tutor: Modesto Pérez Sánchez, por haber sido mi gran referente tanto a nivel académico como personal durante el transcurso del grado, por haber aceptado y tutorizado mi propuesta del presente proyecto y como no; por haberme asesorado y ayudado sin cesar para alcanzar mis metas.
- A mis padres: Jaime y Clara, por inculcarme desde mi infancia su espíritu de superación, por haberme apoyado durante el transcurso de esta bonita etapa académica y con sus valores y principios haber hecho de mí, la persona que soy a día de hoy.
- A mis abuelos: Joaquín y Chelo, por haberme acompañado y haber celebrado mis logros como si fueran suyos propios.
- A mis padrinos: Jorge y Chelo, por su apoyo absoluto y por incentivarme a conseguir lo que me propongo.
- A Andrea: por la motivación que me ha brindado de manera incondicional durante toda esta etapa, por su paciencia inagotable, por creer en mí cada día y por su curiosidad por conocer el porqué de las cosas.
- Al resto de mis familiares, así como a todos y cada uno de mis compañeros de universidad que me han hecho más liviano este camino.
- Tampoco quisiera pasar por alto mi inestimable agradecimiento a todos los profesores de la Universidad Politécnica de Valencia que he tenido el placer de conocer y que me han transmitido sus conocimientos, especialmente a Francisco Javier Pellicer el cual me ha ayudado y me ha introducido en el apasionante mundo de las estructuras.

Este proyecto va por todos vosotros, espero que os guste.

## Orden de documentos

1. Memoria.
2. Anejo I: Emplazamiento.
3. Anejo II: Cálculo estructural.
4. Anejo II.1: Cálculo estructural dintel.
5. Anejo II.2: Cálculo estructural correas.
6. Anejo II.3: Cálculo estructural zapatas.
7. Anejo II.4: Cálculo estructural vigas de atado.
8. Anejo II.5: Cálculo estructural placas de anclaje.
9. Anejo II.6: Cálculo estructural uniones.
10. Anejo II.7: Cálculo estructural vigas de forjado.
11. Anejo II.8: Cálculo estructural pilares de forjado.
12. Anejo III: Cálculo de resistencia al fuego.
13. Anejo IV: Estudio de gestión de residuos.
14. Planos.
15. Pliego de condiciones generales.
16. Pliego de condiciones particulares.
17. Presupuesto.
18. Presupuesto (descomposición en precios unitarios).
19. Bibliografía.

# Memoria

## Memoria

1	Abreviaturas .....	5
2	Objetivo del trabajo .....	6
3	Introducción al Trabajo de Fin de Grado.....	6
3.1	Antecedentes .....	6
3.2	Motivación .....	6
3.3	Justificación.....	6
3.4	El Hidrógeno .....	7
3.4.1	Características principales.....	7
3.4.2	Métodos de producción .....	7
3.4.3	Almacenamiento del hidrógeno.....	8
3.4.4	Principales aplicaciones del hidrógeno .....	8
3.4.5	Países con proyectos de plantas de producción de hidrógeno.....	8
3.4.6	Proceso de producción.....	9
4	Normativa.....	9
5	Análisis de alternativas y justificación.....	10
5.1	Análisis de alternativas de emplazamiento.....	10
5.1.1	Emplazamiento seleccionado.....	11
5.2	Análisis de alternativas de tipología estructural .....	11
5.2.1	Tipología estructural seleccionada.....	12
5.3	Justificación de dimensiones de la nave y distribución en planta. ....	12
5.3.1	Caracterización del proceso productivo.....	12
5.3.2	Elementos de la planta de producción.....	13
5.3.3	Descripción de la operación de funcionamiento. ....	13
5.3.4	Diagrama de flujo del proceso productivo.....	14
5.3.5	Descripción zonas de trabajo .....	14
5.3.6	Descripción de las superficies .....	16
6	Estructuras Industriales.....	16
6.1	Funcionalidad .....	16
6.2	Ventajas e inconvenientes de la estructura metálica .....	16
6.3	El acero .....	18
6.3.1	Propiedades mecánicas del acero.....	18
6.4	Configuraciones estructurales.....	19
6.4.1	Elementos estructurales generales de las estructuras metálicas .....	19



7	Memoria constructiva .....	22
7.1	Descripción de la solución adoptada .....	22
7.2	Elementos estructurales.....	22
7.2.1	Zapatas .....	23
7.2.2	Vigas de atado .....	25
7.2.3	Placas de anclaje .....	26
7.2.4	Pilares .....	27
7.2.5	Dinteles.....	27
7.2.6	Vigas perimetrales.....	28
7.2.7	Vigas contraviento.....	28
7.2.8	Vigas y pilares de forjado .....	28
7.2.9	Cruces de San Andrés .....	29
7.2.10	Correas .....	29
7.2.11	Uniones .....	30
7.3	Modelos estructurales .....	31
7.3.1	Pórtico intermedio .....	31
7.3.2	Pórtico testero.....	32
7.3.3	Plano lateral del edificio.....	33
7.3.4	Codificación de los elementos portantes.....	33
7.4	Descripción del proceso de ejecución.....	34
7.5	Metodología de cálculo.....	35
7.6	Acciones .....	37
7.6.1	Cargas permanentes.....	38
7.6.2	Sobrecarga de uso .....	39
7.6.3	Carga de viento .....	39
7.6.4	Carga de nieve.....	39
7.6.5	Sismo .....	40
7.6.6	Fuego.....	40
7.6.7	Combinación de acciones.....	41
7.7	Materiales empleados.....	42
7.7.1	Acero estructural.....	42
7.7.2	Acero corrugado.....	42
7.7.3	Hormigón estructural .....	43
7.7.4	Hormigón de limpieza .....	43
7.8	Sistema envolvente .....	43
7.8.1	Cerramiento y fachada .....	43

7.8.2	Cubierta .....	44
7.8.3	Sistema de acabados .....	45
8	Gestión de residuos .....	45
9	Análisis medioambiental .....	46
10	Presupuesto .....	47
11	Conclusión .....	48
12	Trabajos futuros .....	49

## Índice de figuras

Figura 1: Procesos y tipos de energía para la producción. ORIGEN: Centro Nacional de Hidrógeno	7
Figura 2: Proceso de electrólisis. ORIGEN: <a href="https://fisquiweb.es/">https://fisquiweb.es/</a>	9
Figura 3: Parcelas preseleccionadas	10
Figura 4: Emplazamiento de la edificación (catastro)	11
Figura 5: Diagrama de flujo del funcionamiento de la instalación.	14
Figura 6: Distribución en planta	15
Figura 7: Zapata de cimentación pórtico intermedio	25
Figura 8: Viga de atado	25
Figura 9: Placa de anclaje pilar HEB 220	26
Figura 10: Disposición de forjado	29
Figura 11: Unión pilar dintel	30
Figura 12: Nave industrial renderizada	31
Figura 13: Pórtico intermedio	32
Figura 14: Pórtico testero	32
Figura 15: Pórtico testero con forjado	33
Figura 16: Denominación de los elementos	34
Figura 17: Datos generales CYPE 3D	36
Figura 18: Comprobación estructura modelizada CYPE 3D	37
Figura 19: Distribución de cargas en los pórticos	38
Figura 20: Ejemplo panel hormigón. ORIGEN: <a href="http://www.prefabricadosalve.com/">http://www.prefabricadosalve.com/</a>	44
Figura 21: Características panel sándwich 5 grecas. ORIGEN: <a href="https://www.panelsandwich.com/">https://www.panelsandwich.com/</a>	44
Figura 22: Ejemplo panel sándwich 5 grecas. ORIGEN: <a href="https://www.panelsandwich.com/">https://www.panelsandwich.com/</a>	44

## Índice de tablas

Tabla 1: Abreviaturas	5
Tabla 2: Detalles de las parcelas	11
Tabla 3: Clasificación del tipo de proceso.	12
Tabla 4: Descripción de las superficies	16
Tabla 5: Datos geométricos del edificio	22
Tabla 6: Betas de pandeo elementos estructurales	23
Tabla 7: Flechas permisibles	23
Tabla 8: Clasificación de acciones	38
Tabla 9: Datos sismo	40
Tabla 10: Propiedades mortero intumescente	41
Tabla 11: Espesores mínimos mortero intumescente	41
Tabla 12: Resumen estudio residuos	46
Tabla 13: Precios descompuestos	47

## Índice de ecuaciones

Ecuación 1: ELU persistente o transitorio	41
Ecuación 2: ELU situaciones sísmicas	41
Ecuación 3. ELS corta duración	42
Ecuación 4: ELS larga duración	42
Ecuación 5: Límite elástico minorado acero	42
Ecuación 6: Límite elástico minorado acero corrugado	43
Ecuación 7: Límite elástico minorado hormigón	43

## 1 Abreviaturas

Abreviatura	Nombre	Tipología
m	Metro	Unidad de longitud
m <sup>2</sup>	Metro cuadrado	Unidad de superficie
m <sup>3</sup>	Metro cúbico	Unidad de volumen
g	Gramo	Unidad de masa
kg	Kilogramo	Unidad de masa
t	Tonelada	Unidad de masa
N	Newton	Unidad de fuerza
kN	Kilonewton	Unidad de fuerza
bar	Bar	Unidad de presión
Pa	Pascal	Unidad de presión
kPa	Kilopascal	Unidad de presión
MPa	Megapascal	Unidad de presión
W	Vatio	Unidad de potencia
kW	Kilovatio	Unidad de potencia
GW	Gigavatio	Unidad de potencia
MJ	Megajulio	Unidad de energía
Mcal	Megacaloría	Unidad de energía
°C	Grado Celsius	Unidad de temperatura
K	Grado Kelvin	Unidad de temperatura
O <sub>2</sub>	Oxígeno	Elemento químico
H <sub>2</sub>	Hidrógeno	Elemento químico
ERM	Estación de regulación y medida	Elemento técnico
IVACE	Instituto Valenciano de la Competitividad Empresarial	Institución
PGOU	Plan General de Ordenación Urbanística	Normativa
CTE	Código Técnico de la Edificación	Normativa
LOE	Ley de Ordenación de la Edificación	Normativa
EHE	Instrucción del Hormigón Estructural	Normativa
ISO	"International Organization for Standardization"	Normativa
UNE	Asociación Española de Normalización	Normativa
NCSE	Norma de Construcción Sismorresistente	Normativa
RSCIEI	Reglamento de Seguridad Contra Incendios en los Establecimientos Industriales	Normativa
EAE	Instrucción de Acero Estructural	Normativa
RD	Real Decreto	Normativa

Tabla 1: Abreviaturas

## 2 Objetivo del trabajo

El presente documento corresponde al Trabajo Final de Grado (TFG) del alumno Carlos Oliver Verdú, estudiante de la Universidad Politécnica de Valencia del Campus de Alcoy, matriculado en el Grado de Ingeniería mecánica.

El objetivo del presente trabajo, es el cálculo y diseño de una nave industrial con funciones de planta de producción de hidrógeno mediante el proceso de electrólisis del agua. Dicha nave, se emplazará en España, en el municipio de Alcoy, provincia de Alicante, la edificación se construirá en el polígono industrial El Clérigo, en la zona sud del municipio. La nave se ejecutará con perfiles laminados de acero siguiendo la normativa vigente. La construcción industrial, contará con una superficie de 800 m<sup>2</sup>.

## 3 Introducción al Trabajo de Fin de Grado

### 3.1 Antecedentes

En los últimos años, el hidrógeno ha aumentado el interés social y parece estar imponiéndose sobre los demás combustibles del mercado, ya que tras grandes inversiones destinadas a promover las labores de investigación acerca de este combustible, realizadas por parte de grandes empresas del sector como lo son: Repsol y Basf, entre otras; este combustible pretende convertirse en el eje motor de las fuentes de energía del futuro. Esto se debe a la gran cantidad de agua disponible en el planeta y, sobre todo, a que las emisiones liberadas a la atmósfera una vez se ha consumido el combustible, son nulas. Además, cabe destacar; que el proceso de obtención del mismo puede realizarse a partir de energías renovables como lo son: la fotovoltaica o eólica, entre otras; obteniendo en este proceso el combustible tan de moda llamado: “hidrógeno verde”.

### 3.2 Motivación

La motivación principal para el desarrollo del presente TFG es completar la titulación del Grado en Ingeniería mecánica y la obtención final del título de Graduado en Ingeniería Mecánica.

La elección de la temática del TFG sobre el cálculo y diseño de una estructura obedece al especial interés mostrado por el alumno en el campo de los proyectos en ingeniería, siendo de agrado el cálculo y diseño de estructuras metálicas. Además, la industria que alberga en el interior dicha estructura, muestra el interés del alumno por la innovación industrial, social y económica del mundo en general, tratando de dar visibilidad a los problemas actuales como lo son las altas emisiones de carbono emitido anualmente a la atmósfera, debido a la combustión de diversos combustibles fósiles tratando de aportar ideas razonables para la mejora de la calidad de vida de las personas.

### 3.3 Justificación

Este documento tiene un valor de 12 créditos y constituye un documento indispensable para la obtención del título de graduado en el grado anteriormente mencionado. Además, este documento permite demostrar parte de los conocimientos adquiridos durante el transcurso de los cuatro años de carrera.

Este proyecto se basa en una nave industrial ficticia, que ha sido diseñada y calculada por el alumno, tomando las suposiciones y consideraciones oportunas con la finalidad de poder crear un sistema lo más parecido a lo demandado en la realidad, teniendo en cuenta que la normativa del hidrógeno no está completamente desarrollada, así como las redes de distribución de hidrógeno, que pretenden ser una realidad en los próximos años.

### 3.4 El Hidrógeno

#### 3.4.1 Características principales

Es el elemento químico más ligero que existe, su átomo se compone de un protón y un electrón, por consiguiente, es estable en forma de molécula diatómica (H<sub>2</sub>).

En condiciones normales se encuentra en estado gaseoso, es insípido, incoloro e inodoro.

Este elemento es muy abundante en la Tierra dado que constituye un total de 75% de la materia que forma el universo, sin embargo, se encuentra combinado con otros elementos como el oxígeno junto con el cual forma la molécula del agua. Además, este elemento también se puede encontrar combinado junto al carbono formando así compuestos orgánicos. Por lo tanto, no es un combustible que pueda obtenerse de forma directa desde la naturaleza, sino que se trata de un vector energético y por ello se debe de obtener mediante procedimientos químicos.

#### 3.4.2 Métodos de producción

En la actualidad existen diferentes procesos de obtención del hidrógeno ya que este se puede producir a través de distintas materias primas y utilizando diferentes fuentes de energía como se puede observar en la Figura 1.

Dependiendo de la clasificación de la materia prima y de la fuente de energía a utilizar en el proceso de producción se podrán definir como procesos 100% renovables, 100% fósiles o híbridos con un determinado porcentaje.

A continuación, se adjunta un gráfico en el cual se pueden observar los diferentes tipos de proceso a aplicar para la obtención del hidrógeno dependiendo de la fuente de energía utilizada.

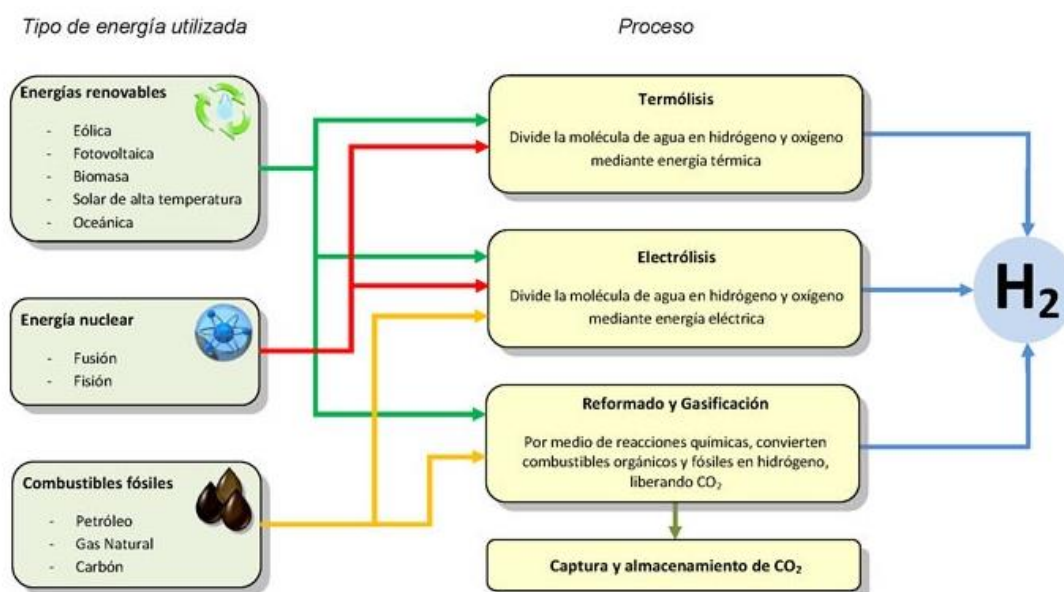


Figura 1: Procesos y tipos de energía para la producción. ORIGEN: Centro Nacional de Hidrógeno

### 3.4.3 Almacenamiento del hidrógeno.

El hidrógeno se puede almacenar de diferentes maneras, siendo las siguientes las formas de almacenamiento más utilizadas a día de hoy:

- **Gas comprimido:** Es la técnica más utilizada para suministrar hidrógeno hasta presiones de 700 bar. Es una técnica de disponibilidad general y de bajo coste. Sólo se almacenan cantidades relativamente pequeñas de H<sub>2</sub> a 200 bares; el almacenamiento a alta presión (700 bar) está aún en fase desarrollo.
- **Hidrógeno líquido:** Tecnología muy empleada y bien conocida, obteniendo buenas densidades de almacenamiento. Para llevar a cabo este proceso de almacenaje son necesarias temperaturas muy bajas y con ello se requiere un aislamiento mayor de lo habitual, por lo que su coste puede ser elevado.

### 3.4.4 Principales aplicaciones del hidrógeno

El hidrógeno ha sido utilizado durante varias décadas en diversas aplicaciones, incluyendo los campos de la alimentación, el metal, la producción de vidrio o la industria química.

Actualmente la industria mundial de hidrógeno es capaz de producir más de 50 millones de toneladas al año.

Este combustible puede ser utilizado como combustible para los diferentes medios de transporte y para la generación de electricidad a través de pilas de combustible.

Cabe destacar que un kilogramo de hidrógeno es capaz de liberar más energía que cualquier otro combustible, siendo de especial importancia que puede liberar casi tres veces más energía que la gasolina o el gas natural, además en el proceso de emisión de energía no emite dióxido de carbono liberando únicamente vapor de agua, por lo que el impacto ambiental de este combustible es nulo.

Un vehículo de motor de combustión interna de hidrógeno (MCI) utiliza un motor de combustión convencional previamente modificado para poder así operar con hidrógeno en estado gaseoso. Destacar que los vehículos accionados por hidrógeno son un 30% más eficientes que los vehículos accionados por gasolina, además estos son capaces de funcionar bajo todas las condiciones climáticas, incluso a bajas temperaturas.

### 3.4.5 Países con proyectos de plantas de producción de hidrógeno.

- **Australia:** Está proyectando 5 proyectos, entre ellos destaca el “Asian Renewable Energy Hub”, todos ellos sumarán una potencia de electrolizadores total de 27.1 GW.
- **Países Bajos:** Su proyecto llamado “NorthH2” será capaz de construir una planta con una potencia de 10 GW de electrolizadores.
- **Alemania:** El proyecto más grande que plantea este país se llama “AquaVentus” y planea instalar electrolizadores con capacidad de producción de 10 GW.
- **China:** Este país es a día de hoy el principal productor de hidrógeno a nivel mundial y actualmente está trabajando en un proyecto con capacidad de generar 5GW.
- **Arabia Saudita:** El proyecto planteado por este país llamado: “Helios Green Fuels Project” tendrá capacidad de producir 4 GW de energía.
- **España:** El proyecto impulsado por las empresas: Acciona y Enagás, entre otras y llamado: “Power to Green Hydrogen Mallorca” tiene la capacidad de producir 300 toneladas de hidrógeno verde al año.

### 3.4.6 Proceso de producción

La planta de producción de hidrógeno operará con agua como principal materia prima, en esta planta, se realizará un proceso de obtención del hidrógeno mediante el procedimiento químico de la electrólisis del agua basado en los siguientes procesos:

#### Principio de la electrólisis del agua:

El proceso de electrólisis del agua se realizó por primera vez en 1800, tras la invención de la primera batería eléctrica. Este proceso químico se lleva a cabo utilizando una fuente de energía eléctrica conectada a dos electrodos los cuales representan el polo positivo y negativo de la instalación. Estos electrodos se introducen en el agua de forma que el electrodo positivo es el encargado de la extracción del oxígeno, mientras que el polo negativo extrae el hidrógeno consiguiendo de esta forma la descomposición total de la molécula de agua.

El proceso de electrólisis puede llevarse a cabo utilizando agua dulce o agua salada, obteniendo así diferentes resultados. En el caso del proceso de electrólisis en agua salada, las sustancias resultantes son el cloro y el hidrógeno en estado gaseoso, produciéndose así la disolución del hidróxido de sodio. En el caso de realizar el proceso en agua dulce, se requerirá de gran cantidad de energía extra ya que la pureza del líquido cuenta con escasa disociación. Para agilizar el proceso es recomendable añadir un electrolito.

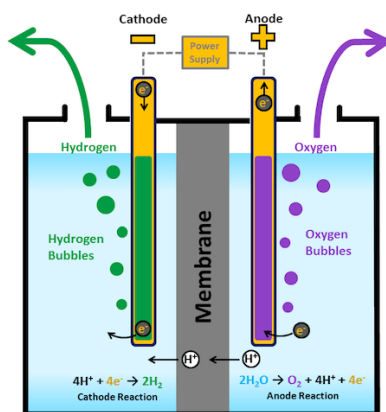


Figura 2: Proceso de electrólisis. ORIGEN: <https://fisquiweb.es/>

#### Técnica de electrólisis industrial:

La técnica de electrólisis del agua que se lleva a cabo en plantas industriales utiliza electrolizadores que albergan en su interior placas de platino complejas como electrodos o bien pueden utilizar paneles metálicos. Además, en dichos procesos se utiliza un electrolito con el fin de facilitar la migración de los iones.

Hoy en día, los generadores modernos de hidrógeno se clasifican por la energía consumida por volumen estándar de hidrógeno, logrando así una mayor eficacia energética. Además, es importante la evaluación de la eficiencia del electrolizador para así poder establecer su valor de entalpía y densidad de corriente.

## 4 Normativa

La normativa que se ha aplicado para la realización del presente proyecto es la que se cita a continuación:

- CTE DB-SE. Código Técnico de la Edificación Documento Básico Seguridad Estructural.



- CTE DB-SE-AE. Código Técnico de la Edificación Documento Básico Seguridad Estructural Acciones en la edificación.
- CTE DB-SE-C. Código Técnico de la Edificación Documento Básico Seguridad Estructural Cimientos.
- CTE DB-SE-A. Código técnico de la edificación Documento Básico Seguridad Estructural Acero.
- RD 1247/2008 EHE-08. Instrucción de Hormigón Estructural.
- RD 997/2002 NCSE. Norma de Construcción Sismorresistente.
- CTE-DB-SI. Código Técnico de la Edificación Documento Básico Seguridad en caso de Incendio.
- RD 2267/2004 (RSCIEI) Reglamento de Seguridad Contra Incendios en los Establecimientos Industriales.
- RD 751/2011 EAE Instrucción de Acero Estructural.
- RD 105/2008 Producción y gestión de los Residuos de Construcción y Demolición (RCD)
- Plan General de Ordenación Urbana (PGOU), Ayuntamiento de Alcoy

## 5 Análisis de alternativas y justificación

### 5.1 Análisis de alternativas de emplazamiento

Para la selección del emplazamiento de la planta de producción de hidrógeno se han tenido en cuenta diferentes factores de importancia relevante como, por ejemplo: la disponibilidad de mano de obra, la capacidad de suministro de materias primas, la disponibilidad de energía eléctrica, la geografía, el clima y el suelo, entre otros.

Los principales clientes del combustible producido se encontrarán repartidos por toda la península ibérica. Además, la demanda de hidrógeno en los países miembros la Unión Europea se prevé que sea elevada dadas sus políticas medioambientales y la mentalidad de protección del medioambiente instaurada en estas regiones. Teniendo en cuenta estas consideraciones se procede a la elección del municipio de Alcoy como emplazamiento de la futura planta industrial. Sin embargo, dada la extensión del municipio y la disponibilidad de solares en diferentes localizaciones, se decide utilizar la herramienta que proporciona el “Institut Valencià de Competitivitat Empresarial” (IVACE) para la consulta de los diferentes parques empresariales existentes en el municipio.

Tras un análisis pormenorizado de los posibles emplazamientos, se decide plantear como alternativa los emplazamientos que se muestran en la figura inferior:



Figura 3: Parcelas preseleccionadas

Tras realizar un estudio detallado de cada uno de los diferentes emplazamientos en función de su relieve para tratar de minimizar los movimientos de tierras a realizar, tal y como se muestra en el: Anejo 1: Emplazamiento, se procederá a la elección del emplazamiento final de la nave.

### 5.1.1 Emplazamiento seleccionado

El emplazamiento final de la edificación industrial será en dos parcelas pertenecientes al polígono industrial El Clérigo, la información catastral de ambas parcelas se puede consultar en la tabla que se muestra a continuación:

Referencia Catastral	Dirección	Uso	Superficie construida	Año	Participación
8952712YH1885S 0001TE	SC SECTOR EL CLERIGO Suelo PARCELA NUMERO 2 - A	Suelo sin edif., obras urbaniz., jardinería, constr. ruinosa	0	0	100%
8952713YH1885S	SC SECTOR EL CLERIGO PARCELA NUMERO 8	Suelo sin edif., obras urbaniz., jardinería, constr. ruinosa	0	0	100%

Tabla 2: Detalles de las parcelas

A continuación, se adjunta una figura en la que se puede observar el emplazamiento final del edificio industrial el cuál queda remarcado en color rojo:

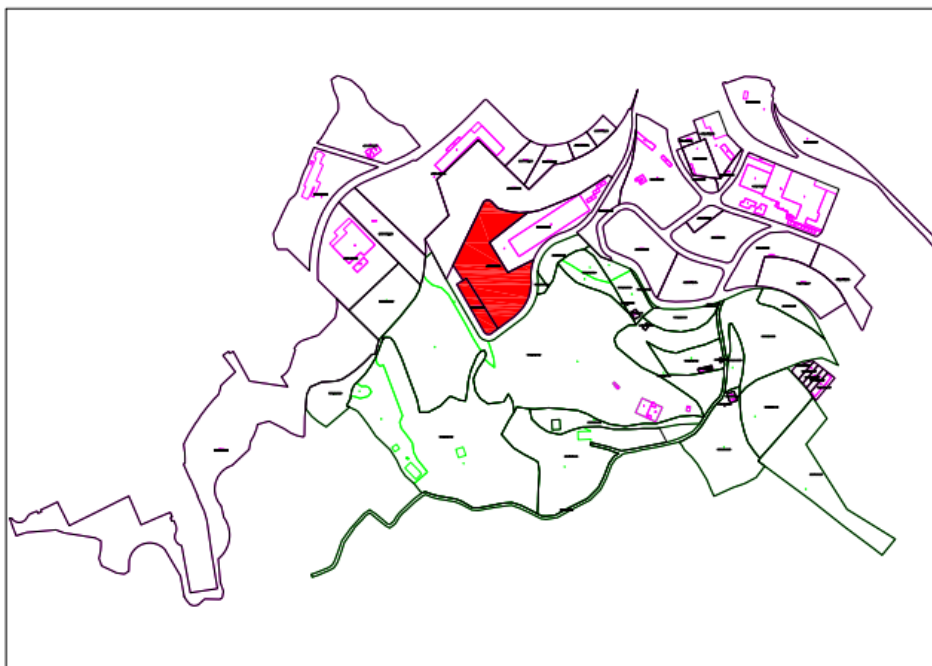


Figura 4: Emplazamiento de la edificación (catastro)

### 5.2 Análisis de alternativas de tipología estructural

En el mercado actual existen diversas alternativas viables para la ejecución de naves industriales, destacando las siguientes:

- Estructura metálica, perfiles laminados
- Estructura metálica, cerchas

- Estructura de hormigón
- Estructura de madera laminada

Sin embargo, la idoneidad de ejecución de las alternativas inicialmente planteada no será la misma dado que en el caso que abarca el proyecto, se busca ejecutar una estructura de precio reducido y con un montaje sencillo con la finalidad de evitar sobrecostos de mano de obra.

En base a lo mencionado anteriormente se deciden proponer diferentes afirmaciones relacionadas con los diferentes materiales para la ejecución de la obra con la finalidad de poder llegar a una conclusión para la ejecución de la nave, siendo las afirmaciones las siguientes:

- En caso de ejecutarse una estructura metálica, la fase de montaje será algo más larga que en caso de ejecutarse en hormigón. Sin embargo, el precio de la estructura metálica será inferior al precio de una estructura de hormigón con características resistentes similares.
- Las dimensiones de los elementos estructurales, en caso de ejecutarse en hormigón, serán mayores que las dimensiones de los perfiles de acero para soportar unos esfuerzos similares.
- El peso de la estructura de hormigón será mayor que en el caso de ejecutar una estructura metálica, por lo que su peso propio de la estructura se vería incrementado y con ello, los esfuerzos generados por dicho peso.
- La ejecución de la estructura a base de cerchas queda descartada dado que la estructura no posee grandes luces (< 25 m).
- El tiempo de ejecución de las cerchas en taller es elevado, por lo que el tiempo de ejecución será mayor y por tanto se descarta el uso de esta solución constructiva en el proyecto.
- Las estructuras de madera, dado que en este proyecto no se plantea crear un trasdosado que pueda protegerla frente al fuego, debería de tener una sección muy elevada puesto que, en caso de incendio, la sección de los elementos estructurales tendría que estar sobredimensionada garantizando que la estructura resistiera 90 minutos frente a la acción del fuego.

### 5.2.1 Tipología estructural seleccionada

Tras realizar un análisis de las principales ventajas y desventajas de los sistemas constructivos planteados, se decide proyectar una estructura metálica ejecutada mediante perfiles laminados, por las ventajas tanto resistentes como económicas que supone.

## 5.3 Justificación de dimensiones de la nave y distribución en planta.

### 5.3.1 Caracterización del proceso productivo.

El proceso de producción de hidrógeno que se instalará en la planta de producción se puede caracterizar como un proceso de producción continuo, dado que la materia prima pasará por diferentes procesos obteniendo así un mismo producto final sin interrupciones.

A continuación, se adjunta una tabla en la que se especifican las características principales de este tipo de proceso de producción:

Tipo de Producción	Homogeneidad	Repetitividad	Producto	Tecnología y Capital	Flexible	Participación del Cliente	Volumen
Continua	Alta	Alta	Estándar	Automatización e inversión alta	Inflexible	Nula	Muy grande

Tabla 3: Clasificación del tipo de proceso.

### 5.3.2 Elementos de la planta de producción.

**Transformadores:** Se utilizará un transformador por cada contenedor de hidrólisis y otros para los diferentes consumos eléctricos que demanda la planta (bombas, compresores.) En el proyecto inicial se proyectan inicialmente 2 contenedores de hidrólisis por lo que serán necesarios 2 transformadores de media a baja tensión.

**Contenedor de hidrólisis:** Se utilizarán 2 contenedores de hidrólisis de la marca H2B2 modelo EL400N con caudal nominal máximo de 400 Nm<sup>3</sup>/h el cual equivale a una producción de 860 (kg/día) el cuál vendrá instalado sobre un container de 40 pies cuyas dimensiones en el sistema internacional equivalen a: (12.00m x 2.40 m x 2.90m) y cuyo peso aproximado será de 20.000 kg. Cumpliendo con los estándares regulados siguientes: CE, ISO 22734-1 / NFPA 2-2016 & NFPA 70.

**Compresores:** Será necesaria la disposición de compresores situados en contenedores de 20 pies cuyas dimensiones en el sistema internacional equivalen a: (6.00m x 2.40m x 2.60m) con el fin de poder aumentar la presión del hidrógeno obtenido tras el proceso de electrólisis para así posibilitar el almacenaje en bombonas de 50 litros a una presión superior.

**Almacén:** Se proyectan varios contenedores de almacenaje con dimensiones de: (12.00m x 2.36m x 2.35m) para bombonas de 50 litros interconectadas entre sí mediante válvulas, para así formar una unidad de almacenaje. En total se deciden proyectar 6 unidades de almacenaje, cada una de ellas constará de un rack de 68 botellas de 50 litros.

**Dispensador:** Se proyectará un dispensador el cual se dispondrá conectado a las unidades de almacenaje mediante válvulas y tendrá la función de llenar los camiones cisterna que acudan a realizar el suministro a la planta.

**Suministro a red de distribución:** Se instalará una estación de regulación y medida (ERM) de gas que conectará con la red general de abastecimiento mediante un gaseoducto.

**Grupo electrógeno:** Se proyecta un grupo electrógeno con el fin de poder suministrar energía a la planta industrial en caso de avería en la red eléctrica.

### 5.3.3 Descripción de la operación de funcionamiento.

Tras la clasificación anterior del tipo de industria, se procede a la descripción del proceso de producción de hidrógeno industrial, cuya obtención constará de las siguientes fases:

**1ª fase:** El agua se introduce en una máquina llamada electrolizador el cual es el encargado de la separación de la molécula de agua y la posterior obtención del hidrógeno, siendo el oxígeno un subproducto generado a través de la reacción química de electrólisis producida en el interior de la máquina. Dicha máquina estará alimentada por corriente eléctrica suministrada directamente desde la red de suministro.

**2ª fase:** Una vez separada la molécula de agua, el hidrógeno, será evacuado del electrolizador a través de una válvula de control para así poder transportar el caudal de hidrógeno a sus dos posibles destinos:

- **Compresor:** Derivación del flujo de hidrógeno a un compresor situado en la planta de producción con el fin de comprimir el gas para su posterior almacenaje en jaulas para bombonas de 50 litros.

- **Inyección a red de distribución:** Derivación del flujo de hidrógeno inyectado a la red de distribución a través de un gaseoducto a una presión determinada acorde a las especificaciones estipuladas por el distribuidor.

Cabe destacar que el oxígeno liberado en el proceso de electrólisis del agua podrá ser evacuado al exterior o embotellado; en el caso de la planta industrial que abarca este proyecto, el oxígeno será evacuado directamente a la atmósfera desde el electrolizador.

#### 5.3.4 Diagrama de flujo del proceso productivo.

A continuación, se muestra el diagrama de flujo del funcionamiento principal de la instalación de la planta industrial, éste se ha realizado acorde a la simbología estandarizada para la realización de diagramas de flujo.

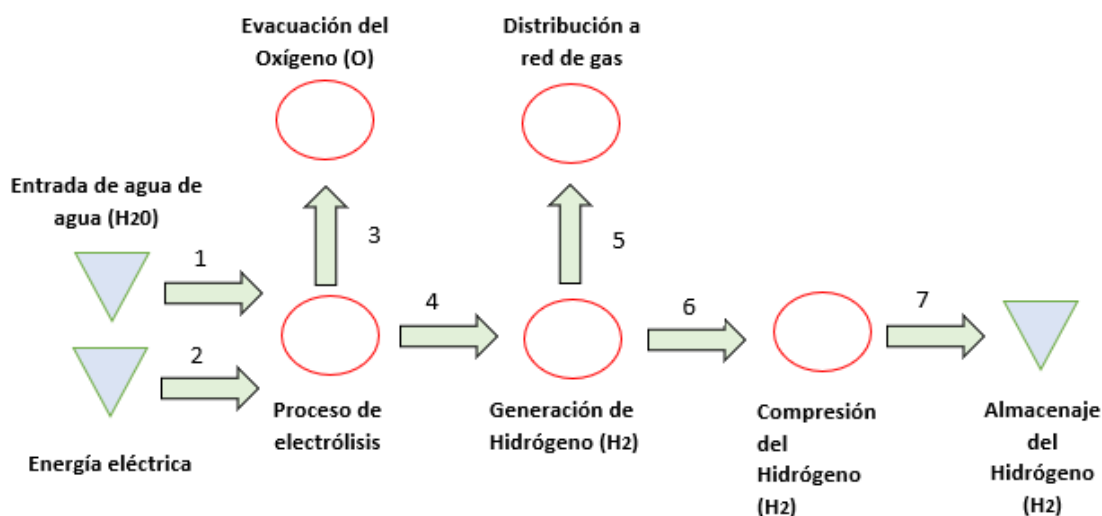


Figura 5: Diagrama de flujo del funcionamiento de la instalación.

A continuación, se procederá a la explicación de cada una de las operaciones de transporte reflejadas en el diagrama de flujo de procesos de la planta industrial:

- **Transporte 1:** El agua destilada se trasladará al electrolizador mediante conducciones de polietileno.
- **Transporte 2:** La energía eléctrica se trasladará al electrolizador mediante conductores de cobre trifásicos.
- **Transporte 3:** La evacuación del oxígeno al exterior se realizará mediante conducciones de cobre.
- **Transporte 4:** Dicho transporte se corresponde al recorrido realizado por el interior del electrolizador hasta la obtención del hidrógeno.
- **Transporte 5:** El hidrógeno obtenido anteriormente se podrá distribuir a la red tras pasar por la ERM.
- **Transporte 6:** El hidrógeno que vaya a ser almacenado se deberá de comprimir previamente para conseguir un almacenaje óptimo del mismo.
- **Transporte 7:** Tras la compresión del combustible, se procederá a su almacenaje en bombonas de 50 litros conectadas entre sí mediante una instalación de valvulería.

#### 5.3.5 Descripción zonas de trabajo

La distribución en planta del interior de la nave industrial se dividirá en 4 zonas, correspondiendo cada una de ellas a un color siendo estos los siguientes:

- **Zona de trabajo:** Color verde
- **Zona de producción:** Color rojo
- **Zona de almacenamiento:** Color amarillo
- **Zona de abastecimiento a red:** Color rosa

Cada zona tendrá una función específica y delimitada con la finalidad de la optimizar el espacio en planta, las funciones de cada zona serán las siguientes:

- **Zona de trabajo:** Zona destinada a la realización de tareas técnicas y administrativas por parte del personal de la empresa. Además, se proyectarán dos aseos para uso del personal, teniendo en cuenta el género.
- **Zona de producción:** Zona destinada a la obtención del combustible mediante procesos químicos. En dicha zona, se proyecta un espacio central vacío con la finalidad de permitir la accesibilidad por parte de los camiones en las labores de carga y descarga de maquinaria. Dicho espacio se podrá utilizar también para la separación de las máquinas y puesta a punto de las mismas, además de ser un espacio libre que permita descongestionar la planta industrial.
- **Zona de almacenamiento:** Zona destinada a la instalación de almacenamiento de la industria.
- **Zona de abastecimiento a red:** Zona con funciones de ERM con la finalidad de la distribución del combustible a la red de suministro nacional.

Estas zonas quedarán distribuidas en planta acorde a la ilustración inferior:

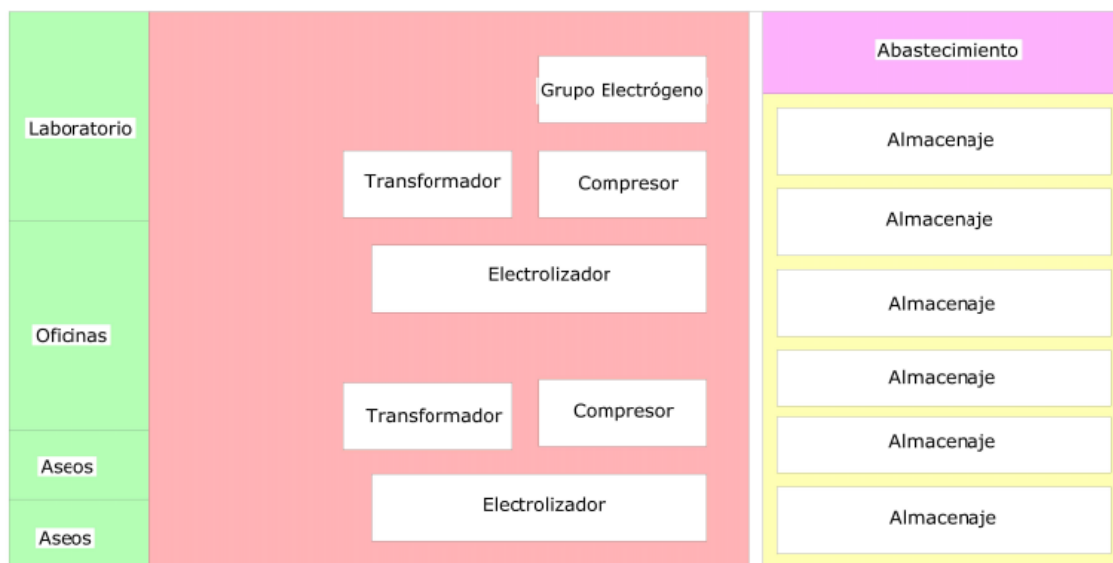


Figura 6: Distribución en planta

Como se puede observar en la figura anterior, la distribución en planta se ha dispuesto de tal forma que los elementos intervinientes en el proceso de producción se encuentren ordenados de forma que coincida el flujo de masas con su disposición, con tal de reducir los desplazamientos y creando de esta forma un flujo de producción más organizado y con menos riesgos de averías, dado que al minimizar la distancia entre los elementos; se reducirá la posibilidad de fallo y en caso de darse, estos serán más sencillos de localizar que en el caso de utilizar otra disposición en planta.

### 5.3.6 Descripción de las superficies

A continuación, se adjunta una tabla en la cual se puede observar la superficie total de la edificación industrial y las diferentes superficies referentes a las distintas zonas de la planta industrial emplazada en la nave industrial.

Zona	Superficie (m <sup>2</sup> )
Zona de trabajo (Laboratorio)	37,5
Zona de trabajo (Oficinas)	37,5
Zona de trabajo (Aseos)	25
Zona de producción	435
Zona de almacenamiento	225
Zona de abastecimiento a red	40
Superficie total	800

Tabla 4: Descripción de las superficies

## 6 Estructuras Industriales.

### 6.1 Funcionalidad

Una estructura industrial está formada por un conjunto de elementos resistentes con la capacidad de mantener sus formas y cualidades físicas a lo largo del tiempo, bajo la acción permanente o variable de diferentes cargas y agentes exteriores a los que se ve sometida. Esta deberá de satisfacer las exigencias de: estabilidad, resistencia y confortabilidad, sin colapsar.

Para resolver de forma adecuada la estabilidad de un edificio es imprescindible comprender el funcionamiento básico de la estructura, conocer la disposición de los conjuntos estructurales que forman el edificio en su totalidad y determinar las acciones que recibe la estructura con el fin de poder elegir la mejor solución constructiva, así como solucionar los posibles problemas en los diferentes puntos singulares de la estructura.

Los materiales más utilizados para la ejecución de estructuras industriales suelen ser acero y/o hormigón, pudiéndose utilizar materiales compuestos para aplicaciones especiales.

Las estructuras proyectadas mediante elementos metálicos permiten luces mayores, siendo esta ventaja de especial importancia en las estructuras industriales dado que en su mayoría éstas pretenden ser espacios diáfanos de grandes luces, tratando de optimizar al máximo los espacios interiores y los recursos empleados en la ejecución de la misma.

### 6.2 Ventajas e inconvenientes de la estructura metálica

El empleo del acero en la ejecución de naves industriales tiene una serie de ventajas respecto a otros materiales estructurales que ha hecho que estas hayan conquistado el mercado de la construcción de estructuras industriales actual, siendo algunas de las propiedades más destacables del acero las que se enumeran a continuación:

- Las estructuras metálicas requieren de menos volumen o superficie para resistir el mismo peso que resiste una estructura de hormigón, por lo que se obtiene una rentabilidad elevada de la superficie construida.
- La ejecución de una obra en acero suele ser más rápida dado que mientras se montan algunas de las partes de la estructura en taller, se ejecutan las cimentaciones en obra, es decir, se pueden llevar a cabo dos actividades de forma simultánea, lo que optimiza

el tiempo de ejecución de la estructura. Asimismo, cabe destacar que las propiedades del acero son completas desde el primer momento de su colocación.

- El precio actual medio por metro cuadrado de estructura metálica ronda los 180 €/m<sup>2</sup> - 300 €/m<sup>2</sup> mientras que el precio medio por metro cuadrado de estructura de hormigón ronda los 260 €/m<sup>2</sup> - 450 €/m<sup>2</sup>.
- Cuando una estructura metálica llega al final de su vida útil, el acero puede ser reutilizado para la creación de nuevos elementos estructurales metálicos dado que se conserva el valor residual del material.
- Las estructuras metálicas son seis veces menos pesadas que las estructuras ejecutadas con hormigón, por lo que se consigue una importante disminución de la cimentación.
- Las deformaciones estructurales antes del colapso de la estructura son perceptibles al contrario que en el hormigón.
- Las estructuras metálicas no sufren fenómenos reológicos que, salvo deformaciones térmicas, deban tenerse en consideración. Por lo que se puede afirmar que estas conservan indefinidamente sus propiedades.
- El material es homogéneo y la posibilidad por parte del personal es reducida en comparación a obras ejecutadas con diferentes materiales, lo cual permite realizar diseños más ajustados y optimizados resultando estos más económicos para el cliente.

Sin embargo, las estructuras metálicas también tienen algunos inconvenientes que obligan a tener en cuenta diversas consideraciones antes de ejecutar obras con esta tipología estructural, siendo las principales las que se mencionan a continuación:

- Las estructuras metálicas se pueden ver seriamente afectadas si éstas se ven sometidas a altos incrementos térmicos producto de un incendio.
- Pueden presentar problemas de corrosión tras la ejecución en obra. La humedad y los diversos agentes externos pueden afectar directamente a la estructura, por ello se deben aplicar diversos tratamientos con pinturas anticorrosivas antes de ensamblar los elementos en obra.
- Son necesarios dispositivos adicionales para conseguir rigidizar los elementos (diagonales, nudos rígidos, celosías, etc.)
- La elevada resistencia del acero origina problemas de esbeltez.
- Las uniones soldadas pueden tener una dudosa funcionalidad, especialmente en piezas trabajando a tracción debido a los defectos microestructurales generados a raíz de una mala ejecución de los cordones de soldadura: falta de fusión del material, poros y oclusiones, desbordamientos picaduras etc.



- Elevada flexibilidad del material, produciéndose un desaprovechamiento de la resistencia mecánica al limitar las flechas además de producirse una falta de confort al ser susceptible a la transmisión de las vibraciones.

Debido a las excelentes ventajas que presentan las estructuras metálicas, se procede a focalizar el estudio en este tipo de construcciones industriales.

### 6.3 El acero

Como se ha mencionado anteriormente, los metales que suelen emplearse en la ejecución de estructuras metálicas son principalmente el acero ordinario, el acero inoxidable, el acero corten y el aluminio.

El acero es el material estructural por excelencia para su aplicación en edificios de grandes alturas, puesto que resuelve de manera satisfactoria los planteamientos estructurales para soportar el peso estructural con pilares de tamaño reducido, resistiendo el empuje ante el vuelco y evitando los movimientos causados por la acción del viento.

El material más empleado en la ejecución de estructuras metálicas es el acero ordinario existiendo los siguientes tipos según la norma EN 100027:

S235JR	S235J0	S235J2
S275JR	S275J0	S275J2
S355JR	S355J0	S355J2

Siendo la primera sigla “S” la letra referida al nombre en lenguaje inglés “Steel”

La siguiente cifra numérica que sigue a la “S” representa el límite elástico en MPa (Mega Pascal), en elementos cuyas dimensiones no superan los 16 mm (milímetros) de espesor. En caso de superar dicho espesor se reducirá el límite elástico dependiendo del intervalo de espesores en el que se encuentre el elemento estructural siguiendo el DB-SE-A (Documento básico seguridad estructural acero) Tabla 4.1 Características mecánicas mínimas de los aceros UNE EN 10025.

Las últimas dos letras representan su sensibilidad a la rotura frágil y su soldabilidad:

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

Cabe destacar que el acero comúnmente utilizado en la edificación y obra civil en España es del tipo S275JR.

#### 6.3.1 Propiedades mecánicas del acero

Los valores fundamentales para el cálculo y diseño de elementos constructivos de acero son los siguientes:

a) Límite elástico: Tensión máxima que un material elástico puede soportar sin sufrir deformaciones permanentes.

b) Límite de rotura: Tensión máxima que un material puede soportar en la sección de una probeta en el ensayo a tracción.

Siendo las características comunes para los diferentes tipos de acero las siguientes:

- Módulo de Elasticidad (E): 210 (GPa)
- Módulo de Rigidez (G): 81(GPa)
- Coeficiente de Poisson ( $\nu$ ): 0,3
- Coeficiente de dilatación térmica ( $\alpha$ ):  $1,2 \cdot 10^{-5} (^{\circ}\text{C})^{-1}$
- Densidad ( $\rho$ ): 7.850 (Kg/m<sup>3</sup>)

## 6.4 Configuraciones estructurales

### 6.4.1 Elementos estructurales generales de las estructuras metálicas

#### Placas de anclaje:

El arranque de cualquier elemento estructural metálico desde otro de hormigón se hace mediante una placa de apoyo llamada: placa de anclaje.

La función principal de una placa de anclaje es la de transmitir y repartir la carga a la cimentación de hormigón, siendo ésta menos resistente a nivel estructural que el acero.

Si no existe dicha placa de anclaje, no es posible unir ambos materiales de forma óptima y segura. Las placas de anclaje serán de un determinado espesor y dimensiones dependiendo de las cargas existentes en los pilares de la estructura, así como de las condiciones del hormigón de la cimentación.

Las placas de anclaje se suelen fijar al hormigón mediante pernos de anclaje roscados quedando estos embebidos en la cimentación, al fraguar y endurecer el hormigón de las zapatas, estos trabajan por adherencia.

Los elementos principales que constituyen una placa de anclaje son los siguientes:

- Placa de base o reparto
- Cartelas rigidizadoras
- Pernos de anclaje

Cuando los pilares queden fijados a la cimentación mediante placas de anclaje, esta unión se interpretará como un empotramiento siendo los esfuerzos que actúan en ella los siguientes: axil, cortante, momento flector y torsor.

#### Pilares:

Los pilares o soportes son elementos estructurales que se disponen de forma perpendicular al suelo y se unen a la cimentación mediante placas de anclaje. Dichos elementos están sometidos principalmente a compresión y a flexión pequeña o nula ejercida por los elementos estructurales que transmiten la carga de la cubierta.

Para su dimensionamiento se deben de tener en cuenta las cargas que debe de soportar, así como el tipo de acero con el cual está conformado. Además, se deberá de tener en cuenta la longitud del pilar por la posible aparición de pandeo.

Los soportes simples más utilizados son el HEB, HEA, IPN y el IPE. Con ellos se puede obtener un buen aprovechamiento de los elementos estructurales siendo estos especialmente adecuados para la ejecución de pilares en pórticos rígidos.

#### Vigas:

Las vigas o jácenas son elementos estructurales lineales en las que la dimensión longitudinal predomina frente a las demás. Dichos elementos trabajan principalmente a flexión, es por esta razón por la que los perfiles laminados suelen poseer forma de "I", con la finalidad

de que la sección que trabaje a flexión sea la de la inercia fuerte, mejorando así el rendimiento de las mismas.

Dichos elementos son los encargados de transmitir las cargas verticales a los pilares de la estructura, trabajando a flexión y produciendo esfuerzos cortantes y de torsión en algunos casos.

#### Vigas simples:

Los perfiles de vigas simples más comúnmente utilizados son los, IPN, HE o IPE, siendo este último uno de los más utilizados por su gran rendimiento mecánico.

El coste de los perfiles laminados suele ser menor para igual resistencia en comparación a los perfiles armados.

#### Vigas múltiples:

Estos elementos están constituidos por dos o más perfiles adosados entre sí, gracias a la utilización de elementos tales como tornillos, pasantes presillas etc. Posibilitando de esta manera que los perfiles trabajen de manera solidaria.

#### Vigas reforzadas:

A estos elementos estructurales se les añaden refuerzos con chapas o pletinas, con esto se consigue el aumento del módulo resistente de la viga consiguiendo así un significativo ahorro de material.

#### Vigas armadas:

Las vigas armadas son elementos formados por varias chapas o pletinas unidas entre si mediante diversos métodos de unión siendo el más utilizado la soldadura.

Dichos elementos pueden tener menor peso para unas solicitaciones determinadas en comparación a un perfil laminado. Sin embargo, dichos elementos son más caros dado que deben de ser conformados a medida para cada cliente en taller.

#### Vigas aligeradas:

Estos elementos constructivos se suelen utilizar cuando la flexión predomina sobre el cortante, se trata de vigas laminadas con perforaciones en su alma con formas hexagonales o circulares o de vigas cortadas en zigzag.

#### Vigas en celosía:

Dichos elementos estructurales son de gran utilidad en las construcciones metálicas, especialmente en edificios industriales con grandes luces.

Para pórticos de grandes luces el peso de estas vigas es inferior al de los perfiles de alma llena. El coste total del elemento dependerá del coste del acero, la fabricación y el montaje del elemento estructural.

Las vigas en celosía suelen estar constituidas por dos cordones, el superior, el cual trabaja a compresión y el inferior, el cual estará traccionado. Además de estos, se disponen elementos de relleno siendo estos montantes y diagonales unidos a los cordones mediante uniones soldadas, acartelamientos, tornillería etc.

#### Correas:

Los perfiles de correas más comúnmente utilizados son los, IPN, IPE, T Simple o perfil en Z.

Las correas son pequeñas vigas sobre las cuales apoyan los elementos que forman el revestimiento de la cubierta, estos elementos son los encargados de transmitir las cargas de cubierta a las vigas que conforman los pórticos.

El apoyo de las correas sobre los pórticos se garantizará mediante el empleo de uniones soldadas o bien, mediante casquillos en disposición angular.

Dichos elementos se calcularán como vigas apoyadas con carga uniformemente repartida.

#### Arriostramientos:

Tienen la función de transmitir los esfuerzos producidos por el viento frontal sobre los pórticos testeros a las paredes laterales y estas lo transmitirán a la cimentación.

El arriostramiento más utilizado en las edificaciones industriales es la Cruz de San Andrés, éste se coloca entre dos pórticos.

Estos elementos constructivos suelen ser esbeltos y de sección circular o rectangular, existiendo también la posibilidad de emplear elementos de sección angular.

#### Uniones

##### Uniones atornilladas:

Los elementos de unión de este grupo, los cuales deberán estar normalizados están constituidos por tornillería, tuercas y arandelas.

##### Uniones soldadas:

El acero se puede considerar soldable según su grado de soldabilidad, éste deberá de ser soldado mediante las técnicas más convenientes dependiendo del tipo de penetración deseada y garantizando en todo momento la continuidad estructural de los elementos soldados.

Actualmente las soldaduras más utilizadas en edificación estructura es la MIG (Metal Inert Gas), MAG (Metal Active Gas) así como la soldadura por electrodo revestido.

##### Tipologías estructurales:

Las edificaciones industriales pueden estar constituidas por la combinación de una o varias tipologías estructurales dependiendo de sus características o de su uso.

Algunas de las tipologías estructurales más utilizadas en la actualidad son las que se mencionan en los puntos siguientes.

##### Cerchas:

Son los elementos que reciben la carga de las correas, y apoyan sobre los pilares de manera que permiten transmitir las cargas actuantes a la cimentación.

Existen diferentes tipos de cerchas dependiendo de la triangulación de los montantes y diagonales de las mismas, cada una de los diferentes tipos es más conveniente para una mayor o menor luz de la edificación.

##### Pórticos de alma llena:

Sistema estructural compuesto de vigas y pilares unidas entre si mediante articulaciones o de manera rígida.

Esta tipología estructural permite un mayor aprovechamiento del espacio vertical de la nave al no existir tirantes.

Los encuentros entre vigas o viga- pilar se suelen reforzar con cartelas para introducir una mayor sección resistente capaz de soportar los momentos flectores generados en la estructura además de ayudar a contrarrestar el empuje que ejerce el pórtico hacia el exterior.

## 7 Memoria constructiva

### 7.1 Descripción de la solución adoptada

La solución que se ha decidido proyectar es la de una nave industrial con unas dimensiones de (20x40) m, teniendo, por tanto; una planta industrial de 800m<sup>2</sup>. Esta se encontrará rodeada por una acera perimetral de 1,2 m de ancho para facilitar el paso de las personas, además se proyectará una calzada asfaltada de 6 m de ancho, 3 m por cada carril haciendo posible el paso de camiones cisterna y demás vehículos que precisen la entrada al recinto, bien sea para realizar la acción de abastecimiento de combustible o para la realización de labores de mantenimiento. En la zona de la calzada próxima a la puerta principal, se deberá de dibujar sobre la misma un paso de cebra con la finalidad de permitir el paso del personal y asegurar su seguridad. En la zona este colindante a la nave se ejecutará un recinto para el almacenaje de agua destilada en dos tanques de almacenamiento.

La distribución tanto de la planta industrial como de su periferia se hará acorde a lo dispuesto en el: *Plano 3: Plano de planta general de la planta industrial.*

Las características principales de la nave son las que se muestran en la siguiente tabla:

Datos geométricos	Valor
Longitud del edificio	40 (m)
Separación entre pórticos	5 (m)
Luz del pórtico	20 (m)
Pendiente cubierta	10 (%)
Altura cabeza de pilar	6 (m)
Altura de coronación	7 (m)
Separación de pilares del pórtico testero	5 (m)

Tabla 5: Datos geométricos del edificio

### 7.2 Elementos estructurales

La nave se ejecutará con perfiles estandarizados de acero laminado del tipo S275JR, las uniones de la estructura se proyectarán atornilladas dado que esta tipología de unión, facilitará la puesta en obra de la estructura por parte de los montadores.

Para la comprobación de los diferentes elementos estructurales que componen la edificación industrial, se han tenido en cuenta las siguientes limitaciones referidas al pandeo y a la flecha límite permisible.

Elemento	Beta de pandeo ( $\beta$ )	
Dinteles	XY: $\beta = 0,1$	XZ: $\beta = 1,0$
Correas	XY: $\beta = 0,0$	XZ: $\beta = 1,0$
Pilares pórticos intermedios	XY: $\beta = 0,7$	XZ: $\beta = 1,4$
Pilares pórtico testero	XY: $\beta = 0,7$	XZ: $\beta = 0,7$
Pilares pórtico testero forjado (tramo inferior)	XY: $\beta = 0,7$	XZ: $\beta = 0,7$
Pilares pórtico testero forjado (tramo superior)	XY: $\beta = 1,0$	XZ: $\beta = 1,0$
Pilares forjado	XY: $\beta = 0,7$	XZ: $\beta = 0,7$

Vigas forjado	XY: $\beta = 0,0$	XZ: $\beta = 1,0$
Vigas perimetrales	XY: $\beta = 0,0$	XZ: $\beta = 0,0$
Vigas contraviento	XY: $\beta = 0,0$	XZ: $\beta = 0,0$
Cruces de San Andrés	XY: $\beta = 0,0$	XZ: $\beta = 0,0$

Tabla 6: Betas de pandeo elementos estructurales

\*Los elementos estructurales que poseen un valor de Beta nulo, serán elementos que se ha supuesto que únicamente trabajarán a tracción y por consiguiente, no trabajarán a compresión, de ahí que no se haya contemplado un valor de Beta\*

La justificación de los valores de beta de pandeo tomados para los diferentes elementos estructurales queda justificada en el: Anejo II: Cálculo estructural, Apartado 1.1 “coeficientes de pandeo”.

Elemento	Flecha permisible
Dinteles	(L/300)
Correas	(L/300)
Pilares pórticos intermedios	(L/300)
Pilares pórtico testero	(L/300)
Pilares pórtico testero forjado (tramo inferior)	(L/300)
Pilares pórtico testero forjado (tramo superior)	(L/300)
Pilares forjado	(L/300)
Vigas forjado	(L/300)
Vigas perimetrales	(L/300)
Vigas contraviento	(L/300)
Cruces de San Andrés	-

Tabla 7: Flechas permisibles

\*Aunque el CTE DB SE-A marca una flecha de (L/250) los elementos se han dimensionado bajo la premisa de que su flecha sea inferior a (L/300) ya que, en base a la experiencia, en ocasiones, las flechas mayores a esta, son perceptibles al ojo humano, lo cual puede crear sensación de inseguridad o problemas estéticos\*

La justificación de los valores de flecha permisible tomados para los diferentes elementos estructurales queda justificada en el: Anejo II: Cálculo estructural, Apartado 1.2 “Flechas permisibles”.

### 7.2.1 Zapatas

Las zapatas se ejecutarán con hormigón del tipo: HA-25, y el armado de las mismas se ejecutará con barra corrugada del tipo: B500 S, en todas las zapatas se deberá de ejecutar un armado superior e inferior. Existirán 5 tipos de zapatas diferentes:

- Zapata (215 x 215 x 60) cm
- Zapata (200 x 300 x 75) cm
- Zapata (200 x 200 x 75) cm
- Zapata (155 x 155 x 60) cm
- Zapata (90 x 90x 40) cm

#### **Dimensionado de zapatas:**

Las zapatas de la nave serán los elementos constructivos a utilizar en terrenos con resistencia media o alta a la compresión, la función de las mismas será la de transmitir las

tensiones generadas en la estructura al terreno sobre el cual se encuentra. Además, estos elementos anclarán la estructura con la finalidad de evitar posibles levantamientos o vuelcos.

Tal y como se observa en los planos referentes a la cimentación del edificio industrial, las zapatas de la nave son de grandes dimensiones dado que estas se han dimensionado de acuerdo a la normativa vigente y siempre del lado de la seguridad tal y como se muestra en los cálculos adjuntos.

Las causas de las elevadas dimensiones de las zapatas son las siguientes del edificio son las siguientes:

- Axil vertical bajo cubierta ligera
- Momentos y cortantes altos por viento

Estas acciones generan dos efectos desfavorables en la cimentación produciendo levantamiento y vuelco. El levantamiento se produce a causa del viento de succión, las componentes verticales producidas por las succiones en algunos casos podrían ser mayores a las acciones generadas por el peso propio de la estructura, por esta razón la zapata pasaría a trabajar a tracción dándose el fenómeno de levantamiento. El vuelco se producirá a causa de los momentos flectores que se originan en el empotramiento del pilar en el terreno. Aunque realmente la zapata no podría volcar sí que se podría dar el arrastre de la nave por lo que, en caso de no poder evitarlo el modelo sería inválido.

Las posibles soluciones son:

- Optimizar la forma de la nave y las dimensiones de la misma para disminuir las cargas de viento.
- Aumentar el peso muerto que evite el levantamiento y el vuelco de la nave.
- Considerar el peso de la solera.
- Considerar el peso de los cerramientos laterales que apoyan sobre los cerramientos laterales.
- Añadir vigas centradoras (demasiado largas, es discutible su capacidad).
- Articular las uniones entre los pilares y el terreno (genera grandes desplazamientos)
- Descentrar zapatas.
- Ejecución de pozo en la cimentación (para aumentar el peso de la zapata y disminuir el momento desestabilizante).

El deslizamiento de la zapata se puede ignorar dado que no es un fenómeno que se dé habitualmente en las cimentaciones de naves industriales en cambio, estos desplazamientos sí que se dan en muros de contención.

Para el cálculo realizado no se han tenido en cuenta las cargas de los cerramientos laterales sobre las zapatas, así como las vigas de atado, por lo que las dimensiones obtenidas en el cálculo serán mayores que las que se obtendrían de la forma más optimizada posible. Sin embargo, se ha calculado la opción más desfavorable ya que el objeto del proyecto es el cálculo general de la estructura.

El hormigón utilizado en la cimentación será un HA-25 y el armado estará compuesto por redondos de acero corrugado B 500 S. El armado se realizará en ambas direcciones y contará tanto con armado superior como inferior. A continuación, se adjunta una imagen en la cual se puede observar la forma y la disposición de las zapatas:

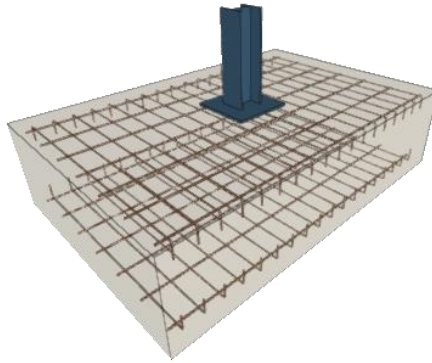


Figura 7: Zapata de cimentación pòrtico intermedio

Los cálculos referentes a la comprobación estructural de los diferentes tipos de zapatas se pueden encontrar en el: [Anejo II.3: Cálculo estructural zapatas.](#)

Los planos referentes a la ejecución de la cimentación de la estructura, así como los detalles de las zapatas se corresponden a: [Plano 4: Plano de cimentación](#) y [Plano 5: Plano de detalle de los elementos de cimentación.](#)

#### 7.2.2 Vigas de atado

Las vigas de atado se ejecutarán con hormigón del tipo HA-25, y el armado de las mismas se ejecutará con barra corrugada del tipo: B500 S. Todas las vigas de atado tendrán las mismas dimensiones las cuales serán: (40 x 40) cm.

#### Dimensionado de vigas de atado

Las vigas de atado a ejecutar en la cimentación de la nave tendrán la función de arriostamiento de las zapatas, dichos elementos estructurales deberán de cumplir lo establecido en la norma NCSE-02 y servirán tanto para evitar los corrimientos relativos entre las zapatas de la cimentación, como para absorber las cargas horizontales, siendo de especial interés en la absorción de las cargas horizontales generadas a causa del sismo.

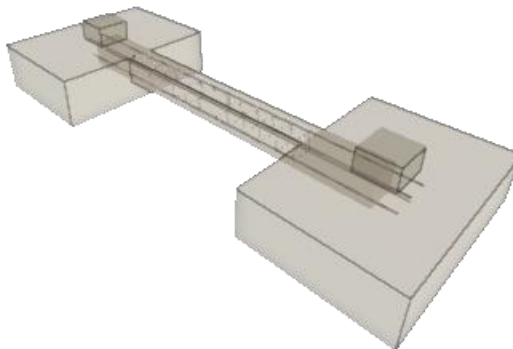


Figura 8: Viga de atado

Los cálculos referentes a la comprobación estructural a la viga de atado más desfavorable se pueden encontrar en el: [Anejo II.4: Cálculo estructural vigas de atado](#)

La ejecución de las vigas de atado se hará acorde a lo dispuesto en el: [Plano 5: Plano de detalle de los elementos de cimentación](#) y al [Plano 4: Plano de cimentación.](#)



### 7.2.3 Placas de anclaje

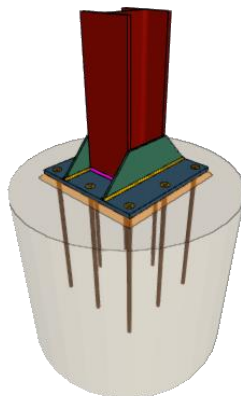
Las placas de anclaje serán de acero y se ejecutará una por cada uno de los pilares existentes, siendo los modelos a emplear los siguientes:

- Placa de anclaje pilares pórticos centrales: (500x500x20) mm con 8 pernos de anclaje de longitud 65 cm y con un diámetro de 20 mm. Rigidizadores de dimensiones (150x0x8) mm paralelos al alma del perfil, unidos a la placa mediante un cordón de soldadura ejecutado en taller.
- Placa de anclaje pilares pórticos testeros: (450x450x18) mm con 4 pernos de anclaje de longitud 50 cm y con un diámetro de 20 mm. Rigidizadores de dimensiones (10x0x8) mm paralelos al alma de perfil, unidos a la placa mediante un cordón de soldadura ejecutado en taller.
- Placa de anclaje pilares forjado: (200x300x14) mm con 4 pernos de anclaje de longitud 30 cm y con un diámetro de 10 mm.

#### Dimensionado de placas de anclaje

Las placas de anclaje serán los elementos estructurales cuya función será la de unir el pilar a la cimentación, así como de realizar la función de soporte del mismo, para su correcto dimensionado se deberán de tener en cuenta los esfuerzos actuantes sobre la base de los pilares. El esfuerzo predominante y más desfavorable al cual se verán sometidas será principalmente el momento flector que se genera en la base del pilar a causa del empotramiento existente.

Tal y como se muestra en los planos, las placas de anclaje que se ejecutarán en la obra serán como la dispuesta a continuación:



*Figura 9: Placa de anclaje pilar HEB 220*

Como se puede observar, la placa de anclaje necesitará de la disposición de cartelas con el fin de tener la suficiente capacidad resistente para hacer frente a las acciones de flexo-compresión, así como a los esfuerzos cortantes.

Los cálculos referentes a la comprobación estructural de las placas de anclaje más desfavorables se pueden encontrar en el: *Anejo II.5: Cálculo estructural placas de anclaje*

El diseño de las placas de anclaje de la estructura, así como la ejecución de las mismas en obra, se deberá de realizar según lo dispuesto en el: *Plano 6: Plano de detalle placas de anclaje*

#### 7.2.4 Pilares

##### **Pilares pórtico intermedio**

Los pilares de los pórticos intermedios se ejecutarán con perfiles metálicos del tipo HEB 220, quedarán unidos a la cimentación mediante una placa de anclaje de (500x500x20) mm con 8 pernos de anclaje de longitud 65 cm y con un diámetro de 20 mm. Además, la placa de anclaje llevará dispuestos dos rigidizadores de dimensiones (150x0x8) mm paralelos al alma del perfil, unidos a la placa mediante un cordón de soldadura ejecutado en taller.

##### **Pilares pórtico hastial**

Los pilares de los pórticos hastiales se ejecutarán con perfiles metálicos del tipo HEB 180, quedarán unidos a la cimentación mediante una placa de anclaje de (450x450x18) mm con 4 pernos de anclaje de longitud 50 cm y con un diámetro de 20 mm. Además, la placa de anclaje llevará dispuestos dos rigidizadores de dimensiones (10x0x8) mm paralelos al alma de perfil, unidos a la placa mediante un cordón de soldadura ejecutado en taller.

##### **Dimensionado de pilares**

Los pilares o soportes, serán elementos estructurales dispuestos de forma perpendicular al suelo y se unirán a la cimentación mediante placas de anclaje, dichos elementos serán los encargados de absorber los esfuerzos de compresión generados por el peso de la cubierta, así como por las acciones de los diferentes fenómenos meteorológicos que actúen sobre la estructura. Además, los pilares se verán sometidos a esfuerzos de flexión dado que serán los encargados de soportar los esfuerzos generados por la acción del viento cuando éste actúe sobre las fachadas laterales y frontales de la estructura.

Para su dimensionamiento se deben de tener en cuenta las cargas que debe de soportar, así como el tipo de acero con el cual está conformado. Además, se deberá de tener en cuenta la longitud del pilar por la posible aparición de pandeo.

Los cálculos referentes a la comprobación de los diferentes tipos de pilares más desfavorables que se ejecutaran en la estructura se han realizado de forma manual y se pueden encontrar en el: *Anejo II: Cálculo Estructural, Apartado 3 "Dimensionado de pilares"*

#### 7.2.5 Dinteles

##### **Dinteles pórtico intermedio**

Los dinteles de los pórticos intermedios se ejecutarán con perfiles metálicos del tipo IPE 330, quedarán unidos entre sí mediante una cartela de 1,75 m soldada a la cara inferior del perfil y unida a la dispuesta en el dintel del lado contrario mediante una chapa de (190x690x12) mm y por 12 tornillos del tipo: ISO 4017-M16x50-8.8. Los dinteles quedarán unidos a los pilares mediante una chapa de dimensiones (190x740x14) mm y por 10 tornillos del tipo: ISO 4014-M16x65-8.8. Además, se dispondrán unas cartelas en la unión pilar- dintel de 1,75 m con la finalidad de aumentar la sección resistente y poder resistir los momentos flectores generados.

##### **Dinteles pórtico hastial**

Los dinteles de los pórticos intermedios se ejecutarán con perfiles metálicos del tipo IPE 200, quedarán unidos al pilar intermedio del pórtico testero mediante chapas de dimensiones (130x230x11) mm y por 4 tornillos del tipo: ISO 4017-M16x50-8.8 por cada una de las chapas.

### **Dimensionado de dinteles**

Los dinteles de la estructura serán los encargados de soportar las cargas que aplican sobre la cubierta, las cuales se reparten sobre las correas y estas a su vez transmiten los esfuerzos a los dinteles de la estructura. Dado que en todo momento se pretende la optimización de la estructura, los dinteles de la estructura estarán compuestos por vigas y cartelas con el fin de aumentar la sección resistente de las mismas en los puntos más desfavorables como lo son el centro del vano, cumbrera; donde se unen ambos perfiles y puesto que se trata del punto más alejado experimenta un elevado momento flector. Además, se disponen cartelas sobre la unión entre el pilar y el dintel ya que, al tratarse de una unión rígida, funcionará como un empotramiento y por lo tanto también se crearán elevados momentos flectores. Con la ayuda de las cartelas se aumenta la sección resistente y por consiguiente, la estructura es capaz de absorber y transmitir correctamente los esfuerzos sin superar sus límites resistentes evitando el riesgo de colapso estructural.

Los cálculos referentes a la comprobación estructural del dintel más desfavorable se pueden encontrar en el: *Anejo II.1: Cálculo estructural dintel.*

#### 7.2.6 Vigas perimetrales

Las vigas perimetrales se dispondrán en la cumbrera arriostrando los dinteles entre sí. Asimismo, se dispondrán vigas perimetrales cuya función será la de arriostrar las cabezas de los pilares en el plano de fachada. Estas vigas se ejecutarán con perfiles IPE 140 y quedarán unidas a los pilares y dinteles mediante una chapa de dimensiones (90x110x8) mm y por dos tornillos del tipo: ISO 4014-M16x40-8.8.

Las vigas perimetrales se deberán de ejecutar en obra de acuerdo a la disposición del: *Plano 10: Plano de planta.*

#### 7.2.7 Vigas contraviento

Las vigas contraviento se dispondrán entre los dinteles de los pórticos hastiales y sus colindantes, estas vigas se ejecutarán con perfiles IPE 140 y servirán para aumentar la rigidez lateral del edificio.

Las vigas contraviento se deberán de ejecutar en obra de acuerdo a la disposición del: *Plano 10: Plano de planta.*

#### 7.2.8 Vigas y pilares de forjado

Las vigas de forjado se ejecutarán con diversos perfiles, las perimetrales se ejecutarán con un perfil: IPE 200 dado que serán las más solicitadas, puesto que recibirán toda la carga del forjado. Las vigas que se disponen entre los pilares del pórtico hastial y los pilares de forjado se ejecutarán con un perfil: IPE 140. En la unión de las vigas perimetrales a los pilares mencionados anteriormente se dispondrán cartelas con la finalidad de aumentar la sección resistente y evitar problemas de la estructura. Dichas cartelas tendrán una longitud de 0,20m.

Los pilares de forjado se ejecutarán con perfiles metálicos del tipo IPE 200 y quedarán unidos a la cimentación mediante una placa de anclaje de (200x300x14) mm con 4 pernos de anclaje de longitud 30 cm y con un diámetro de 10 mm.

### **Dimensionado de vigas y pilares de forjado**

Las vigas y pilares de forjado serán los encargados de albergar el sistema estructural del forjado, el cual es un sistema ejecutado generalmente en horizontal que se basa en vigas

dispuestas de forma paralela entre sí de tal forma que sean capaces de soportar los esfuerzos verticales originados por el peso propio del hormigón y de los pavimentos aplicados, así como el peso debido a las sobrecargas de uso que actúen sobre la estructura. Estas vigas apoyan sobre los pilares de forjado y sobre los pilares del pórtico testero con la finalidad de poder transmitir las cargas generadas a la cimentación y por consiguiente, al terreno. Este tipo de sistemas constructivos brindan la posibilidad del aprovechamiento cúbico del espacio.

Cabe destacar que el forjado de la nave se proyecta en previsión a realizar una futura expansión de la planta industrial dado que inicialmente, tanto las oficinas como el laboratorio y los aseos, se ejecutarán en la planta baja.

A continuación, se adjunta una imagen del forjado a ejecutar en la nave industrial, el cual tendrá unas dimensiones de (20 x 5) m lo cual equivaldrá a 100 m<sup>2</sup>:

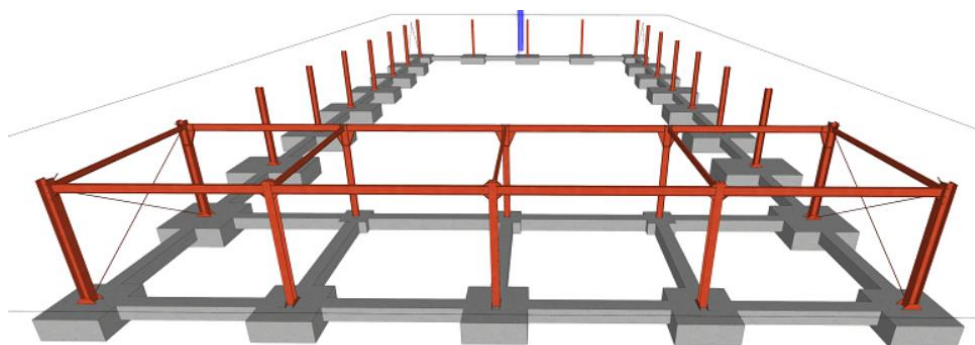


Figura 10: Disposición de forjado

Los cálculos referentes a la comprobación estructural de la viga de forjado más desfavorable se pueden encontrar en el: [Anejo II.7: Cálculo estructural vigas de forjado.](#)

Los cálculos referentes al pilar de forjado más desfavorable se pueden encontrar en el: [Anejo II.8: Cálculo estructural pilares de forjado.](#)

Los planos referentes a la disposición de las vigas de forjado, así como la disposición de los pilares de forjado se pueden encontrar en el: [Plano 8: Plano de pórtico testero y forjado.](#)

#### 7.2.9 Cruces de San Andrés

Las cruces de San Andrés se ejecutarán con cables de acero de diámetro 16 mm, estos cables tendrán la función de arriostrar los pórticos entre sí y trabajarán a tracción cuando la estructura se vea sometida a la acción del viento principalmente. Las cruces de San Andrés se dispondrán entre los pórticos hastiales y sus contiguos tanto en el plano lateral como en el plano de cubierta y estas quedarán unidas a la estructura mediante un perfil angular del tipo (L70x8) mm y a su vez, el cable quedará unido al perfil mediante dos tuercas del tipo: ISO 4032-M16-5 y una arandela del tipo: ISO 7089-16-200 HV.

El detalle de la unión de las cruces de San Andrés a las vigas se puede encontrar en: ["Detalle unión cruces de San Andrés"](#) perteneciente al: [Plano 10: Plano de planta.](#)

#### 7.2.10 Correas

Las correas se ejecutarán con perfiles metálicos del tipo IPE 100 con una separación entre las mismas de 1 m, se incluirán elementos de fijación con la finalidad de fijar sobre las mismas el panel sándwich que se dispondrá como cerramiento estructural de cubierta en la nave industrial.

### **Dimensionado de correas**

Las correas serán los elementos estructurales encargados de transmitir las cargas de cubierta a los dinteles de la estructura. Además, estas poseerán una función de arriostramiento de los dinteles con el fin de evitar el pandeo en la dirección de las correas.

La separación de las correas proyectada es de 1 m, dado que esta distancia debe de quedar limitada a la máxima separación admisible por el panel sándwich que vaya a instalarse en la cubierta. Con el fin de que el panel pueda aguantar más peso, se disminuirá la distancia de separación a 1 metro disminuyendo así los esfuerzos generados sobre las correas.

Los cálculos referentes a la comprobación estructural de las correas se pueden encontrar en el: *Anejo II.2: Cálculo estructural correas.*

El plano correspondiente a la distribución de las correas sobre los dinteles de la nave se corresponde al: *Plano 15: Plano distribución correas.*

#### 7.2.11 Uniones

La estructura contará con diversos tipos de uniones ejecutadas mediante chapas de acero y tornillería normalizada de acuerdo a la normativa vigente, las uniones principales de la estructura serán las siguientes:

- Unión dintel-dintel-cartelas.
- Unión pilar-dintel-cartela.
- Unión pilar-dintel de los pórticos testeros.

### **Dimensionado de uniones**

Las uniones por lo general serán los puntos de la estructura más desfavorables, puesto que en caso de que estas no estén bien ejecutadas o dimensionadas, se perderá la continuidad estructural de los elementos, apareciendo problemas en estos puntos y pudiendo incluso llegar a colapsar la estructura.

En el caso de este proyecto, todas las uniones serán del tipo atornilladas para facilitar los procesos de unión de los elementos estructurales. Además, de esta forma se tratará de evitar posibles fallos que se puedan dar en los procesos de soldadura a causa de una mala praxis por parte de los montadores.

A continuación, se adjunta una imagen de uno de los tipos de unión que se ejecutarán en la estructura, en este caso; la unión del pilar y el dintel junto con la cartela y la viga de atado perimetral de la nave.



Figura 11: Unión pilar dintel

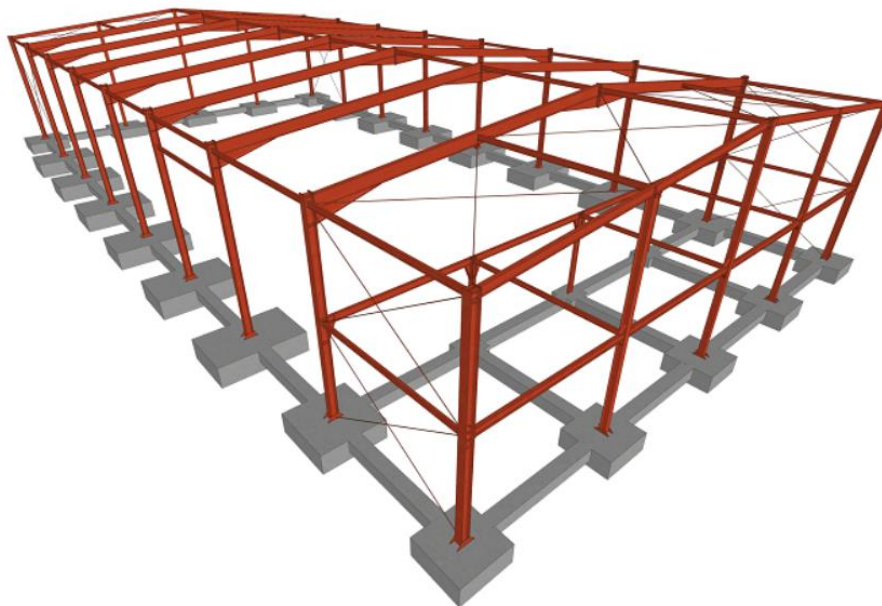
Los cálculos referentes a la comprobación estructural de las uniones anteriormente mencionadas se pueden encontrar en el: *Anejo II.6: Cálculo estructural uniones.*

La ejecución de las uniones principales de la estructura se realizará según lo dispuesto en los planos que se mencionan a continuación:

- Unión dintel-dintel-cartelas: *Plano 12: Plano de detalle unión dinteles IPE 330.*
- Unión pilar-dintel-cartela: *Plano 13: Plano de detalle unión pilares y dinteles.*
- Unión pilar-dintel de los pórticos testeros: *Plano 14: Plano de detalle unión pilares testeros con dintel.*

### 7.3 Modelos estructurales

La nave estará formada por dos tipos de pórticos, los intermedios los cuales se ejecutarán entre los vanos centrales de la estructura y los pórticos testeros o hastiales, los cuales se ejecutarán en los extremos de la edificación tal y como se muestra en la siguiente figura renderizada:



*Figura 12: Nave industrial renderizada*

El plano de los diferentes perfiles de los elementos estructurales que componen la nave y el plano de la estructura renderizada se puede encontrar en el: *Plano 11: Plano de la edificación completa* y *Plano 16: Plano de la edificación completa renderizado*, respectivamente.

#### 7.3.1 Pórtico intermedio

Los pórticos intermedios trabajarán de forma similar a los testeros, pero absorbiendo la totalidad de la carga, puesto que la crujía de los mismos será de 5 metros. Este tipo de pórtico se calculará mediante el programa CYPE 3D siguiendo el modelo que se muestra a continuación:

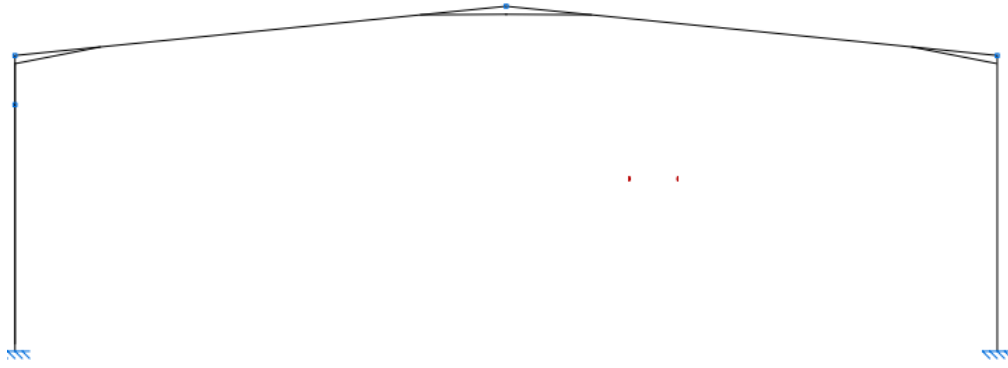


Figura 13: Pórtico intermedio

Las dimensiones de los pórticos intermedios se pueden consultar en el: Plano 9: Plano de pórtico testero e interior.

### 7.3.2 Pórtico testero

Los pórticos testers se plantean de forma que sean capaces de absorber las acciones del viento frontal cuando actúe sobre ellos. Por esta razón, se decide disponer de 3 pilares intermedios los cuales permitirán reducir las luces de los dinteles testers con lo cual se verán reducidos los flectores que actúan sobre la estructura y con ello se conseguirá reducir las dimensiones de los dinteles. Además, los pilares intermedios facilitarán la colocación del panel de hormigón del cerramiento y actuarán como arriostamiento de los mismos tal y como se muestra en la siguiente figura:

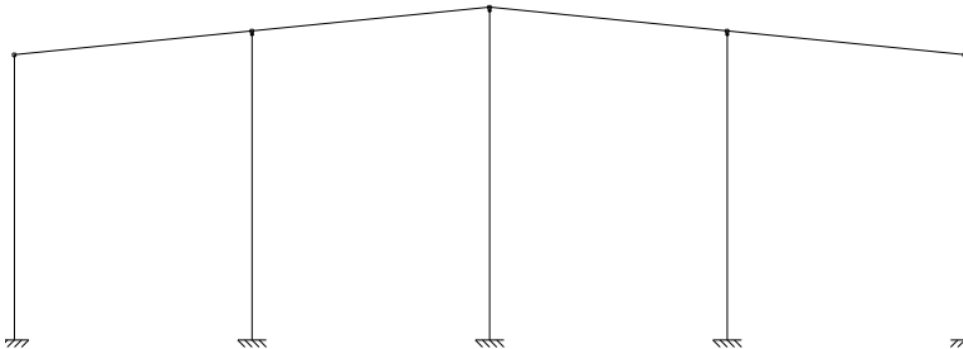


Figura 14: Pórtico testero

Las dimensiones del pórtico testero se pueden consultar en el: Plano 9: Plano de pórtico testero e interior.

En el caso del pórtico testero en el cual apoyan las vigas de forjado tendrá la misma disposición que el anterior, pero se le añadirán las vigas de forjado, así como las vigas perimetrales de forjado las cuales además de albergar dicho sistema constructivo, arriostarán los pórticos en su dirección transversal tal y como se muestra a continuación:

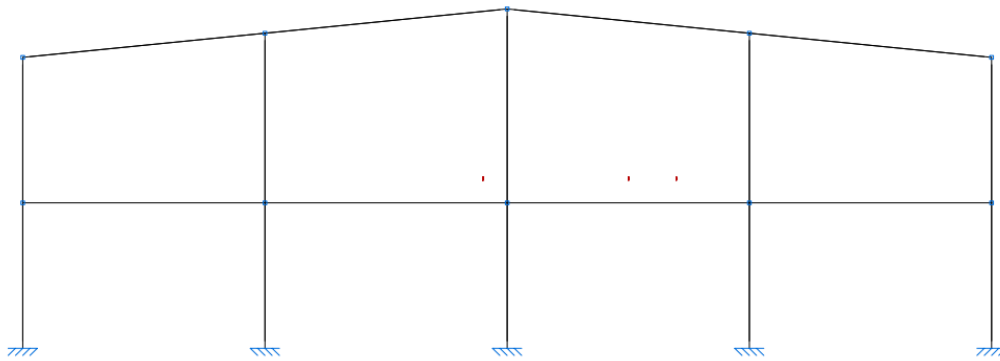
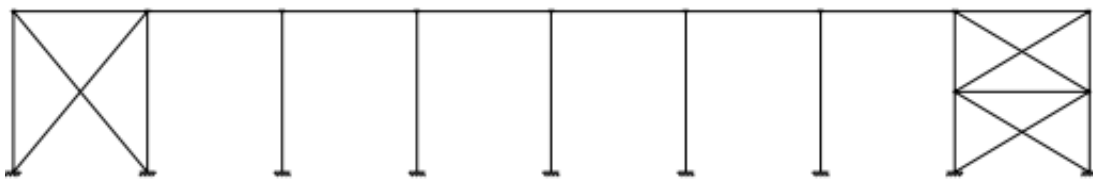


Figura 15: Pórtico testero con forjado

Las dimensiones del pórtico testero que alberga el forjado se pueden consultar en el: Plano 8: Plano de pórtico testero y forjado.

### 7.3.3 Plano lateral del edificio

Puesto que la luz de la nave no es excesivamente grande (20 m) y que en la cubierta no se va a desarrollar una actividad diferente a la de mantenimiento cuando esta lo requiera, se optará por emplear un sistema estructural basado en la ejecución de pórticos a dos aguas separados entre sí una distancia de 5 m, tal y como se muestra en la siguiente figura.



Todos los pórticos que conforman la nave se unirán mediante vigas perimetrales, dichas vigas arriostrarán los pórticos atando las cabezas de los pilares y evitando así la translacionalidad de los mismos en el plano de la fachada lateral. Además, se dispondrán cruces de San Andrés con la finalidad de arriostrar los planos laterales y de planta de la edificación creando de esta manera un volumen que trabaje conjuntamente.

Las dimensiones de ambas vistas laterales de la edificación se pueden consultar en el: Plano 7: Plano de vista lateral de la edificación.

### 7.3.4 Codificación de los elementos portantes

Para facilitar la localización de los elementos estructurales que componen la nave industrial se procederá a establecer una codificación para cada uno de los diferentes puntos característicos de la estructura. Los pórticos se numerarán de abajo a arriba con un número empezando por el 1 y terminando con el 9. La posición de los pilares de los pórticos testeros se denominará con una letra, siendo A el primer pilar situado más a la izquierda y terminando con la letra E, siendo este el pilar situado más a la derecha. Quedando la disposición de la siguiente manera tal y como se muestra en la figura inferior.



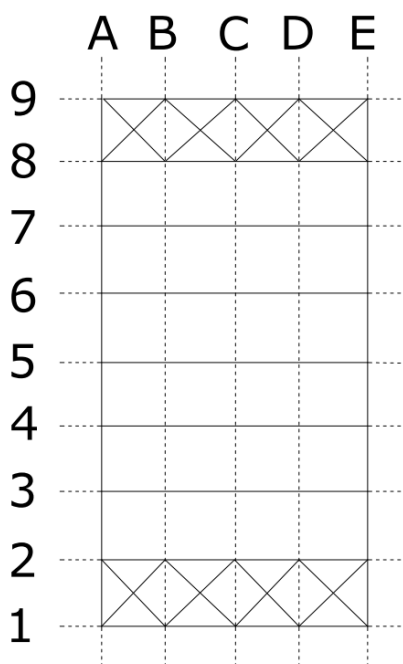


Figura 16: Denominación de los elementos

#### 7.4 Descripción del proceso de ejecución

El proceso de ejecución de la nave industrial vendrá dado por las siguientes fases:

**1º fase, desbroce del solar y movimiento de tierras:** En esta primera etapa, se realizará un acondicionamiento del solar con la finalidad de eliminar la vegetación del mismo y poder iniciar el proceso de movimiento de tierras, el cual consistirá en nivelar el terreno a la misma cota geométrica con el objetivo de generar una superficie plana para la posterior ejecución de la estructura y sus periféricos.

**2º fase, cimentación:** Una vez el solar, posea las características idóneas para proseguir con los trabajos, se realizará la ejecución de las zapatas tras previo estudio del terreno. En la fase de construcción de cimentación, se deberán de excavar tanto los volúmenes de las zapatas, como los volúmenes correspondientes a las vigas de atado, de acuerdo a las dimensiones marcadas en los planos. Una vez hecho esto, se deberán de ejecutar los elementos de la cimentación de acuerdo a las especificaciones técnicas dispuestas en el proyecto.

**3º fase, estructura:** Tras haber transcurrido el tiempo de curado pertinente, el cual vendrá dado por el tipo de hormigón a emplear y tras realizar una revisión por parte de la Dirección Facultativa, se procederá al montaje de la estructura. En primer lugar, se anclarán los pilares a las placas de anclaje previamente embebidas en las zapatas, tras la ejecución del montaje de los pilares en obra, se proseguirá con el montaje de los dinteles. Una vez hecho esto, se procederá al montaje de las vigas perimetrales y de las vigas contraviento, así como al montaje de las cruces de San Andrés, con la finalidad de arriostrar la estructura y evitar posibles problemas estructurales. Una vez se haya montado la totalidad de la estructura incluyendo los pilares de forjado y las vigas de forjado, se procederá al montaje de las correas que posteriormente recibirán el panel sándwich.

**4º fase, cerramiento estructural fachadas:** Tras el montaje de la estructura, se procederá al montaje del cerramiento estructural de fachada, el cual vendrá dado por paneles de hormigón

que se situarán sobre el alma de los perfiles HEB que conforman los pilares. En esta fase se deberá de prestar especial atención a la localización de los huecos de la estructura.

**5ª fase, cerramiento estructural cubierta:** Tras el montaje del cerramiento estructural de fachada, la estructura quedará arriostrada en el plano lateral, dado que los paneles de hormigón ejercerán como arriostramiento estructural. En este momento, se procederá al montaje del panel sándwich sobre las correas IPE 100 dispuestas en la cubierta de la nave. Dada la ligereza de los paneles tipo sándwich, el proceso de montaje de los mismos será de rápida ejecución.

Las condiciones de ejecución de la obra vendrán dadas en el: Pliego de condiciones generales.

## 7.5 Metodología de cálculo

Los cálculos realizados para el dimensionado de los elementos estructurales que conforman la nave industrial se han realizado de forma manual y con ayuda del programa de cálculo estructural: Generador de pórticos y CYPE 3D, los cuales pertenecen a la empresa CYPE Ingenieros, S.A.

La comprobación de los pilares más solicitados de la estructura se ha calculado a mano, estos cálculos justificativos se pueden encontrar en el Anejo II: Cálculo estructural.

El resto de los elementos estructurales han sido comprobados con el programa anteriormente mencionado, siguiendo el proceso que se menciona a continuación:

- Se procede a la apertura del módulo de CYPE: Generador de pórticos, en él; se introduce el nombre de la obra y la descripción de la misma.
- Una vez iniciado el nuevo proyecto, se deberá seleccionar la tipología estructural de la nave, en el caso que abarca este proyecto, la estructura a seleccionar será la de: “Nuevo pórtico a dos aguas”.
- Una vez se ha introducido la información anterior, se procede a la modelización del pórtico base, en él se deberá de definir la luz, la altura de coronación y la altura de los pilares.
- Una vez se haya modelizado el pórtico base, se deberán de introducir los datos de obra, los cuales constan de: número de vanos, peso del cerramiento de cubierta, sobrecarga de uso que se aplica en la cubierta, peso del cerramiento lateral si procede. Además, en este punto se deberá de introducir la zona eólica en la cual se encuentra emplazado el edificio. Además, se deberá de introducir el grado de aspereza del entorno con la finalidad de que se creen de forma automática los paneles de cargas de viento. Asimismo, en este punto se deberá de introducir la altitud respecto al nivel del mar del edificio en cuestión y se deberá de seleccionar la zona invernal en la cual se encuentra situado.
- Una vez se hayan introducido todas las cargas que actúan sobre la estructura, se deberán de introducir los muros laterales de la estructura. En el caso de este proyecto se supone un muro perimetral que arriostra el pilar frente al pandeo.
- Una vez se haya realizado el paso anterior, se deberán de dimensionar las correas de la estructura. En el caso que abarca este proyecto, se dispondrán correas en la cubierta con la finalidad de ejercer de soporte del panel tipo sándwich, tras seleccionar: “edición de correas en cubierta y laterales”, se procede a seleccionar el tipo de perfil a utilizar, así como la separación a la que se desea disponer las correas, en el caso del proyecto, 1 m.

- Una vez introducidos todos los datos anteriores, se deberá de realizar un dimensionado de las correas con la finalidad de comprobar si los perfiles seleccionados cumplen o por el contrario se necesita aumentar la sección.
- Tras la realización del cálculo de las correas, se deberá de exportar la estructura generada al programa CYPE 3D, para ello, será necesario definir el tipo de vinculación exterior de los pilares, en el caso del proyecto se considerarán empotrados, además se deberá de introducir la función de creación de pórticos en 3 dimensiones.
- Una vez realizada la exportación con éxito, se deberán de introducir los datos de la obra, las características del material, así como las normativas a aplicar y si se desea tener en consideración tanto la acción sísmica como el cálculo de resistencia a fuego definiendo previamente los minutos que debe de soportar la estructura portante sin llegar al colapso. A continuación, se adjunta una figura con la finalidad de mostrar lo mencionado anteriormente:

Figura 17: Datos generales CYPE 3D

- Tras completar los datos generales de la obra, aparecerá la estructura con tantos pórticos como hayamos definido antes de realizar la exportación.
- A continuación, se deberán de introducir nuevos nudos y barras para poder crear los pilares intermedios de los pórticos testers.
- Una vez hecho esto, se deberán de introducir las vigas de atado y las vigas contraviento de la misma manera que se ha procedido a la introducción de los pilares; introduciendo nudos y barras entre los puntos de origen y finales.
- Tras modelizar la estructura industrial, se procederá a diseñar el forjado introduciendo las viguetas en dirección transversal y longitudinal y uniendo estas tanto a los pilares de forjado previamente introducidos, como a los pilares de los pórticos testers.
- Una vez modelizada la estructura en su totalidad, se procede a la creación de grupos de barras con el fin de facilitar la posterior definición de los perfiles que las conforman.

- Tras esto, se procede a la modelización d la vinculación tanto interior como exterior. En el caso de la vinculación exterior, los pilares quedarán vinculados como empotrados. Respecto a la vinculación interior, tanto las vigas perimetrales como las vigas contraviento, las cruces de San Andrés y las viguetas de forjado tendrán una vinculación articulada con la estructura. En cambio, los pilares y dinteles tendrán la vinculación interior de: empotramiento.
- Una vez se ha realizado la vinculación de las barras, se deberán de describir los perfiles de las barras con la finalidad de que todas ellas posean una sección resistente y puedan ser sometidas al cálculo de las diferentes hipótesis de las cargas actuantes previamente introducidas.
- Tras describir todas las barras, se deberá de describir la flecha permisible para cada una de ellas con la finalidad de comprobar si cumple los diferentes ELS.
- Una vez se han realizado los pasos siguientes, se deberá de proceder al cálculo de la estructura y se deberán editar las secciones de los elementos constructivos que no cumplan con algunas de las comprobaciones de seguridad, una vez la estructura está correctamente dimensionada, los elementos estructurales aparecen en verde y se puede empezar a realizar el estudio de la estructura y la optimización de la misma. A continuación, se muestra una imagen del estado de la estructura anteriormente mencionado:

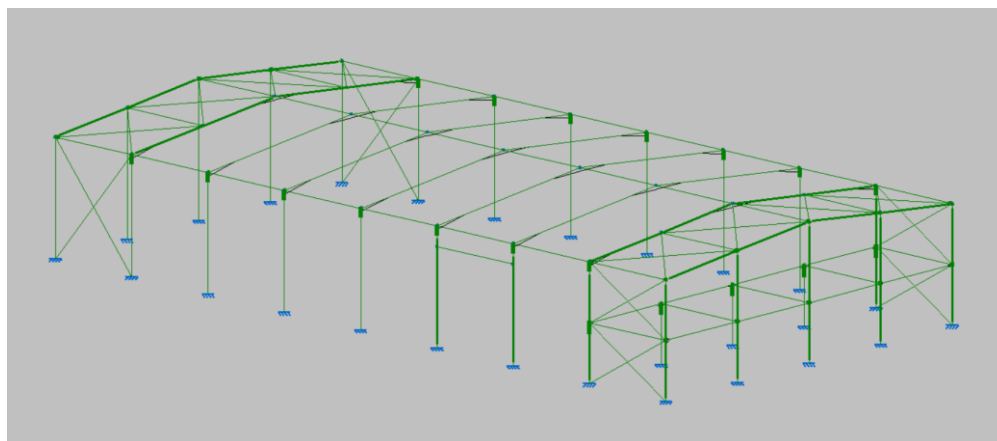


Figura 18: Comprobación estructura modelizada CYPE 3D

- Tras el dimensionado de la estructura, es el turno de la generación de uniones debiendo de realizarse posteriormente el estudio y la comprobación de las mismas.
- Una vez finalizado el proceso de cálculo estructural, se procede al cálculo de la cimentación.

## 7.6 Acciones

A continuación, se incluye una tabla con la clasificación principal de las acciones que pueden actuar sobre una edificación:

Clases existentes de cargas actuantes sobre una edificación		
Temporalidad	Directas	Indirectas
Permanentes	Concargas Pretensado	Reológicas estabilizadoras
Variables	Sobrecarga de uso Sobrecarga de ejecución Sobrecarga de nieve	Térmicas Reológicas desestabilizadoras

	Empujes Sobrecargas de viento	
Accidentales	Sísmicas Dinámicas de impacto	Incendio
Fortuitas	Catastróficas	Catastróficas

Tabla 8: Clasificación de acciones

Según el CTE-DB-AE (Código técnico de la edificación, Documento Básico de Seguridad Estructural, Acciones en la Edificación) las acciones que se deberán considerar para el cálculo serán las permanentes (G), las variables (Q) y las accidentales (A).

Cabe destacar que los valores de carga lineal (kN/m) que actuarán sobre los pórticos se obtendrán multiplicando el valor de la carga superficial por la crujía en el caso de los pórticos interiores y multiplicando el valor de carga superficial por la mitad de la crujía en el caso de los pórticos de fachada o testeros, tal y como se muestra en la figura inferior:

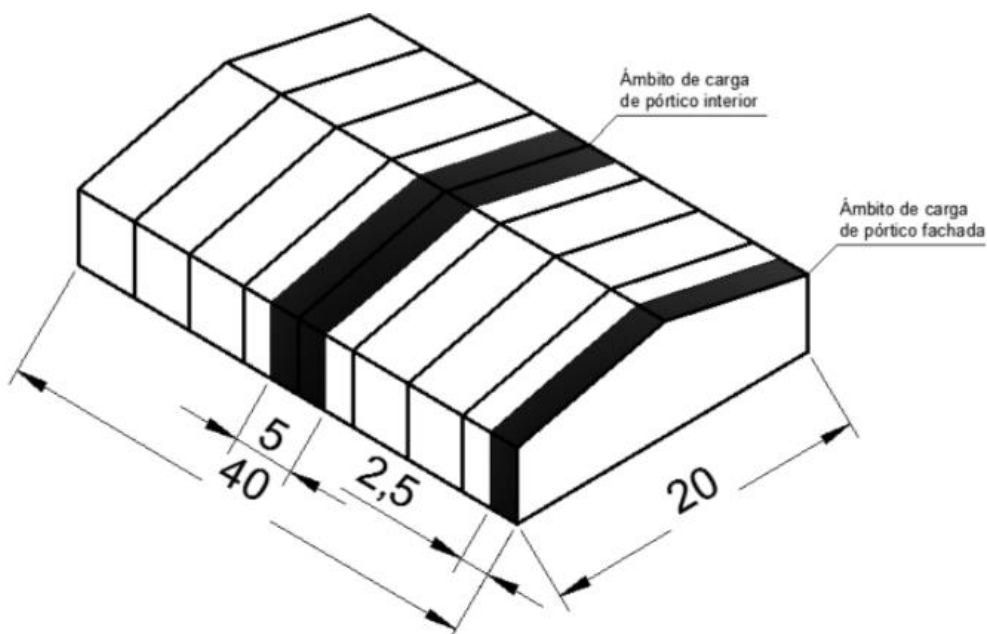


Figura 19: Distribución de cargas en los pórticos

### 7.6.1 Cargas permanentes

La carga permanente total que aplicará sobre la cubierta tiene un valor de 0,43(kN/m<sup>2</sup>). Este valor resulta del sumatorio de diversas cargas siendo estas: peso de las correas: 0,09 (kN/m<sup>2</sup>), peso de panel sándwich y tornillería necesaria para su fijación: 0,15 (kN/m<sup>2</sup>), peso de la posible futura instalación de placas solares: 0,19 (kN/m<sup>2</sup>).

El forjado de oficinas, se situará en el pórtico testero de la estructura, tal y como se ha indicado con anterioridad, su función será la de albergar una nueva planta de oficinas en caso de realizar una expansión de la planta industrial. Por ello, se ha considerado una carga permanente total de 4,9 (kN/m<sup>2</sup>), suponiendo un peso del forjado de 3,7 (kN/m<sup>2</sup>) y un peso del mobiliario a instalar de 1,20 (kN/m<sup>2</sup>).

Tanto el cálculo de las cargas como los diagramas de aplicación de las mismas sobre la estructura se podrán encontrar en el: *Anejo II: Cálculo estructural, Apartado 3.3.1“Cargas permanentes cubierta” y Apartado 3.3.2“Cargas permanentes forjado”*

### 7.6.2 Sobrecarga de uso

El forjado de oficinas se corresponde a una zona administrativa tipo B, con un valor de sobrecarga de uso de 2 (kN/m<sup>2</sup>). Además, la sobrecarga de uso que se ha considerado para la cubierta según lo establecido en el CTE SE-AE será del tipo G1, con un valor de 0,40 (kN/m<sup>2</sup>) dado que la carga se considerará “no concomitante con el resto de las acciones variables, de cubiertas accesibles únicamente para mantenimiento”.

Tanto el cálculo de las cargas como los diagramas de aplicación de las mismas sobre la estructura se podrán encontrar en el: *Anejo II: Cálculo estructural, Apartado 3.3.3 “Cargas variables cubierta” y Apartado 3.3.4 “Cargas variables forjado”*

### 7.6.3 Carga de viento

La carga de viento actuante considerada se corresponderá a la presente en la zona eólica B, con un grado de aspereza del entorno IV el cual contempla que el emplazamiento de la nave sea en una zona urbana, industrial o forestal. Se considerará un coeficiente de exposición para una altura de 7 metros.

Los casos de viento que se han considerado para el dimensionado del edificio industrial son los siguientes:

- V (0°) H1: Viento a 0°, presión exterior tipo 1.
- V (0°) H2: Viento a 0°, presión exterior tipo 2.
- V (90°) H1: Viento a 90°, presión exterior tipo 1.
- V (180°) H1: Viento a 180°, presión exterior tipo 1.
- V (180°) H2: Viento a 180°, presión exterior tipo 2.
- V (270°) H1: Viento a 270°, presión exterior tipo 1.

Tanto el cálculo de las cargas como los diagramas de las cargas de viento aplicadas sobre la cubierta y fachadas se podrán consultar en el: *Anejo II: Cálculo estructural, Apartado 3.3.3 “Cargas variables cubierta”*.

### 7.6.4 Carga de nieve

La edificación industrial se emplaza en el municipio de Alcoy, (Alicante), la altitud topográfica es de 562 (m). Sin embargo, se conoce el emplazamiento exacto de la nave industrial cuya altura aproximada es de 600 (m), este municipio pertenece a la “Zona climática invernal 5” según el mapa de las zonas climáticas de invierno del DB SE-AE. La exposición al viento del edificio será normal y la cubierta no contendrá resaltos. La carga de nieve a aplicar de acuerdo a los condicionantes anteriormente mencionados será de 0,5 (kN/m<sup>2</sup>).

Los casos de nieve que se comprobarán son los siguientes:

- N (EI): Carga de nieve aplicando en la totalidad de la cubierta.
- N (R) 1: Carga de nieve aplicando en el faldón izquierdo en su totalidad y carga de nieve minorada un 50% aplicando sobre el otro faldón.
- N (R) 2: Carga de nieve aplicando en el faldón derecho en su totalidad y carga de nieve minorada un 50% aplicando sobre el otro faldón.

Tanto el cálculo del valor como los diagramas de las cargas de viento aplicadas sobre la cubierta y fachadas se podrán consultar en el: *Anejo II: Cálculo estructural, Apartado 3.3.3 “Cargas variables cubierta”*.

### 7.6.5 Sismo

Las acciones sísmicas se determinan según la Norma de Construcción Sismorresistente: Parte general y edificación (NCSE-02).

Según esta normativa y las funciones del edificio a proyectar las cuáles serán las de producción de hidrógeno a pequeña escala para suplir el abastecimiento a nivel nacional de hidrógeno, el edificio se podrá considerar de importancia normal. Además, dado que la que la aceleración sísmica en el municipio de Alcoy es de 0,07g, el edificio podrá acogerse a las excepciones de la aplicación de la normativa.

Sin embargo, y del lado de la seguridad, se deciden tener en cuenta las acciones sísmicas que puedan llegar a afectar a la estructura por lo que en el cálculo con el programa CYPE 3D se deberán de introducir las acciones sismorresistentes de acuerdo con la normativa vigente NCSE-02.

A continuación, se adjunta una tabla en la cual se exponen los datos que se han tenido en consideración para el cálculo a sismo:

Normativa utilizada	NCSE-02
Método de cálculo	Análisis mediante espectros de respuesta (NCSE-02, 3.6.2)
<b>Datos generales de sismo</b>	
Aceleración básica (NCSE-02, 2.1 y Anejo 1)	0,070 g
Coeficiente de contribución (NCSE-02, 2.1 y Anejo 1)	1
Tipo de suelo (NCSE-02, 2.4): Tipo II	Tipo II
Ductilidad (NCSE-02, Tabla 3.1)	Ductilidad baja
Amortiguamiento (NCSE-02, Tabla 3.1)	5%
Tipo de construcción (NCSE-02, 2.2)	Construcciones de importancia normal
Número de modos de vibración que intervienen en el análisis	Según norma
Fracción de sobrecarga de uso	0,50
Fracción de sobrecarga de nieve	0,50
Efectos de la componente sísmica vertical	No se consideran
efectos de 2º orden	No se consideran

Tabla 9: Datos sismo

### 7.6.6 Fuego

Dado que la nave industrial tendrá un uso específico de producción de hidrógeno, se realizará el cálculo de la mínima resistencia a fuego exigida según lo dispuesto en el Real Decreto 2267/2004, de 3 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento de Seguridad Contra Incendios en los Establecimientos Industriales (RSCIEI).

Los cálculos de resistencia a fuego, así como las características de aplicación del mortero y la información referente a este apartado quedan emplazados en el: Anejo III: Cálculo de resistencia a fuego.

Para cumplir la resistencia a fuego requerida en la industria se aplicará un mortero de vermiculita- perlita con cemento de alta densidad, cuyas propiedades son las que se adjuntan en la siguiente tabla:

Densidad	Conductividad	Calor específico
550 (kg/m <sup>3</sup> )	0,120 (W/m K)	1100 (J/Kg K)

Tabla 10: Propiedades mortero intumescente

Los espesores de mortero mínimos a aplicar para el cumplimiento del tiempo de exposición marcado por la normativa serán los siguientes:

Elemento	Espesor mínimo mortero vermiculita-perlita
Pilares pórticos centrales	15 (mm)
Pilares pórticos testeros	15 (mm)
Pilares forjado	25 (mm)
Dinteles pórticos centrales	20 (mm)
Dinteles pórticos testeros	25 (mm)
Cruces de San Andrés	20 (mm)
Vigas de forjado	25 (mm)
Vigas perimetrales	25 (mm)

Tabla 11: Espesores mínimos mortero intumescente

### 7.6.7 Combinación de acciones

Se deberán de considerar las acciones combinadas entre ellas para garantizar el cumplimiento de las diferentes exigencias dispuestas en el CTE. Para las diversas situaciones, las combinaciones de acciones se definirán de acuerdo con lo establecido en la normativa vigente diferenciando dos estados:

#### **Estados Límite Últimos (ELU):**

Dichos estados son aquellos que, al ser superados, ponen en peligro los elementos de la estructura portante convirtiéndola en una estructura insegura.

Situaciones persistentes o transitorias, con coeficientes de combinación:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{Gj} G_{kj} + \gamma_P P_k + \gamma_{Q1} \Psi_{p1} Q_{k1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Qi} \Psi_{ai} Q_{ki}$$

Ecuación 1: ELU persistente o transitorio

Situaciones sísmicas, con coeficientes de combinación:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{Gj} G_{kj} + \gamma_P P_k + \gamma_{AE} A_E + \sum_{i \geq 1} \gamma_{Qi} \Psi_{ai} Q_{ki}$$

Ecuación 2: ELU situaciones sísmicas

Siendo según el CTE DB-SE:

- G<sub>k</sub> Acción permanente.
- P<sub>k</sub> Acción de pretensado.
- Q<sub>k</sub> Acción variable.
- A<sub>E</sub> Acción sísmica.
- γ<sub>G</sub> Coeficiente parcial de seguridad de las acciones permanentes.
- γ<sub>P</sub> Coeficiente parcial de seguridad de la acción de pretensado.
- γ<sub>Q,1</sub> Coeficiente parcial de seguridad de la acción variable principal.
- γ<sub>Q,i</sub> Coeficiente parcial de seguridad de las acciones variables de acompañamiento.
- γ<sub>AE</sub> Coeficiente parcial de seguridad de la acción sísmica.



$\psi_{p1}$  Coeficiente de combinación de la acción variable principal.

$\psi_{a,i}$  Coeficiente de combinación de las acciones variables de acompañamiento.

### **Estado límite de Servicio (ELS):**

Es el estado límite el cual, de ser rebasado, produce una pérdida de funcionalidad o deterioro de la estructura, pero no supone un riesgo inminente de colapso a corto plazo.

La fórmula que establece la norma para los ELS de corta duración es la siguiente:

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

*Ecuación 3. ELS corta duración*

La fórmula que establece la norma para los ELS de larga duración es la siguiente:

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

*Ecuación 4: ELS larga duración*

Siendo según el CTE DB-SE:

- Todas las acciones permanentes, en valor característico ( $G_k$ ).
- Acción variable cualquiera, en valor característico ( $Q_k$ ), debiendo adoptarse como tal una tras otra sucesivamente en distintos análisis.
- Resto de acciones variables, en valor de combinación ( $\psi_0 \cdot Q_k$ ).
- Todas las acciones variables, en valor casi permanente ( $\psi_2 Q_k$ ).

Cabe destacar que para realizar el dimensionado de los elementos se han tenido en cuenta las combinaciones más desfavorables generadas por el programa CYPE 3D, este escogerá la combinación más desfavorable entre todas las posibles con la finalidad de realizar el dimensionado acorde a la normativa vigente y estando siempre del lado de la seguridad.

## 7.7 Materiales empleados

### 7.7.1 Acero estructural

Como se ha indicado anteriormente, el acero utilizado para la fabricación de los perfiles laminados en caliente será el S275JR, cuyo límite elástico es  $f_{yk} = 275$  MPa. Sin embargo, se le debe de aplicar un coeficiente de seguridad según lo establecido en el apartado 2.3.3 del CTE DB SE-A de  $\gamma_m = 1,05$  quedando un valor final de:

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_m} = \frac{275}{1,05} = 261,9 \text{ MPa}$$

*Ecuación 5: Límite elástico minorado acero*

### 7.7.2 Acero corrugado

El acero utilizado para la ejecución de las zapatas y de las vigas de atado será un B500S, cuyo uso para este tipo de aplicaciones está muy extendido, el límite elástico de este acero es  $f_{yk} = 500$  MPa. Sin embargo, se le debe de aplicar un coeficiente de seguridad según lo establecido en la EHE-08 quedando un valor final de:

## Memoria

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_m} = \frac{500}{1,15} = 434,78 \text{ MPa}$$

*Ecuación 6: Límite elástico minorado acero corrugado*

### 7.7.3 Hormigón estructural

El hormigón estructural utilizado tanto en la ejecución de las zapatas como de las vigas de atado será del tipo HA-25/B/30 dado que se cumplen los siguientes factores de exposición:

- Corrosión de origen diferente a los cloruros.
- Interiores sometidos a humedades relativas medias altas (>65%) o a condensaciones.
- Exteriores en ausencia de cloruros y expuestos a lluvia en zonas con precipitación media superior a 600 mm.
- Elementos enterrados o sumergidos.

Al ser un hormigón destinado a la ejecución de cimentaciones, se exigirá que su consistencia sea blanda y que el tamaño máximo de árido sea de 40 mm como máximo. Sin embargo, y para garantizar una trabajabilidad óptima se empleará un árido máximo de 30mm.

La resistencia de cálculo del hormigón frente a una situación persistente o transitoria se calculará aplicando un coeficiente parcial de seguridad según la EHE-08.

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{25}{1,5} = 16.67 \text{ MPa}$$

*Ecuación 7: Límite elástico minorado hormigón*

### 7.7.4 Hormigón de limpieza

Según lo dispuesto en el apartado 4.5.1.2 del CTE DB SE-C la solera de asiento o hormigón de limpieza, tiene por misión crear una superficie plana y horizontal que sirva de apoyo a la zapata. El espesor mínimo de esta solera de asiento deberá de ser de 10 cm. Además, el perfil superior tendrá una terminación adecuada a la continuación de la obra. Siendo la nomenclatura del hormigón a utilizar la siguiente: HL-150/B/20.

Las condiciones y características de los materiales empleados vendrán dadas en el: *Pliego de condiciones particulares.*

## 7.8 Sistema envolvente

### 7.8.1 Cerramiento y fachada

El cerramiento lateral tanto de las fachadas laterales como frontales de la estructura, estará formado por paneles macizos de hormigón que descansarán sobre las vigas de atado de la cimentación. Los paneles prefabricados, tendrán un espesor de 14 cm y se encargarán con una altura de 3 metros, la cual podrá variar dependiendo de la oferta del fabricante y el stock disponible del mismo. Con la puesta en obra de este tipo de paneles se conseguirá reducir considerablemente el tiempo de ejecución de la obra, dado que todos ellos poseen un machihembrado el cual permite realizar un fácil ensamblaje entre los mismos. Además, estos paneles poseen una gran durabilidad, y para un espesor de 14 cm, según la tabla C.4 del CTE-DB-SI, la resistencia al fuego de estos paneles será de REI 180, por lo que será idóneo para su uso en la planta de producción de hidrógeno.

A continuación, se adjunta una figura en la cual se pueden observar los diferentes tipos de paneles de hormigón disponibles en el mercado:

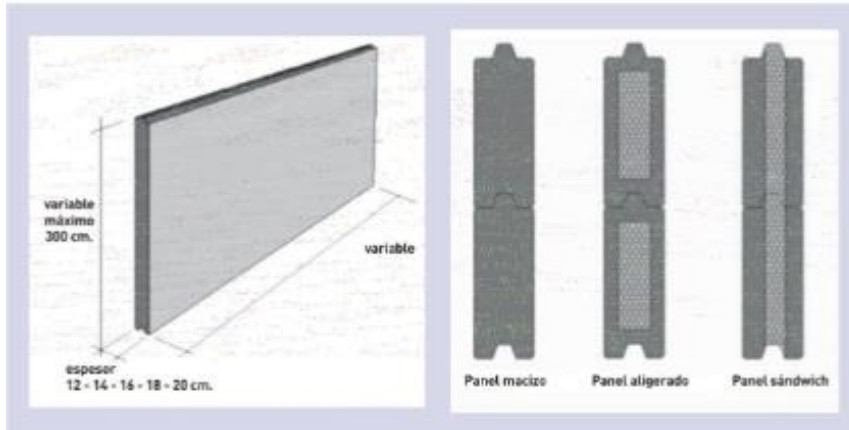


Figura 20: Ejemplo panel hormigón. ORIGEN: <http://www.prefabricadosalve.com/>

### 7.8.2 Cubierta

La cubierta propuesta será de panel tipo sándwich de 5 Greca con núcleo aislante conformado por espumas PUR y PIR de alta densidad ( $40 \text{ kg/m}^3$ ) y chapa inferior y superior de acero galvanizado y prelacado con un espesor de 60mm. La pendiente de la cubierta será de un 10% aproximadamente. Con el uso del panel sándwich, se garantizará un montaje rápido gracias a la ligereza del mismo. Además, la reducción de los tiempos de montaje supondrá un aumento directamente proporcional en la seguridad del trabajador dado que se reducirán los tiempos de trabajo en altura. Las propiedades resistentes de los paneles tipo sándwich los hacen un material perfecto para soportar grandes tensiones debidas a las sobrecargas de uso por mantenimiento de cubiertas o a las acciones atmosféricas como viento y nieve. Además, la versatilidad de acabados en el panel sándwich lo hará ideal para garantizar que se cumplen las condiciones estéticas fijadas en el PGOU.

A continuación, se adjuntan las características del panel sándwich elegido para la ejecución de la cubierta de la nave industrial, así como una figura general de un panel sándwich. Ambas imágenes pertenecen a la empresa: Grupo panel sándwich.

Espesor mm	Transmisión Térmica		Peso Panel
	Kcal/m <sup>2</sup> h °C	W/m <sup>2</sup> °C	kg/m <sup>2</sup> (0,4/0,4)
30	0,58	0,68	8,46
40	0,45	0,53	8,86
50	0,36	0,43	9,26
60	0,30	0,36	9,66

Figura 21: Características panel sándwich 5 greca. ORIGEN: <https://www.panelsandwich.com/>

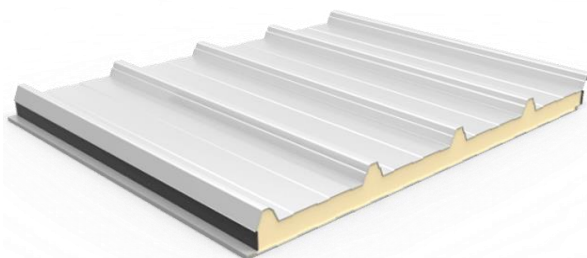


Figura 22: Ejemplo panel sándwich 5 greca. ORIGEN: <https://www.panelsandwich.com/>

Cabe destacar que para el cálculo de los elementos estructurales se ha tenido en cuenta el peso del panel sándwich, así como el de la tornillería necesaria para la fijación del mismo sobre las correas. El cálculo de su peso se puede consultar en el: *Anejo II: Cálculo estructural, apartado 3.3.1 Cargas permanentes cubierta.*

### 7.8.3 Sistema de acabados

La nave dispondrá de una puerta de (5 x 5) m por ella podrán acceder tanto los trabajadores como los camiones que vayan a realizar tareas de mantenimiento de maquinaria y necesiten acceder con el camión a la maquinaria pertinente dispuesta en las inmediaciones interiores del edificio.

La puerta a instalar en la nave será una puerta del tipo seccional con apertura automática vertical lo cual permitirá optimizar la ocupación de la planta industrial dado que permitirá tanto el aprovechamiento del espacio delantero como posterior.

Para la correcta puesta en obra de la puerta, se ha calculado un dintel con un perfil IPE 140 en el lateral izquierdo de la estructura, con la finalidad de que el panel de hormigón de dimensiones (5x1) m que quede por encima tenga un apoyo estable.

## 8 Gestión de residuos

Antes de iniciar la fase de ejecución del proyecto se deberá realizar una previsión de los residuos que se vayan a generar de acuerdo establecido en el Real Decreto 105/2008, de 1 de febrero, por el que se regula la producción y gestión de los Residuos de Construcción y Demolición (RCD), conforme a lo dispuesto en el Artículo 4 "Obligaciones del productor de residuos de construcción y demolición".

Los residuos generados deberán de contabilizarse en (m<sup>3</sup>) y (t) con la finalidad de poder realizar una gestión adecuada en la fase de ejecución de obra, para ello los residuos deberán de ser sometidos a una clasificación de acuerdo a lo establecido en la Lista Europea de Residuos publicada por Orden MAM/304/2002 de febrero o sus modificaciones posteriores.

Los residuos podrán clasificarse de acuerdo a dos niveles:

**RCD de nivel 1:** Tierras y materiales pétreos, sin contaminar, procedentes de la ejecución de obras de excavación.

**RCD de nivel 2:** Residuos generados a partir de la realización de las actividades propias del sector de la construcción, de procesos de demolición, reparaciones domiciliarias, así como los generados en la implantación de servicios.

De acuerdo con la clasificación mostrada anteriormente, se adjunta una tabla resumen en la cual quedan clasificados los diferentes tipos de residuos que se prevé generar durante la ejecución del proyecto:

Material según Orden Ministerial MAM/304/200	Peso (t)	Volumen (m <sup>3</sup> )
RCD de Nivel I		
1 Tierras y pétreos de la excavación	0,00	103
RCD de Nivel II		
RCD de naturaleza no pétreo		
1 Asfalto	0,15	0,19
2 Madera	0,10	0,11
3 Metales (incluidas sus aleaciones)	0,43	0,76

4 Papel y cartón	0,20	0,15
5 Plástico	0,15	0,090
6 Vidrio	0,00	0,00
7 Yeso	0,03	0,03
8 Basuras	1,11	1,62
RCD de naturaleza pétreo		
1 Arena, grava y otros áridos	1,20	1,87
2 Hormigón	0,30	0,45
3 Ladrillos, tejas y materiales cerámicos	0,035	0,044
4 Piedra	0,63	0,94
RCD potencialmente peligrosos		
1 Otros	0,050	0,045

Tabla 12: Resumen estudio residuos

Además, en el estudio de gestión de residuos se han tenido en cuenta los diferentes aspectos:

- Medidas para la optimización de la gestión de residuos en obra.
- Medidas para la separación de los residuos en obra.
- Operaciones de reutilización, valoración o eliminación de residuos.

Toda la documentación referida al análisis de la gestión de residuos queda contemplada en el: Anejo IV: Estudio de gestión de residuos.

## 9 Análisis medioambiental

Para poder realizar el proyecto de ejecución será necesaria una memoria ambiental con la finalidad de la obtención de la licencia municipal de funcionamiento, en ella deberá de constar la siguiente información:

- Localización y descripción de las instalaciones que albergará la planta industrial.
- Composición de las emisiones gaseosas de los vertidos generados, así como de los residuos producidos por la planta, teniendo en cuenta que se deberán estimar las cantidades y el destino de los mismos.
- Propuesta de técnicas para la prevención y control de las emisiones, vertidos y residuos generados.
- Grado de alteración del medioambiente en el terreno en el que se van a desarrollar las actividades previo al inicio de las operaciones, así como una previsión de las condiciones ambientales.
- Técnicas a emplear para la restauración del medio que se encuentra afectado por la actividad y programa de seguimiento del área que haya quedado afectada.
- Determinación del planeamiento urbanístico, detallando las actividades que se permiten, así como las que quedan prohibidas. Además, se deberán mencionar las condiciones de uso del terreno, etc.
- Se deberá de adjuntar cualquier otro tipo de información que resulte relevante para poder realizar una correcta evaluación de la actividad.

En el caso de la ejecución de la nave industrial, en todo momento se ha tenido en cuenta la elección de la parcela con mejores características del terreno con la finalidad de evitar producir grandes movimientos de tierra y por consiguiente, garantizando que el impacto medioambiental del proceso de ejecución de la nave queda reducido al máximo. Sin embargo, el análisis medioambiental tanto de la ejecución de la planta industrial como del funcionamiento de la

misma no queda contemplada en los objetivos de estudio del presente TFG, por lo que no se realiza el estudio pertinente.

## 10 Presupuesto

Para la realización del presupuesto se ha utilizado el programa Arquímedes, perteneciente a CYPE Ingenieros, S.A. Los precios del presupuesto se han sacado del banco de precios de la Junta de Extremadura, el cuál era el más actualizado dada la situación actual de la inestabilidad de los precios del material en el mercado.

Para mayor comprensión del presupuesto, además de poder realizar comparaciones objetivas con otras alternativas, se ha presupuestado dividiendo el documento en diversos capítulos o partidas, siendo estas las que se citan a continuación:

1) **Actuaciones previas:** Se han tenido en cuenta las acciones de desbroce y adecuación del terreno, así como la carga de los residuos vegetales generados.

2) **Movimiento de tierras:** Se han tenido en cuenta tanto la excavación de los elementos de cimentación como la nivelación del terreno de la pacerla, teniendo en cuenta la carga de las tierras extraídas.

3) **Cimentación:** Se ha tenido en cuenta la ejecución de los elementos de cimentación: zapatas y vigas de atado. Además, se ha incluido la solera del edificio, aunque no se trate propiamente de un elemento de cimentación.

4) **Estructura:** Se han tenido en cuenta todos los elementos estructurales, así como el replanteo y montaje de los mismos.

5) **Cerramiento estructural:** Se ha tenido en cuenta el panel sándwich que conformará la cubierta, así como los paneles de hormigón prefabricado que se instalaran para crear los muros de la nave industrial. Además, en esta partida se ha introducido la pintura intumescente necesaria para cumplir con los requisitos de tiempo exigidos en caso de incendio.

6) **Seguridad y salud:** Se ha tenido en cuenta un vallado perimetral del recinto, la señalización necesaria y el alquiler de una caseta con baño para su uso por parte de los operarios.

7) **Gestión de residuos:** Se ha tenido en cuenta el pago de los cánones establecidos para cada uno de los residuos generados además de su carga, transporte y separación.

Los precios de cada una de las partidas mencionadas anteriormente son los que se muestran en la siguiente tabla:

Número	Partida	Precio	Porcentaje sobre el total
1	Actuaciones previas	6.152,00 €	2,74%
2	Movimiento de tierras	1.380,00 €	0,61%
3	Cimentación	23.065,80 €	10,29%
4	Estructura	80.324,23 €	35,82%
5	Cerramiento estructural	106.720,96 €	47,59%
6	Seguridad y salud	2.190,90 €	0,98%
7	Gestión de residuos	4.417,54 €	1,97%
Total presupuesto		224.251,43 €	100%

Tabla 13: Precios descompuestos

Como se puede observar, la partida a la que más dinero se le destinará será la de: Cerramiento estructural (47,59%) seguida de estructura, cimentación, actuaciones previas, gestión de residuos, seguridad y salud y, por último; movimiento de tierras (0,61%).

Dividiendo el valor del importe total entre la superficie de la nave, se obtiene un precio de metro cuadrado de estructura de: 280, 31€/m<sup>2</sup>.

Si se desea visualizar el presupuesto completo, se deberá de consultar el documento: Presupuesto, el cual se corresponde con el antepenúltimo documento adjunto en el presente proyecto.

Si se desea visualizar el presupuesto descompuesto en precios unitarios, se deberá de consultar el documento: Presupuesto (descomposición en precios unitarios), el cual se corresponde con el penúltimo documento adjunto en el presente proyecto.

El total del presupuesto ascenderá a: **DOSCIENTOS VEINTICUATRO MIL DOSCIENTOS CINCUENTA Y UN EUROS CON CUARENTA Y TRES CÉNTIMOS.**

## 11 Conclusión

Como se puede observar, a través de los diferentes documentos que complementan el proyecto se han cumplido los objetivos del trabajo planteados inicialmente, siendo las conclusiones obtenidas tras la realización del trabajo las siguientes:

- En el proyecto se ha realizado el cálculo y diseño de la nave industrial de acuerdo a la normativa vigente.
- El diseño final de la edificación satisface los requerimientos técnicos planteados en los objetivos iniciales del proyecto.
- La solución final que se ha considerado ha sido optimizada con la finalidad de evitar sobrecostes tanto de material como de ejecución siendo la edificación, por tanto, competente a nivel económico en comparación a otras soluciones constructivas como estructuras de hormigón o cerchas entre otras.
- El precio del metro cuadrado final obtenido es de 280€/m<sup>2</sup> incluyendo la totalidad de la estructura, así como las actuaciones previas, la solera y el tratamiento intumesciente de los elementos portantes entre otros. Esta cifra se encuentra dentro del rango medio actual de metro cuadrado de estructura metálica que oscila entre 180€/m<sup>2</sup> y 300€/m<sup>2</sup>.
- Los cerramientos estructurales y materiales considerados en el presupuesto se han considerado los más adecuados a la hora de facilitar la ejecución en obra por parte de los operarios, aumentando ligeramente el precio del material, pero disminuyendo drásticamente los tiempos de puesta en obra.
- El cálculo de las zapatas ha venido limitado por las situaciones de vuelco y hundimiento, la homogenización de dimensiones tanto de algunas de las zapatas como de las secciones de acero se ha realizado de forma que, sin aumentar de forma importante el coste, se facilita el pedido, la fabricación y el montaje de los elementos estructurales.

- La industria de producción de hidrógeno que alberga la edificación promueve el respeto por el medio ambiente, disminuye la huella de carbono generada y mejora el nivel de vida de la sociedad, impulsando a las personas a la utilización de fuentes de energía menos contaminantes.

## 12 Trabajos futuros

Como futuros proyectos cuyos aspectos resultarían ser potencialmente interesantes para el estudio pero que, sin embargo; no quedan recogidos en los objetivos de estudio del presente proyecto cabe destacar los siguientes:

- Estudio de la futura ampliación de la nave industrial.
- Cálculo y diseño de un puente grúa para facilitar el movimiento de material y máquinas en la planta industrial.
- Cálculo y diseño de una planta fotovoltaica periférica a la nave para la generación de hidrógeno 100% verde.
- Cálculo y diseño de la instalación hidráulica y eléctrica del edificio industrial.
- Ejecución del cerramiento estructural de cubierta con materiales aislantes ecológicos: fibra de cáñamo, corcho natural, fibra de madera, etc.
- Implementación de un sistema de aprovechamiento del oxígeno evacuado en el proceso de electrólisis para fines sanitarios.
- Implementación de un circuito de calefacción diseñando un intercambiador de calor instalado en los compresores de la planta industrial realizando un aprovechamiento del calor generado por el motor para calentar la zona de oficinas.