



## **Anejo 4: Estudio de soluciones**

# **Proyecto básico de nave industrial para taller y oficinas en Fuenlabrada**

*Valencia, junio de 2018*

TITULACIÓN: Grado en Ingeniería de Obras  
Públicas

Curso: 2017/18

AUTOR: Francisco Alberto Hernández Pardo

TUTOR: María Carmen Castro Bugallo

ESCUELA: Escuela Técnica Superior de Ingenieros  
de Caminos, Canales y Puertos

# ÍNDICE

## **1. Introducción**

## **2. Estructura**

### **2.1. Elección material de la estructura**

### **2.2. Pórticos**

#### **2.2.1. Elección tipología pórtico**

#### **2.2.2. Elección tipología nudos**

#### **2.2.3. Elección tipología dintel**

#### **2.2.4. Dimensionamiento pórtico tipo**

### **2.3. Correas**

#### **2.3.1. Elección tipología correas**

#### **2.3.2. Dimensionamiento correas**

## **3. Cerramientos**

### **3.1. Cerramiento de cubierta**

### **3.2. Cerramiento de fachada**

### **3.3. Cerramiento cubiertas interiores**

### **3.4. Cerramiento de parcela**

## **4. Firmes y pavimentos**

### **4.1. Categoría de tráfico pesado**

### **4.2. Explanada**

### **4.3. Firme**

### **4.4. Pavimentos**

## **5. Forjado de la estructura interior. Zona de oficinas**

## **6. Carpintería y albañilería**

### **6.1. Tabiques**

### **6.2. Techos**

### **6.3. Puertas**

### **6.4. Ventanas**

## **7. Sanitarios**

## **8. Fosos**

### 1. Introducción

El presente anejo tiene como objeto estudiar las diferentes alternativas para la construcción de la nave para obtener una solución óptima tanto en seguridad, como en funcionalidad y como económica.

En los siguientes apartados estudiaremos detalladamente todas las características de los materiales que se pueden utilizar, la forma de ejecutar de la nave, los elementos estructurales para una mayor seguridad, etc. Entre todos los elementos que analicemos en estos apartados elegiremos el que más conveniente creamos para la construcción de nuestra nave.

### 2. Estructura

#### 2.1. Elección material de la estructura

En este apartado vamos a conocer las diferentes opciones que tenemos en cuanto a materiales para realizar la estructura de la nave.

##### - Estructura metálica.

La estructura metálica creemos que es una de las opciones más recomendables a utilizar debido al peso de la estructura y siendo ésta una parte muy importante en lo referente a las cargas que recibe las bases de los pilares.

El menor peso de la estructura no es debido a la menor densidad de los metales utilizados para realizar los perfiles, sino a la alta resistencia mecánica que éstos tienen frente a las secciones de hormigón.

Esta solución nos hará que la cimentación reciba menos cargas y resulte más barato realizarla que si utilizáramos las secciones de hormigón.

Otro aspecto, pero menos relevante ya que es compartido con la siguiente opción, que es el hormigón prefabricado, es la prefabricación del material y tener un control de calidad más exhaustivo y mayor velocidad en la construcción de la nave.

La siguiente característica a tener en cuenta es la homogeneidad del material gracias al control exhaustivo de calidad que hemos mencionado antes.

Otra gran ventaja que tienen las estructuras metálicas, es una sección menor frente a las estructuras de hormigón, proporcionándonos así un espacio útil mayor en la nave.

Y como hemos dicho antes, una de las opciones por las que podríamos decantarnos por este material, nos reducirá los plazos de ejecución de esta estructura. La facilidad de montaje y del transporte nos beneficia en gran medida.

##### - Hormigón prefabricado.

Estos elementos nos proporcionan una gran ventaja frente a las estructuras metálicas en cuanto a la corrosión del material. Siendo para una utilización interior y en un lugar con una corrosión inexistente no es un motivo a tener en cuenta en nuestro caso.

Una característica que hace mejor a estas estructuras es el comportamiento ignífugo. En nuestro caso nos podría favorecer tener una estructura con esta característica, pero siendo menos probable que en otros casos un incendio en el interior, ya que va destinada la nave a un centro logístico, es una característica a tener menos en cuenta que otras más importantes.

Por último, el transporte resulta más caro que las estructuras metálicas ya que ocupa mayor espacio y nos dificulta el transporte.

- **Justificación solución adoptada.**

Con las características mencionadas anteriormente de los dos tipos de estructura, elegiremos la estructura metálica para la ejecución de nuestro proyecto.

### 2.2. Pórtico

Para la elección del pórtico se deben tratar varios aspectos en cuanto a diseño y se realizará un precálculo de un pórtico de la nave.

#### 2.2.1. Elección tipología pórtico

En este apartado vamos a ver los distintos tipos de pórticos más habituales para la construcción de una nave industrial. En ella elegiremos la forma del pórtico para después elegir la tipología de los nudos.

- **Pórtico de dintel inclinado.**

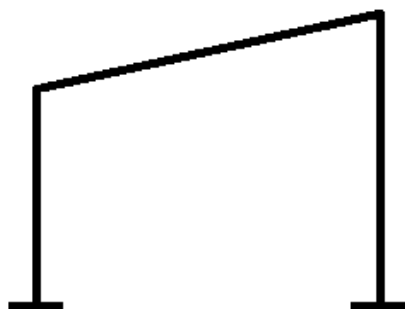
Dicho pórtico dispone de dos pilares, uno más largo que el otro, y la cubierta se inclina hacia el lado corto. Este tipo de pórtico se caracteriza por la asimetría de la nave debido a las cargas que se distribuyen por desigual en la nave.

La cubierta recoge el agua hacia el lado bajo debido a dicha inclinación por lo que la red de saneamiento se deberá dimensionar exclusivamente en dicha fachada.

Las cargas de viento producen cargas en la cubierta con un empuje mayor hacia el lado largo, mientras que las cargas horizontales serán mayores en la fachada larga debido a una mayor superficie de contacto del viento en este lado.

La cubierta al ser inclinada y no tener un nudo intermedio, se deberá dimensionar con el momento producido en el centro del vano, haciendo que el dintel sea de gran sección.

Todas las cargas que hemos comentado hacen que se produzca la asimetría que hemos comentado con anterioridad.



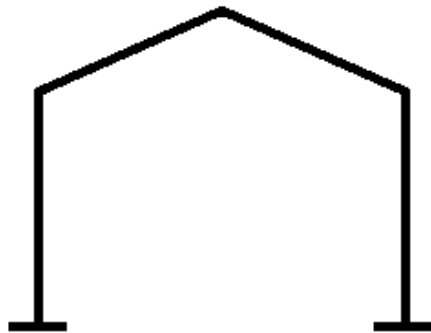
### - Pórtico a dos aguas.

Este pórtico se caracteriza, a diferencia del anterior, de una simetría de la estructura con respecto al eje central. Tendrá un nudo más que la anterior estructura, siendo este en su zona central, el cual deberemos dimensionar y producirá un aumento de material en dicha zona.

En cambio, nos favorece el tener dicho nudo intermedio, ya que se realizará un aumento exclusivamente de material en el nudo y siendo de menor sección los dos dinteles que forman la cubierta.

Las cubiertas recogen el agua por igual hacia ambos lados, dimensionando la red vertical de saneamiento con menores secciones que en el caso del pórtico anterior. Esto desfavorece con respecto a la solución anterior ya que tendremos que realizar la construcción a ambos lados de la nave haciendo que exista un aumento del tiempo de montaje y del coste del mismo

Las cargas de viento generarán la misma fuerza en ambos lados debido a la misma superficie que hay debido a la simetría que tenemos de la nave.



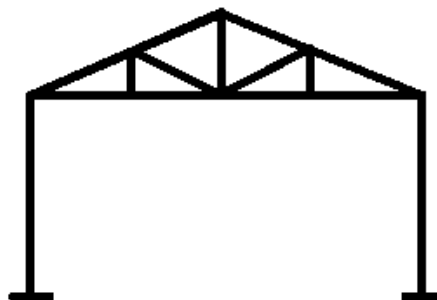
### - Pórtico en celosía.

Los pórticos en celosía vienen bien a la hora de salvar grandes luces sin tener apoyos intermedios. Esto también sirve para que los dinteles sean de menor sección y no debamos acartelar los nudos. Se resuelven con un aumento de los perfiles a utilizar.

En cuanto a la recogida de aguas es la misma solución que el pórtico a dos aguas, ya que la cubierta es semejante a dicho pórtico.

Al igual que el sistema de recogida de agua, pasa igual con las cargas de vientos que se generan, son iguales al pórtico a dos aguas.

Estos pórticos exteriormente son semejantes a los anteriores, se diferencian solo interiormente.



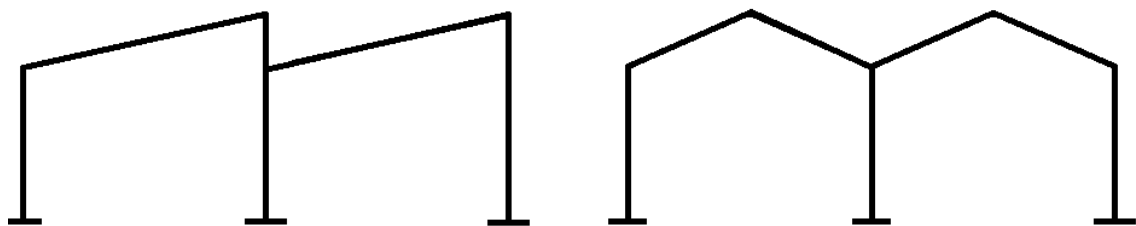
### - Pórtico de dos vanos.

Este tipo de pórtico es la unión de dos pórticos anteriores. Podemos tomar la opción de escoger dos pórticos con el dintel inclinado o escoger dos pórticos a dos aguas.

Estas opciones se suelen escoger cuando la luz entre pilares es muy elevada o cuando teniendo una luz intermedia no es necesario tener una luz libre entre los pilares, pudiendo así reducir las secciones de los pilares y los dinteles de cubierta.

La dificultad del dimensionamiento de estas estructuras radica en el nudo intermedio debido a las solicitaciones que debe soportar dicho nudo.

Las cubiertas deben recoger el agua hacia el centro y los exteriores, debiendo dimensionar tres redes de saneamiento en estos casos. Siendo este caso el más desfavorable de los tres.



### - Justificación solución adoptada.

Todas las soluciones son viables de construir, pero la solución por la que se opta es el pórtico de un solo vano a dos aguas.

La solución del pórtico de dos vanos se ha desechado ya que es necesario tener una luz libre en la nave. Además, las luces a salvar son de 25 metros, por lo que se cree que es mejor una de las dos opciones de vano simple.

Con respecto a la elección de vanos simple se toma la decisión de optar por la solución del pórtico a dos aguas debido a dos motivos. El primero de ellos se debe a la asimetría que se ha comentado con anterioridad, prefiriendo la simetría del pórtico a dos aguas y el pórtico en celosía, produciendo que tanto la cimentación como la estructura sea igual en ambas alineaciones. La segunda se debe a los perfiles a utilizar en el dintel, siendo de menor sección en el caso de los perfiles que conforman los dinteles de del pórtico a dos aguas y del pórtico en celosía.

Para la elección entre los pórticos a dos aguas simple y en celosía se ha optado por la opción de pórtico simple por ahorro de material. En el pórtico en celosía se reduce las secciones de los dinteles, pero se produce un aumento de todo el material bajo cubierta que forma el dintel completo.

### 2.2.2. Elección tipología nudos

En este apartado elegiremos que tipo es más conveniente para nuestra estructura. Optaremos por tener mayor material en la estructura o mayor material en nuestra cimentación dependiendo la elección.

### - **Pórtico biarticulado.**

El pórtico biarticulado tiene como ventajas ser una solución de estructura isostática, esto hace que su cálculo sea más sencillo y más fácil detectar errores en el proceso. Otro aspecto a tener en cuenta con este tipo de pórtico es que al no ir empotrado las deformaciones en el terreno y los asientos no repercuten a la estructura.

Al igual que no se producen deformaciones en el terreno, esto nos favorece en una cimentación menor, haciendo que ahorremos en cantidad de hormigón en la cimentación.

El inconveniente de esta estructura es que, lo que ganamos en hormigón en la cimentación, lo perdemos en acero en la estructura. Las dimensiones de los dinteles aumentan y las cartelas deben ser mayores para resistir las flexiones producidas en la unión de dintel-pilar.

### - **Pórtico biempotrado.**

Las ventajas e inconvenientes de esta estructura son justo al contrario que las comentadas para los pórticos biarticulados.

Es más difícil de calcular, ya que estamos ante una estructura hiperestática y es más compleja de encontrar los posibles errores.

En este caso las solicitaciones y deformaciones que se producen en la estructura son menores y hace que la cantidad de acero necesaria sea menor que en las biarticuladas.

En contra, las solicitaciones producidas en la cimentación aumentan, haciendo que la cantidad de hormigón para realizar estas estructuras aumente y la conexión de la estructura con la cimentación sea más difícil de resolver.

### - **Justificación solución adoptada.**

Para los dos tipos de pórticos que tenemos y aumentando el hormigón en un caso, y el acero en el otro, resulta mucho más económico en nuestro caso resolver el pórtico mediante la solución de pórtico biempotrado.

### **2.2.3. Elección tipología dintel.**

La elección de este elemento es fundamental para:

- El tipo de conexión con los pilares.
- El espacio bajo cubierta.
- Los kg de acero.
- El tipo de maquinaria para elevar los dinteles.

Teniendo presentes estas características, analizaremos los siguientes materiales:

### - **Perfiles laminados de sección constante.**

Este tipo de estructura es conveniente para luces pequeñas, inferiores a unos 18 metros aproximadamente. Una de las ventajas más importantes es la reducción del número de soldaduras con respecto a otras estructuras. Al tener luces tan pequeñas estas soldaduras se pueden realizar en taller y posteriormente transportarlas, favoreciendo esto al coste final de la obra. Además, al realizarlas en taller estas soldaduras favorece a la seguridad de ejecución debido a tener un control de calidad más preciso.

Un inconveniente de este tipo es el mayor peso de los perfiles al tener alma llena, repercutiendo en los costes.

Con esta solución deberíamos optar por realizar cuatro pilares debido a los 45 metros de luz que tenemos en la nave, dificultando la movilidad dentro de la misma y perjudicando en espacio.

Otro inconveniente es que si las flexiones producidas en la unión pilar-dintel son elevadas necesitaríamos una sección de dintel mayor lo que nos repercutiría en el coste de la obra, y favoreciendo otras soluciones.

### - **Perfiles laminados con cartelas.**

Esta solución es intermedia entre las soluciones de canto constante y las de canto variable. Esta solución nos serviría para luces algo mayores de aproximadamente unos 35 metros.

Las ventajas de esta solución son las mismas que las ofrecidas por los perfiles laminados constantes. La diferencia a favor de esta solución con respecto a los perfiles laminados de sección constante es la unión del pilar con el dintel en caso de una flexión elevada, dando mayor sección en ese punto para resistir la flexión y de canto menor a lo largo de la viga.

El inconveniente de esta solución con respecto a la solución anterior es el aumento de uniones al tener más elementos que conectar, en este caso las cartelas.

En nuestro caso al superar luces de mayor longitud sería aconsejable ya que reducimos el número de apoyos, siendo en este caso tres apoyos los necesarios.

### - **Vigas de canto variable.**

Esta tipología es adecuada para grandes luces, siendo esta mayores a 35 metros.

Las ventajas son muy similares a las anteriores. Los inconvenientes de estas es el mayor coste de fabricación, ya que estos no son perfiles convencionales y aumentará el coste por las soldaduras, los procesos de corte, los empalmes, etc.

A favor de esta solución cabe destacar el menor número de pilares en la nave, reduciéndose a 2 pilares y favoreciendo el espacio dentro de la nave.

### - **Justificación solución adoptada.**

Teniendo en cuenta las características de cada una, optaremos por realizar el dintel mediante perfiles laminados con cartelas. Esto nos hace que tengamos dos pilares con una luz de 25 metros entre ellos.

## **2.2.4. Dimensionamiento pórtico tipo**

Se realiza un predimensionamiento de los pórticos tipo para el posterior diseño de la viga completa teniendo una noción de los resultados que nos deben dar cuando diseñemos la nave completa.

### - **Nudos**

Referencias:

$\Delta_x$ ,  $\Delta_y$ ,  $\Delta_z$ : Desplazamientos prescritos en ejes globales.



## Anejo 4: Estudio de soluciones

$\theta_x, \theta_y, \theta_z$ : Giros prescritos en ejes globales.

Cada grado de libertad se marca con 'X' si está coaccionado y, en caso contrario, con '-'.

| Nudos      |             |        |        |                      |            |            |            |            |            |                      |
|------------|-------------|--------|--------|----------------------|------------|------------|------------|------------|------------|----------------------|
| Referencia | Coordenadas |        |        | Vinculación exterior |            |            |            |            |            | Vinculación interior |
|            | X (m)       | Y (m)  | Z (m)  | $\Delta_x$           | $\Delta_y$ | $\Delta_z$ | $\theta_x$ | $\theta_y$ | $\theta_z$ |                      |
| N1         | 0.000       | 0.000  | 0.000  | X                    | X          | X          | X          | X          | X          | Empotrado            |
| N2         | 0.000       | 0.000  | 8.000  | -                    | -          | -          | -          | -          | -          | Empotrado            |
| N3         | 0.000       | 25.000 | 0.000  | X                    | X          | X          | X          | X          | X          | Empotrado            |
| N4         | 0.000       | 25.000 | 8.000  | -                    | -          | -          | -          | -          | -          | Empotrado            |
| N5         | 0.000       | 12.500 | 10.000 | -                    | -          | -          | -          | -          | -          | Empotrado            |

- Barras

| Materiales utilizados   |             |           |       |          |             |                    |                  |
|---|-------------|-----------|-------|----------|-------------|--------------------|------------------|
| Material  |             | E (MPa)   | $\nu$ | G (MPa)  | $f_y$ (MPa) | $\alpha_t$ (m/m°C) | $\gamma$ (kN/m³) |
| Tipo  | Designación |           |       |          |             |                    |                  |
| Acero laminado  | S275        | 210000.00 | 0.300 | 81000.00 | 275.00      | 0.000012           | 77.01            |
| Notación:<br><i>E</i> : Módulo de elasticidad<br><i><math>\nu</math></i> : Módulo de Poisson<br><i>G</i> : Módulo de cortadura<br><i><math>f_y</math></i> : Límite elástico<br><i><math>\alpha_t</math></i> : Coeficiente de dilatación<br><i><math>\gamma</math></i> : Peso específico |             |           |       |          |             |                    |                  |

-Descripción.

| Descripción   |             |                      |                      |                   |                     |            |                      |              |              |                          |                           |
|---|-------------|----------------------|----------------------|-------------------|---------------------|------------|----------------------|--------------|--------------|--------------------------|---------------------------|
| Material  |             | Barra<br>(Ni/Nf<br>) | Pieza<br>(Ni/Nf<br>) | Perfil(Seri<br>e) | Longitud<br>(m)     |            |                      | $\beta_{xy}$ | $\beta_{xz}$ | Lb <sup>Sup</sup><br>(m) | Lb <sup>Inf.</sup><br>(m) |
| Tipo  | Designación |                      |                      |                   | Indeformable origen | Deformable | Indeformable extremo |              |              |                          |                           |
| Acero laminado  | S275        | N1/N2                | N1/N2                | HE 240 B (HEB)    | -                   | 7.567      | 0.433                | 0.00         | 0.70         | -                        | -                         |
|   |             | N3/N4                | N3/N4                | HE 240 B (HEB)    | -                   | 7.567      | 0.433                | 0.00         | 0.70         | -                        | -                         |
|   |             | N2/N5                | N2/N5                | IPE 300 (IPE)     | 0.122               | 12.537     | -                    | 0.09         | 0.99         | 1.100                    | 2.200                     |
|   |             | N4/N5                | N4/N5                | IPE 300 (IPE)     | 0.122               | 12.537     | -                    | 0.09         | 0.99         | 1.100                    | 2.200                     |
| Notación:<br>Ni: Nudo inicial<br>Nf: Nudo final<br>$\beta_{xy}$ : Coeficiente de pandeo en el plano 'XY'<br>$\beta_{xz}$ : Coeficiente de pandeo en el plano 'XZ'<br>Lb <sup>Sup.</sup> : Separación entre arriostramientos del ala superior<br>Lb <sup>Inf.</sup> : Separación entre arriostramientos del ala inferior |             |                      |                      |                   |                     |            |                      |              |              |                          |                           |

- Características mecánicas

| Características mecánicas   |             |      |  |            |              |              |              |              |             |
|---|-------------|------|--|------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|
| Material  |             | Ref. | Descripción  | A<br>(cm²) | Avy<br>(cm²) | Avz<br>(cm²) | Iyy<br>(cm4) | Izz<br>(cm4) | It<br>(cm4) |
| Tipo  | Designación |      |  |            |              |              |              |              |             |
| Acero laminado  | S275        | 1    | HE 240 B, (HEB)  | 106.00     | 61.20        | 18.54        | 11260.00     | 3923.00      | 102.70      |
|   |             | 2    | IPE 300, Simple con cartelas, (IPE)<br>Cartela inicial inferior: 2.50 m. Cartela final inferior: 1.00 m. | 53.80      | 24.07        | 17.80        | 8356.00      | 604.00       | 20.10       |
| Notación:<br>Ref.: Referencia<br>A: Área de la sección transversal<br>Avy: Área de cortante de la sección según el eje local 'Y'<br>Avz: Área de cortante de la sección según el eje local 'Z'<br>Iyy: Inercia de la sección alrededor del eje local 'Y'<br>Izz: Inercia de la sección alrededor del eje local 'Z'<br>It: Inercia a torsión<br>Las características mecánicas de las piezas corresponden a la sección en el punto medio de las mismas. |             |      |  |            |              |              |              |              |             |

- Comprobaciones E.L.U. (Resumido)

| Barras   | COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)                  |   |                            |                            |                             |  |                             |  |              |                     |                             |                     |  |                     |                     | Estado                  |
|--|---|---|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|--|-----------------------------|--|--------------|---------------------|-----------------------------|---------------------|--|---------------------|---------------------|-------------------------|
|  | $\bar{\lambda}$                               | $\lambda_{wv}$  | $N_t$                      | $N_c$                      | $M_y$                       | $M_z$                                  | $V_z$                       | $V_y$                                  | $M_y V_z$    | $M_z V_y$           | $N M_y M_z$                 | $N M_y M_z V_y V_z$ | $M_t$                                  | $M_t V_z$           | $M_t V_y$           |                         |
| N1/N2  | $\bar{\lambda} < 2.0$<br>Cumple               | $\lambda_{wv} \leq \lambda_{wv, \max}$<br>Cumple                | x: 7.565 m<br>$\eta = 1.1$ | x: 0 m<br>$\eta = 3.7$     | x: 7.567 m<br>$\eta = 87.7$ | $M_{Ed} = 0.00$<br>N.P. <sup>(1)</sup> | x: 0 m<br>$\eta = 12.5$     | $V_{Ed} = 0.00$<br>N.P. <sup>(2)</sup> | $\eta < 0.1$ | N.P. <sup>(3)</sup> | x: 7.567 m<br>$\eta = 92.2$ | $\eta < 0.1$        | $M_{Ed} = 0.00$<br>N.P. <sup>(4)</sup> | N.P. <sup>(5)</sup> | N.P. <sup>(5)</sup> | CUMPLE<br>$\eta = 92.2$ |
| N3/N4  | $\bar{\lambda} < 2.0$<br>Cumple               | $\lambda_{wv} \leq \lambda_{wv, \max}$<br>Cumple                | x: 7.565 m<br>$\eta = 1.1$ | x: 0 m<br>$\eta = 3.7$     | x: 7.567 m<br>$\eta = 87.7$ | $M_{Ed} = 0.00$<br>N.P. <sup>(1)</sup> | x: 0 m<br>$\eta = 12.5$     | $V_{Ed} = 0.00$<br>N.P. <sup>(2)</sup> | $\eta < 0.1$ | N.P. <sup>(3)</sup> | x: 7.567 m<br>$\eta = 92.2$ | $\eta < 0.1$        | $M_{Ed} = 0.00$<br>N.P. <sup>(4)</sup> | N.P. <sup>(5)</sup> | N.P. <sup>(5)</sup> | CUMPLE<br>$\eta = 92.2$ |
| N2/N5  | x: 2.621 m<br>$\bar{\lambda} < 2.0$<br>Cumple | x: 12.472 m<br>$\lambda_{wv} \leq \lambda_{wv, \max}$<br>Cumple | x: 11.66 m<br>$\eta = 2.3$ | x: 2.621 m<br>$\eta = 8.0$ | x: 0.122 m<br>$\eta = 88.4$ | $M_{Ed} = 0.00$<br>N.P. <sup>(1)</sup> | x: 2.466 m<br>$\eta = 13.4$ | $V_{Ed} = 0.00$<br>N.P. <sup>(2)</sup> | $\eta < 0.1$ | N.P. <sup>(3)</sup> | x: 2.623 m<br>$\eta = 93.8$ | $\eta < 0.1$        | $M_{Ed} = 0.00$<br>N.P. <sup>(4)</sup> | N.P. <sup>(5)</sup> | N.P. <sup>(5)</sup> | CUMPLE<br>$\eta = 93.8$ |
| N4/N5  | x: 2.621 m<br>$\bar{\lambda} < 2.0$<br>Cumple | x: 12.472 m<br>$\lambda_{wv} \leq \lambda_{wv, \max}$<br>Cumple | x: 11.66 m<br>$\eta = 2.3$ | x: 2.621 m<br>$\eta = 8.0$ | x: 0.122 m<br>$\eta = 88.4$ | $M_{Ed} = 0.00$<br>N.P. <sup>(1)</sup> | x: 2.466 m<br>$\eta = 13.4$ | $V_{Ed} = 0.00$<br>N.P. <sup>(2)</sup> | $\eta < 0.1$ | N.P. <sup>(3)</sup> | x: 2.623 m<br>$\eta = 93.8$ | $\eta < 0.1$        | $M_{Ed} = 0.00$<br>N.P. <sup>(4)</sup> | N.P. <sup>(5)</sup> | N.P. <sup>(5)</sup> | CUMPLE<br>$\eta = 93.8$ |
| Notación:<br>$\bar{\lambda}$ : Limitación de esbeltez<br>$\lambda_{wv}$ : Abolladura del alma inducida por el ala comprimida<br>$N_t$ : Resistencia a tracción<br>$N_c$ : Resistencia a compresión<br>$M_y$ : Resistencia a flexión eje Y<br>$M_z$ : Resistencia a flexión eje Z<br>$V_z$ : Resistencia a corte Z<br>$V_y$ : Resistencia a corte Y<br>$M_y V_z$ : Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados<br>$M_z V_y$ : Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados<br>$N M_y M_z$ : Resistencia a flexión y axil combinados<br>$N M_y M_z V_y V_z$ : Resistencia a flexión, axil y cortante combinados<br>$M_t$ : Resistencia a torsión<br>$M_t V_z$ : Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados<br>$M_t V_y$ : Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados<br>x: Distancia al origen de la barra<br>$\eta$ : Coeficiente de aprovechamiento (%)<br>N.P.: No procede |   |   |                            |                            |                             |  |                             |  |              |                     |                             |                     |  |                     |                     |                         |
| Comprobaciones que no proceden (N.P.):<br><sup>(1)</sup> La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.<br><sup>(2)</sup> La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.<br><sup>(3)</sup> No hay interacción entre momento flector y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.<br><sup>(4)</sup> La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.<br><sup>(5)</sup> No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.  |   |   |                            |                            |                             |  |                             |  |              |                     |                             |                     |  |                     |                     |                         |

## 2.3. Correas.

Disponemos de diferentes correas en el mercado en función de la distancia que tenemos entre cada pórtico. La correcta elección de estas reducirá en el peso final que transmitirá a los pórticos.

### 2.3.1. Elección tipología correas.

#### - Correas laminadas en caliente.

Estas correas, perfiles IPE, con secciones de entre 100 mm hasta 240 mm para correas, nos sirven para salvar luces de entre 5 y 10 metros.

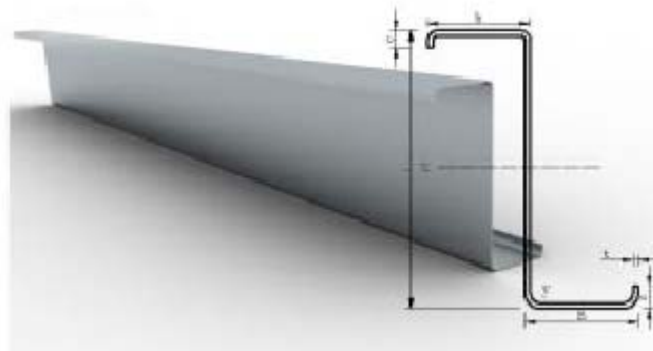
#### - Correas laminadas en frío.

Estas correas tienen dos tipos de secciones principales, en C o en Z. Con estas correas podemos conseguir que las luces aumenten hasta 12 o 15 metros, permitiendo reducir el número de pórticos.

#### - Justificación solución adoptada.

Basando nuestra elección en este aspecto únicamente en el número de pórticos a realizar, escogeremos las correas del tipo Z un espaciado de pórticos de aproximadamente 5 metros.

Tras la realización del cálculo, definiremos la separación entre las mismas.



### 2.3.2. Dimensionamiento correas.

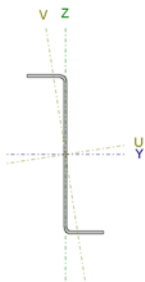
Se realiza un dimensionamiento de las correas que se utilizan en la nave antes del cálculo de la misma sabiendo la separación entre pórticos.

Comprobación de resistencia

| Comprobación de resistencia   |
|---|
| El perfil seleccionado cumple todas las comprobaciones.<br>Aprovechamiento: 69.65 % |

## Anejo 4: Estudio de soluciones

Barra pésima en cubierta

| Perfil: Z 140x35x3.2<br>Material: S235   |   |                      |              |                           |  |  |   |  |                           |
|--|---|----------------------|--------------|---------------------------|--|--|---|--|---------------------------|
|   | Nudos   |                      | Longitud (m) | Características mecánicas |  |  |   |  |                           |
|  | Inicial   | Final                |              | Área (cm <sup>2</sup> )   | I <sub>y</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> ) | I <sub>z</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> ) | I <sub>yz</sub> <sup>(3)</sup> (cm <sup>4</sup> ) | I <sub>t</sub> <sup>(2)</sup> (cm <sup>4</sup> ) | α <sup>(4)</sup> (grados) |
|  | 0.543, 75.000, 8.087  | 0.543, 70.000, 8.087 | 5.000        | 6.38                      | 161.81   | 7.95   | -24.49  | 0.22   | 8.8                       |
|  | <b>Notas:</b><br>(1) Inercia respecto al eje indicado<br>(2) Momento de inercia a torsión uniforme<br>(3) Producto de inercia<br>(4) Es el ángulo que forma el eje principal de inercia U respecto al eje Y, positivo en sentido antihorario. |                      |              |                           |  |  |   |  |                           |
|  | Pandeo  |                      |              | Pandeo lateral            |  |  |   |  |                           |
|  |   | Plano XY             | Plano XZ     | Ala sup.                  |  | Ala inf.   |   |  |                           |
| β  | 0.00  | 1.00                 | 0.00         |                           | 0.00   |  |   |  |                           |
| L <sub>k</sub>   | 0.000   | 5.000                | 0.000        |                           | 0.000  |  |   |  |                           |
| C <sub>1</sub>   | -   |                      |              | 1.000                     |  |  |   |  |                           |
| <b>Notación:</b><br>β: Coeficiente de pandeo<br>L <sub>k</sub> : Longitud de pandeo (m)<br>C <sub>1</sub> : Factor de modificación para el momento crítico |   |                      |              |                           |  |  |   |  |                           |

| Barra  | COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)              |                     |                     |                     |                    |                     |                               |                     |                   |  |  |  |   | Estado             |
|--|---|---------------------|---------------------|---------------------|--------------------|---------------------|-------------------------------|---------------------|-------------------|--|--|--|---|--------------------|
|  | b / t                                     | $\bar{\lambda}$     | N <sub>t</sub>      | N <sub>c</sub>      | M <sub>y</sub>     | M <sub>z</sub>      | M <sub>y</sub> M <sub>z</sub> | V <sub>y</sub>      | V <sub>z</sub>    | N <sub>t</sub> M <sub>y</sub> M <sub>z</sub> | N <sub>c</sub> M <sub>y</sub> M <sub>z</sub> | NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> V <sub>z</sub> | M <sub>t</sub> NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> V <sub>z</sub> |                    |
| pésima en cubierta   | b / t ≤ (b / t) <sub>Máx.</sub><br>Cumple | N.P. <sup>(1)</sup> | N.P. <sup>(2)</sup> | N.P. <sup>(3)</sup> | x: 0 m<br>η = 69.7 | N.P. <sup>(4)</sup> | N.P. <sup>(5)</sup>           | N.P. <sup>(6)</sup> | x: 0 m<br>η = 5.5 | N.P. <sup>(7)</sup>                          | N.P. <sup>(8)</sup>                          | N.P. <sup>(9)</sup>  | N.P. <sup>(10)</sup>  | CUMPLE<br>η = 69.7 |
| Notación:<br>b / t: Relación anchura / espesor<br>$\bar{\lambda}$ : Limitación de esbeltez<br>N <sub>t</sub> : Resistencia a tracción<br>N <sub>c</sub> : Resistencia a compresión<br>M <sub>y</sub> : Resistencia a flexión. Eje Y<br>M <sub>z</sub> : Resistencia a flexión. Eje Z<br>M <sub>y</sub> M <sub>z</sub> : Resistencia a flexión biaxial<br>V <sub>y</sub> : Resistencia a corte Y<br>V <sub>z</sub> : Resistencia a corte Z<br>N <sub>t</sub> M <sub>y</sub> M <sub>z</sub> : Resistencia a tracción y flexión<br>N <sub>c</sub> M <sub>y</sub> M <sub>z</sub> : Resistencia a compresión y flexión<br>NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> V <sub>z</sub> : Resistencia a cortante, axil y flexión<br>M <sub>t</sub> NM <sub>y</sub> M <sub>z</sub> V <sub>y</sub> V <sub>z</sub> : Resistencia a torsión combinada con axil, flexión y cortante<br>x: Distancia al origen de la barra<br>η: Coeficiente de aprovechamiento (%)<br>N.P.: No procede  |   |                     |                     |                     |                    |                     |                               |                     |                   |  |  |  |   |                    |
| Comprobaciones que no proceden (N.P.):<br><sup>(1)</sup> La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión ni de tracción.<br><sup>(2)</sup> La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción.<br><sup>(3)</sup> La comprobación no procede, ya que no hay axil de compresión.<br><sup>(4)</sup> La comprobación no procede, ya que no hay momento flector.<br><sup>(5)</sup> La comprobación no procede, ya que no hay flexión biaxial para ninguna combinación.<br><sup>(6)</sup> La comprobación no procede, ya que no hay esfuerzo cortante.<br><sup>(7)</sup> No hay interacción entre axil de tracción y momento flector para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.<br><sup>(8)</sup> No hay interacción entre axil de compresión y momento flector para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.<br><sup>(9)</sup> No hay interacción entre momento flector, axil y cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.<br><sup>(10)</sup> La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor. |   |                     |                     |                     |                    |                     |                               |                     |                   |  |  |  |   |                    |

**Relación anchura / espesor** (CTE DB SE-A, Tabla 5.5 y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 5.2)

Se debe satisfacer:

$$h/t \leq 90$$

$$h / t : \underline{39.8} \quad \checkmark$$

$$b_1/t \leq 30$$

$$b_1 / t : \underline{8.9} \quad \checkmark$$

$$b_2/t \leq 30$$

$$b_2 / t : \underline{8.9} \quad \checkmark$$

Donde:

|   |  |
|---|--|
| <b>h:</b> Altura del alma.                    | <b>h :</b> <u>127.20</u> mm            |
| <b>b<sub>1</sub>:</b> Ancho del ala superior. | <b>b<sub>1</sub> :</b> <u>28.60</u> mm |
| <b>b<sub>2</sub>:</b> Ancho del ala inferior. | <b>b<sub>2</sub> :</b> <u>28.60</u> mm |
| <b>t:</b> Espesor.                            | <b>t :</b> <u>3.20</u> mm              |

Nota: Las dimensiones no incluyen el acuerdo entre elementos.

**Resistencia a flexión. Eje Y** (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.4.1)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1 \qquad \eta : \underline{0.697} \quad \checkmark$$

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo 0.543, 75.000, 8.087, para la combinación de acciones 0.80\*G1 + 0.80\*G2 + 1.50\*V(0°) H1.

**M<sub>y,Ed</sub>:** Momento flector solicitante de cálculo pésimo. **M<sub>y,Ed</sub><sup>+</sup> :** 3.60 kN·m

Para flexión negativa:

**M<sub>y,Ed</sub>:** Momento flector solicitante de cálculo pésimo. **M<sub>y,Ed</sub><sup>-</sup> :** 0.00 kN·m

La resistencia de cálculo a flexión **M<sub>c,Rd</sub>** viene dada por:

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{el} \cdot f_{yb}}{\gamma_{M0}} \qquad M_{c,Rd} : \underline{5.17} \text{ kN·m}$$

Donde:

|  |  |
|--|--|
| <b>W<sub>el</sub>:</b> Módulo resistente elástico correspondiente a la fibra de mayor tensión. | <b>W<sub>el</sub> :</b> <u>23.12</u> cm <sup>3</sup> |
| <b>f<sub>yb</sub>:</b> Límite elástico del material base. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)             | <b>f<sub>yb</sub> :</b> <u>235.00</u> MPa            |
| <b>γ<sub>M0</sub>:</b> Coeficiente parcial de seguridad del material.                          | <b>γ<sub>M0</sub> :</b> <u>1.05</u>                  |

**Resistencia a corte Z** (CTE DB SE-A y Eurocódigo 3 EN 1993-1-3: 2006, Artículo 6.1.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{Ed}}{V_{b,Rd}} \leq 1 \qquad \eta : \underline{0.055} \quad \checkmark$$

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo 0.543, 75.000, 8.087, para la combinación de acciones 0.80\*G1 + 0.80\*G2 + 1.50\*V(0°) H1.

**V<sub>Ed</sub>:** Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. **V<sub>Ed</sub> :** 3.08 kN

El esfuerzo cortante resistente de cálculo **V<sub>b,Rd</sub>** viene dado por:

**V<sub>b,Rd</sub> :** 55.66 kN

$$V_{b,Rd} = \frac{\frac{h_w}{\sin \phi} \cdot t \cdot f_{bv}}{\gamma_{MO}}$$

Donde:

**h<sub>w</sub>**: Altura del alma.

**t**: Espesor.

**φ**: Ángulo que forma el alma con la horizontal.

**f<sub>bv</sub>**: Resistencia a cortante, teniendo en cuenta el pandeo.

**h<sub>w</sub>** : 133.99 mm

**t** : 3.20 mm

**φ** : 90.0 grados

$$\bar{\lambda}_w \leq 0.83 \rightarrow f_{bv} = 0.58 \cdot f_{yb}$$

**f<sub>bv</sub>** : 136.30 MPa

Siendo:

**λ<sub>w</sub>**: Esbeltez relativa del alma.

$$\bar{\lambda}_w = 0.346 \cdot \frac{h_w}{t} \cdot \sqrt{\frac{f_{yb}}{E}}$$

**λ<sub>w</sub>** : 0.48

Donde:

**f<sub>yb</sub>**: Límite elástico del material base. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

**E**: Módulo de elasticidad.

**γ<sub>MO</sub>**: Coeficiente parcial de seguridad del material.

**f<sub>yb</sub>** : 235.00 MPa

**E** : 210000.00 MPa

**γ<sub>MO</sub>** : 1.05

-Comprobación de la flecha

| Comprobación de flecha                                  |
|---|
| El perfil seleccionado cumple todas las comprobaciones. |
| Porcentajes de aprovechamiento:                         |
| - Flecha: 94.47 %                                       |

Coordenadas del nudo inicial: 0.543, 80.000, 8.087

Coordenadas del nudo final: 0.543, 75.000, 8.087

El aprovechamiento pésimo se produce para la combinación de hipótesis 1.00\*G1 + 1.00\*G2 + 1.00\*Q + 1.00\*N(EI) + 1.00\*V(0°) H2 a una distancia 2.500 m del origen en el primer vano de la correa.

(I<sub>y</sub> = 162 cm<sup>4</sup>) (I<sub>z</sub> = 8 cm<sup>4</sup>)

### 3. Cerramientos.

En este apartado vamos a analizar las soluciones constructivas tanto para fachadas como para cubiertas, y así poder elegir la más idónea para nuestro proyecto.

Tendremos más cuidado en cuanto a la elección de los cerramientos de cubierta debido a que el peso de los mismo tendrá repercusión en las estructuras. A mayor peso de estos, las dimensiones de la estructura aumentarán, perjudicando el precio final de la obra.

### 3.1. Cerramiento de cubierta.

A día de hoy tenemos gran variedad de materiales que poseen las características necesarias que buscamos para una cubierta. En ciertas ocasiones se llegan a utilizar dos de estos materiales para encontrar los requisitos necesarios.

Las características que buscamos en estos materiales son impermeabilidad, aislamiento térmico, iluminación natural, acondicionamiento acústico y durabilidad. Como bien hemos dicho antes a veces recurrimos a distintos materiales para poder encontrar todos estos requisitos y en otras ocasiones el mercado nos ofrece todo lo necesario en una única solución.

#### - Cubierta simple.

Este tipo de cubierta es la más sencilla de todas. Los paneles son apoyados en las correas de la cubierta y se fijan con tornillos y arandelas de estanqueidad. Son más utilizados en edificaciones en las que no son tan necesarios el aislamiento acústico y térmico.

La solución más utilizada es la chapa perfilada, de acero o aluminio consistente en un perfil de forma grecada. Estas chapas de acero necesitan un recubrimiento de zinc para evitar la corrosión superficial.

En algunas ocasiones, y debido a que estos recubrimientos perduran con el tiempo, se les da un tratamiento con pinturas plásticas para que tengan una mayor duración. Este acabado también sirve de manera estética.



Existen en el mercado distintos perfiles de chapa que se fabrican en diferentes anchos con longitudes máximas de 12 metros. También podemos encontrar distintos tipos de grosor de hasta 2 mm.

El peso de estas chapas es reducido, encontrando chapas desde 5 a 13 kp/m<sup>2</sup>, encontrando en el mercado algunos más pesados.

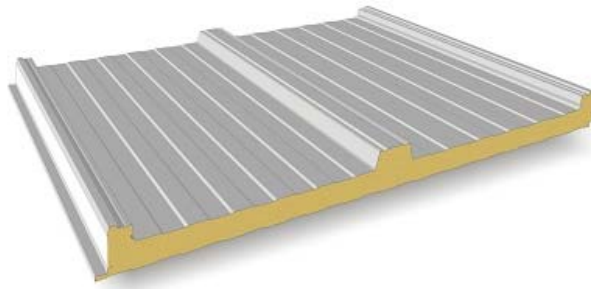
#### - Cubierta con aislamiento visto.

Es una solución en la que decidamos utilizar cubierta simple, pero necesitando aislamiento térmico. A la cubierta simple se le añade en su parte inferior dicho aislamiento.

El aislamiento se puede colocar con perfilería auxiliar creando una cámara de aire con la chapa o directamente situada junto con la chapa.

#### - Cubierta Sándwich.

La solución que aporta este tipo de cubierta es más compleja que las anteriores ofreciéndonos unas prestaciones más elevadas. Existen dos tipos de cubiertas, las in situ y las prefabricadas, centrándonos en estas últimas para comentar sus características.



Estos paneles prefabricados están constituidos por dos chapas perfiladas de acero galvanizado o prelacado con un espesor de 0,5 a 1 mm, y entre las dos chapas situado un aislante térmico, de espuma de poliuretano expandido.

Estos paneles trabajan bien a flexión y son de rápido montaje. Se fabrican con anchuras de 0,9 a 1,2 metros y longitudes de hasta 12 metros. Dependiendo del aislante térmico necesario, se utiliza un menor o mayor espesor, estando comprendido entre 3 y 20 centímetros.

Su peso varía entre 10 y 15 kp/m<sup>2</sup>, salvando luces de 2 a 5 metros, en función de las cargas que vaya a soportar la cubierta.

- **Justificación solución adoptada.**

La elección para nuestra cubierta será la cubierta sandwich prefabricada debido a su rápida instalación.

### **Elementos complementarios.**

Para el montaje de las cubiertas es necesario distintos elementos que acompañan a cada tipo de perfil.

- **Medios de anclaje.**

Los elementos más utilizados para unir los distintos tipos de cubierta con las correas con los tornillos. Como acompañante a estos tornillos y así evitar filtraciones por los agujeros donde va a ir situados, se colocan arandelas de neopreno para asegurar la estanqueidad.

El atornillado se realiza a través de los valles de la chapa para así evitar el abollado de la chapa si se atornillará en la cresta.

- **Canalones.**

Son necesarios disponer de canalones para evacuar las aguas pluviales. Es un acompañamiento a cualquier tipo de cubierta, no importando cual elegir.

### **3.2. Cerramiento de fachada.**

El cerramiento vertical, fachadas, en naves industriales se suele resolver mediante chapa perfilada, paneles de hormigón o bloque de hormigón.

Todos los casos disponen de diferentes acabados y colores, que nos permiten ser creativos con el diseño de nuestra nave.



### - **Chapa perfilada.**

En este tipo de cerramiento se emplean las mismas soluciones que hemos comentado para las cubiertas.

La diferencia de las chapas entre cubiertas y fachadas, es una menor exigencia de cargas de las segundas con respecto a las primeras. Es habitual recurrir a perfiles con una configuración más plana, ya que no existen los mismos condicionantes de estanqueidad.

La chapa perfilada se coloca normalmente en posición vertical.

### - **Paneles de hormigón.**

Hoy en día hay gran variedad de paneles de hormigón en el mercado. Las características de estos elementos varían con respecto al material (hormigón armado, pretensado), constitución (alveolares, macizos, sándwich). Estos son los tipos:

#### Paneles alveolados.

Son los más básicos. Tienen agujeros en la sección transversales de forma que aligeran el peso propio. Tienen un peso de entre 200 y 400 Kp/m<sup>2</sup>. Se fabrican con hormigón armado o pretensado variando el ancho entre 0.95 y 3 metros. El espesor de los mismos es de entre 12 y 25 cm y si la longitud varía entre 7,5 y 13 metros.

Estos paneles tienen un buen aislante acústico. En determinados casos los fabricantes incorporan una capa de aislante térmico en una cara.

La colocación de estos paneles se efectúa de manera horizontal mediante anclajes preinstalados o simplemente entre las alas de los perfiles.

#### Paneles sándwich.

Estos paneles están formados por una capa de hormigón, un aislante (poliestireno extruido) y otra capa de hormigón. Las dos capas están conectadas en los bordes, confinando el aislante en su interior.

Las características de estos paneles son bastante parecidas a los anteriores, con un espesor de 16 a 24 cm, anchuras de 2 a 2,5 metros y longitudes de 12 a 14 metros. El peso propio de los paneles está comprendido entre 300 y 400 Kp/m<sup>2</sup>.

#### Paneles de hormigón celular.

Son paneles macizos prefabricados cinco veces menos denso que el normal. El hormigón celular se consigue mediante el añadido de polvo fino de aluminio al final del amasado. Este polvo fino reacciona liberando los gases y dejando microceldas en el interior del hormigón.

Se fabrican en anchos de 60 a 75 cm, gruesos de 15 a 30 cm y longitudes de 6 metros.

### - **Bloques de hormigón.**

Los bloques son piezas prefabricadas de hormigón con forma octaédrica, de dimensiones de 30 a 60 cm de longitud, altura de 15 a 25 cm y anchura de 10 a 30 cm. No contienen armadura y podemos encontrar dependiendo del hormigón utilizado, normales, semiligeros y ligeros.

Como acabados podemos encontrar de cara vista y para revestir. Los primeros tienen diferentes acabados como granulados o estriados y con posibilidad de distintos colores. Los segundos solo disponen de una cara rugosa para que cuando coloquemos el motero posterior, éste tenga adherencia.

Su colocación es manual y uno a uno, asegurándonos en los pilares fijarlos mediante grapas metálicas. Es preciso dejar juntas cada ciertos metros de aproximadamente de 5 o 6 metros.

Las ventajas que proporcionan estos bloques es la mejor adaptación a formas irregulares de las fachadas, su transporte más sencillo y económico y su fácil colocación. La desventaja principal es su colocación uno a uno ya que ralentiza el trabajo, siendo más lento que otros sistemas.

### - Justificación solución adoptada.

En nuestra nave, ya que no se contemplan irregularidad en fachadas, y necesitamos de una rápida colocación en su emplazamiento, elegiremos paneles prefabricados lisos de hormigón armado, 14 cm de espesor, 2 metros de anchura y una longitud de aproximadamente de 5 metros. Dichos paneles irán situados entre las alas de los perfiles que conformarán los pilares para darles rigidez en dirección a la fachada y evitar un pandeo de los mismos.



### 3.3. Cerramiento cubiertas interiores.

Se ha optado por realizar una cubierta con chapa colorante de acero en la que se decide calcular para que se transitable por motivos de conservación. Esta chapa se realizará en la zona de oficinas en el segundo piso para cubrir las oficinas. Todos los techos tanto las zonas de oficinas como los baños, se ejecutarán con un falso techo que deberá ser tenido en cuenta a efecto de cálculos.

### 3.4. Cerramiento de parcela.

El cerramiento de la parcela es una parte muy ínfima de nuestro presupuesto debido a que nuestra nave está rodeada de otras naves y solo deberemos cerrar la parte frontal por donde se accede. Necesitaremos aproximadamente 55 metros de cerramiento.

### **Mallas metálicas.**

Tenemos distintos tipos de mallas disponibles, entre las que podemos encontrar mallas de simple torsión, malla electrosoldada y valla electrosoldada modular. La idea de estas mallas es por dar continuidad a las parcelas contiguas que poseen este tipo de vallado.

La desventaja de este material es su fácil deformación en el caso de golpes. En las vallas electrosoldadas aguantan mejor los golpes y son más difíciles de deformar que las mallas de simple torsión.

#### **- Cerramiento rígido.**

Este tipo de cerramiento es más resistente que el anterior, pero a la vez más caro. Se puede realizar junto con un muro inferior de bloques de hormigón o ladrillos dependiendo del aspecto final que queramos otorgarle a nuestro cerramiento.

#### **- Verja tradicional**

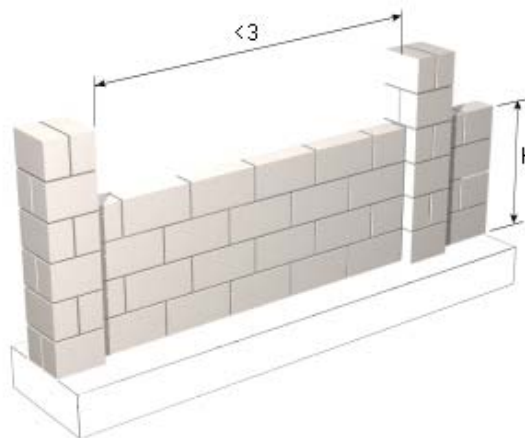
Las verjas tradicionales son barrotes de diferentes secciones, que se unen en diferentes puntos mediante soldadura. Disponen de barras horizontales y verticales. Al igual que en el caso anterior se pueden realizar desde el suelo o con un muro inferior, siendo más habitual esta segunda opción ya que resulta muy cara realizar una verja desde cota 0.

#### **- Justificación solución adoptada.**

La solución que optamos en nuestro caso viene por la colocación de tres accesos frontales a la parcela. Un acceso a la parcela peatonal, y otros dos accesos para los vehículos que accedan al taller. Como ya hemos comentado el coste del cerramiento será ínfimo debido a los solo 55 metros, por lo que se opta por darle un aspecto estético mejor y se realizará mediante un cerramiento rígido.

Dicho cerramiento constará de un muro inferior con una altura de 1,20 metros, con pilastras intermedias y pilastras en las puertas, tanto en la de acceso peatonal como en la de vehículos.

La verja será metálica y no escalable cada 3 metros para que tenga rigidez. Las puertas por las que se opta, en los dos casos, será de barrotes metálicos.



## 4. Firmes y pavimentos.

Debemos dimensionar los firmes y pavimentos a ejecutar en nuestra parcela para que puedan acceder camiones pesados. Para el dimensionamiento del firme utilizaremos la Norma IC Secciones de Firme del Ministerio de Fomento.

### 4.1. Categoría de tráfico pesado.

Debemos diseñar la explanada y el firme en función del tráfico pesado que va a circular por nuestra obra. Dependerá de la intensidad media diaria de vehículos pesado (IMDp) que se prevea en la parcela.

En la Norma tenemos varias categorías de tráfico pesado. En la siguiente tabla podemos ver las diferentes categorías.

TABLA 1A CATEGORÍAS DE TRÁFICO PESADO T00 A T2

| CATEGORIA DE TRAFICO PESADO  | T00    | T0        | T1       | T2      |
|------------------------------|--------|-----------|----------|---------|
| IMDp (Vehículos pesados/día) | ≥ 4000 | 3999-2000 | 1999-800 | 799-200 |

TABLA 1B CATEGORÍAS DE TRÁFICO PESADO T3 Y T4

| CATEGORIA DE TRAFICO PESADO  | T31     | T32   | T41   | T42  |
|------------------------------|---------|-------|-------|------|
| IMDp (Vehículos pesados/día) | 199-100 | 99-50 | 49-25 | < 25 |

En nuestro caso debemos tener en cuenta que los vehículos pesados que accedan a la parcela no llevarán en la mayoría de casos el remolque, ya que la cabeza del camión será lo único que acceda a la parcela. Aún con todo creemos que será necesario realizar la explanada y el firme con una categoría de tráfico T41, ya que habrá camiones en circulación por la parcela cada cierto rato, en función de la tardanza de reparación de los mismos.

### 4.2. Explanada.

Ya comentado en el anejo 1, debemos elegir ahora el tipo de explanada a realizar. Según los datos de los que disponemos de nuestro informe geotécnico podemos considerar que el suelo que dispone nuestra parcela es suelo tolerable.

Nos basamos en que el relleno antrópico tiene un LL entre 30 y 65, el  $IP > 0,73 \cdot (LL - 20)$ , materia orgánica inferior a 2%, las sales solubles inferiores al 5 %. En un principio la única problemática era el índice de hinchamiento, pero con las soluciones dadas en el Anejo nº2 podemos considerar que este hinchamiento es inferior al 3%.

Para la elección de la explanada tendremos en cuenta el tipo de firme que podamos elegir a posterior, por lo que elección será conjunta. Con suelo tolerable tenemos las siguientes posibilidades de explanadas.

|                                    |                             |                             |                             |
|------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| CATEGORIA<br>DE<br>LA<br>EXPLANADA | E1 ( $E_{v2} \geq 60$ MPA)  | 1 60<br>0<br>S-EST1 25<br>0 | 2 45<br>0                   |
|                                    |                             |                             |                             |
|                                    | E2 ( $E_{v2} \geq 120$ MPA) | 2 75<br>0                   | S-EST2 25<br>S-EST1 25<br>0 |
|                                    |                             | 2 40<br>1 50<br>0           | 3 25<br>S-EST1 25<br>0      |
|                                    |                             |                             |                             |
|                                    | E3 ( $E_{v2} \geq 300$ MPA) | S-EST3 30<br>2 30<br>0      | S-EST3 30<br>1 50<br>0      |

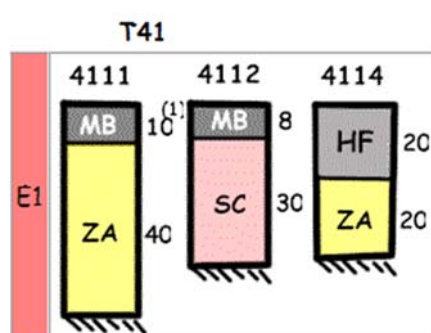
Con la eliminación de la capa vegetal y estando bajo cota de calle al comienzo de la obra, nos quedamos a menos de 1 metro de la cota de calle. La suma del espesor de la explanada y el firme será lo suficiente para quedarnos a la misma cota de calle.

Como lo que buscamos es no excavar en desmedida ya que nos elevaría los costes debido a la utilización de maquinaria y al transporte de las tierras que debamos eliminar de la obra, elegimos una explanada E1, ya que es suficiente para un tráfico de categoría T41 y nos supone tener un espesor inferior a 1 metro y una reducción de costes al no tener que elegir una explanada mejor.

Dentro del tipo de explanada que realizaremos tenemos tres tipos. Ya que necesitamos cierto grosor, nos decantaremos por rellenar con suelo adecuado o suelo seleccionado dependiendo del grosor necesario. Realizaremos un relleno de 45 centímetros de suelos seleccionado.

### 4.3. Firme.

Con la explanada ya elegida, debemos decidir que firme construir. Teniendo una explanada E1 construida con 45 centímetros de suelo seleccionado y una categoría de tráfico T41 tenemos las siguientes opciones a realizar.



Tenemos dos opciones reales entre las que elegir, que son la 4111 con un espesor de 50 centímetros totales o la 4112 con 38 centímetros de espesor.

#### - 4111.

El precio de las zahorras es inferior al precio del suelo cemento en comparación con el coste más su puesta en obra. Los inconvenientes es realizar en un principio una mayor excavación de 10 centímetros que incrementará mi movimiento de tierras en 660 m<sup>3</sup>. La facilidad de su

puesta en obra es un punto a favor de este firme y la realización de otros trabajos nada más terminar los trabajos de compactación.

- **4112.**

Al tener un menor espesor el conjunto, no se deberá realizar una excavación previa que me incremente el precio. Como inconvenientes está el mayor coste de del suelocemento con respecto a la zahorra y un tiempo de secado de 7 días que dificulta la realización de otras unidades de obra durante el secado del mismo.

- **Justificación solución adoptada.**

Con lo anteriormente descrito, optamos por la realización del firme 4111, ya que nos es más fácil ejecutar otras unidades de obra tras la finalización del mismo. También optamos por este método ya que realizaremos en un primer momento una capa de 30 centímetros de zahorra, y posteriormente fuera de la nave se realizarán los 10 centímetros restantes y dentro de la nave se realizará la solera que se proyectará en el interior.

Para la categoría de tráfico pesado T41 en las secciones con un espesor total de mezcla bituminosa de 10 cm, cuando se opte por una capa de rodadura tipo D o S se podrá proyectar una única capa, siempre que se pueda garantizar una adecuada regularidad superficial durante la puesta en obra.

### **4.4. Pavimentos.**

Dentro de los pavimentos interiores que componen la nave, deberemos realizar tres tipos. El primero será el que compone toda la nave, el segundo la zona de los lavabos y el último el de las oficinas.

- **Pavimento nave.**

Para el pavimento de la nave se opta por la realización de una solera que soporte las cargas de los vehículos que sobre ella vana a transitar. Ya que también circularán vehículos pesados, se cree conveniente el realizar una solera de 20 centímetros.

Bajo la solera encontraremos, como ya hemos dicho antes, 30 centímetros de la zahorra artificial.

Esta solera será de hormigón pulido, la cual deberemos de realizar juntas de dilatación cada 5 metros aproximadamente para evitar grietas debidas al peso y debidas a los cambios de temperatura que ocasionarán dilataciones y contracciones en la misma.

- **Pavimento oficinas.**

Como es un lugar de recepción de clientes, se pretende que esta zona sea más decorativa. Por ello, se ha decidido realizar un pavimento de parquet.

- **Pavimento baños.**

Estos pavimentos deben tener características antideslizantes. Por ellos hemos decidido realizar el pavimento de esta zona con baldosas de cerámica, que serán situadas sobre una fina capa de mortero de cemento.

## 5. Forjado de la estructura interior. Zona de oficinas.

El forjado de la estructura debe soportar el acceso de personal para el mantenimiento de los aparatos de ventilación que se van a situar sobre dicho forjado y los aparatos de ventilación. Tendremos distintas opciones para dimensionar los forjados. Este forjado también deberá soportar el peso propio ocasionado por el falso techo que vamos a situar en la zona de oficinas.

### - Losa prefabricada de hormigón pretensado.

Este tipo de losas se realiza mediante hormigón pretensado, aligerado mediante alveolos. Se usa en forjados unidireccionales de edificios. Los distintos fabricantes suelen fabricar estas losas en cantos de 16 a 30 cm, haciendo algunos de hasta 60 cm. El ancho suele ser de 1,20 metros.

Los forjados son autoportantes y en algunos casos se prescinde de la capa de hormigón que vertemos sobre las losas. En este tipo de forjado es obligatorio el hormigonado de las juntas laterales para dar continuidad a la losa y al reparto transversal de cargas.

Estos cargos son ventajosos debido a la rapidez de montaje, haciendo que los plazos de ejecución se reduzcan; resisten cargas más grandes y alcanzan mayores luces; casi nunca se debe apuntalar, pudiendo utilizarse al poco de ser colocado y nos dan un acabado muy limpio sin proporcionarnos un exceso de escombros en obra.

### - Forjado unidireccional de viguetas y bovedillas.

Estos forjados son unidireccionales, esto quiere decir que los elementos solo transmiten sus cargas en una dirección, hacia los apoyos, siendo ésta la que define el sentido longitudinal de las viguetas, y semiprefabricados donde los elementos prefabricados aportan una resistencia que se debe complementar con hormigón y armaduras.

Estos forjados, disponen de una base formada por dos elementos. Estos dos elementos son las viguetas, el elemento resistente, y las bovedillas, que tienen función aligerante y/o colaborante con las viguetas.

La rigidez de estos forjados se consigue con una losa armada de hormigón en su parte superior que une los nervios del forjado. Esta capa, como hemos comentado antes, se forma por un mallazo de armadura electrosoldada con varillas de acero en dos direcciones, perpendiculares la una de la otra, situada sobre las bovedillas y un hormigón que cubre las bovedillas, las viguetas y el mallazo. Esta capa hace que unamos todos los elementos y uniformicemos el reparto de cargas transmitidas al forjado.

Dentro de este tipo de forjado podemos encontrar los siguientes:

- Nervios con vigueta de hormigón armado.
- Nervios con una vigueta de hormigón pretensado.
- Nervios con doble o triple vigueta, siendo de hormigón armado o pretensado.
- Todo realizado con viguetas sin utilizar bovedilla.

Estos forjados nos ofrecen un fácil manejo, cortes y taladros sencillos, y un acabado inferior directo. Al estar formado por piezas pequeñas nos facilita su colocación, pero debido a tener tantos elementos nos retrasa a la hora de su realización.

### - **Forjado mixto de chapa colaborante de acero.**

Estos forjados disponen de un perfil de chapa grecada de acero sobre el que situamos un mallazo de armadura electrosoldada con varillas de acero y sobre estos verteremos el hormigón.

Los perfiles de chapa son capaces de aguantar el peso del hormigón, la armadura metálica y las cargas durante la ejecución del forjado. Una vez que fragua el hormigón, los dos materiales quedan conectados de manera que los esfuerzos rasantes son absorbidos.

Este forjado está clasificado como forjado unidireccional, donde los nervios del perfil están sometidos a flexión en la luz de cálculo. La armadura electrosoldada es la que evita la fisuración debida a efectos de retracción o temperatura.

Se diseñan los forjados mixtos para instalarlos normalmente en estructuras metálicas, aunque en ocasiones se utilizan sobre estructuras de hormigón o madera.

Estos forjados tienen como ventajas una resistencia estructural elevada teniendo un peso reducido. Al tener un menor peso los costes de transporte son bajos debido a su menor volumen de hormigón, y tienen un fácil montaje además de la utilización de la chapa como encofrado.

El menor volumen de hormigón hace que las cargas transmitidas a las estructuras por el peso propio sean menores. Otro aspecto a tener en cuenta, es la fácil colocación del mismo en obra.

### - **Justificación solución adoptada.**

Analizando las ventajas y desventajas de estas soluciones de forjados optamos por realizar el forjado mixto de chapa colaborante de acero.

El forjado que será la cubierta de las oficinas y transitable para conservación se realizará ocupando un solo vano, por lo que de eje a eje tendrá una longitud el forjado de 5 metros. Para este forjado hemos decidido utilizar una chapa de 1,20 milímetros de espesor, por lo que tenemos las siguientes opciones de espesor de hormigón para elegir.



### Hormigón normal Espesor 1,2 mm.

|         |      | SOBRECARGAS ESTÁTICAS EN daN/m² |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|---------|------|---------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|         |      | H (cm)                          |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|         |      | 14                              | 15   | 16   | 17   | 18   | 19   | 20   | 21   | 22   | 23   | 24   | 25   |
| LUZ (m) | 2.00 | 1944                            | 2161 | 2375 | 2585 | 2792 | 2934 | 3037 | 3138 | 3237 | 3334 | 3429 | 3522 |
|         | 2.20 | 1751                            | 1946 | 2139 | 2328 | 2514 | 2641 | 2733 | 2823 | 2911 | 2997 | 3081 | 3164 |
|         | 2.40 | 1562                            | 1749 | 1937 | 2114 | 2283 | 2397 | 2480 | 2560 | 2639 | 2716 | 2792 | 2866 |
|         | 2.60 | 1343                            | 1504 | 1665 | 1826 | 1987 | 2148 | 2265 | 2338 | 2409 | 2479 | 2547 | 2613 |
|         | 2.80 | 1168                            | 1308 | 1448 | 1588 | 1728 | 1868 | 2008 | 2148 | 2212 | 2275 | 2337 | 2397 |
|         | 3.00 | 1026                            | 1149 | 1272 | 1395 | 1518 | 1641 | 1764 | 1887 | 2010 | 2099 | 2155 | 2210 |
|         | 3.20 | 909                             | 1018 | 1127 | 1236 | 1345 | 1454 | 1563 | 1672 | 1782 | 1891 | 1996 | 2046 |
|         | 3.40 | 812                             | 910  | 1007 | 1104 | 1202 | 1299 | 1397 | 1494 | 1591 | 1689 | 1786 | 1884 |
|         | 3.60 | 730                             | 818  | 906  | 993  | 1081 | 1168 | 1256 | 1344 | 1431 | 1519 | 1607 | 1694 |
|         | 3.80 | 661                             | 740  | 820  | 899  | 978  | 1057 | 1137 | 1216 | 1295 | 1374 | 1453 | 1531 |
|         | 4.00 | 601                             | 674  | 746  | 818  | 890  | 962  | 1034 | 1106 | 1178 | 1250 | 1322 | 1394 |
|         | 4.20 | 550                             | 616  | 682  | 748  | 814  | 880  | 946  | 1012 | 1078 | 1144 | 1210 | 1276 |
|         | 4.40 | 505                             | 566  | 627  | 688  | 749  | 810  | 871  | 932  | 993  | 1054 | 1115 | 1176 |
|         | 4.60 | 466                             | 524  | 582  | 640  | 698  | 756  | 814  | 872  | 930  | 988  | 1046 | 1104 |
|         | 4.80 | 433                             | 488  | 544  | 600  | 656  | 712  | 768  | 824  | 880  | 936  | 992  | 1048 |
|         | 5.00 | 404                             | 457  | 512  | 567  | 622  | 677  | 732  | 787  | 842  | 897  | 952  | 1007 |
|         | 5.20 | 380                             | 431  | 484  | 537  | 590  | 643  | 696  | 749  | 802  | 855  | 908  | 961  |
|         | 5.40 | 359                             | 408  | 460  | 512  | 564  | 616  | 668  | 720  | 772  | 824  | 876  | 928  |
|         | 5.60 | 341                             | 389  | 440  | 491  | 542  | 593  | 644  | 695  | 746  | 797  | 848  | 899  |
|         | 5.80 | 325                             | 372  | 422  | 472  | 522  | 572  | 622  | 672  | 722  | 772  | 822  | 872  |
|         | 6.00 | 311                             | 357  | 406  | 455  | 504  | 553  | 602  | 651  | 700  | 749  | 798  | 847  |
|         | 6.20 | 300                             | 345  | 393  | 441  | 489  | 537  | 585  | 633  | 681  | 729  | 777  | 825  |
|         | 6.40 | 290                             | 334  | 381  | 428  | 475  | 522  | 569  | 616  | 663  | 710  | 757  | 804  |
|         | 6.60 | 281                             | 324  | 370  | 416  | 462  | 508  | 554  | 600  | 646  | 692  | 738  | 784  |
|         | 6.80 | 273                             | 315  | 360  | 405  | 450  | 495  | 540  | 585  | 630  | 675  | 720  | 765  |
|         | 7.00 | 266                             | 307  | 351  | 395  | 439  | 483  | 527  | 571  | 615  | 659  | 703  | 747  |

Restricciones: Puntales  = colocar 1 puntal en el centro del vano. Flecha al/100m

Restricciones: Puntales  = colocar 1 puntal en el centro del vano. Flecha  $\Delta/250$

El canto que escogeremos será de 14 mm para quedarnos del lado de la seguridad. Con este canto y este espesor el forjado aguanta 2,24 kN/m<sup>2</sup>. Con la carga de 1 kN/m<sup>2</sup>, más el peso propio del falso techo de aproximadamente 0,4 kN/m<sup>2</sup> y equipos de ventilación cumplimos con la carga soportada del forjado.

### PESO PROPIO DEL FORJADO COLABORANTE (perfil + hormigón) Kg/m<sup>2</sup>

|                       |   | 14    | 15    | 16    | 17    | 18    | 19    | 20    | 21    | 22    | 23    | 24    | 25    |
|-----------------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| CANTO DE LA LOSA (cm) | CONSUMO DE HORMIGÓN DEL FORJADO (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ) | 0,075 | 0,085 | 0,095 | 0,105 | 0,115 | 0,125 | 0,135 | 0,145 | 0,155 | 0,165 | 0,175 | 0,185 |
|                       | 0.8   | 191   | 215   | 239   | 263   | 287   | 311   | 335   | 359   | 383   | 406   | 430   | 454   |
| ESPESOR CHAPA (mm)    | 1.0   | 193   | 217   | 241   | 265   | 289   | 313   | 337   | 361   | 385   | 409   | 433   | 457   |
|                       | 1.2   | 196   | 220   | 244   | 268   | 292   | 316   | 340   | 364   | 388   | 412   | 436   | 460   |

El peso propio del forjado será de 196 kg/m<sup>2</sup>.

## 6. Carpintería y albañilería.

Debemos realizar una separación de baños y oficinas con el resto de la nave. También será necesario puertas y ventanas para la finalización de la nave.

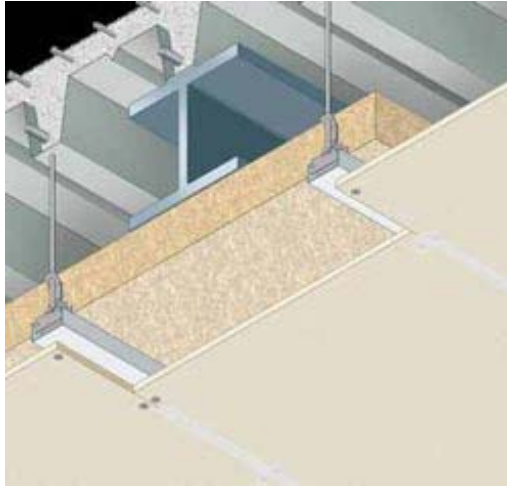
### 6.1. Tabiques.

Tanto en los baños como en las oficinas se realizará con el mismo material.

Estas separaciones se realizarán con una hoja de partición interior de 16 cm de espesor de fábrica, de ladrillo cerámico hueco doble. Para revestir el ladrillo se utilizará una fina capa de mortero de cemento.

### 7.2. Techos.

Para la realización de los techos, tanto de las oficinas, como de baños como de la zona de recambios, se ha optado por falso techo que ocultará los perfiles IPE y la chapa colaborante en el forjado, y para ocultar los paneles del techo de la zona de baños, recambios y oficinas superiores. Este techo también nos servirá para ocultar la instalación eléctrica y ventilación.



### 7.3. Puertas.

En este caso debemos diferenciar las puertas de los baños, las oficinas, las de entrada y las puertas de entrada y salida de vehículos

- **Puerta de acceso a la nave.**

La puerta de acceso será de cristal con carpintería de aluminio y acristalada. Una de ellas estará fija y la otra será de apertura pivotante. En el caso de ser necesario la apertura de las dos puertas, la segunda puerta será también pivotante, pero con pestillo inferior y superior para que el resto del tiempo esté fija. Esta puerta será para el acceso peatonal al taller y a las oficinas

- **Puerta de oficinas.**

La puerta de las oficinas será también acristalada, pero ésta será de una sola puerta pivotante.

- **Puerta de baños.**

Las puertas de los baños serán de aglomerado abatibles de una hoja.

- **Puertas exteriores.**

Las puertas exteriores que dan acceso a la nave desde el aparcamiento trasero son metálicas estándar.



### - Puertas vehículos.

En función de las dimensiones necesarias, se tendrán en cuenta dos tipos de puertas, una puerta de mayores dimensiones para vehículos pesados y otra para vehículos de menor tamaño como furgonetas y coches.

Para ello necesitaremos cuatros puertas de mayores dimensiones para el acceso de camiones y 12 puertas de menores dimensiones para el acceso de vehículos menores.



Estas puertas serán automáticas con detectores, las cuales se cerrarán tras el paso del vehículo por la puerta.

### 7.4. Ventanas.

Se realizan ventanas en la parte inferior de la zona de oficinas. En ella se opta por poner ventanas abatibles para la ventilación de la oficina, mientras que el resto serán fijas. Ocupará toda la fachada para la correcta iluminación de la zona y el carácter estético al exterior.

## 8. Sanitarios.

Los sanitarios se realizarán en la planta baja para tener acceso todas las personas que pasen por la nave, tanto trabajos como personal del transporte.

Estará compuesto por tres estancias, una para hombre, otra para mujeres y una tercera para personas de movilidad reducida. Estarán compuestos por:

- **Lavabos.**

Se han instalado un total de 4 lavabos, 2 en cada baño y uno en el de personas de movilidad reducida. Los lavabos serán de porcelana sanitaria, con pedestal. Se instalarán grifos monomando.

En el baño para personal de taller se instalarán otros 4 lavabos iguales a los anteriores.

- **Inodoros.**

Se han instalado un total de 5 inodoros, 2 en un baño, 2 en otro y 1 en el baño de personas con movilidad reducida.

En el baño para el personal de taller se han instalado otros 5 inodoros.

Serán de porcelana sanitaria. En el caso del baño para personas de movilidad reducida se han añadido las barras de asistencia homologadas.

- **Urinarios**

Se han instalado en el baño principal junto a las oficinas, en el baño de hombre, 2 urinarios.

Para el personal de taller se han instalado también 2 urinarios.

## 9. Fosos.

Los fosos del taller son necesarios para los vehículos pesados. Estos se realizan debido a que es más fácil su acceso para reparaciones de camiones que elevarlos.

Se realizará dos fosos al final de la nave donde ubicaremos la zona de taller de camiones. Para evitar caídas a los fosos se situarán un sistema de planchas metálicas que se podrá retirar durante la utilización de dichos fosos.



El foso se realizará de 1,60 de alto, situando en los bordes escalones plegables para poder elevarse el trabajador y poder llegar a realizar el trabajo necesario. Por seguridad al trabajador nunca se encontrará dentro del foso mientras el vehículo acceda encima del foso

Dentro del foso deberemos tener iluminación suficiente para los trabajos que en él se realicen y la ventilación adecuada.