

**Universidad Politécnica de Cartagena**

**Escuela Técnica superior de Ingeniería Industrial**

## **PROYECTO DE FIN DE CARRERA**

---

**Diseño del montacargas de un pequeño almacén  
con capacidad para salvar un piso de altura y  
con una carga máxima de 3.000 kg**

**Ingeniero Técnico Industrial: Especialidad en Mecánica**

**Intensificación: Construcción de Maquinaria**

**Alumno: José Manuel Vera Zaragoza**

**Director del proyecto de fin de carrera: D. Miguel Lucas Rodríguez**

**Cartagena, 23 de octubre de 2012**



## INDICE GENERAL

- DOCUMENTO N°1: MEMORIA
  - MEMORIA DESCRIPTIVA
  
  - ANEXOS:

### CALCULOS JUSTIFICATIVOS

- DOCUMENTO N°2: PLANOS
  
- DOCUMENTO N°3: PLIEGO DE CONDICIONES
  
- DOCUMENTO N°4: PRESUPUESTO



# DOCUMENTO N°1: MEMORIA

José Manuel Vera Zaragoza



# INDICE

## DOCUMENTO N°1: MEMORIA

- Memoria descriptiva
- Anexo N°1: Cálculos justificativos.



# MEMORIA DESCRIPTIVA

José Manuel Vera Zaragoza



# INDICE

## MEMORIA DESCRIPTIVA

1. Antecedentes.....	1
2. Objeto. ....	1
3. Reglamentación. ....	1
4. Descripción general.....	3
5. Localización o emplazamiento.....	8
6. Estudio de seguridad y salud.....	9
7. Memoria medioambiental.. ....	10
8. Maquinaria y equipos. ....	10
9. Bibliografía.....	10
10. Agradecimientos. ....	11
11. Documentos de los que consta el proyecto.....	11
12. Conclusión. ....	12

### 1. ANTECEDENTES:

A petición del departamento de Ingeniería Mecánica de la Escuela superior de Ingeniería Industrial de la Universidad Politécnica de Cartagena, para la realización del Proyecto Fin de Carrera dirigido a la obtención del título de Ingeniero Técnico Industrial, se realizará el Presente proyecto, dirigido por el profesor del departamento D. Miguel Lucas Rodríguez.

### 2. OBJETO DEL PROYECTO.

El presente proyecto tiene por objeto el diseño de un montacargas hidráulico de acción indirecta, capaz de transportar una carga de hasta 3000kg.

Este montacargas va a ser instalado en un supermercado de la localidad de La Alberca en la provincia de Murcia, para transportar los productos desde el almacén que se encuentra en el sótano hasta la zona comercial que se encuentra en la planta baja de 2 a 4 veces al día.

### 3. REGLAMENTACIÓN.

Para la realización de este proyecto se han tenido en cuenta los siguientes reglamentos y normativas.

- NORMA UNE EN-81-31 Reglas de seguridad para la fabricación e instalación de un montacargas.
- Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión (REBT) y sus Instrucciones Técnicas Complementarias (ITC.BT).
- Reglamento de Seguridad en las Máquinas Real Decreto 1495/1986.
- Ordenanzas de Seguridad e Higiene en el Trabajo (OSHT).
- Ley 31/1995 del 8 de Noviembre sobre la prevención de riesgos laborales (BOE nº 269 del 10 de Noviembre).
- Ley número 88/67 de 8 de noviembre: Sistema Internacional de Unidades de Medida SI.



- Ley número 88/67 de 8 de noviembre: Sistema Internacional de Unidades de Medida SI.
- UNE 1 039 94 Dibujos técnicos. Acotación. Principios generales
- UNE-EN ISO 6433-1996.Dibujos técnicos. Referencias a elementos.
- UNE-EN ISO 6433-1996.Dibujos técnicos. Referencias a elementos.
- UNE 1 037 83. Indicaciones de los estados superficiales en los dibujos
- DIN 406
- CTE DB SE: Bases de cálculo
- CTE DB SE-A Acero

#### 4. DESCRIPCIÓN GENERAL.

##### 4.1 DESCRIPCIÓN DE LA INSTALACIÓN.

Hay 3 partes fundamentales que forman el montacargas:

1. **Estructura metálica.** Constituye el apoyo de las guías por donde se desplaza el montacargas y además va a servir como base para colocar el cerramiento del montacargas. Las dimensiones de ésta van a ser 7.5 m de alto por 2.5m de ancho y 1.8m de fondo.

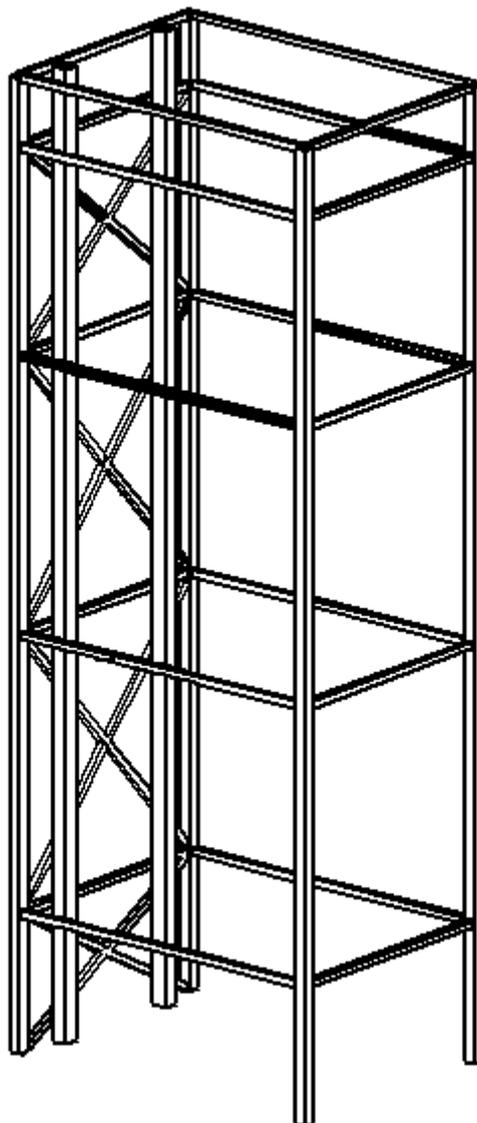


Figura 1. Estructura metálica.

2. **Bastidor.** Este elemento va a ser la base donde se coloque la carga que se quiere transportar de un piso a otro y tendrá unas dimensiones útiles de colocación de carga de 1800x1400mm. Estará formado por perfiles UPN soldados sobre los que se apoyará una chapa metálica.

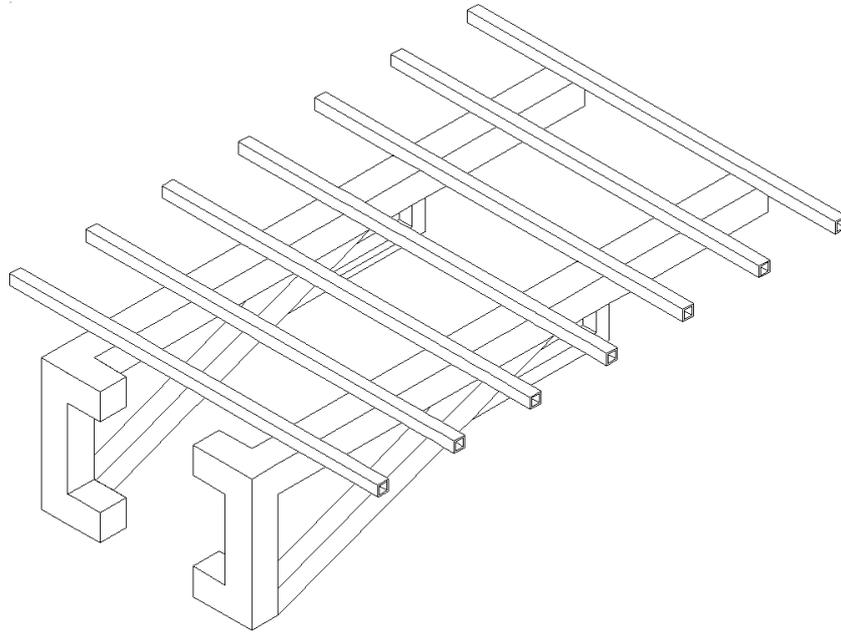


Figura 2. Bastidor.

3. **Equipo Hidráulico.** Está compuesto por el cilindro-pistón, el grupo motor-bomba y el depósito de aceite y es imprescindible para otorgar la fuerza de tracción al montacargas.

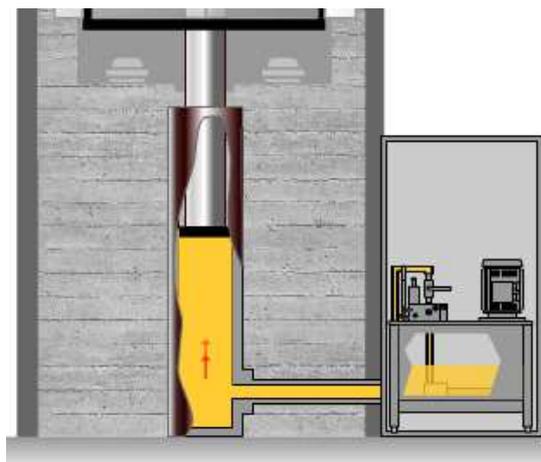


Figura 3. Equipo hidráulico.

## 4.2 FUNCIONAMIENTO DEL MONTACARGAS.

El funcionamiento del montacargas es el siguiente: el operario puede utilizar, la botonera para accionar la máquina de una posición a otra.

La cabina del montacargas va a ser elevada mediante unos cables, estos conectan el suelo con la cabina, pasando por las poleas, de manera que cuando la polea se eleva con el pistón hidráulico, la cabina sube tirada por el cable. El pistón obtiene la fuerza del sistema motobomba, que suministra el aceite a alta presión al pistón para que suba el embolo.

La energía necesaria para la elevación de la carga se transmite por una bomba con motor de accionamiento eléctrico que transmite un fluido hidráulico a un cilindro que actúa indirectamente sobre la cabina. El pistón empuja una polea por la que pasa un cable anclado a un punto fijo en un extremo y a la cabina en el otro extremo. Este sistema permite que, por cada 1mm de recorrido del pistón, la cabina se desplace 2mm.

Para subir, el grupo motor-bomba bombea el fluido de la central a través del grupo de válvulas. Cuando una de las válvulas se abre, el fluido presurizado escoge el camino que ofrece menos resistencia y regresa al depósito de la central. Pero cuando la válvula se cierra, el fluido no tiene más remedio que ir hacia el cilindro.

Al acumularse el fluido en el cilindro, la presión empuja el pistón hacia arriba elevando la cabina del ascensor.

Cuando el bastidor se acerca al primer piso, el sistema de control envía una señal al motor eléctrico para parar la bomba gradualmente. Con la bomba parada, no hay más aceite que fluya, y el que ya estaba en el cilindro no puede escapar. El vástago se apoya sobre el fluido y la cabina no se mueve.

Para bajar el bastidor, el sistema de control del ascensor envía una señal a la válvula. Cuando la válvula se abre, el fluido que estaba en el cilindro fluye hacia el depósito de la central. Gracias a la fuerza de gravedad, el peso del bastidor, empuja el cilindro hacia abajo y conduce el fluido al depósito, haciendo descender el ascensor gradualmente. De este modo el ascensor solo consume energía en el ascenso, ya que desciende por gravedad.

A continuación se puede observar un esquema sencillo del funcionamiento del montacargas:

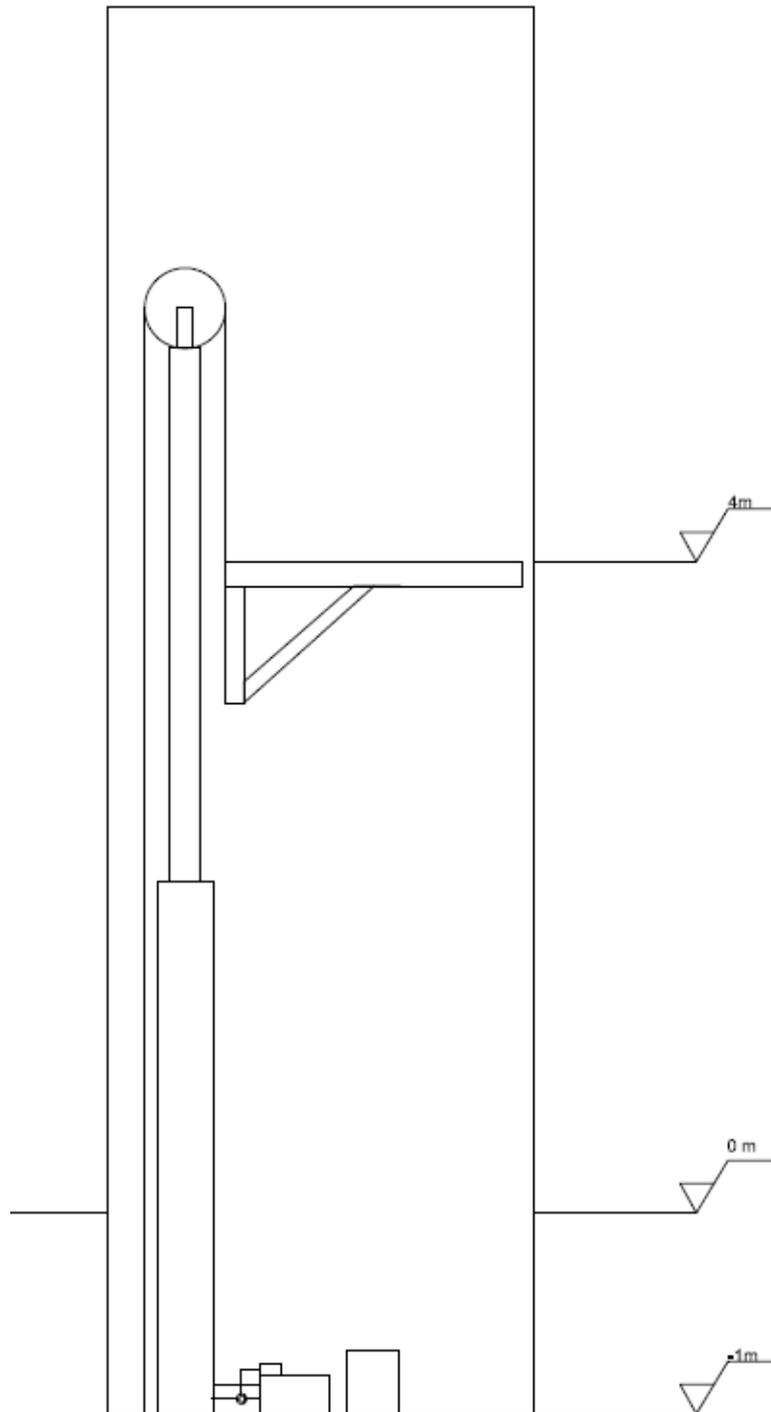


Figura 4. Esquema de funcionamiento del montacargas.

### 4.3. MOTIVOS POR LOS QUE SE HA ELEGIDO DE TRACCIÓN HIDRÁULICA

Los principales condicionantes de la elección han sido:

#### 1. ECONÓMICOS:

- Alto grado de fiabilidad por el poco mantenimiento que necesita la instalación debido al menor desgaste de sus componentes.
- Precios de instalación y mantenimiento más económicos. Menor utilización de componentes.
- Montaje más fácil.
- El sistema hidráulico no sobrecarga la estructura del edificio, permite que el hueco de ascensor no necesite de paredes de hormigón, es decir no necesita encofrado.

#### 2. ESPACIO:

- Optimización del espacio del almacén, sin necesidad de utilizar un cuarto de máquinas, lo cual permite más posibilidades para instalar un montacargas con limitación de espacio debido a que se aprovecha el hueco del foso de éste, para ubicar dentro la maquinaria hidráulica.

#### 3. EFICIENCIA ENERGÉTICA:

- Suavidad de funcionamiento en arranque y parada.
- Consumo energético sólo en subida. En bajada utiliza la gravedad sin necesidad de consumir.
- El fluido no se consume. Sólo se utiliza.

## 5. LOCALIZACIÓN O EMPLAZAMIENTO.

El montacargas va a ser instalado en el Supermercado MERCADONA de la Calle Carlos Valcárcel, 0 S/N Urbanización Nueva Alberca, 30150 La Alberca, Región de Murcia.

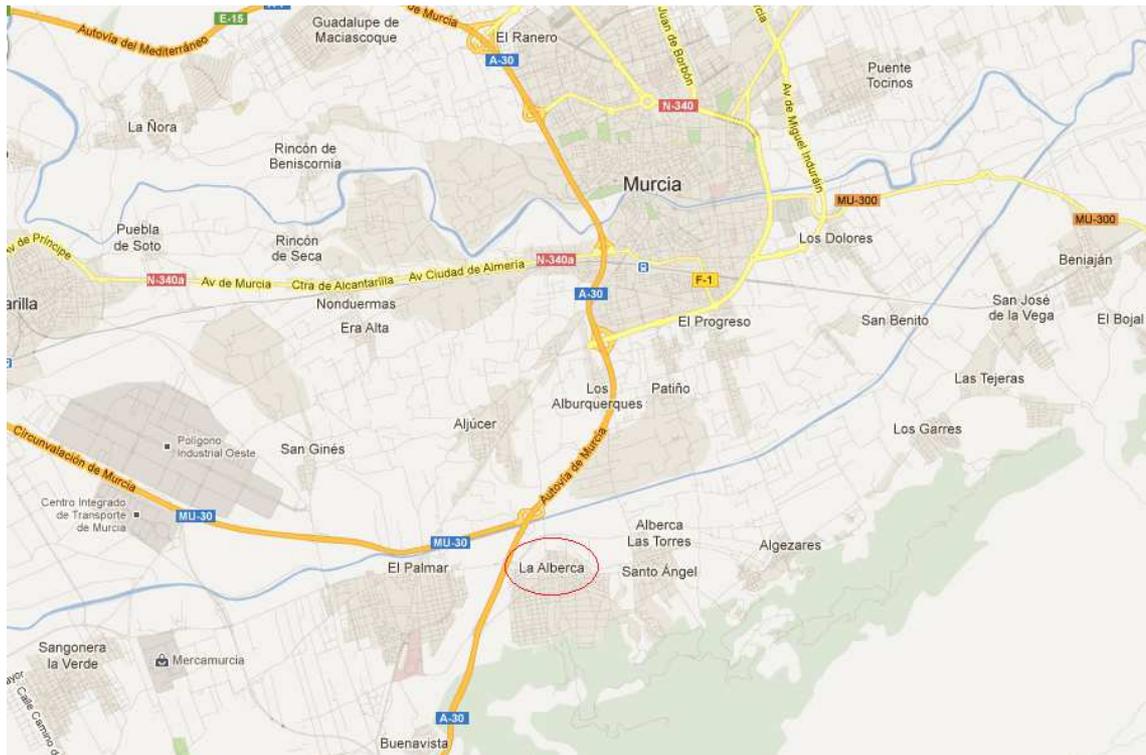


Figura 5. Plano de situación.



Figura 6. Plano de emplazamiento.

## 6. ESTUDIO DE SEGURIDAD Y SALUD.

Se pretende sobre el proyecto, que el contratista, suministre en su plan de seguridad y salud en el trabajo, los procedimientos concretos para conseguir una realización de obra sin accidentes ni enfermedades profesionales. Además, se pretende evitar los posibles accidentes de personas que tienen una presencia discontinua en la obra o que sean ajenas a ella, así como evitar los "accidentes blancos" o sin víctimas, por su gran trascendencia en el funcionamiento normal de la obra, al crear situaciones de parada o de estrés en las personas.

Es obligación de cada contratista disponer los recursos materiales, económicos, humanos y de formación necesarios para conseguir que el proceso de producción de construcción de esta obra sea seguro.

## 7. MEMORIA MEDIOAMBIENTAL.

Se ha considerado conveniente, a pesar que la legislación no exige un tratamiento de adecuación medioambiental, el mostrar la sensibilidad en los aspectos medioambientales eligiendo un montacargas lo más eficiente posible.

## 8. MAQUINARIA Y EQUIPOS.

La maquinaria contenida en el proyecto una vez acabada la obra va a ser solo la que constituye el equipo hidráulico:

- Motor trifásico 15 kW.
- Bomba: 41.3 cc/rev
- NG6

## 9. BILIOGRAFÍA

- Antonio Miravete, Emilio Larrodé “El libro del transporte vertical”.
- Richard Gordon Budynas, Joseph Edward Shigley, J. Keith Nisbett (2008) “Diseño en ingeniería mecánica”.
- Bernard J. Hamrock, Bo Jacobson, Steven R. Schmid (2000) “Elementos de máquinas”.
- Apuntes de la asignatura “Diseño de máquinas” de la Universidad Politécnica de Cartagena
- Apuntes de la asignatura “Diseño Industrial” de la Universidad Politécnica de Cartagena.
- Apuntes de la asignatura “Dibujo asistido por ordenador” de la Universidad Politécnica de Cartagena.
- Julián F. Conesa Pastor. Dibujos de Ingeniería. Universidad Politécnica de Cartagena
- Apuntes de la asignatura “Oficina Técnica” de la Universidad Politécnica de Cartagena.
- [www.es.scribd.com/doc/63190475/Simbologia-de-soldadura](http://www.es.scribd.com/doc/63190475/Simbologia-de-soldadura) “Simbología de soldadura”
- [www.Ridesuper.es](http://www.Ridesuper.es) “Guías”.
- [www.macla.es](http://www.macla.es) “Rozaderas”.

- www.slcluezar.com “Paracaídas”.
- www.ab.rockwellautomation.com “Pulsador, contactor y finales de carrera”.
- www.prodinsa.es “Cables de acero”.
- www.cablesestructurales.com “Cáncamos para anclaje de cables”.
- www.hferrer.com “Cilindro-pistón”.
- www.diprax.es “Equipo hidráulico”.
- www.hierroshernandez.com “Chapa de acero para el bastidor”.
- www.divetis.es “Barandillas”.
- www.metalicaslendinez.com “Chapa perforada para cerramiento”.
- www.valladodeseguridad.es “Puertas”.

## 10. AGRADECIMIENTOS

Agradecer a mí novia Ana María su paciencia, apoyo y ánimos. Agradecer también al profesor director del proyecto D. Miguel Lucas Rodríguez su apoyo y colaboración.

## 11. DOCUMENTOS DE QUE CONSTA ESTE PROYECTO.

Documento nº 1.-MEMORIA

- Memoria descriptiva.
- Memoria justificativa.

Documento nº 2.-PLANOS.

Documento nº 3.- PLIEGO DE CONDICIONES.

Documento nº 4.- PRESUPUESTO.



## 12. CONCLUSIÓN A LA MEMORIA.

Estimando que para la redacción del proyecto se han tenido en cuenta las prescripciones de la legislación vigente y que de acuerdo con ellas se han cubierto las condiciones impuestas por la especificación entregada por el Departamento de Ingeniería Mecánica, se somete a la aprobación por los órganos oficiales, dándolo por terminado en Cartagena a 23 de octubre de 2012.

El Ingeniero Técnico Industrial.

José Manuel Vera Zaragoza

En, Murcia a 23 de Octubre de 2012.



# ANEXO N°1: CALCULOS JUSTIFICATIVOS

José Manuel Vera Zaragoza



## INDICE

### ANEXO N°1: CÁLCULOS JUSTIFICATIVOS

1. Dimensionado del bastidor.....	1
2. Cálculo de las guías del bastidor.....	67
3. Dimensionado de la estructura.....	75
4. Cálculo de los cables.....	139
5. Cálculo y elección de las poleas.....	140
6. Dimensionado del porta-poleas.....	143
7. Dimensionado del circuito hidráulico.....	166
8. Elección de las rozaderas del bastidor.....	175
9. Sistema de seguridad paracaídas del montacargas.....	176
10. Cálculo de los amortiguadores de acumulación de energía.....	178
11. Elección de barandillas.....	185
12. Elección de los elementos que constituyen el circuito de control....	187

## 1. DIMENSIONADO DEL BASTIDOR.

La plataforma estará formada por una placa de acero estriada apoyada sobre 6 perfiles compuestos por 2U de 40x20mm soldados (TIPO 1). Estos últimos se colocarán sobre otros dos perfiles que estarán compuestos por 2UPN 100 soldados (TIPO 2), y finalmente ésta plataforma estará arriostrada por dos perfiles compuestos por 2U de 60x30 soldados (TIPO 3). Además se han colocado dos perfiles compuestos por 2U de 50x25 soldados (TIPO 4 y 5), que van a ser los que impacten sobre los resortes de final de recorrido. Por último, los perfiles TIPO 6 y 7 son 2 UPN100 soldados.

Los perfiles TIPO 6 se han colocado para aportar estabilidad al bastidor y fijar a ellos los elementos que sean necesarios, mientras que los perfiles Tipo 7 permiten el acceso al interior de perfil TIPO 6 para realizar las uniones atornilladas de dichos elementos.

El planteamiento del problema es el siguiente:

La carga que van a soportar los perfiles cuadrados de 40x40mm va a ser la que le transmita la placa, que va a corresponder con las reacciones en los apoyos de la plataforma, que serán los 2U de 40x20mm. A esto habrá que sumar la parte proporcional del peso de ésta.

Por otro lado, la carga a soportar por los perfiles 2xUPN 100 y los arriostramientos de 60x30mm, va a corresponder con las reacciones en los apoyos de los perfiles cuadrados de 40x40 mm, a las que habrá que sumar el peso de estos.

En la siguiente figura podemos observar la estructura del bastidor, con las diferentes barras que la componen, y seguidamente un esquema del planteamiento del problema a resolver.

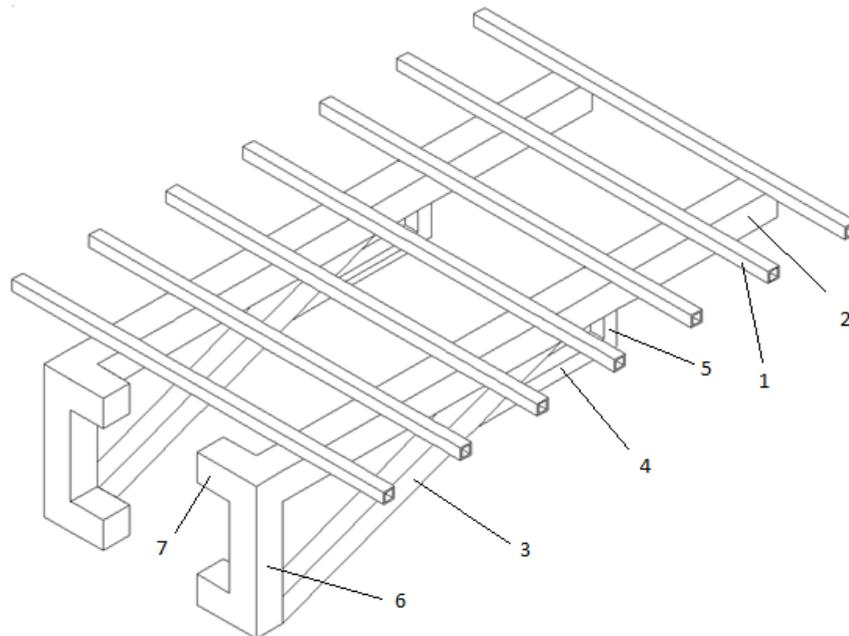
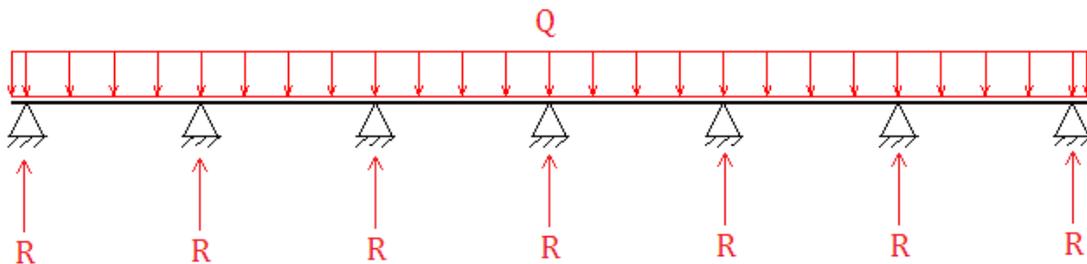


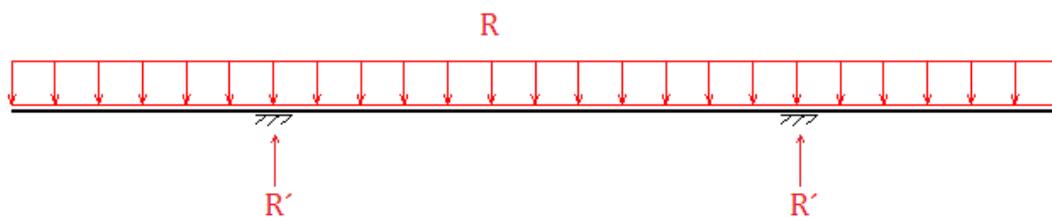
Figura 1. Estructura del bastidor

Esquema del planteamiento del problema a resolver:

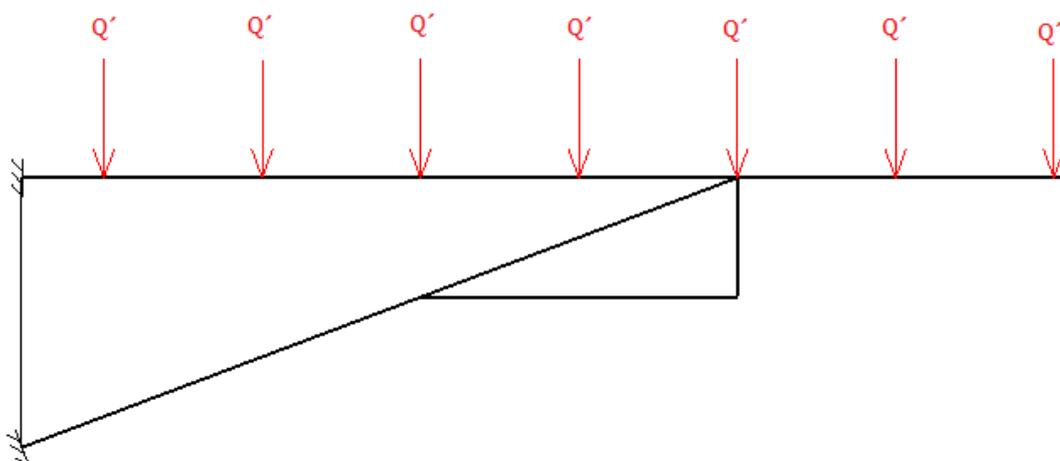
1) La placa con los 6 apoyos de 40x40mm (2U 40x20mm)



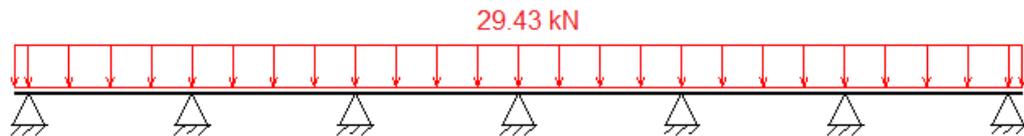
2) Uno de los perfiles 40x20 apoyado en dos perfiles de 65x84mm (2U 64x42mm)



3) Uno de los perfiles 65x84mm, el arriostramiento con perfiles 60x60 (2U 60x30) y el pilar que los une, siendo este último un perfil UPN120.



### 1.1 DIMENSIONADO DE LA PLACA.



Dimensión placa: 1800 x 1400 mm

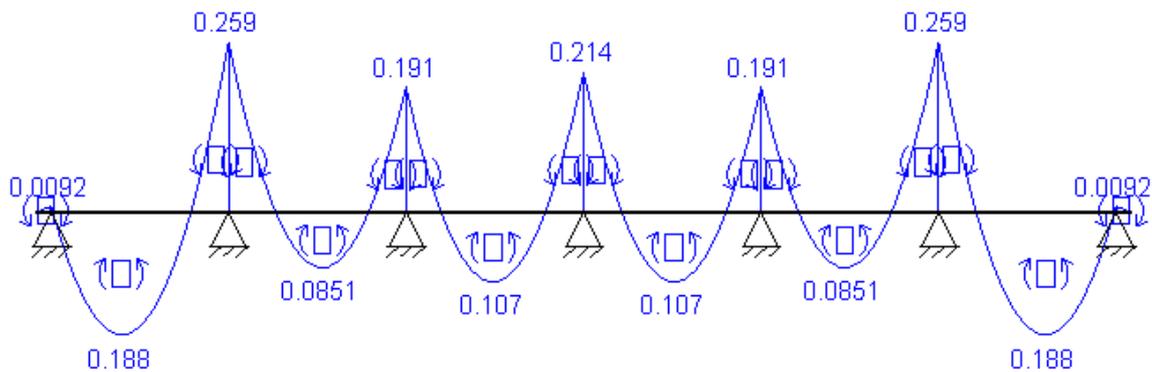
Distancia entre apoyos referida al centro de cada uno de ellos será:

$$d = 0.3 \text{ mm}$$

$$Q = 3000 \text{ kg} = 3000 \text{ kg} \times 9.81 \text{ N/kg} = 29.43 \text{ kN}$$

Se debe calcular la placa para un coeficiente de seguridad de 2.5, según la norma EN 81-31.

DIAGRAMA MOMENTO FLECTOR (kN m)



Para la superficie de la plataforma se utilizará una chapa de acero estriada de las siguientes características:



CARACTERISTICAS DE LA PLACA:

$$\sigma = 57 \text{ kg/mm}^2 = 559.17 \times 10^6$$

ESTRIADA: Bobina con resaltes estriados

Altura del relieve: 2mm.± 0,50 mm

$$\sigma = 57 \text{ kg/mm}^2 = 559.17 \times 10^6 \text{ N/m}^2$$

- El momento máximo a soportar por la placa lo obtenemos de los diagramas de esfuerzos:

$$M_{\text{máx}} = 259 \text{ Nm}$$

$$\sigma = \frac{M_{\text{max}} y}{I} = \frac{M_{\text{max}} \frac{e}{2}}{\frac{1}{12} b e^3} = \frac{6 M_{\text{max}}}{b e^2}$$

Donde:

y = distancia a la fibra neutra

I = momento de inercia

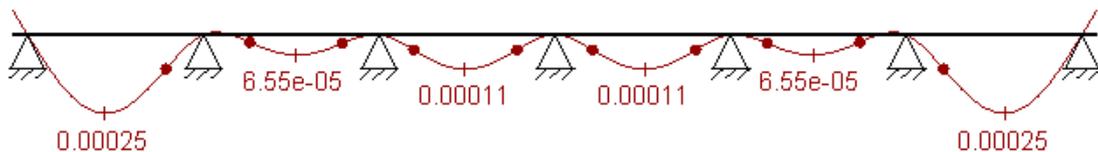
b = distancia entre apoyos

$$559.17 \times 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = \frac{6 \times 259 \frac{\text{N}}{\text{m}}}{1.4 \text{ m} \times e^2}$$

$$e = 1.41 \text{ mm}$$

Para que cumpla la flecha máxima se ha cogido  $e = 6\text{mm}$ , ya que de él depende la deformada de la placa.

DEFORMADA (m). Para  $e = 6\text{mm}$



$$\eta = \frac{F_{\text{máx}}}{F_{Ed}} \geq 2.5$$

Donde:

-Flecha máxima admisible  $F_{\text{máx}} = \frac{290}{300} = 0.966 \text{ mm}$

-Flecha de cálculo  $F_{Ed} = 0.00025m = 0.25mm$

$$\eta = \frac{0.966mm}{0.25mm} = 3.86 \geq 2.5$$

- Peso de la placa de 1.8 x 1.4 m (2.52 m<sup>2</sup>):

Espesor nominal	Kg/m <sup>2</sup>
3	29
4	36
5	45
6	51
7	61
8	69

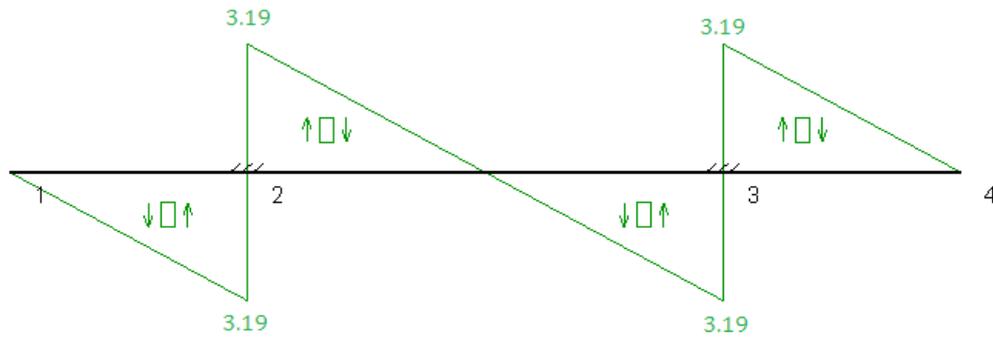
$$51 \text{ kg/m}^2 \times 2.52 \text{ m}^2 = 128.5 \text{ kg} \times 9.81 \text{ N/kg} = 1260.8 \text{ N}$$

Figura 2. Tabla de pesos de la placa aportada por el fabricante

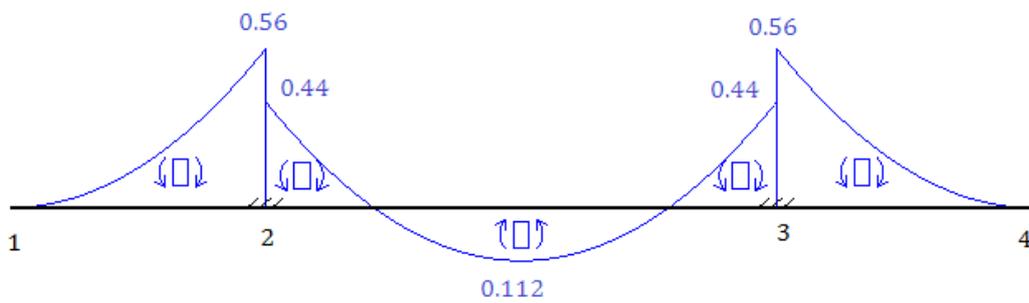
## 1.2 DIMENSIONADO DE LA BARRA TIPO 1 (2U DE 40X20)

### 1.2.1 DIAGRAMAS DE ESFUERZOS

- DIAGRAMA ESFUERZO CORTANTE



- DIAGRAMA MOMENTO FLECTOR



### 1.2.2 PREDIMENSIONADO DEL PERFIL

El perfil elegido deberá tener un módulo resistente plástico,  $W_{plz,Rd}$ , 2.5 veces mayor que el siguiente:

$$\sigma_{max} = \frac{My,ed}{W_{plz,Ed}} \leq \frac{fy}{\gamma_{Mo}} = \frac{275}{1.05} \quad W_{plz,Ed} \geq \frac{0.56 * 10^6}{\frac{275}{1.05}} \geq 2.14 cm^3$$

Donde:

Momento flector solicitante de cálculo

$$Mz,ed = 0.56 \text{ kNm}$$

El perfil elegido ha sido U 40 x 20 doble en cajón soldado, cuyo  $W_{plz,Rd} = 9.48 \text{ cm}^3$

$$\frac{W_{plz,Rd}}{W_{plz,Ed}} = \frac{9.48}{2.14} = 4.59 > 2.5$$

Perfil: U 40 x 20, Doble en cajón soldado (Cordón continuo) Material: Acero (S275)					
	$W_{pl,z}$ ( $cm^3$ )	Longitud (m)	Características mecánicas		
	9.48		Área ( $cm^2$ )	$I_y^{(1)}$ ( $cm^4$ )	$I_z^{(1)}$ ( $cm^4$ )
		0.700	7.32	15.24	15.25
Notas: <sup>(1)</sup> Inercia respecto al eje indicado <sup>(2)</sup> Momento de inercia a torsión uniforme					
		Pandeo		Pandeo lateral	
		Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.
$\beta$	1.00	1.00	0.00	0.00	0.00
$L_K$	0.350	0.350	0.000	0.000	0.000
$C_m$	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Notación: $\beta$ : Coeficiente de pandeo $L_K$ : Longitud de pandeo (m) $C_m$ : Coeficiente de momentos					

## 1.2.3 COMPROBACIÓN ESTADOS LÍMITE ÚLTIMOS

- **Resistencia a flexión eje Z** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{c,Rd}}{M_{Ed}} \geq 2.5$$

Momento flector solicitante de cálculo  $M_{Ed} = 0.56 \text{ kNm}$

El momento flector resistente de cálculo  $M_{c,Rd} = 2.48 \text{ kNm}$

Viene dado por:  $M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$

Donde:

Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

Clase: 1

Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$W_{pl,y} = 9.48 \text{ cm}^3$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd} = 261.9 \text{ MPa}$

Siendo:  $f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$

Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y = 275.0 \text{ MPa}$

Coefficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M1} = 1.05$

$$\eta = \frac{2.48}{0.56} = 4.42 \geq 2.5$$

- **Resistencia a corte Y** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{c,Rd}}{V_{Ed}} \geq 2.5$$

Esfuerzo cortante solicitante de cálculo  $V_{Ed} = 3.19 \text{ kN}$ 

Esfuerzo cortante resistente

 $V_{C,Rd} = 66.53 \text{ kN}$ 

Viene dado por:  $V_{C,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$

Donde:

Área transversal a cortante.

 $A_v = 4.40 \text{ cm}^2$ 

Siendo:  $A_v = A - 2 \cdot d \cdot t_w$

Altura del alma.

 $d = 38.00 \text{ mm}$ 

Espesor del alma.

 $t_w = 5.00 \text{ mm}$ 

Área de la sección bruta

 $A = 7.30 \text{ cm}^2$ 

Resistencia de cálculo del acero.

 $f_{yd} = 261.9 \text{ MPa}$ 

Siendo:  $f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$

Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

 $f_y = 275.0 \text{ MPa}$ 

Coeficiente parcial de seguridad del material.

 $\gamma_{M0} = 1.05$ 

$$\eta = \frac{66.53}{3.19} = 20.85 \geq 2.5$$

- **Abolladura por cortante del alma:** (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

No es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{b}{t_f} < 70\epsilon$$

Donde:

Esbeltez del alma  $\lambda_w = \frac{b}{t_f}$

 $\lambda_w = 7.27$ 

Esbeltez máxima  $\lambda_{max} = 70 \cdot \epsilon$

 $\lambda_{max} = 64.71$

Factor de reducción.  $\epsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$   $\epsilon = 0.92$

Siendo:

Límite elástico de referencia.  $f_{ref}=235.0\text{MPa}$

Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)  $f_y=275.0\text{MPa}$

$$7.27 < 64.71$$

- **Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

El esfuerzo cortante solicitante de cálculo  $V_{Ed}$  no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante  $V_{c,Rd}$  por lo que no será necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.  $V_{ed} = 3.19\text{kN}$

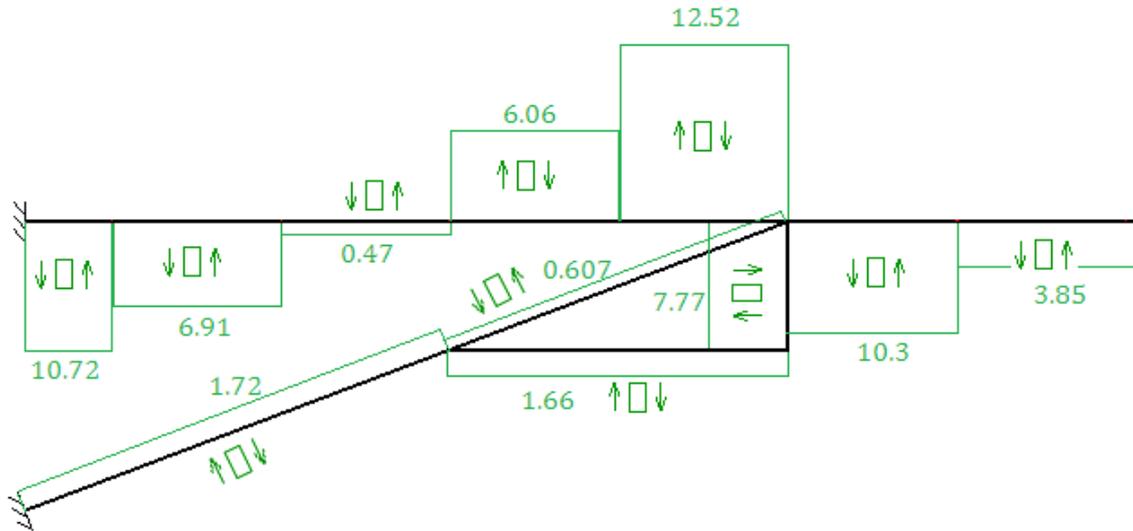
Esfuerzo cortante resistente de cálculo.  $V_{c,Rd} = 66.53\text{Kn}$

$$3.19 \leq \frac{66.53}{2} = 33.256$$

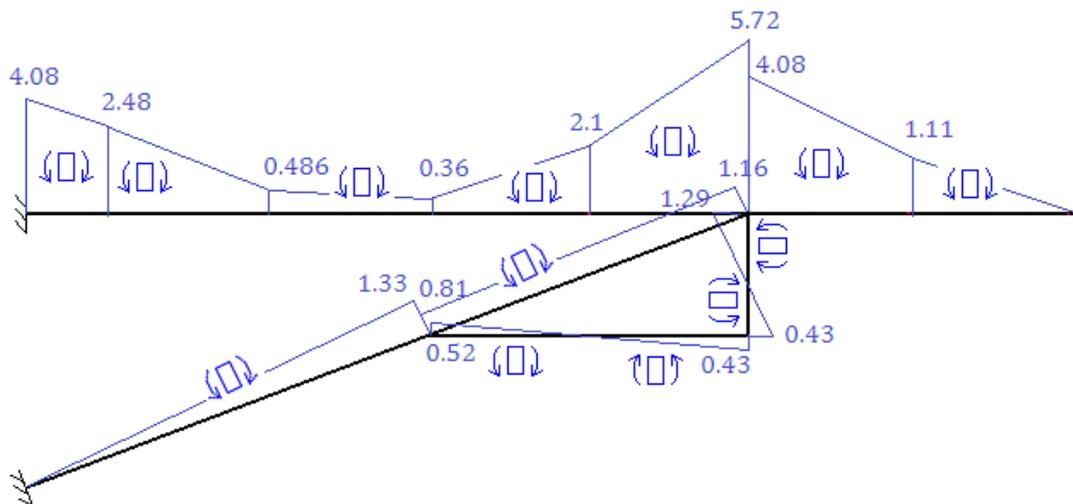
### 1.3. DIMENSIONADO BARRA TIPO 2 (2UPN 100)

#### 1.3.1 DIAGRAMAS DE ESFUERZOS

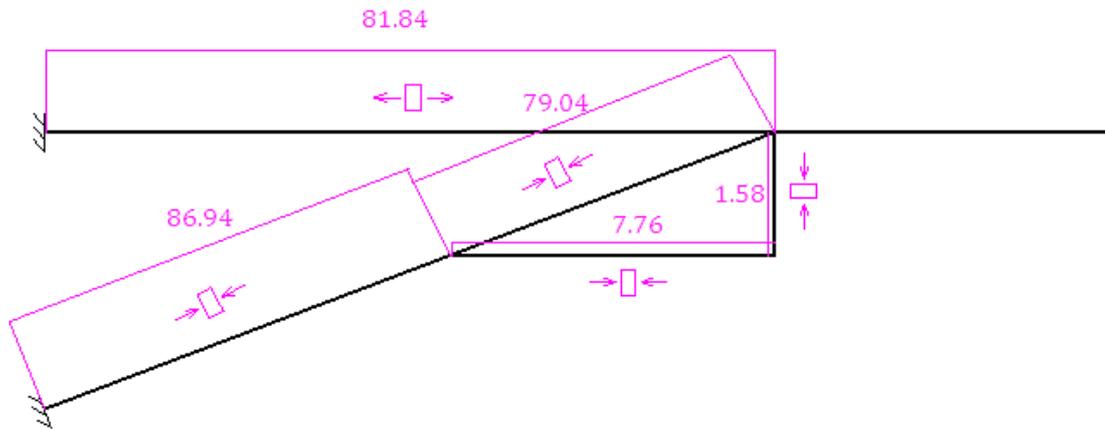
- DIAGRAMA ESFUERZO CORTANTE (kN)



- DIAGRAMA MOMENTO FLECTOR (kN m)



- DIAGRAMA ESFUERZO AXIL (kN)



### 1.3.2 PREDIMENSIONADO PERFIL

El perfil elegido deberá tener un módulo resistente plástico,  $W_{plz,Rd}$ , 2.5 veces mayor que el siguiente:

$$\sigma_{max} = \frac{M_{y,ed}}{W_{plz,Ed}} \leq \frac{f_y}{\gamma_{Mo}} = \frac{275}{1.05} \quad W_{plz,Ed} \geq \frac{5.72 * 10^6}{\frac{275}{1.05}} \geq 21.84 cm^3$$

El perfil elegido ha sido U 40 x 20 doble en cajón soldado, cuyo  $W_{plz,Rd} = 89.31 cm^3$

$$\frac{W_{plz,Rd}}{W_{plz,Ed}} = \frac{89.31}{21.84} = 4.09 > 2.5$$

Perfil: UPN 100, Doble en cajón soldado (Cordón continuo)						
Material: Acero (S275)						
	$W_{pl,y}$ (cm <sup>3</sup> )	$W_{pl,z}$ (cm <sup>3</sup> )	Longitud (m)	Características mecánicas		
	98.44	89.31		Área (cm <sup>2</sup> )	$I_y^{(1)}$ (cm <sup>4</sup> )	$I_z^{(1)}$ (cm <sup>4</sup> )
			1.915	27.00	412.00	379.97
Notas:						
(1) Inercia respecto al eje indicado						
(2) Momento de inercia a torsión uniforme						
	Pandeo		Pandeo lateral			
	Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.		
$\beta$	1.00	1.00	0.00	0.00		
$L_K$	0.290	0.290	0.000	0.000		
$C_m$	1.000	1.000	1.000	1.000		
Notación:						
$\beta$ : Coeficiente de pandeo						
$L_K$ : Longitud de pandeo (m)						
$C_m$ : Coeficiente de momentos						

## 1.3.3 COMPROBACIÓN ESTADOS LÍMITE ÚLTIMOS

- **Resistencia a tracción** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Rd}}{N_{t,Ed}} \geq 2.5$$

Axil de tracción solicitante de cálculo  $N_{t,Ed} = 81.84 \text{ kN}$

Resistencia de cálculo a compresión  $N_{t,Rd} = 706.10 \text{ kN}$

Viene dada por:  $N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$

Donde:

Área de la sección transversal de la barra

$A = 26.96 \text{ cm}^2$

Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd} = 261.9 \text{ MPa}$

Siendo:  $f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$

Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y = 275.0 \text{ MPa}$

Coefficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M0} = 1.05$

$$\eta = \frac{706.10}{81.84} = 8.62 \geq 2.5$$

- **Resistencia a flexión eje Y** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{c,Rd}}{M_{Ed}} \geq 2.5$$

Momento flector solicitante de cálculo  $M_{Ed} = 0.08 \text{ kNm}$

El momento flector resistente de cálculo  $M_{c,Rd} = 25.78 \text{ kNm}$

Viene dado por:  $M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$

Donde:

Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

Clase: 1

Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$W_{pl,y} = 98.44 \text{ cm}^3$

Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd} = 261.9 \text{ MPa}$

Siendo:  $f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$

Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y = 275.0 \text{ MPa}$

Coefficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M0} = 1.05$

$$\eta = \frac{25.78}{0.08} = 322.25 \geq 2.5$$

- **Resistencia a flexión eje Z** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{c,Rd}}{M_{Ed}} \geq 2.5$$

Momento flector solicitante de cálculo  $M_{Ed} = 5.72 \text{ kNm}$

El momento flector resistente de cálculo  $M_{c,Rd} = 23.39 \text{ kNm}$

Viene dado por:  $M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$

Donde:

Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

Clase: 1

Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$W_{pl,z} = 89.31 \text{ cm}^3$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} = 261.9 \text{ MPa}$$

Siendo: 
$$f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y = 275.0 \text{ MPa}$$

Coficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} = 1.05$$

$$\eta = \frac{23.39}{5.72} = 4.09 \geq 2.5$$

- **Resistencia a corte Z** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{c,Rd}}{V_{Ed}} \geq 2.5$$

Esfuerzo cortante solicitante de cálculo  $V_{Ed} = 0.41 \text{ kN}$

Esfuerzo cortante resistente  $V_{c,Rd} = 150.61 \text{ kN}$

Viene dado por: 
$$V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

Donde:

Área transversal a cortante.

$$A_v = 9.96 \text{ cm}^2$$

Siendo: 
$$A_v = 2 \cdot d \cdot t_w$$

Altura del alma.

$$d = 83.00 \text{ mm}$$

Espesor del alma.

$$t_w = 6.00 \text{ mm}$$

Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} = 261.9 \text{ MPa}$$

Siendo: 
$$f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y = 275.0 \text{ MPa}$$

Coficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} = 1.05$$

$$\eta = \frac{150.61}{0.41} = 367.34 \geq 2.5$$

- **Abolladura por cortante del alma:** (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

No es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70\varepsilon$$

Donde:

Esbeltez del alma  $\lambda_w = \frac{d}{t_w}$   $\lambda_w = 13.83$

Esbeltez máxima  $\lambda_{\max} = 70 \cdot \varepsilon$   $\lambda_{\max} = 64.71$

Factor de reducción  $\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{\text{ref}}}{f_y}}$   $\varepsilon = 0.92$

Siendo:

Límite elástico de referencia.  $f_{\text{ref}} = 235.0 \text{ MPa}$

Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)  $f_y = 275.0 \text{ MPa}$

$$13.83 < 64.71$$

- **Resistencia a corte Y** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{c,Rd}}{V_{Ed}} \geq 2.5$$

Esfuerzo cortante solicitante de cálculo  $V_{Ed} = 12.52 \text{ kN}$

Esfuerzo cortante resistente  $V_{c,Rd} = 257.06 \text{ kN}$

Viene dado por:  $V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{y,d}}{\sqrt{3}}$

Donde:

Área transversal a cortante.  $A_v = 17.00 \text{ cm}^2$

Siendo:  $A_v = A - 2 \cdot d \cdot t_w$

Altura del alma.  $d = 83.00 \text{ mm}$

Espesor del alma.  $t_w = 6.00 \text{ mm}$

Área de la sección bruta  $A = 26.96 \text{ mm}^2$

Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} = 261.9 \text{ MPa}$$

Siendo:  $f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$

Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y = 275.0 \text{ MPa}$$

Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} = 1.05$$

$$\eta = \frac{257.06}{12.52} = 20.53 \geq 2.5$$

- **Abolladura por cortante del alma:** (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

No es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{b}{t_f} < 70\varepsilon$$

Donde:

Esbeltez del alma  $\lambda_w = \frac{b}{t_f}$

$$\lambda_w = 11.76$$

Esbeltez máxima  $\lambda_{\max} = 70 \cdot \varepsilon$

$$\lambda_{\max} = 64.71$$

Factor de reducción  $\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{\text{ref}}}{f_y}}$

$$\varepsilon = 0.92$$

Siendo:

Límite elástico de referencia.

$$f_{\text{ref}} = 235.0 \text{ MPa}$$

Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y = 275.0 \text{ MPa}$$

$$11.76 < 64.71$$

- **Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

El esfuerzo cortante solicitante de cálculo  $V_{Ed}$  no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante  $V_{c,Rd}$  por lo que no será necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{ed} = 0.41 \text{ kN}$$

Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} = 150.61 \text{ kN}$$

$$0.41 \leq \frac{150.61}{2} = 75.305$$

- **Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

El esfuerzo cortante solicitante de cálculo  $V_{Ed}$  no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante  $V_{c,Rd}$  por lo que no será necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{ed} = 12.52 \text{ kN}$$

Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} = 257.06 \text{ kN}$$

$$12.52 \leq \frac{257.06}{2} = 128.53$$

- **Resistencia a flexión y axil combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

Ecuación 1

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

Ecuación 2

$$\eta = \frac{M_{ef,Ed}}{M_{b,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

$$\frac{1}{\eta} \geq 2.5$$

Donde:

Axil de tracción solicitante de cálculo	$N_{t,Ed} = 81.84 \text{ kN}$
Momentos flectores solicitantes de cálculo	$M_{y,Ed} = 0.08 \text{ kNm}$
	$M_{z,Ed} = 5.72 \text{ kNm}$

Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple Clase: 1

Resistencia a tracción	$N_{pl,Rd} = 706.10 \text{ kN}$
Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas	$M_{pl,Rd,y} = 25.78 \text{ kNm}$ $M_{pl,Rd,z} = 23.39 \text{ kNm}$

Ecuación 1:

$$\eta = \frac{81.84}{706.10} + \frac{0.08}{25.78} + \frac{5.72}{23.39} = 0.363$$

$$\frac{1}{\eta} = 2.75 > 2.5$$

**Resistencia a pandeo:** (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

Momento flector solicitante de cálculo	$M_{ef,Ed} = 0 \text{ kNm}$
--	-----------------------------

Viene dado por:  $M_{ef,Ed} = W_{y,com} \cdot \sigma_{com,Ed}$

Siendo:

Tensión combinada en la fibra extrema comprimida	$\sigma_{com,Ed} = 0 \text{ MPa}$
$\sigma_{com,Ed} = \frac{M_{y,Ed}}{W_{y,com}} - 0.8 \cdot \frac{N_{t,Ed}}{A}$	

Módulo resistente de la sección referido a la fibra extrema comprimida, alrededor del eje Y.	$W_{y,com} = 98.44 \text{ cm}^3$
--	----------------------------------

Área de la sección bruta.	$A = 26.96 \text{ cm}^2$
---------------------------	--------------------------

Momento flector resistente de cálculo.

$$M_{b,Rd,y} = 25.78 \text{ kNm}$$

Ecuación 2:

$$\eta = \frac{5.72}{23.39} = 0.245 \quad \frac{1}{\eta} = 4.089 > 2.5$$

- **Resistencia a flexión, axil y cortante combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo  $V_{Ed}$  es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo  $V_{c,Rd}$ .

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

Donde:

Esfuerzo cortante solicitante de cálculo

$$V_{Ed,z} = 12.52 \text{ kN}$$

Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,z} = 255.39 \text{ kN}$$

$$12.52 \leq \frac{255.39}{2} = 127.7$$

- **Resistencia a torsión** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{t,Rd}}{V_{t,Ed}} \geq 2.5$$

Momento torsor solicitante de cálculo

$$M_{T,Ed} = 0.10 \text{ kNm}$$

Momento torsor resistente de cálculo

$$M_{T,Rd} = 21.48 \text{ kNm}$$

Siendo : 
$$M_{T,Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot W_T \cdot f_{yd}$$

Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T = 142.06 \text{ cm}^3$$

Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} = 261.9 \text{ MPa}$$

Siendo: 
$$f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y = 275.0 \text{ MPa}$$

Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} = 1.05$$

$$\eta = \frac{21.48}{0.10} = 214.8 \geq 2.5$$

- **Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{pl,T,Rd}}{V_{Ed}} \geq 2.5$$

Esfuerzo cortante solicitante de cálculo

$$V_{ed} = 0.41 \text{ kN}$$

Momento torsor solicitante de cálculo

$$M_{T,Ed} = 0.10 \text{ kNm}$$

Esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido

$$V_{pl,T,Rd} = 149.63 \text{ kN}$$

Siendo: 
$$V_{pl,T,Rd} = \left[ 1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd}$$

Donde:

Esfuerzo cortante resistente de cálculo

$$V_{pl,Rd} = 150.61 \text{ kN}$$

Tensiones tangenciales por torsión

$$\tau_{T,Ed} = 1.0 \text{ MPa}$$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T = 103.21 \text{ cm}^3$$

Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} = 261.9 \text{ MPa}$$

Siendo: 
$$f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y = 275.0 \text{ MPa}$$

Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} = 1.05$$

$$\eta = \frac{149.63}{0.41} = 364.95 \geq 2.5$$

- **Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)**

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{pl,T,Rd}}{V_{Ed}} \geq 2.5$$

Esfuerzo cortante solicitante de cálculo

$$V_{ed} = 12.52 \text{ kN}$$

Momento torsor solicitante de cálculo

$$M_{T,Ed} = 0.10 \text{ kNm}$$

Esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido

$$V_{pl,T,Rd} = 255.88 \text{ kN}$$

Siendo:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[ 1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd}$$

Donde:

Esfuerzo cortante resistente de cálculo

$$V_{pl,Rd} = 257.06 \text{ kN}$$

Tensiones tangenciales por torsión

$$\tau_{T,Ed} = 0.7 \text{ MPa}$$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T = 146.22 \text{ cm}^3$$

Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} = 261.9 \text{ MPa}$$

Siendo:

$$f_{yd} = \frac{fy}{\gamma_{M0}}$$

Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y = 275.0 \text{ MPa}$$

Coficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} = 1.05$$

$$\eta = \frac{255.88}{12.52} = 20.44 \geq 2.5$$

- **Limitación de esbeltez** (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida de las barras traccionadas debe ser inferior al valor 3.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

Área de la sección bruta de la sección transversal de la barra	A= 26.96 cm <sup>2</sup>
Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)	f <sub>y</sub> = 275.0MPa
Axil crítico de pandeo elástico.	N <sub>cr</sub> = 89209.24 kN

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

El axil crítico de pandeo elástico N<sub>cr</sub> es el menor de los valores obtenidos en a) y b):

- Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.  
N<sub>cr,y</sub>= 102034.58 kN
- Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.  
N<sub>cr,z</sub>= 89209.24 kN

$$\lambda = \sqrt{\frac{2696 \times 275.0}{89209240.0}} = 0.09 < 3$$

## 1.4 DIMENSIONADO BARRA TIPO 3 (2U 60X30)

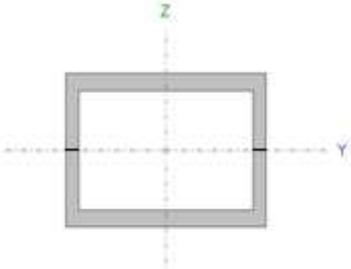
### 1.4.1 PREDIMENSIONADO PERFIL

El perfil elegido deberá tener un módulo resistente plástico,  $W_{plz,Rd}$ , 2.5 veces mayor que el siguiente:

$$\sigma_{max} = \frac{Mz,ed}{W_{plz,Ed}} \leq \frac{fy}{\gamma_{Mo}} = \frac{275}{1.05} \quad W_{plz,Ed} \geq \frac{1.33 * 10^6}{\frac{275}{1.05}} \geq 5.078cm^3$$

El perfil elegido ha sido U 65 x 42 doble en cajón soldado, cuyo  $W_{plz,Rd} = 48.05 cm^3$

$$\frac{W_{plz,Rd}}{W_{plz,Ed}} = \frac{48.05}{5.078} = 9.46 > 2.5$$

Perfil: U 65 x 42, Doble en cajón soldado (Cordón continuo) Material: Acero (S275)							
	Wpl,y (cm <sup>3</sup> )	Wpl,z (cm <sup>3</sup> )	Longitud (m)	Características mecánicas			
	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>t</sub> <sup>(2)</sup> (cm <sup>4</sup> )			
	43.10	48.05	1.402	18.06	115.40	170.80	196.90
Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme							
	Pandeo		Pandeo lateral				
	Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.			
$\beta$	1.00	1.00	0.00	0.00			
$L_K$	0.781	0.781	0.000	0.000			
$C_m$	1.000	1.000	1.000	1.000			
Notación: $\beta$ : Coeficiente de pandeo $L_K$ : Longitud de pandeo (m) $C_m$ : Coeficiente de momentos							

### 1.4.2 COMPROBACIÓN ESTADOS LÍMITE ÚLTIMOS

- **Resistencia a compresión** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

Ecuación 1:

$$\eta = \frac{N_{c,Rd}}{N_{c,Ed}} \geq 2.5$$

Ecuación 2:

$$\eta = \frac{N_{b,Rd}}{N_{c,Ed}} \geq 2.5$$

Axil de compresión solicitante de cálculo  $N_{c,Ed} = 86.94 \text{ kN}$ Resistencia de cálculo a compresión  $N_{c,Rd} = 474.05 \text{ kN}$ Viene dada por  $N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$ 

Donde:

Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección. Clase: 1

Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.  $A=18.10 \text{ cm}^2$ Resistencia de cálculo del acero.  $f_{yd}= 261.9\text{MPa}$ Siendo:  $f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$   
Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)  $f_y=275.0\text{MPa}$   
Coeficiente parcial de seguridad del material.  $\gamma_{M0}=1.05$ 

Ecuación1:

$$\eta = \frac{474.05}{86.94} = 5.45 \geq 2.5$$

**Resistencia a pandeo:** (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)Resistencia de cálculo a pandeo  $N_{b,Rd} = 436.48 \text{ kN}$ Viene dada por:  $N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd}$ 

Donde:

Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.  $A=18.10 \text{ cm}^2$ Resistencia de cálculo del acero.  $f_{yd}= 261.9\text{MPa}$

Siendo:  $f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$

Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y = 275.0 \text{ MPa}$

Coefficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M1} = 1.05$

Coefficiente de reducción por pandeo

$X_v = 0.92$

$X_z = 0.95$

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1$$

Viene dado por:

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[ 1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right]$$

Siendo:

$\Phi_v = 0.60$

$\Phi_z = 0.57$

Coefficiente de imperfección elástica

$\alpha_v = \alpha_z = 0.49$

Esbeltez reducida

$\lambda_v = 0.36$

$\lambda_z = 0.30$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

Viene dada por:

Siendo:

Axil crítico elástico de pandeo el menor de:

$N_{cr} = 3944.58 \text{ kN}$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2} \quad N_{cr,y} = 3944.58 \text{ kN}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2} \quad N_{cr,z} = 5396.24 \text{ kN}$$

Donde:

Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

$I_y = 116.20 \text{ cm}^4$

Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

$I_z = 158.96 \text{ cm}^4$

Módulo de elasticidad.

$E = 210000 \text{ MPa}$

Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

$L_{ky} = 0.781 \text{ m}$

Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

$L_{kz} = 0.781 \text{ m}$

Ecuación 2 :

$$\eta = \frac{436.48}{86.94} = 5.02 \geq 2.5$$

- **Resistencia a flexión eje Y** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{c,Rd}}{M_{Ed}} \geq 2.5$$

Momento flector solicitante de cálculo  $M_{Ed} = 0.07 \text{ kNm}$ El momento flector resistente de cálculo  $M_{c,Rd} = 11.29 \text{ kNm}$ Viene dado por:  $M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$ 

Donde:

Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

Clase: 1

Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

 $W_{pl,y} = 43.10 \text{ cm}^3$ 

Resistencia de cálculo del acero.

 $f_{yd} = 261.9 \text{ MPa}$ Siendo:  $f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$ 

Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

 $f_y = 275.0 \text{ MPa}$ 

Coeficiente parcial de seguridad del material.

 $\gamma_{M0} = 1.05$ 

$$\eta = \frac{11.29}{0.07} = 161.28 \geq 2.5$$

- **Resistencia a flexión eje Z** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{c,Rd}}{M_{Ed}} \geq 2.5$$

Momento flector solicitante de cálculo  $M_{Ed} = 1.33 \text{ kNm}$

El momento flector resistente de cálculo  $M_{c,Rd} = 12.58 \text{ kNm}$

Viene dado por:  $M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$

Donde:

Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

Clase: 1

Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$W_{pl,z} = 48.05 \text{ cm}^3$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd} = 261.9 \text{ MPa}$

Siendo:  $f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$

Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y = 275.0 \text{ MPa}$

Coefficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M0} = 1.05$

$$\eta = \frac{12.58}{1.33} = 9.45 \geq 2.5$$

- **Resistencia a corte Z** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{c,Rd}}{V_{Ed}} \geq 2.5$$

Esfuerzo cortante solicitante de cálculo  $V_{Ed} = 0.22 \text{ kN}$

Esfuerzo cortante resistente  $V_{c,Rd} = 83.17 \text{ kN}$

Viene dado por:  $V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$

Donde:

Área transversal a cortante.

$$A_v = 5.50 \text{ cm}^2$$

Siendo:  $A_v = 2 \cdot d \cdot t_w$

Altura del alma.

$$d = 50.00 \text{ mm}$$

Espesor del alma.

$$t_w = 5.50 \text{ mm}$$

Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} = 261.9 \text{ MPa}$$

Siendo:  $f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$

Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y = 275.0 \text{ MPa}$$

Coefficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} = 1.05$$

$$\eta = \frac{83.17}{0.22} = 378.04 \geq 2.5$$

- **Abolladura por cortante del alma:** (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

No es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70\varepsilon$$

Donde:

Esbeltez del alma  $\lambda_w = \frac{d}{t_w}$

$$\lambda_w = 9.09$$

Esbeltez máxima  $\lambda_{\max} = 70 \cdot \varepsilon$

$$\lambda_{\max} = 64.71$$

Factor de reducción  $\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{\text{ref}}}{f_y}}$

$$\varepsilon = 0.92$$

Siendo:

Límite elástico de referencia.

$$f_{\text{ref}} = 235.0 \text{ MPa}$$

Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y = 275.0 \text{ MPa}$$

$$9.09 < 64.71$$

- **Resistencia a corte Y** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{c,Rd}}{V_{Ed}} \geq 2.5$$

Esfuerzo cortante solicitante de cálculo  $V_{Ed} = 1.72 \text{ kN}$

Esfuerzo cortante resistente  $V_{c,Rd} = 190.53 \text{ kN}$

Viene dado por:  $V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$

Donde:

Área transversal a cortante.  $A_v = 12.60 \text{ cm}^2$

Siendo:  $A_v = A - 2 \cdot d \cdot t_w$

Altura del alma.  $d = 50.00 \text{ mm}$

Espesor del alma.  $t_w = 5.50 \text{ mm}$

Área de la sección bruta  $A = 18.10 \text{ mm}^2$

Resistencia de cálculo del acero.  $f_{yd} = 261.9 \text{ MPa}$

Siendo:  $f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$

Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)  $f_y = 275.0 \text{ MPa}$

Coefficiente parcial de seguridad del material.  $\gamma_{M0} = 1.05$

$$\eta = \frac{190.53}{1.72} = 110.77 \geq 2.5$$

- **Abolladura por cortante del alma:** (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

No es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{b}{t_f} < 70\epsilon$$

Donde:

Esbeltez del alma  $\lambda_w = \frac{b}{t_f}$

$$\lambda_w = 11.20$$

Esbeltez máxima  $\lambda_{\max} = 70 \cdot \varepsilon$  $\lambda_{\max} = 64.71$ Factor de reducción  $\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{\text{ref}}}{f_y}}$  $\varepsilon = 0.92$ 

Siendo:

Límite elástico de referencia.

 $f_{\text{ref}} = 235.0 \text{MPa}$ 

Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

 $f_y = 275.0 \text{MPa}$ 

$$11.20 < 64.71$$

- **Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

El esfuerzo cortante solicitante de cálculo  $V_{Ed}$  no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante  $V_{c,Rd}$  por lo que no será necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

 $V_{ed} = 0.22 \text{ kN}$ 

Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

 $V_{c,Rd} = 83.17 \text{ kN}$ 

$$0.22 \leq \frac{83.17}{2} = 41.585$$

- **Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

El esfuerzo cortante solicitante de cálculo  $V_{Ed}$  no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante  $V_{c,Rd}$  por lo que no será necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

 $V_{ed} = 1.72 \text{ kN}$ 

Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

 $V_{c,Rd} = 190.53 \text{ kN}$ 

$$1.72 \leq \frac{190.53}{2} = 95.265$$

- **Resistencia a flexión y axil combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

Ecuación 1

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

Ecuación 2

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

Ecuación 3

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$\frac{1}{\eta} \geq 2.5$$

Donde:

Axil de compresión solicitante de cálculo

$$N_{c,Ed} = 86.94 \text{ kN}$$

Momentos flectores solicitantes de cálculo

$$M_{y,Ed} = 0.07 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = 1.33 \text{ kNm}$$

Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple

Clase: 1

Resistencia a compresión de la sección bruta  
kN

$$N_{pl,Rd} = 474.05$$

Resistencia a flexión de la sección bruta  
en condiciones plásticas

$$M_{pl,Rd,y} = 11.29 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,Rd,z} = 12.58 \text{ kNm}$$

Ecuación 1:

$$\eta = \frac{86.94}{474.05} + \frac{0.07}{11.29} + \frac{1.33}{12.58} = 0.295$$

$$\frac{1}{0.295} = 3.38 \geq 2.5$$

**Resistencia a pandeo:** (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

Área de la sección bruta

$$A = 18.10 \text{ cm}^2$$

Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z

$$W_{pl,y} = 43.10 \text{ cm}^3$$

$$W_{pl,z} = 48.05 \text{ cm}^3$$

Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} = 261.9 \text{ MPa}$$

Siendo:  $f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$

Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y = 275.0 \text{ MPa}$$

Coefficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} = 1.05$$

Coefficientes de interacción

$$k_y = 1.03$$

$$k_z = 1.02$$

Siendo:

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_z = 1 + (\bar{\lambda}_z - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}}$$

Factores de momento flector uniforme equivalente.

$$C_{m,y} = C_{m,z} = 1.00$$

Coefficientes de reducción por pandeo alrededor de los ejes Y y Z

$$\chi_y = 0.92$$

$$\chi_z = 0.80$$

Esbelteces reducidas < 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\lambda_y = 0.36$$

$$\lambda_z = 0.30$$

Factores dependientes de la clase de la sección

$$\alpha_y = \alpha_z = 0.60$$

Ecuación 2:

$$\eta = \frac{86.94}{0.92 \times 18.10 \times 261.9} + 1.03 \times \frac{1.00 \times 0.07}{2.55 \times 10^{-5} \times 43.10 \times 261.9} + 0.60 \times 1.02 \times \frac{1.00 \times 1.33}{48.05 \times 261.9}$$

$$= 0.270$$

$$\frac{1}{0.270} = 3.70 \geq 2.5$$

Ecuación 3:

$$\eta = \frac{86.94}{0.92 \times 18.10 \times 261.9} + 1.03 \times 0.60 \times \frac{1.00 \times 0.07}{43.10 \times 261.9} + 0.60 \times \frac{1.00 \times 1.33}{48.05 \times 261.9}$$
$$= 0.305$$

$$\frac{1}{0.305} = 3.28 \geq 2.5$$

- **Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

El esfuerzo cortante solicitante de cálculo  $V_{Ed}$  no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante  $V_{c,Rd}$  por lo que no será necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd,y}}{2}$$

Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{ed} = 1.72 \text{ kN}$$

Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} = 188.09 \text{ kN}$$

$$1.72 \leq \frac{188.09}{2} = 94.045$$

- **Resistencia a torsión** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{t,Rd}}{M_{t,Ed}} \geq 2.5$$

Momento torsor solicitante de cálculo

$$M_{T,Ed} = 0.10 \text{ kNm}$$

Momento torsor resistente de cálculo

$$M_{T,Rd} = 9.95 \text{ kNm}$$

Siendo :  $M_{T,Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot W_T \cdot f_{yd}$

Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T = 65.80 \text{ cm}^3$$

Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} = 261.9 \text{ MPa}$$

Siendo:  $f_{yd} = \frac{fy}{\gamma_{M0}}$   
Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)  $fy=275.0\text{MPa}$   
Coeficiente parcial de seguridad del material.  $\gamma_{M0}=1.05$

$$\eta = \frac{9.95}{0.10} = 99.5 \geq 2.5$$

- **Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{pl,T,Rd}}{V_{Ed}} \geq 2.5$$

Esfuerzo cortante solicitante de cálculo  $V_{ed}=0.22 \text{ kN}$   
Momento torsor solicitante de cálculo  $M_{T,Ed}=0.10 \text{ kNm}$   
Esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido  $V_{pl,T,Rd}=82.10 \text{ kN}$

Siendo: 
$$V_{pl,T,Rd} = \left[ 1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd}$$

Donde:

Esfuerzo cortante resistente de cálculo  $V_{pl,Rd}= 83.17 \text{ kN}$   
Tensiones tangenciales por torsión  $\tau_{T,Ed}= 1.9\text{MPa}$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Módulo de resistencia a torsión.  $W_T= 49.65 \text{ cm}^3$

Resistencia de cálculo del acero.  $f_{yd}= 261.9\text{MPa}$

Siendo:  $f_{yd} = \frac{fy}{\gamma_{M0}}$   
Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)  $fy=275.0\text{MPa}$   
Coeficiente parcial de seguridad del material.  $\gamma_{M0}=1.05$

$$\eta = \frac{82.10}{0.22} = 3.73 \geq 2.5$$

- **Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)**

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{pl,T,Rd}}{V_{Ed}} \geq 2.5$$

Esfuerzo cortante solicitante de cálculo

$$V_{ed} = 1.72 \text{ kN}$$

Momento torsor solicitante de cálculo

$$M_{T,Ed} = 0.10 \text{ kNm}$$

Esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido

$$V_{pl,T,Rd} = 188.74 \text{ kN}$$

Siendo:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[ 1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd}$$

Donde:

Esfuerzo cortante resistente de cálculo

$$V_{pl,Rd} = 190.53 \text{ kN}$$

Tensiones tangenciales por torsión

$$\tau_{T,Ed} = 1.4 \text{ MPa}$$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T = 67.71 \text{ cm}^3$$

Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} = 261.9 \text{ MPa}$$

Siendo:

$$f_{yd} = \frac{fy}{\gamma_{M0}}$$

Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y = 275.0 \text{ MPa}$$

Coficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} = 1.05$$

$$\eta = \frac{188.74}{1.72} = 109.73 \geq 2.5$$

- **Limitación de esbeltez** (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

Área de la sección bruta de la sección transversal de la barra	A= 18.10cm <sup>2</sup>
Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)	f <sub>y</sub> = 275.0MPa
Axil crítico de pandeo elástico.	N <sub>cr</sub> = 3944.58 kN

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

El axil crítico de pandeo elástico N<sub>cr</sub> es el menor de los valores obtenidos en a) y b):

- c) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.  
N<sub>cr,y</sub>= 3944.58 kN
- d) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.  
N<sub>cr,z</sub>= 5396.24 kN

$$\lambda = \sqrt{\frac{1810 \times 275.0}{3944580.0}} = 0.36 < 2$$

## 1.5 DIMENSIONADO BARRA TIPO 4 (2U 50X25)

### 1.5.1 PREDIMENSIONADO PERFIL

El perfil elegido deberá tener un módulo resistente plástico,  $W_{plz,Rd}$ , 2.5 veces mayor que el siguiente:

$$\sigma_{max} = \frac{Mz, ed}{W_{plz,Ed}} \leq \frac{fy}{\gamma_{Mo}} = \frac{275}{1.05} \quad W_{plz,Ed} \geq \frac{0.52 * 10^6}{\frac{275}{1.05}} * 10^{-3} \geq 1.98 \text{ cm}^3$$

El perfil elegido ha sido U 50 x 25 doble en cajón soldado, cuyo  $W_{plz,Rd} = 16.05 \text{ cm}^3$

$$\frac{W_{plz,Rd}}{W_{plz,Ed}} = \frac{16.05}{1.98} = 8.1 > 2.5$$

Perfil: U 50 x 25, Doble en cajón soldado (Cordón continuo) Material: Acero (S275)							
	$W_{pl,y}$	$W_{pl,z}$	Longitud (m)	Características mecánicas			
	( $\text{cm}^3$ )	( $\text{cm}^3$ )		Área ( $\text{cm}^2$ )	$I_y^{(1)}$ ( $\text{cm}^4$ )	$I_z^{(1)}$ ( $\text{cm}^4$ )	$I_t^{(2)}$ ( $\text{cm}^4$ )
	16.81	16.05	0.580	9.84	33.80	33.10	48.86
	Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme						
	Pandeo		Pandeo lateral				
	Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.			
$\beta$	1.00	1.00	0.00	0.00			
$L_K$	0.580	0.580	0.000	0.000			
$C_m$	1.000	1.000	1.000	1.000			
Notación: $\beta$ : Coeficiente de pandeo $L_K$ : Longitud de pandeo (m) $C_m$ : Coeficiente de momentos							

### 1.5.2 COMPROBACIÓN ESTADOS LÍMITE ÚLTIMOS

- **Resistencia a compresión** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

Ecuación 1:

$$\eta = \frac{N_{c,Rd}}{N_{c,Ed}} \geq 2.5$$

Ecuación 2:

$$\eta = \frac{N_{b,Rd}}{N_{c,Ed}} \geq 2.5$$

Axil de compresión solicitante de cálculo  $N_{c,Ed} = 7.77 \text{ kN}$ Resistencia de cálculo a compresión  $N_{c,Rd} = 256.67 \text{ kN}$ Viene dada por  $N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$ 

Donde:

Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.

Clase: 1

Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

 $A=9.8 \text{ cm}^2$ 

Resistencia de cálculo del acero.

 $f_{yd} = 261.9 \text{ MPa}$ Siendo:  $f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$ 

Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

 $f_y = 275.0 \text{ MPa}$ 

Coeficiente parcial de seguridad del material.

 $\gamma_{M0} = 1.05$ 

Ecuación 1:

$$\eta = \frac{256.67}{7.77} = 33.03 \geq 2.5$$

**Resistencia a pandeo:** (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)Resistencia de cálculo a pandeo  $N_{b,Rd} = 234.25 \text{ kN}$ Viene dada por:  $N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd}$ 

Donde:

Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.

 $A=9.8 \text{ cm}^2$ 

Resistencia de cálculo del acero.

 $f_{yd} = 261.9 \text{ MPa}$ Siendo:  $f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$

Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y = 275.0 \text{ MPa}$$

Coefficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M1} = 1.05$$

Coefficiente de reducción por pandeo

$$X_v = 0.92$$

$$X_z = 0.91$$

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1$$

Viene dado por:

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[ 1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right]$$

Siendo:

$$\Phi_v = 0.60$$

$$\Phi_z = 0.61$$

Coefficiente de imperfección elástica

$$\alpha_v = \alpha_z = 0.49$$

Esbeltez reducida

$$\lambda_v = 0.36$$

$$\lambda_z = 0.30$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

Viene dada por:

Siendo:

Axil crítico elástico de pandeo el menor de:

$$N_{cr} = 1960.28 \text{ kN}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2} \quad N_{cr,y} = 2082.02 \text{ kN}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2} \quad N_{cr,z} = 1960.28 \text{ kN}$$

Donde:

Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

$$I_y = 33.79 \text{ cm}^4$$

Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

$$I_z = 31.82 \text{ cm}^4$$

Módulo de elasticidad.

$$E = 210000 \text{ MPa}$$

Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

$$L_{ky} = 0.58 \text{ m}$$

Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

$$L_{kz} = 0.58 \text{ m}$$

Ecuación 2 :

$$\eta = \frac{234.25}{7.77} = 30.14 \geq 2.5$$

- **Resistencia a flexión eje Y** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{c,Rd}}{M_{Ed}} \geq 2.5$$

Momento flector solicitante de cálculo  $M_{Ed} = 0.01 \text{ kNm}$

El momento flector resistente de cálculo  $M_{c,Rd} = 4.4 \text{ kNm}$

Viene dado por:  $M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$

Donde:

Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

Clase: 1

Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$W_{pl,y} = 16.81 \text{ cm}^3$

Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd} = 261.9 \text{ MPa}$

Siendo:  $f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$

Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y = 275.0 \text{ MPa}$

Coefficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M0} = 1.05$

$$\eta = \frac{4.4}{0.01} = 440 \geq 2.5$$

- **Resistencia a flexión eje Z** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{c,Rd}}{M_{Ed}} \geq 2.5$$

Momento flector solicitante de cálculo  $M_{Ed} = 0.52$  kNm

El momento flector resistente de cálculo  $M_{c,Rd} = 4.20$  kNm

Viene dado por:  $M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$

Donde:

Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

Clase: 1

Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$W_{pl,z} = 16.05$  cm<sup>3</sup>

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd} = 261.9$ MPa

Siendo:  $f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$

Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y = 275.0$ MPa

Coefficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M0} = 1.05$

$$\eta = \frac{4.20}{0.52} = 8.07 \geq 2.5$$

- **Resistencia a corte Z** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{c,Rd}}{V_{Ed}} \geq 2.5$$

Esfuerzo cortante solicitante de cálculo  $V_{Ed} = 0.05$  kN

Esfuerzo cortante resistente  $V_{c,Rd} = 57.46$  kN

Viene dado por:  $V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$

Donde:

Área transversal a cortante.

$$A_v = 3.8 \text{ cm}^2$$

Siendo:  $A_v = 2 \cdot d \cdot t_w$

Altura del alma.

$$d = 38 \text{ mm}$$

Espesor del alma.

$$t_w = 5 \text{ mm}$$

Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} = 261.9 \text{ MPa}$$

Siendo:  $f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$

Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y = 275.0 \text{ MPa}$$

Coefficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} = 1.05$$

$$\eta = \frac{57.46}{0.05} = 1149.2 \geq 2.5$$

- **Abolladura por cortante del alma:** (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

No es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70\varepsilon$$

Donde:

Esbeltez del alma  $\lambda_w = \frac{d}{t_w}$

$$\lambda_w = 7.6$$

Esbeltez máxima  $\lambda_{\max} = 70 \cdot \varepsilon$

$$\lambda_{\max} = 64.71$$

Factor de reducción  $\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{\text{ref}}}{f_y}}$

$$\varepsilon = 0.92$$

Siendo:

Límite elástico de referencia.

$$f_{\text{ref}} = 235.0 \text{ MPa}$$

Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y = 275.0 \text{ MPa}$$

$$7.6 < 64.4$$

- **Resistencia a corte Y** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{c,Rd}}{V_{Ed}} \geq 2.5$$

Esfuerzo cortante solicitante de cálculo  $V_{Ed} = 1.66 \text{ kN}$

Esfuerzo cortante resistente  $V_{c,Rd} = 90.73 \text{ kN}$

Viene dado por:  $V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$

Donde:

Área transversal a cortante.

$$A_v = 6 \text{ cm}^2$$

Siendo:  $A_v = A - 2 \cdot d \cdot t_w$

Altura del alma.

$$d = 38 \text{ mm}$$

Espesor del alma.

$$t_w = 5 \text{ mm}$$

Área de la sección bruta

$$A = 9.8 \text{ mm}^2$$

Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} = 261.9 \text{ MPa}$$

Siendo:  $f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$

Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y = 275.0 \text{ MPa}$$

Coefficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} = 1.05$$

$$\eta = \frac{90.73}{1.66} = 54.65 \geq 2.5$$

- **Abolladura por cortante del alma:** (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

No es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{b}{t_f} < 70\epsilon$$

Donde:

Esbeltez del alma  $\lambda_w = \frac{b}{t_f}$

$$\lambda_w = 8.33$$

Esbeltez máxima  $\lambda_{\max} = 70 \cdot \varepsilon$  $\lambda_{\max} = 64.71$ Factor de reducción  $\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{\text{ref}}}{f_y}}$  $\varepsilon = 0.92$ 

Siendo:

Límite elástico de referencia.

 $f_{\text{ref}} = 235.0 \text{MPa}$ 

Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

 $f_y = 275.0 \text{MPa}$ 

$$8.33 < 64.71$$

- **Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

El esfuerzo cortante solicitante de cálculo  $V_{Ed}$  no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante  $V_{c,Rd}$  por lo que no será necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

 $V_{ed} = 0.05 \text{ kN}$ 

Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

 $V_{c,Rd} = 57.46 \text{ kN}$ 

$$0.05 \leq \frac{57.46}{2} = 28.73$$

- **Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

El esfuerzo cortante solicitante de cálculo  $V_{Ed}$  no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante  $V_{c,Rd}$  por lo que no será necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

 $V_{ed} = 1.66 \text{ kN}$ 

Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

 $V_{c,Rd} = 90.73 \text{ kN}$ 

$$1.66 \leq \frac{90.73}{2} = 46.24$$

- **Resistencia a flexión y axil combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

Ecuación 1

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

Ecuación 2

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

Ecuación 3

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$\frac{1}{\eta} \geq 2.5$$

Donde:

Axil de compresión solicitante de cálculo

$$N_{c,Ed} = 7.77 \text{ kN}$$

Momentos flectores solicitantes de cálculo

$$M_{y,Ed} = 0.01 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = 0.52 \text{ kNm}$$

Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple

Clase: 1

Resistencia a compresión de la sección bruta

$$N_{pl,Rd} = 256.67 \text{ kN}$$

Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas

$$M_{pl,Rd,y} = 4.4 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,Rd,z} = 4.2 \text{ kNm}$$

Ecuación 1:

$$\eta = \frac{7.77}{256.67} + \frac{0.01}{4.4} + \frac{0.52}{4.2} = 0.155$$

$$\frac{1}{0.155} = 6.45 \geq 2.5$$

**Resistencia a pandeo:** (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

Área de la sección bruta

$$A = 9.8 \text{ cm}^2$$

Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z

$$W_{pl,y} = 16.81 \text{ cm}^3$$

$$W_{pl,z} = 16.05 \text{ cm}^3$$

Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} = 261.9 \text{ MPa}$$

Siendo:  $f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$

Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y = 275.0 \text{ MPa}$$

Coefficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} = 1.05$$

Coefficientes de interacción

$$k_y = 1.01$$

$$k_z = 1.01$$

Siendo:

$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_z = 1 + (\bar{\lambda}_z - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}}$$

Factores de momento flector uniforme equivalente.

$$C_{m,y} = C_{m,z} = 1.00$$

Coefficientes de reducción por pandeo alrededor de los ejes Y y Z

$$\chi_y = 0.92$$

$$\chi_z = 0.80$$

Esbelteces reducidas < 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\lambda_y = 0.36$$

$$\lambda_z = 0.30$$

Factores dependientes de la clase de la sección

$$\alpha_y = \alpha_z = 0.60$$

Ecuación 2:

$$\eta = \frac{7.77}{0.92 \times 9.8 \times 261.9} + 1.01 \times \frac{1.00 \times 0.01}{2.55 \times 10^{-5} \times 16.81 \times 261.9} + 0.60 \times 1.02 \times \frac{1.00 \times 0.52}{16.05 \times 261.9}$$

$$\eta = 0.109$$

$$\frac{1}{0.109} = 9.17 \geq 2.5$$

Ecuación 3:

$$\eta = \frac{7.77}{0.92 \times 9.8 \times 261.9} + 1.01 \times 0.60 \times \frac{1.00 \times 0.01}{16.81 \times 261.9} + 0.60 \times \frac{1.00 \times 1.33}{16.05 \times 261.9} = 0.158$$
$$\frac{1}{0.158} = 6.32 \geq 2.5$$

- **Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

El esfuerzo cortante solicitante de cálculo  $V_{Ed}$  no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante  $V_{c,Rd}$  por lo que no será necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd,y}}{2}$$

Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{ed} = 1.66 \text{ kN}$$

Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} = 90.11 \text{ kN}$$

$$1.66 \leq \frac{90.11}{2} = 45.05$$

- **Resistencia a torsión** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{t,Rd}}{M_{t,Ed}} \geq 2.5$$

Momento torsor solicitante de cálculo

$$M_{T,Ed} = 0.02 \text{ kNm}$$

Momento torsor resistente de cálculo

$$M_{T,Rd} = 3.5 \text{ kNm}$$

Siendo :  $M_{T,Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot W_T \cdot f_{yd}$

Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T = 23.14 \text{ cm}^3$$

Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} = 261.9 \text{ MPa}$$

Siendo:  $f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$

Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y = 275.0 \text{ MPa}$$

Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0}=1.05$$

$$\eta = \frac{3.5}{0.02} = 175 \geq 2.5$$

- **Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{pl,T,Rd}}{V_{Ed}} \geq 2.5$$

Esfuerzo cortante solicitante de cálculo

$$V_{ed}=0.05 \text{ kN}$$

Momento torsor solicitante de cálculo

$$M_{T,Ed}=0.02 \text{ kNm}$$

Esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido

$$V_{pl,T,Rd}=57.07 \text{ kN}$$

Siendo:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[ 1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd}$$

Donde:

Esfuerzo cortante resistente de cálculo

$$V_{pl,Rd}= 57.46 \text{ kN}$$

Tensiones tangenciales por torsión

$$\tau_{T,Ed}= 1 \text{ MPa}$$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T= 19.8 \text{ cm}^3$$

Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd}= 261.9 \text{ MPa}$$

Siendo:

$$f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y=275.0 \text{ MPa}$$

Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0}=1.05$$

$$\eta = \frac{57.07}{0.05} = 1141 \geq 2.5$$

- **Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)**

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{pl,T,Rd}}{V_{Ed}} \geq 2.5$$

Esfuerzo cortante solicitante de cálculo

$$V_{ed} = 1.66 \text{ kN}$$

Momento torsor solicitante de cálculo

$$M_{T,Ed} = 0.02 \text{ kNm}$$

Esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido

$$V_{pl,T,Rd} = 90.21 \text{ kN}$$

Siendo:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[ 1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd}$$

Donde:

Esfuerzo cortante resistente de cálculo

$$V_{pl,Rd} = 90.73 \text{ kN}$$

Tensiones tangenciales por torsión

$$\tau_{T,Ed} = 0.9 \text{ MPa}$$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T = 23.76 \text{ cm}^3$$

Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} = 261.9 \text{ MPa}$$

Siendo:

$$f_{yd} = \frac{fy}{\gamma_{M0}}$$

Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y = 275.0 \text{ MPa}$$

Coficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} = 1.05$$

$$\eta = \frac{90.21}{1.66} = 54.34 \geq 2.5$$

- **Limitación de esbeltez** (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

Área de la sección bruta de la sección transversal de la barra	A= 9.8cm <sup>2</sup>
Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)	f <sub>y</sub> = 275.0MPa
Axil crítico de pandeo elástico.	N <sub>cr</sub> = 1960.28 kN

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

El axil crítico de pandeo elástico N<sub>cr</sub> es el menor de los valores obtenidos en a) y b):

- e) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.  
N<sub>cr,y</sub>= 2082.02 kN
- f) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.  
N<sub>cr,z</sub>= 1960.28 kN

$$\lambda = \sqrt{\frac{980 \times 275.0}{1960280}} = 0.37 < 2$$

## 1.6 DIMENSIONADO BARRA TIPO 5 (2U 50X25)

### 1.6.1 PREDIMENSIONADO PERFIL

El perfil elegido deberá tener un módulo resistente plástico,  $W_{plz,Rd}$ , 2.5 veces mayor que el siguiente:

$$\sigma_{max} = \frac{Mz, ed}{W_{plz,Ed}} \leq \frac{fy}{\gamma_{Mo}} = \frac{275}{1.05} \quad W_{plz,Ed} \geq \frac{1.29 * 10^6}{\frac{275}{1.05}} \times 10^{-3} \geq 4.93 cm^3$$

El perfil elegido ha sido U 40 x 20 doble en cajón soldado, cuyo  $W_{plz,Rd} = 16.05 cm^3$

$$\frac{W_{plz,Rd}}{W_{plz,Ed}} = \frac{16.05}{4.93} = 3.26 > 2.5$$

Perfil: U 50 x 25, Doble en cajón soldado (Cordón continuo) Material: Acero (S275)							
	$W_{pl,y}$ (cm <sup>3</sup> )	$W_{pl,z}$ (cm <sup>3</sup> )	Longitud (m)	Características mecánicas			
				Área (cm <sup>2</sup> )	$I_y^{(1)}$ (cm <sup>4</sup> )	$I_z^{(1)}$ (cm <sup>4</sup> )	$I_t^{(2)}$ (cm <sup>4</sup> )
	16.81	16.05	0.221	9.84	33.80	33.10	48.86
	Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme						
	Pandeo		Pandeo lateral				
	Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.			
$\beta$	1.00	1.00	0.00	0.00			
$L_K$	0.221	0.221	0.000	0.000			
$C_m$	1.000	1.000	1.000	1.000			
Notación: $\beta$ : Coeficiente de pandeo $L_K$ : Longitud de pandeo (m) $C_m$ : Coeficiente de momentos							

### 1.6.2 COMPROBACIÓN ESTADOS LÍMITE ÚLTIMOS

- **Resistencia a compresión** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Rd}}{N_{c,Ed}} \geq 2.5$$

Axil de compresión solicitante de cálculo  $N_{c,Ed} = 1.58 \text{ kN}$

Resistencia de cálculo a compresión  $N_{c,Rd} = 256.67 \text{ kN}$

Viene dada por  $N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$

Donde:

Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección. Clase: 1

Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.  $A=9.80 \text{ cm}^3$

Resistencia de cálculo del acero.  $f_{yd} = 261.9 \text{ MPa}$

Siendo:  $f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$   
Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)  $f_y = 275.0 \text{ MPa}$   
Coeficiente parcial de seguridad del material.  $\gamma_{M0} = 1.05$

$$\eta = \frac{256.67}{1.58} = 162.45 \geq 2.5$$

**Resistencia a pandeo:** (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

Para esbelteces  $\lambda \leq 0.2$  se puede omitir la comprobación frente a pandeo, y comprobar únicamente la resistencia de la sección transversal.

Esbeltez reducida  $\lambda = 0.14$

Viene dada por:  $\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$

Siendo:

Axil crítico elástico de pandeo el menor de:  $N_{cr} = 13456.13 \text{ kN}$

$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$   $N_{cr,y} = 14291.84 \text{ kN}$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2}$$

$$N_{cr,z} = 13456.13 \text{ kN}$$

Donde:

Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

$$I_y = 33.79 \text{ cm}^4$$

Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

$$I_z = 31.82 \text{ cm}^4$$

Módulo de elasticidad.

$$E = 210000 \text{ MPa}$$

Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

$$L_{ky} = 0.221 \text{ m}$$

Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

$$L_{kz} = 0.221 \text{ m}$$

- **Resistencia a flexión eje Y** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{c,Rd}}{M_{Ed}} \geq 2.5$$

Momento flector solicitante de cálculo  $M_{Ed} = 0.03 \text{ kNm}$

El momento flector resistente de cálculo  $M_{c,Rd} = 4.40 \text{ kNm}$

$$\text{Viene dado por: } M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$$

Donde:

Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

Clase: 1

Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,y} = 16.81 \text{ cm}^3$$

Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} = 261.9 \text{ MPa}$$

Siendo:

$$f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y = 275.0 \text{ MPa}$$

Coefficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} = 1.05$$

$$\eta = \frac{4.40}{0.03} = 146.66 \geq 2.5$$

- **Resistencia a flexión eje Z** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{c,Rd}}{M_{Ed}} \geq 2.5$$

Momento flector solicitante de cálculo  $M_{Ed} = 1.29 \text{ kNm}$

El momento flector resistente de cálculo  $M_{c,Rd} = 4.20 \text{ kNm}$

Viene dado por:  $M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$

Donde:

Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

Clase: 1

Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$W_{pl,z} = 16.05 \text{ cm}^3$

Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd} = 261.9 \text{ MPa}$

Siendo:  $f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$

Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y = 275.0 \text{ MPa}$

Coefficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M0} = 1.05$

$$\eta = \frac{4.20}{1.29} = 3.25 \geq 2.5$$

- **Resistencia a corte Z** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{c,Rd}}{V_{Ed}} \geq 2.5$$

Esfuerzo cortante solicitante de cálculo  $V_{Ed} = 0.05 \text{ kN}$

Esfuerzo cortante resistente  $V_{c,Rd} = 57.46 \text{ kN}$

Viene dado por:  $V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$

Donde:

Área transversal a cortante.

$$A_v = 3.80 \text{ cm}^2$$

Siendo:  $A_v = 2 \cdot d \cdot t_w$

Altura del alma.

$$d = 38.00 \text{ mm}$$

Espesor del alma.

$$t_w = 5.00 \text{ mm}$$

Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} = 261.9 \text{ MPa}$$

Siendo:  $f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$

Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y = 275.0 \text{ MPa}$$

Coefficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} = 1.05$$

$$\eta = \frac{57.46}{0.05} = 1149.2 \geq 2.5$$

- **Abolladura por cortante del alma:** (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

No es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70\varepsilon$$

Donde:

Esbeltez del alma  $\lambda_w = \frac{d}{t_w}$

$$\lambda_w = 7.60$$

Esbeltez máxima  $\lambda_{\max} = 70 \cdot \varepsilon$

$$\lambda_{\max} = 64.71$$

Factor de reducción  $\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{\text{ref}}}{f_y}}$

$$\varepsilon = 0.92$$

Siendo:

Límite elástico de referencia.

$$f_{\text{ref}} = 235.0 \text{ MPa}$$

Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y = 275.0 \text{ MPa}$$

$$7.60 < 64.71$$

- **Resistencia a corte Y** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{c,Rd}}{V_{Ed}} \geq 2.5$$

Esfuerzo cortante solicitante de cálculo  $V_{Ed} = 7.77 \text{ kN}$

Esfuerzo cortante resistente  $V_{c,Rd} = 90.73 \text{ kN}$

Viene dado por:  $V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$

Donde:

Área transversal a cortante.

$$A_v = 6.00 \text{ cm}^2$$

Siendo:  $A_v = A - 2 \cdot d \cdot t_w$

Altura del alma.

$$d = 38.00 \text{ mm}$$

Espesor del alma.

$$t_w = 5.00 \text{ mm}$$

Área de la sección bruta

$$A = 9.80 \text{ mm}^2$$

Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} = 261.9 \text{ MPa}$$

Siendo:  $f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$

Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y = 275.0 \text{ MPa}$$

Coefficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} = 1.05$$

$$\eta = \frac{90.73}{7.77} = 11.67 \geq 2.5$$

- **Abolladura por cortante del alma:** (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

No es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{b}{t_f} < 70\epsilon$$

Donde:

Esbeltez del alma  $\lambda_w = \frac{b}{t_f}$

$$\lambda_w = 8.33$$

Esbeltez máxima  $\lambda_{\max} = 70 \cdot \varepsilon$  $\lambda_{\max} = 64.71$ Factor de reducción  $\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{\text{ref}}}{f_y}}$  $\varepsilon = 0.92$ 

Siendo:

Límite elástico de referencia.

 $f_{\text{ref}} = 235.0 \text{MPa}$ 

Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

 $f_y = 275.0 \text{MPa}$ 

$$8.33 < 64.71$$

- **Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

El esfuerzo cortante solicitante de cálculo  $V_{Ed}$  no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante  $V_{c,Rd}$  por lo que no será necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

 $V_{ed} = 0.55 \text{ kN}$ 

Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

 $V_{c,Rd} = 57.46 \text{ kN}$ 

$$0.55 \leq \frac{57.46}{2} = 28.73$$

- **Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

El esfuerzo cortante solicitante de cálculo  $V_{Ed}$  no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante  $V_{c,Rd}$  por lo que no será necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

 $V_{ed} = 7.77 \text{ kN}$ 

Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

 $V_{c,Rd} = 90.73 \text{ kN}$ 

$$7.77 \leq \frac{90.73}{2} = 45.365$$

- **Resistencia a flexión y axil combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

Ecuación 1

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

Ecuación 2

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

Ecuación 3

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$\frac{1}{\eta} \geq 2.5$$

Donde:

Axil de compresión solicitante de cálculo

$$N_{c,Ed} = 1.58 \text{ kN}$$

Momentos flectores solicitantes de cálculo

$$M_{y,Ed} = 0.03 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = 1.29 \text{ kNm}$$

Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple

Clase: 1

Resistencia a compresión de la sección bruta  
kN

$$N_{pl,Rd} = 256.67$$

Resistencia a flexión de la sección bruta  
en condiciones plásticas

$$M_{pl,Rd,y} = 4.40 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,Rd,z} = 4.20 \text{ kNm}$$

Ecuación 1:

$$\eta = \frac{1.58}{256.67} + \frac{0.03}{4.20} + \frac{1.29}{4.20} = 0.320$$

$$\frac{1}{0.32} = 3.12 \geq 2.5$$

**Resistencia a pandeo:** (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

Área de la sección bruta

$$A = 9.80 \text{ cm}^2$$

Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z

$$W_{pl,y} = 16.81 \text{ cm}^3$$

$$W_{pl,z} = 16.05 \text{ cm}^3$$

Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} = 261.9 \text{ MPa}$$

Siendo:  $f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$

Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y = 275.0 \text{ MPa}$$

Coefficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} = 1.05$$

Coefficientes de interacción

$$k_y = 1.00$$

$$k_z = 1.00$$

Siendo:  $k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}}$

$$k_z = 1 + (\bar{\lambda}_z - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}}$$

Factores de momento flector uniforme equivalente.

$$C_{m,y} = C_{m,z} = 1.00$$

Coefficientes de reducción por pandeo alrededor de los ejes Y y Z

$$\chi_y = 1.00$$

$$\chi_z = 1.00$$

Esbelteces reducidas < 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\lambda_y = 0.14$$

$$\lambda_z = 0.14$$

Factores dependientes de la clase de la sección

$$\alpha_y = \alpha_z = 0.60$$

Ecuación 2:

$$\eta = \frac{1.58}{1.00 \times 9.80 \times 261.9} + 1.00 \times \frac{1.00 \times 0.03}{2.55 \times 10^{-5} \times 16.81 \times 261.9} + 0.60 \times 1.00 \times \frac{1.00 \times 1.29}{16.05 \times 261.9}$$

$$\eta = 0.197$$

$$\frac{1}{0.197} = 5.07 \geq 2.5$$

Ecuación 3:

$$\eta = \frac{86.94}{0.92 \times 9.80 \times 261.9} + 1.03 \times 0.60 \times \frac{1.00 \times 0.03}{16.81 \times 261.9} + 0.60 \times \frac{1.00 \times 1.29}{16.05 \times 261.9}$$
$$= 0.317$$

$$\frac{1}{0.317} = 3.15 \geq 2.5$$

- **Resistencia a flexión, axil y cortante combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

El esfuerzo cortante solicitante de cálculo  $V_{Ed}$  no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante  $V_{c,Rd}$  por lo que no será necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión.

$$V_{Ed,y} \leq \frac{V_{c,Rd,y}}{2}$$

Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{ed,y} = 7.77 \text{ kN}$$

Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} = 90.05 \text{ kN}$$

$$7.77 \leq \frac{90.05}{2} = 45.025$$

- **Resistencia a torsión** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{t,Rd}}{M_{t,Ed}} \geq 2.5$$

Momento torsor solicitante de cálculo

$$M_{T,Ed} = 0.02 \text{ kNm}$$

Momento torsor resistente de cálculo

$$M_{T,Rd} = 3.50 \text{ kNm}$$

Siendo :  $M_{T,Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot W_T \cdot f_{yd}$

Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T = 23.14 \text{ cm}^3$$

Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} = 261.9 \text{ MPa}$$

Siendo:  $f_{yd} = \frac{fy}{\gamma_{M0}}$   
Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)  $fy=275.0\text{MPa}$   
Coeficiente parcial de seguridad del material.  $\gamma_{M0}=1.05$

$$\eta = \frac{3.50}{0.02} = 175.00 \geq 2.5$$

- **Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{pl,T,Rd}}{V_{Ed}} \geq 2.5$$

Esfuerzo cortante solicitante de cálculo  $V_{ed}=0.05 \text{ kN}$   
Momento torsor solicitante de cálculo  $M_{T,Ed}=0.02 \text{ kNm}$   
Esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido  $V_{pl,T,Rd}=57.03 \text{ kN}$

Siendo: 
$$V_{pl,T,Rd} = \left[ 1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd}$$

Donde:

Esfuerzo cortante resistente de cálculo  $V_{pl,Rd}= 57.46 \text{ kN}$   
Tensiones tangenciales por torsión  $\tau_{T,Ed}= 1.1 \text{ MPa}$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Módulo de resistencia a torsión.  $W_T= 19.80 \text{ cm}^3$

Resistencia de cálculo del acero.  $f_{yd}= 261.9\text{MPa}$

Siendo:  $f_{yd} = \frac{fy}{\gamma_{M0}}$   
Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)  $fy=275.0\text{MPa}$   
Coeficiente parcial de seguridad del material.  $\gamma_{M0}=1.05$

$$\eta = \frac{57.03}{0.05} = 1140.6 \geq 2.5$$

- **Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{pl,T,Rd}}{V_{Ed}} \geq 2.5$$

Esfuerzo cortante solicitante de cálculo

$$V_{ed} = 7.77 \text{ kN}$$

Momento torsor solicitante de cálculo

$$M_{T,Ed} = 0.02 \text{ kNm}$$

Esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido

$$V_{pl,T,Rd} = 90.16 \text{ kN}$$

Siendo:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[ 1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd}$$

Donde:

Esfuerzo cortante resistente de cálculo

$$V_{pl,Rd} = 90.16 \text{ kN}$$

Tensiones tangenciales por torsión

$$\tau_{T,Ed} = 0.9 \text{ MPa}$$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T = 23.76 \text{ cm}^3$$

Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} = 261.9 \text{ MPa}$$

Siendo:

$$f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y = 275.0 \text{ MPa}$$

Coefficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} = 1.05$$

$$\eta = \frac{90.16}{7.77} = 11.60 \geq 2.5$$

- **Limitación de esbeltez** (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

Área de la sección bruta de la sección transversal de la barra

$$A = 9.80 \text{ cm}^2$$

Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y = 275.0 \text{ MPa}$$

Axil crítico de pandeo elástico.

$$N_{cr} = 13456.13 \text{ kN}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

El axil crítico de pandeo elástico  $N_{cr}$  es el menor de los valores obtenidos en a) y b):

- g) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$N_{cr,y} = 14291.84 \text{ kN}$$

- h) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} = 13456.13 \text{ kN}$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{980 \times 275.0}{13456130}} = 0.44 < 2$$



## **1.7 DIMENSIONADO BARRAS TIPO 6 Y TIPO 7**

Como se puede observar en los diagramas, estas barras no soportan esfuerzo. Ya que los apoyos del bastidor a las guías, están situados en el mismo nudo que los apoyos de las vigas (tipo 2) al pilar y estas transmiten directamente la carga a los apoyos del bastidor.

El motivo por el que se han escogido para las barras tipo 6 y tipo 7, 2UPN 100 soldados es para que haya espacio suficiente para colocar las correderas de las guías y el dispositivo de seguridad paracaídas.

## 2. CÁLCULO DE LAS GUÍAS DEL BASTIDOR.

Para el cálculo pertinente a las guías de la cabina según los esfuerzos a los que están sometidas, es necesario definir previamente el material del que estarán fabricadas.

En este caso, se trata de acero de construcción de uso general, concretamente el S275 según UNE 10025-94, y con grado de soldabilidad JR a 20 °C. Por tanto, su resistencia a la tracción estará comprendida entre 410 y 560 MPa.

Se sabe también que el acero empleado para las guías tiene resistencias de tracción límites de 370 MPa como mínimo y 520 MPa como máximo. Por este motivo, del acero S275 a emplear para las guías se escoge el de resistencia a la tracción de 450MPa; y como se puede observar, queda comprendido entre los márgenes de los aceros empleados para las guías.

Según la norma EN 81-31, el coeficiente de trabajo máximo que puede admitirse para las guías, por los esfuerzos derivados de la actuación del paracaídas no deben rebasar de:

- 140 MPa para guías de acero de 370 MPa
- 210 MPa para guías de acero de 520 MPa

Para los valores intermedios, como en este caso, de 450 MPa, se procede a interpolar de manera lineal para hallar su coeficiente de trabajo máximo, siendo 180MPa.

Se ha escogido el perfil T-114/B del fabricante RIDER SUPER puesto que este perfil es de los más empleados para montacargas, debido a la anchura del alma y la capacidad para resistir cúmulos de tensiones internas. Con este perfil se procederá a la comprobación de los esfuerzos que actúan sobre las guías para verificar la validez de este perfil. Si por el contrario no es válido, se procedería a escoger un perfil mayor.

Cepilladas / Machined		d	d <sub>1</sub>	b <sub>2</sub>	b <sub>3</sub> ± 0,20	l <sub>1</sub> <sup>+3</sup> / <sub>-0</sub>	l <sub>2</sub> ± 0,20	l <sub>3</sub> ± 0,20	V <sup>+3</sup> / <sub>-0</sub>	Tornillo Bolt	Arandela Washer
	T78/B	13	26	70	42	250	105	25	10	M12x35	A-12
	T82/B	13	26	80	50,8	216	81	27	10	M12x35	A-12
	T89/B	13	26	90	57,2	305	114,3	38,1	13	M12x40	A-12
	T90/B	13	26	90	57,2	305	114,3	38,1	13	M12x40	A-12
	T114/B	17	33	120	70	305	114,3	38,1	18	M16x50	A-16
	T125/B	17	33	130	79,4	305	114,3	38,1	18	M16x50	A-16
	T127-1/B	17	33	130	79,4	305	114,3	38,1	18	M16x50	A-16
	T127-2/B	17	33	130	79,4	305	114,3	38,1	18	M16x50	A-16
	T140-1/B	21	40	140	92,1	380	152,4	31,8	28	M20x70	A-20

Figura 3. Tabla tipos guías.

Así pues, se tienen las características mecánicas más importantes:

- Sección transversal:  $A = 20.89 \text{ cm}^2$
- Momento de inercia mínimo:  $I_{yy} = 108.6 \text{ cm}^4$
- Momento de inercia transversal en eje x:  $I_{xx} = 179.3 \text{ cm}^4$
- Radio de giro mínimo:  $i_{yy} = 2.28 \text{ cm}$
- Modulo de resistencia de la sección:  $W_{xx} = 29.7 \text{ cm}^3$
- Modulo de resistencia de la sección:  $W_{yy} = 19.05 \text{ cm}^3$

Con estos datos se procede inicialmente a determinar el coeficiente de esbeltez, que sigue a continuación, a fin de comprobar la validez de este perfil seleccionado para los esfuerzos de frenado durante la actuación de los paracaídas:

$$\lambda = \frac{l_k}{i_{min}}$$

donde:

$l_k$  es la distancia entre los anclajes de las guías

$i_{min}$  es el radio de giro mínimo del perfil de la guía

Aplicando pues la ecuación anterior se tiene:

$$\lambda = \frac{500}{108.6} = 4.6$$

Este valor se interpola linealmente en las tablas 1 y 2 y se obtiene el correspondiente coeficiente  $\omega$  de aumento de cargas a pandeo para el acero de 450 MPa.

$\lambda$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	l
20	1,04	1,04	1,04	1,05	1,06	1,06	1,07	1,07	1,07	1,08	20
30	1,08	1,09	1,09	1,10	1,10	1,11	1,11	1,12	1,13	1,13	30
40	1,14	1,14	1,15	1,16	1,16	1,17	1,18	1,19	1,19	1,20	40
50	1,21	1,22	1,23	1,23	1,24	1,25	1,26	1,27	1,28	1,29	50
60	1,30	1,31	1,32	1,33	1,34	1,35	1,36	1,37	1,39	1,40	60
70	1,41	1,42	1,44	1,45	1,46	1,48	1,49	1,50	1,52	1,53	70
80	1,55	1,56	1,58	1,59	1,61	1,62	1,64	1,66	1,68	1,69	80
90	1,71	1,73	1,74	1,76	1,78	1,80	1,82	1,84	1,86	1,88	90
100	1,90	1,92	1,94	1,96	1,98	2,00	2,02	2,05	2,07	2,09	100
110	2,11	2,14	2,16	2,18	2,21	2,23	2,27	2,31	2,35	2,39	110
120	2,43	2,47	2,51	2,55	2,60	2,64	2,68	2,72	2,77	2,81	120
130	2,85	2,90	2,94	2,99	3,03	3,08	3,12	3,17	3,22	3,26	130
140	3,31	3,36	3,41	3,45	3,50	3,55	3,60	3,65	3,70	3,75	140
150	3,80	3,85	3,90	3,95	4,00	4,06	4,11	4,16	4,22	4,27	150
160	4,32	4,38	4,43	4,49	4,54	4,60	4,65	4,71	4,77	4,82	160
170	4,88	4,94	5,00	5,05	5,11	5,17	5,23	5,29	5,35	5,41	170
180	5,47	5,53	5,59	5,66	5,72	5,78	5,84	5,91	5,97	6,03	180
190	6,10	6,16	6,23	6,29	6,36	6,42	6,49	6,55	6,62	6,69	190
200	6,75	6,82	6,89	6,96	7,03	7,10	7,17	7,24	7,31	7,38	200
210	7,45	7,52	7,59	7,66	7,73	7,81	7,88	7,95	8,03	8,10	210
220	8,17	8,25	8,32	8,40	8,47	8,55	8,63	8,70	8,78	8,86	220
230	8,93	9,01	9,09	9,17	9,25	9,33	9,41	9,49	9,57	9,65	230
240	9,73	9,81	9,89	9,97	10,05	10,14	10,22	10,30	10,39	10,47	240
250	10,55										

Figura 4. Coeficiente  $w$  de aumento de las cargas a pandeo en función de  $\lambda$  para el acero de 370 MPa.

$\lambda$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1
20	1,05	1,06	1,07	1,07	1,08	1,08	1,09	1,09	1,10	1,11	20
30	1,11	1,12	1,12	1,13	1,14	1,15	1,15	1,16	1,17	1,18	30
40	1,19	1,19	1,20	1,21	1,22	1,23	1,24	1,25	1,26	1,27	40
50	1,28	1,30	1,31	1,32	1,33	1,35	1,36	1,37	1,39	1,40	50
60	1,41	1,43	1,44	1,46	1,48	1,49	1,51	1,53	1,54	1,56	60
70	1,58	1,60	1,62	1,64	1,66	1,68	1,70	1,72	1,74	1,77	70
80	1,79	1,81	1,83	1,86	1,88	1,91	1,93	1,95	1,98	2,01	80
90	2,05	2,10	2,14	2,19	2,24	2,29	2,33	2,38	2,43	2,48	90
100	2,53	2,58	2,64	2,69	2,74	2,79	2,85	2,90	2,95	3,01	100
110	3,06	3,12	3,18	3,23	3,29	3,35	3,41	3,47	3,53	3,59	110
120	3,65	3,71	3,77	3,83	3,89	3,96	4,02	4,09	4,15	4,22	120
130	4,28	4,35	4,41	4,48	4,55	4,62	4,69	4,75	4,82	4,89	130
140	4,96	5,04	5,11	5,18	5,25	5,33	5,40	5,47	5,55	5,62	140
150	5,70	5,78	5,85	5,93	6,01	6,09	6,16	6,24	6,32	6,40	150
160	6,48	6,57	6,65	6,73	6,81	6,90	6,98	7,06	7,15	7,23	160
170	7,32	7,41	7,49	7,58	7,67	7,76	7,85	7,94	8,03	8,12	170
180	8,21	8,30	8,39	8,48	8,58	8,67	8,76	8,86	8,95	9,05	180
190	9,14	9,24	9,34	9,44	9,53	9,63	9,73	9,83	9,93	10,03	190
200	10,13	10,23	10,34	10,44	10,54	10,65	10,75	10,85	10,96	11,06	200
210	11,17	11,28	11,38	11,49	11,60	11,71	11,82	11,93	12,04	12,15	210
220	12,26	12,37	12,48	12,60	12,71	12,82	12,94	13,05	13,17	13,28	220
230	13,40	13,52	13,63	13,75	13,87	13,99	14,11	14,23	14,35	14,47	230
240	14,59	14,71	14,83	14,96	15,08	15,20	15,33	15,45	15,58	15,71	240
250	15,83										

Figura 5. Coeficiente w de aumento de las cargas a pandeo en función de  $\lambda$  para el acero de 520 MPa.

Obtenemos  $w=1$ .

Con este valor se puede determinar el coeficiente de trabajo real (Ec. A.3.1.2) con que trabajan las guías con los esfuerzos de frenado del paracaídas según la norma EN 81-31. Este coeficiente de trabajo real es diferente para un tipo de paracaídas u otro, y sabiendo que se emplea un paracaídas instantáneo de rodillos se tiene:

$$\sigma_k = \frac{15(P + Q)}{A} w \text{ (MPa)}$$

El valor obtenido debe ser menor que el coeficiente de trabajo máximo obtenido inicialmente para este tipo de acero, de 410 MPa de resistencia a la tracción.

$$\sigma_k = \frac{15(3000+500)}{2089} = 25.13 \text{ MPa} < 180 \text{ MPa}$$

Como se puede observar, el coeficiente de trabajo real para este perfil de las guías, es menor que el coeficiente de trabajo máximo, por lo que el cálculo a esfuerzo de frenado por la actuación del paracaídas es válido.

Por otro lado, y tal como se ha comentado anteriormente, las guías también se calcularán según si resisten a los empujes horizontales debido a posibles excentricidades de la carga.

Respecto a los esfuerzos a flexión, la fuerza de frenada cuando se acciona el limitador de velocidad actúa en un eje longitudinal paralelo a la guía pero en una posición excéntrica creando un momento flector adicional a la fuerza de compresión.

El Reglamento de Aparatos Elevadores Español limita la flecha que puede producirse en las condiciones establecidas a 5 mm.

Las fuerzas pueden calcularse según las expresiones siguientes:

$$F_y = \frac{Q g e_y}{h}$$
$$F_z = \frac{Q g e_z (b + 2e_y)}{2 h b}$$

donde:

$e_y = b/4$  y  $e_z = b/4$  = excentricidades de la carga

Q = carga nominal en kg

h = distancia entre rozaderas de las guías

b = distancia entre guías

La flecha total de una guía debe calcularse teniendo en cuenta la superposición de las flechas parciales originadas por cada fuerza individual.

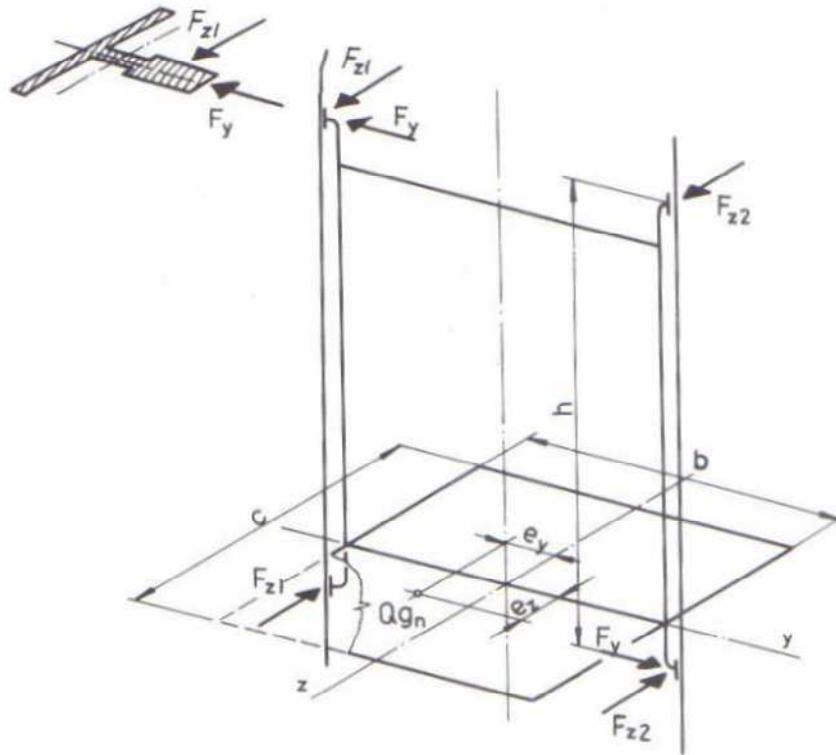


Figura 6. Esquema de las fuerzas sobre las guías, en él  $F_z = F_x$

Por lo tanto, para calcular la flecha en el centro del tramo de la guía entre los apoyos se sabe que se conocen dos términos: uno el correspondiente al desplazamiento debido a la flexión y otro a la torsión.

La flecha a flexión se determina de la siguiente manera:

$$f_f = \frac{F_y l_k^3}{48 E I_{xx}}$$

Mientras que la flecha a torsión se obtiene como:

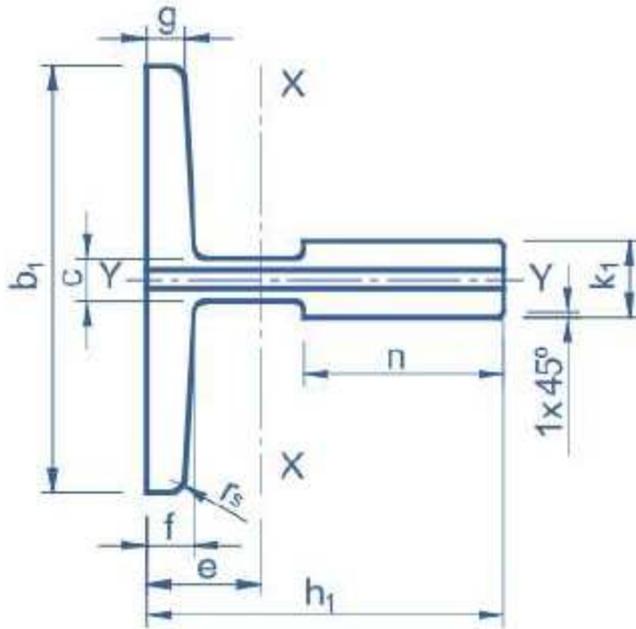
$$f_t = \frac{F_x l_k s^2}{G I_0}$$

donde  $s$  y  $I_0$  son datos del perfil en función de sus dimensiones, y dichos parámetros se hallan según las ecuaciones siguientes:

$$s = h_1 - \frac{n}{2} \text{ (mm)}$$

$$I_0 = b_1 g^3 + (h_1 - n - g) c^3 + n k_1^3 \text{ (mm}^4\text{)}$$

Las dimensiones del perfil T para determinar los anteriores parámetros se pueden contemplar en la figura, donde las cotas de dicha guía se dan en la tabla que la acompaña:



h1	89 mm
n	38 mm
b1	114 mm
g	8 mm
c	9.5 mm
k1	16 mm

Figura 7. Dimensiones de la guía.

La flecha total se calcula por la suma de ambas flechas:

$$f = f_f + f_t$$

Así pues, aplicando conjuntamente las anteriores ecuaciones, se tienen los siguientes valores:

$$F_y = \frac{3500 \frac{1500}{4} 9.81}{500} = 27751.25 \text{ N}$$

$$F_x = \frac{3500 \frac{1800}{4} \left(1055 + 2 \frac{1500}{4}\right) 9.81}{2 \ 500 \ 970} = 28751.13 \text{ N}$$

$$S = 89 - \frac{38}{2} = 70 \text{ mm}$$

$$I_o = 114 \ 8^3 + (89 - 38 - 8) \ 9.5^3 + 38 \ 16^3 = 250883.12 \text{ mm}^4$$

$$\delta x = \frac{28751.13 \cdot 500^3}{48 \cdot 210 \cdot 10^3 \cdot 179.3 \cdot 10^4} = 0.205 \text{ mm}$$

$$\delta y = \frac{27751.25 \cdot 500^3}{48 \cdot 210 \cdot 10^3 \cdot 108.6 \cdot 10^4} = 0.26 \text{ mm}$$

$$\delta t = \frac{28751.13 \cdot 500 \cdot 70^2}{80000 \cdot 250883.12} = 3.5 \text{ mm}$$

$$\delta y + \delta t = 0.205 + 3.5 = 3.705 \text{ mm} \leq 5 \text{ mm}$$

Como se puede observar la flecha total a flexión y torsión combinadas es inferior a los 5 mm que limita el reglamento. Por este motivo, estas guías son aptas también para los esfuerzos combinados a flexión y torsión debido a la excentricidad de la fuerza de frenado.

Además se tiene que comprobar la resistencia a flexión de las guías:

$$M_y = \frac{3 F_y l_k}{16} = \frac{3 \cdot 27751 \cdot 500}{16} = 2.6 \times 10^6 \text{ N mm}$$

$$M_z = \frac{3 F_z l_k}{16} = \frac{3 \cdot 28751.13 \cdot 500}{16} = 2.69 \times 10^6 \text{ N mm}$$

$$\sigma_y = \frac{M_y}{W_y} = \frac{2.6 \cdot 10^6}{29.7 \cdot 10^3} = 87.54 \text{ MPa} < 180 \text{ MPa}$$

$$\sigma_z = \frac{M_z}{W_z} = \frac{2.69 \times 10^6}{19.05 \cdot 10^3} = 141.20 \text{ MPa} < 180 \text{ MPa}$$

Se puede observar que los esfuerzos debidos a flexión son menores que la resistencia del perfil, con lo que, en conclusión, el perfil T114/B escogido para las guías sobre las que se moverá el bastidor es totalmente válido.

Las guías deberán fijarse al pilar de la estructura TIPO 1, cada 500mm con cuatro tornillos de M16. Debido a que el perfil es hueco, se deberá colocar un casquillo rigidizador para evitar la abolladura de éste, del mismo espesor que el perfil.

La longitud de la junta que será comprimida por el tornillo será la siguiente:

$$L = L_{\text{perfil}} + \text{arandelas} + \text{tuerca} = 100 + 2 \times 3 + 13 \text{ mm} = 119 \text{ mm}$$

La longitud del tornillo deberá ser de 130 mm

### 3. DIMENSIONADO DE LA ESTRUCTURA

La estructura va a permitir el cerramiento del montacargas, así como va a constituir el apoyo de los pilares TIPO 1, donde van a ir acopladas las guías para el bastidor, de manera que estos mantengan su posición y repartan la carga hacia el suelo, en caso de que actúen los dispositivos de seguridad.

Para el cálculo de la estructura, se ha tenido en cuenta tanto la carga máxima del montacargas como el peso del propio bastidor, transmitido a esta a través de las guías en forma de fuerzas y momentos. También se ha tenido en cuenta el peso del cerramiento de chapa que se va a montar sobre la estructura.

El proceso de cálculo, se ha realizado para el caso más desfavorable, es decir en caso de que la estructura tenga que soportar todo el peso del bastidor cargado, en la posición más exigente. Esta posición es la zona inmediatamente inferior los 5m de altura de la estructura, que es la altura hasta la que va a subir el bastidor, en la que más luz hay entre apoyos del pilar TIPO 1. Esta zona está marcada por círculos en el esquema de la estructura. Así, para realizar los cálculos, se ha tenido en cuenta que el bastidor ha quedado en dicha posición.

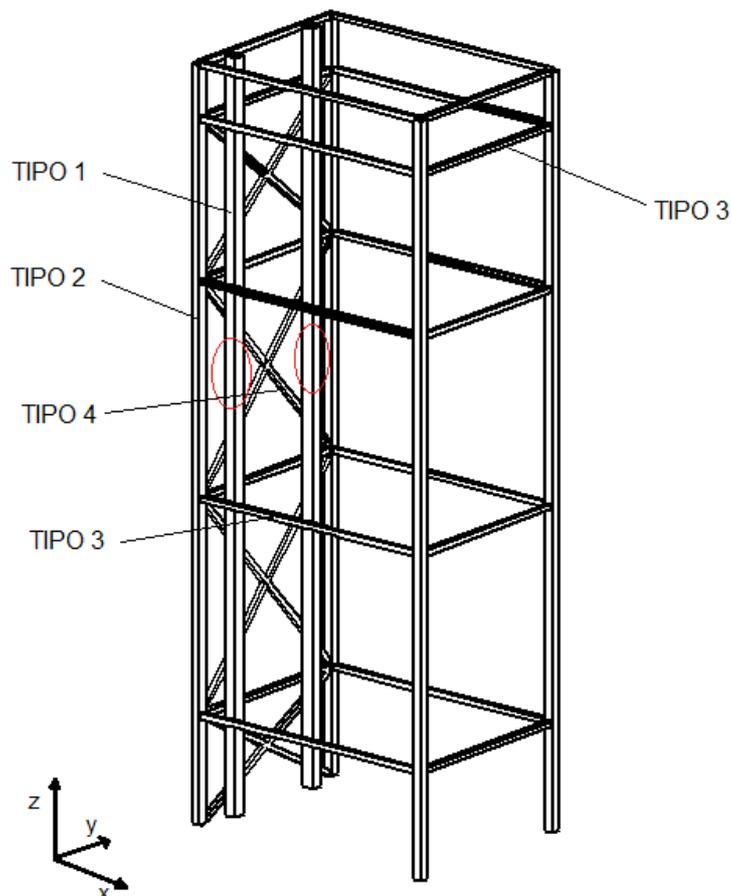


Figura 8. Esquema de estructura.

Las fuerzas y momentos que va a transmitir el bastidor a las guías y estas a la estructura, han sido calculadas en el apartado 2 y son las siguientes:

$$F_y = 27751.25 \text{ N}$$

$$F_z(\text{guías}) = F_x(\text{estructura}) = 28751.13 \text{ N}$$

$$M_z = 2.69 \times 10^6 \text{ N mm}$$

$$M_y = 2.6 \cdot 10^6 \text{ N mm}$$

En cada punto se aplican:

$$A: +F_x, -M_y$$

$$B: -F_y, -F_x, +M_y, -M_z$$

$$C: +F_y, +F_x, +M_y, +M_z$$

$$D: -F_x, -M_y$$

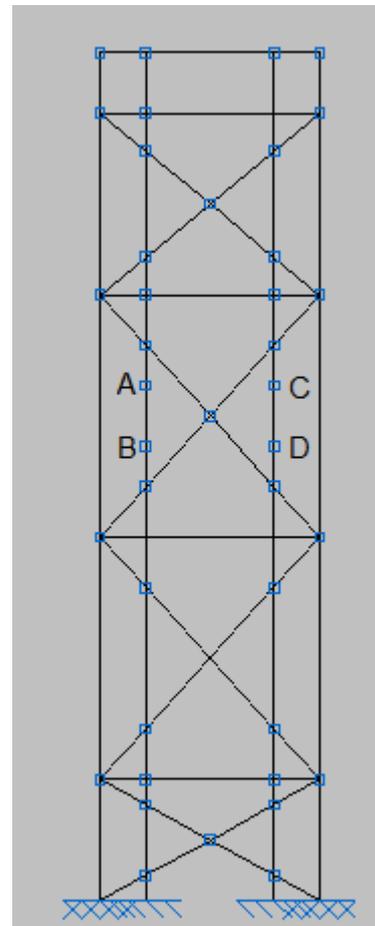


Figura 9. Esquema estructura

También se han aplicado fuerzas en toda la estructura debido al peso del cerramiento, el cual es el siguiente:

Toda la estructura excepto la parte que va a quedar en el interior del foso, que va a tener una altura de 1m, se va a cerrar con chapa perforada del fabricante RM PERMESA S.A del modelo LT1230Z4525.

La tabla de características es la siguiente:

100.7-3,5 Kg./m <sup>2</sup>	
Diagonal mayor: 10,00 mm	
Diagonal menor: 5,50 mm	
Peso x m <sup>2</sup> : 3,53 Kg.	
Peso x rollo: 10,60 Kg.	
Ancho del rollo: 1000 mm	
Largo del rollo: 3000 mm	

Figura 10. Características chapa perforada.

La superficie a cerrar con dicha chapa es:

$$S = (2 \times \text{ancho} \times \text{alto}) + (2 \times \text{largo} \times \text{alto}) + (\text{ancho} \times \text{largo})$$

Donde:

$$-\text{Alto} = 7\text{m} - 1\text{m} = 6\text{ m}$$

$$-\text{Ancho} = 1.8\text{ m}$$

$$-\text{Largo} = 2.5\text{ m}$$

$$S = 2 \times 1.8\text{m} \times 6.5\text{m} + 2 \times 2.5\text{m} \times 6.5\text{m} + 1.8\text{m} \times 2.5\text{m} = 60$$

$$\text{Peso total chapa perforada} = 60.4\text{ m}^2 \times 3.53\text{ kg/m}^2 = 213.2$$

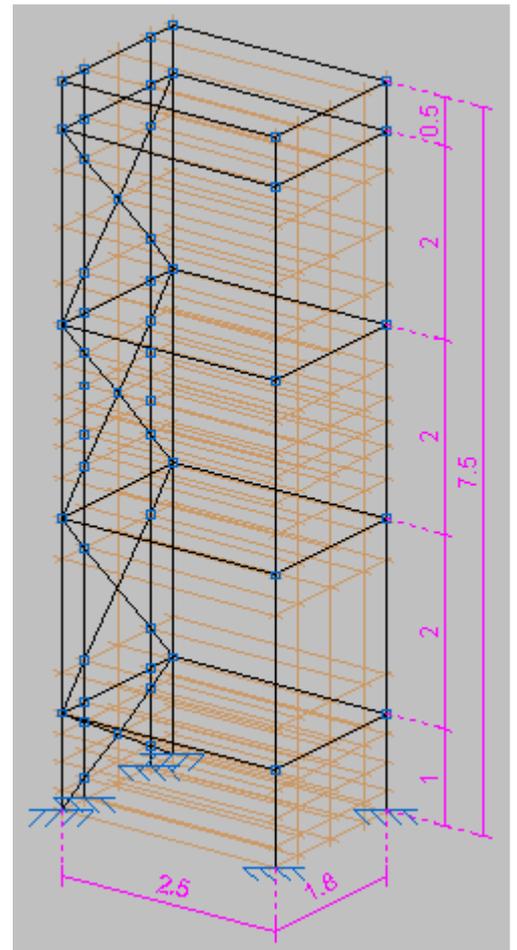
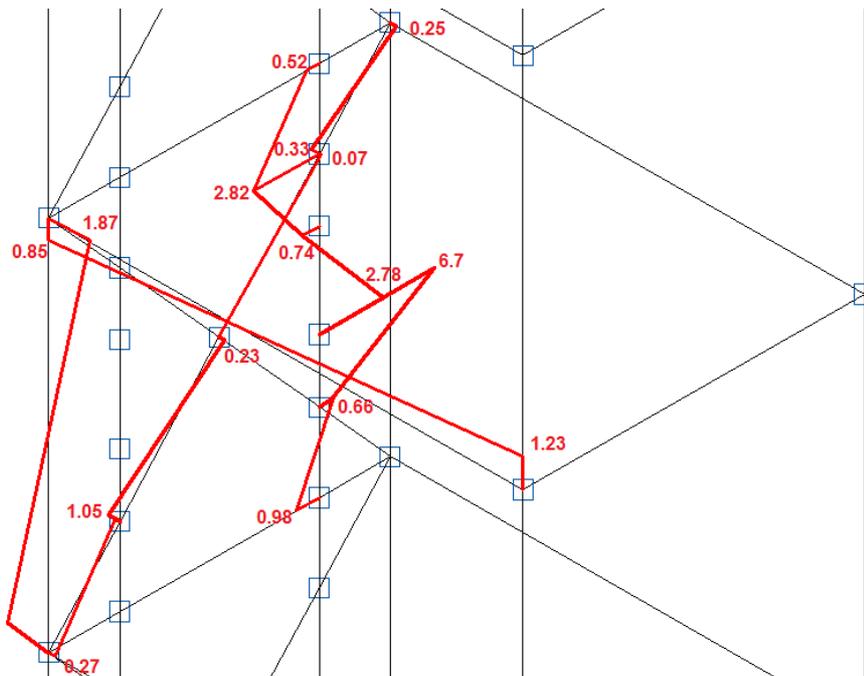


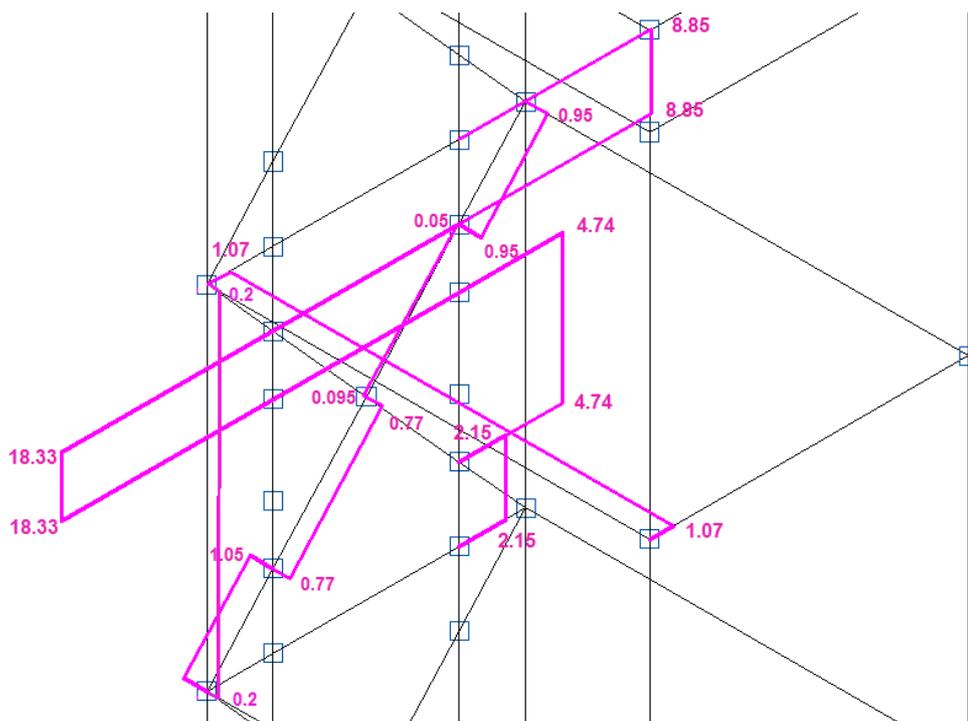
Figura 11. Esquema dimensiones de estructura.

Se han representado los diagramas de esfuerzos de las barras que mayor esfuerzo soportan, que son las de la zona donde queda anclada la plataforma. Por tanto la estructura va a ser calculada para soportar los valores de esfuerzo máximo, estando a su vez la plataforma, en el punto más desfavorable.

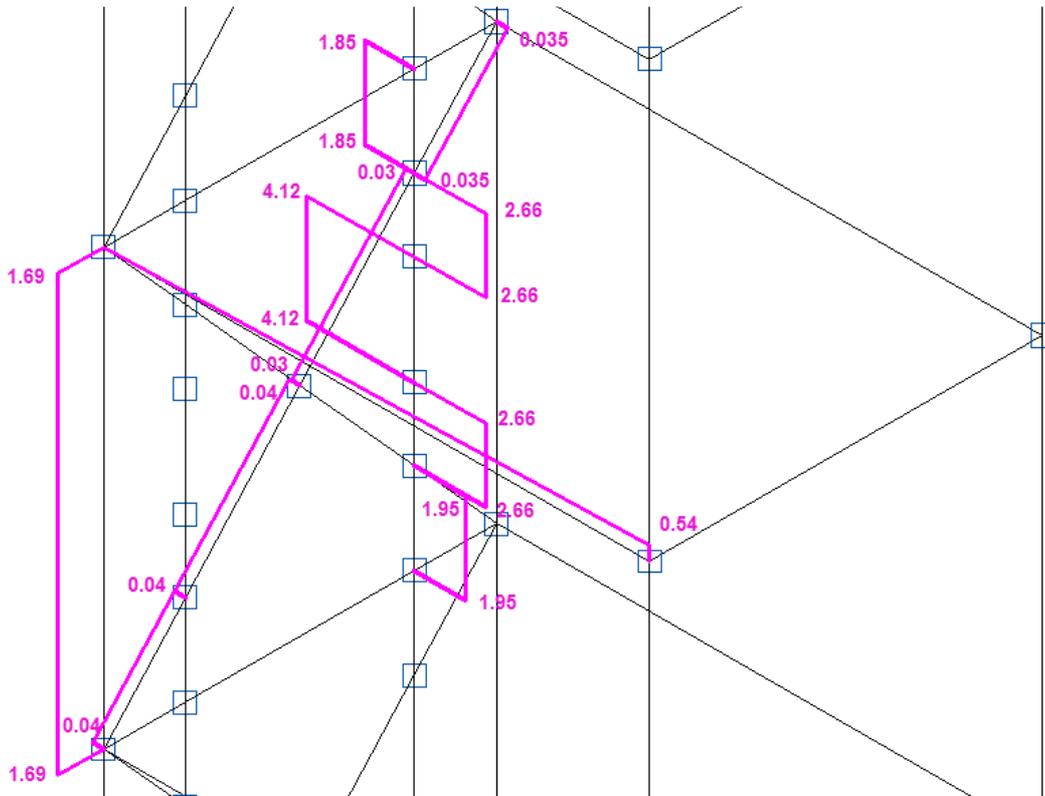
- DIAGRAMA DE MOMENTO FLECTOR (kN m)



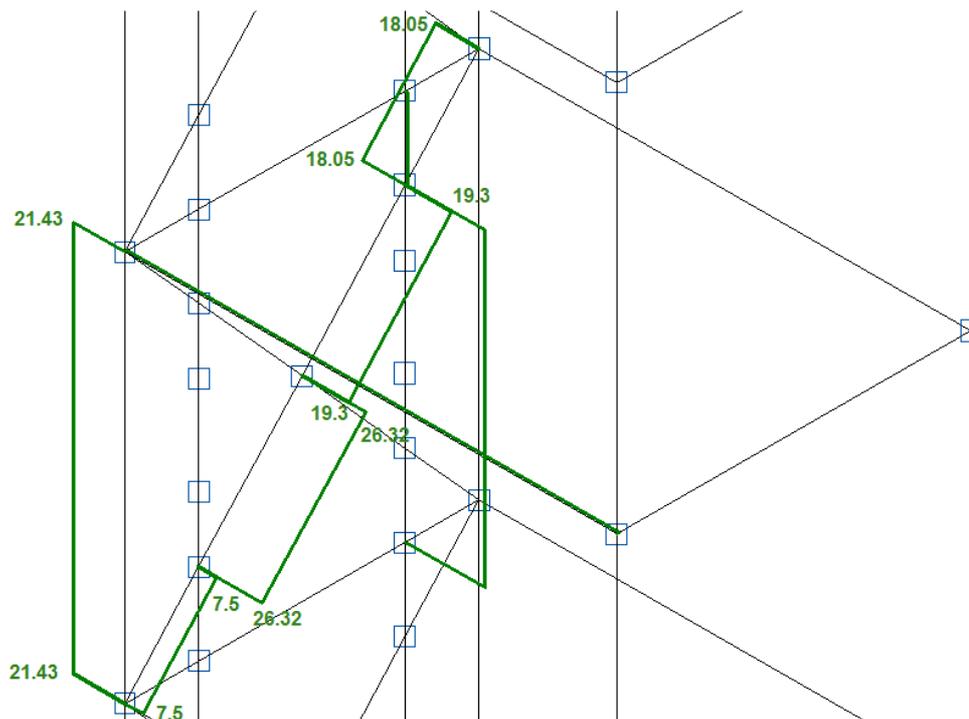
- DIAGRAMA DE ESFUERZO CORTANTE (EJE Y) (KN)



- DIAGRAMA DE ESFUERZO CORTANTE (EJE Z) (KN)



- DIAGRAMA DE ESFUERZO AXIL (kN)



### 3.1 DIMENSIONADO BARRA TIPO 1 (2UPN120)

#### PREDIMENSIONADO PERFIL

El perfil elegido deberá tener un módulo resistente plástico,  $W_{plz,Rd}$ , 2.5 veces mayor que el siguiente:

$$\sigma_{max} = \frac{Mz,ed}{W_{plz,Ed}} \leq \frac{fy}{\gamma_{Mo}} = \frac{275}{1.05} \quad W_{plz,Ed} \geq \frac{6.70 * 10^6}{\frac{275}{1.05}} \times 10^{-3} \geq 25.58 \text{cm}^3$$

El perfil elegido ha sido UPN120 doble en cajón soldado, cuyo  $W_{plz,Rd} = 127.99 \text{cm}^3$

$$\frac{W_{plz,Rd}}{W_{plz,Ed}} = \frac{127.99}{25.58} = 5 > 2.5$$

Perfil: UPN 120, Doble en cajón soldado (Cordón continuo)							
Material: Acero (S275)							
	$W_{pl,y}$	$W_{pl,z}$	Longitud (m)	Características mecánicas			
	( $\text{cm}^3$ )	( $\text{cm}^3$ )		Área ( $\text{cm}^2$ )	$I_y^{(1)}$ ( $\text{cm}^4$ )	$I_z^{(1)}$ ( $\text{cm}^4$ )	$I_t^{(2)}$ ( $\text{cm}^4$ )
	146.30	127.99	7.5	34.00	728.00	603.54	963.21
	Notas:						
	<sup>(1)</sup> Inercia respecto al eje indicado <sup>(2)</sup> Momento de inercia a torsión uniforme						
	Pandeo		Pandeo lateral				
	Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.			
$\beta$	0.50	0.50	0.50	0.50			
$L_K$	0.167	0.167	0.167	0.167			
$C_m$	1.000	1.000	1.000	1.000			
Notación:							
$\beta$ : Coeficiente de pandeo							
$L_K$ : Longitud de pandeo (m)							
$C_m$ : Coeficiente de momentos							

#### COMPROBACIÓN ESTADOS LÍMITE ÚLTIMOS

- **Resistencia a compresión** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{c,Rd}}{N_{c,Ed}} \geq 2.5$$

Axil de compresión solicitante de cálculo  $N_{c,Ed} = 32.89 \text{ kN}$

Resistencia de cálculo a compresión  $N_{c,Rd} = 897.57 \text{ kN}$

Viene dada por  $N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$

Donde:

Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección. Clase: 1

Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.  $A = 34.08 \text{ cm}^2$

Resistencia de cálculo del acero.  $f_{yd} = 261.9 \text{ MPa}$

Siendo:  $f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$   
Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)  $f_y = 275.0 \text{ MPa}$   
Coeficiente parcial de seguridad del material.  $\gamma_{M0} = 1.05$

$$\eta = \frac{897.57}{32.89} = 27.13 \geq 2.5$$

**Resistencia a pandeo:** (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

Para esbelteces  $\lambda \leq 0.2$  se puede omitir la comprobación frente a pandeo, y comprobar únicamente la resistencia de la sección transversal.

Esbeltez reducida  $\lambda = 0.07$

Viene dada por:  $\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$

Siendo:

Axil crítico elástico de pandeo el menor de:  $N_{cr} = 202352.10 \text{ kN}$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2} \quad N_{cr,y}=548439.51 \text{ kN}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2} \quad N_{cr,z}=431997.17 \text{ kN}$$

Donde:

Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.  $I_y= 735.03 \text{ cm}^4$

Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.  $I_z=578.97 \text{ cm}^4$

Módulo de elasticidad.  $E= 210000 \text{ MPa}$

Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.  $L_{ky}= 0.167 \text{ m}$

Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.  $L_{kz}= 0.167 \text{ m}$

- **Resistencia a flexión eje Y** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{c,Rd}}{M_{Ed}} \geq 2.5$$

Momento flector solicitante de cálculo  $M_{Ed}= 6.19 \text{ kNm}$

El momento flector resistente de cálculo  $M_{c,Rd}= 38.32 \text{ kNm}$

Viene dado por:  $M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$

Donde:

Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple. Clase: 1

Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.  $W_{pl,y}= 146.30 \text{ cm}^3$

Resistencia de cálculo del acero.  $f_{yd}= 261.9 \text{ MPa}$

Siendo:  $f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$   
 Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)  $f_y = 275.0 \text{ MPa}$   
 Coeficiente parcial de seguridad del material.  $\gamma_{M0} = 1.05$

$$\eta = \frac{38.32}{6.19} = 6.19 \geq 2.5$$

**Resistencia a pandeo lateral:** (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)

Para esbelteces  $\lambda_{LT} < 0.4$  se puede omitir la comprobación frente a pandeo, y comprobar únicamente la resistencia de la sección transversal.

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}} \quad \lambda_{LT} : \quad \underline{\quad 0.04 \quad}$$

$M_{cr}$ : Momento crítico elástico de pandeo lateral.

$$M_{cr} : \quad \underline{\quad 22007.63 \quad} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento crítico elástico de pandeo lateral  $M_{cr}$  se determina según la teoría de la elasticidad:

$$M_{cr} = \sqrt{M_{LTv}^2 + M_{LTw}^2}$$

Siendo:

$M_{LTv}$ : Componente que representa la resistencia por torsión uniforme de la barra.

$$M_{LTv} = C_1 \cdot \frac{\pi}{L_c} \cdot \sqrt{G \cdot I_t \cdot E \cdot I_z} \quad M_{LTv} : \quad \underline{\quad 18358.77 \quad} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$M_{LTw}$ : Componente que representa la resistencia por torsión no uniforme de la barra.

$$M_{LTw} = W_{el,y} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{L_c^2} \cdot C_1 \cdot i_{f,z}^2 \quad M_{LTw} : \quad \underline{\quad 12136.36 \quad} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Siendo:

<b><math>W_{el,y}</math></b> : Módulo resistente elástico de la sección bruta, obtenido para la fibra más comprimida.	<b><math>W_{el,y}</math></b> :	<u>122.51</u>	cm <sup>3</sup>
<b><math>I_z</math></b> : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.	<b><math>I_z</math></b> :	<u>578.97</u>	cm <sup>4</sup>
<b><math>I_t</math></b> : Momento de inercia a torsión uniforme.	<b><math>I_t</math></b> :	<u>963.21</u>	cm <sup>4</sup>
<b>E</b> : Módulo de elasticidad.	<b>E</b> :	<u>210000</u>	MPa
<b>G</b> : Módulo de elasticidad transversal.	<b>G</b> :	<u>81000</u>	MPa
<b><math>L_c^+</math></b> : Longitud efectiva de pandeo lateral del ala superior.	<b><math>L_c^+</math></b> :	<u>0.167</u>	m
<b><math>L_c^-</math></b> : Longitud efectiva de pandeo lateral del ala inferior.	<b><math>L_c^-</math></b> :	<u>0.167</u>	m
<b><math>C_1</math></b> : Factor que depende de las condiciones de apoyo y de la forma de la ley de momentos flectores sobre la barra.	<b><math>C_1</math></b> :	<u>1.00</u>	
<b><math>i_{f,z}^+</math></b> : Radio de giro, respecto al eje de menor inercia de la sección, del soporte formado por el ala comprimida y la tercera parte de la zona comprimida del alma adyacente al ala comprimida.	<b><math>i_{f,z}^+</math></b> :	<u>3.64</u>	cm
	<b><math>i_{f,z}^-</math></b> :	<u>3.64</u>	cm

- **Resistencia a flexión eje Z** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{c,Rd}}{M_{Ed}} \geq 2.5$$

Momento flector solicitante de cálculo  $M_{Ed} = 6.70$  kNm

El momento flector resistente de cálculo  $M_{c,Rd} = 33.52$  kNm

Viene dado por:  $M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$

Donde:

Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

Clase: 1

Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$W_{pl,z} = 127.99$  cm<sup>3</sup>

Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd} = 261.9$ MPa

Siendo:  $f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$

Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y = 275.0$ MPa

Coefficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M0} = 1.05$

$$\eta = \frac{33.52}{6.70} = 5 \geq 2.5$$

- **Resistencia a corte Z** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{c,Rd}}{V_{Ed}} \geq 2.5$$

Esfuerzo cortante solicitante de cálculo  $V_{Ed} = 4.12$  kN

Esfuerzo cortante resistente  $V_{c,Rd} = 215.93$  kN

Viene dado por:  $V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$

Donde:

Área transversal a cortante.

$$A_v = 14.28 \text{ cm}^2$$

Siendo:  $A_v = 2 \cdot d \cdot t_w$

Altura del alma.

$$d = 102.00 \text{ mm}$$

Espesor del alma.

$$t_w = 7.00 \text{ mm}$$

Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} = 261.9 \text{ MPa}$$

Siendo:  $f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$

Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y = 275.0 \text{ MPa}$$

Coefficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} = 1.05$$

$$\eta = \frac{215.93}{4.12} = 52.41 \geq 2.5$$

- **Abolladura por cortante del alma:** (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

No es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70\varepsilon$$

Donde:

Esbeltez del alma  $\lambda_w = \frac{d}{t_w}$

$$\lambda_w = 14.57$$

Esbeltez máxima  $\lambda_{\max} = 70 \cdot \varepsilon$

$$\lambda_{\max} = 64.71$$

Factor de reducción  $\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{\text{ref}}}{f_y}}$

$$\varepsilon = 0.92$$

Siendo:

Límite elástico de referencia.

$$f_{\text{ref}} = 235.0 \text{ MPa}$$

Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y = 275.0 \text{ MPa}$$

$$14.57 < 64.71$$

- **Resistencia a corte Y** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{c,Rd}}{V_{Ed}} \geq 2.5$$

Esfuerzo cortante solicitante de cálculo  $V_{Ed} = 18.33 \text{ kN}$

Esfuerzo cortante resistente  $V_{c,Rd} = 299.40 \text{ kN}$

Viene dado por:  $V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$

Donde:

Área transversal a cortante.  $A_v = 19.80 \text{ cm}^2$

Siendo:  $A_v = A - 2 \cdot d \cdot t_w$

Altura del alma.  $d = 102.00 \text{ mm}$

Espesor del alma.  $t_w = 7.00 \text{ mm}$

Área de la sección bruta  $A = 34.08 \text{ mm}^2$

Resistencia de cálculo del acero.  $f_{yd} = 261.9 \text{ MPa}$

Siendo:  $f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$

Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)  $f_y = 275.0 \text{ MPa}$

Coefficiente parcial de seguridad del material.  $\gamma_{M0} = 1.05$

$$\eta = \frac{299.40}{18.33} = 16.33 \geq 2.5$$

- **Abolladura por cortante del alma:** (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

No es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{b}{t_f} < 70\epsilon$$

Donde:

Esbeltez del alma  $\lambda_w = \frac{b}{t_f}$

$\lambda_w = 12.22$

Esbeltez máxima  $\lambda_{\max} = 70 \cdot \varepsilon$  $\lambda_{\max} = 64.71$ Factor de reducción  $\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{\text{ref}}}{f_y}}$  $\varepsilon = 0.92$ 

Siendo:

Límite elástico de referencia.

 $f_{\text{ref}} = 235.0 \text{MPa}$ 

Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

 $f_y = 275.0 \text{MPa}$ 

$$12.22 < 64.71$$

- **Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

El esfuerzo cortante solicitante de cálculo  $V_{Ed}$  no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante  $V_{c,Rd}$  por lo que no será necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

 $V_{ed} = 4.12 \text{ kN}$ 

Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

 $V_{c,Rd} = 215.93 \text{ kN}$ 

$$4.12 \leq \frac{215.93}{2} = 107.96$$

- **Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

El esfuerzo cortante solicitante de cálculo  $V_{Ed}$  no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante  $V_{c,Rd}$  por lo que no será necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

 $V_{ed} = 18.33 \text{ kN}$ 

Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

 $V_{c,Rd} = 299.40 \text{ kN}$ 

$$18.33 \leq \frac{90.73}{2} = 45.365$$

- **Resistencia a flexión y axil combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

Ecuación 1

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

Ecuación 2

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

Ecuación 3

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$\frac{1}{\eta} \geq 2.5$$

Donde:

Axil de compresión solicitante de cálculo

$$N_{c,Ed} = 32.89 \text{ kN}$$

Momentos flectores solicitantes de cálculo

$$M_{y,Ed} = 6.19 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = 6.70 \text{ kNm}$$

Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple

Clase: 1

Resistencia a compresión de la sección bruta

$$N_{pl,Rd} = 892.57 \text{ kN}$$

Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas

$$M_{pl,Rd,y} = 38.32 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,Rd,z} = 33.52 \text{ kNm}$$

Ecuación 1:

$$\eta = \frac{32.89}{892.57} + \frac{6.19}{38.32} + \frac{6.70}{33.52} = 0.398$$

$$\frac{1}{0.398} = 2.51 \geq 2.5$$

- **Resistencia a pandeo:** (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

Área de la sección bruta  $A = 9.80 \text{ cm}^2$

Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z  
 $W_{pl,y} = 146.30 \text{ cm}^3$   
 $W_{pl,z} = 127.99 \text{ cm}^3$

Resistencia de cálculo del acero.  $f_{yd} = 261.9 \text{ MPa}$

Siendo:  $f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$

Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)  $f_y = 275.0 \text{ MPa}$

Coefficiente parcial de seguridad del material.  $\gamma_{M0} = 1.05$

Coefficientes de interacción  $k_y = 1.00$

$k_z = 1.00$

Siendo:  $k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}}$

$k_z = 1 + (\bar{\lambda}_z - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}}$

Factores de momento flector uniforme equivalente.  $C_{m,y} = C_{m,z} = 1.00$

Coefficientes de reducción por pandeo  $\chi_y = 1.00$

alrededor de los ejes Y y Z  $\chi_z = 1.00$

Esbelteces reducidas  $< 1.00$ , en relación  $\lambda_y = 0.04$

a los ejes Y y Z, respectivamente.  $\lambda_z = 0.05$

Factores dependientes de la clase de la sección  $\alpha_y = \alpha_z = 0.60$

Ecuación 2:

$$\eta = \frac{32.89}{1.00 \times 34.08 \times 261.9} + 1.00 \times \frac{1.00 \times 6.19}{2.55 \times 10^{-5} \times 146.30 \times 261.9}$$

$$+ 0.60 \times 1.00 \times \frac{1.00 \times 6.70}{127.99 \times 261.9} = 0.318$$

$$\frac{1}{0.318} = 3.14 \geq 2.5$$

Ecuación 3:

$$\eta = \frac{32.89}{1 \times 34.08 \times 261.9} + 1 \times 0.60 \times \frac{1.00 \times 6.19}{146.30 \times 261.9} + 0.60 \times \frac{1.00 \times 6.70}{127.99 \times 261.9} = 0.334$$
$$\frac{1}{0.334} = 3 \geq 2.5$$

- **Resistencia a flexión, axil y cortante combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

El esfuerzo cortante solicitante de cálculo  $V_{Ed}$  no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante  $V_{c,Rd}$  por lo que no será necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión.

$$V_{Ed,y} \leq \frac{V_{c,Rd,y}}{2}$$

Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{ed,y} = 18.33 \text{ kN}$$

Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} = 288.54 \text{ kN}$$

$$18.33 \leq \frac{288.54}{2} = 144.27$$

- **Resistencia a torsión** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{t,Rd}}{M_{t,Ed}} \geq 2.5$$

Momento torsor solicitante de cálculo

$$M_{T,Ed} = 1.19 \text{ kNm}$$

Momento torsor resistente de cálculo

$$M_{T,Rd} = 30.47 \text{ kNm}$$

Siendo :  $M_{T,Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot W_T \cdot f_{yd}$

Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T = 201.49 \text{ cm}^3$$

Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} = 261.9 \text{ MPa}$$

Siendo:  $f_{yd} = \frac{fy}{\gamma_{M0}}$   
Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)  $fy=275.0\text{MPa}$   
Coeficiente parcial de seguridad del material.  $\gamma_{M0}=1.05$

$$\eta = \frac{30.47}{1.19} = 25.60 \geq 2.5$$

- **Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{pl,T,Rd}}{V_{Ed}} \geq 2.5$$

Esfuerzo cortante solicitante de cálculo  $V_{ed}=3.05\text{ kN}$   
Momento torsor solicitante de cálculo  $M_{T,Ed}=0.88\text{ kNm}$   
Esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido  $V_{pl,T,Rd}=215.93\text{ kN}$

Siendo: 
$$V_{pl,T,Rd} = \left[ 1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd}$$

Donde:

Esfuerzo cortante resistente de cálculo  $V_{pl,Rd}= 215.93\text{ kN}$   
Tensiones tangenciales por torsión  $\tau_{T,Ed}= 5.5\text{ MPa}$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Módulo de resistencia a torsión.  $W_T= 160.06\text{ cm}^3$

Resistencia de cálculo del acero.  $f_{yd}= 261.9\text{MPa}$

Siendo:  $f_{yd} = \frac{fy}{\gamma_{M0}}$   
Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)  $fy=275.0\text{MPa}$   
Coeficiente parcial de seguridad del material.  $\gamma_{M0}=1.05$

$$\eta = \frac{215.93}{3.05} = 70.80 \geq 2.5$$

- **Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{pl,T,Rd}}{V_{Ed}} \geq 2.5$$

Esfuerzo cortante solicitante de cálculo

$$V_{ed} = 13.58 \text{ kN}$$

Momento torsor solicitante de cálculo

$$M_{T,Ed} = 0.88 \text{ kNm}$$

Esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido

$$V_{pl,T,Rd} = 290.95 \text{ kN}$$

Siendo:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[ 1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd}$$

Donde:

Esfuerzo cortante resistente de cálculo

$$V_{pl,Rd} = 299.40 \text{ kN}$$

Tensiones tangenciales por torsión

$$\tau_{T,Ed} = 4.3 \text{ MPa}$$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T = 205.79 \text{ cm}^3$$

Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} = 261.9 \text{ MPa}$$

Siendo:

$$f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y = 275.0 \text{ MPa}$$

Coefficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} = 1.05$$

$$\eta = \frac{299.40}{13.58} = 22.04 \geq 2.5$$

- **Limitación de esbeltez** (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

Área de la sección bruta de la sección transversal de la barra	A= 34.08 cm <sup>2</sup>
Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)	f <sub>y</sub> = 275.0MPa
Axil crítico de pandeo elástico.	N <sub>cr</sub> = 202352.10 kN

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

El axil crítico de pandeo elástico N<sub>cr</sub> es el menor de los valores obtenidos en a) y b):

- Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.  
N<sub>cr,y</sub>= 14291.84 kN
- Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.  
N<sub>cr,z</sub>= 13456.13 kN

$$\lambda = \sqrt{\frac{3408 \times 275.0}{202352100}} = 0.07 < 2$$

### 3.2 DIMENSIONADO BARRA TIPO 2 (2 UPN 80)

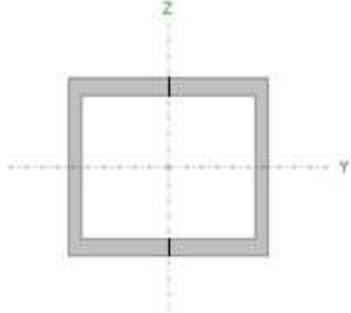
#### 3.2.1 PREDIMENSIONADO PERFIL

El perfil elegido deberá tener un módulo resistente plástico,  $W_{plz,Rd}$ , 2.5 veces mayor que el siguiente:

$$\sigma_{max} = \frac{M_{y,ed}}{W_{plz,Ed}} \leq \frac{f_y}{\gamma_{Mo}} = \frac{275}{1.05} \quad W_{plz,Ed} \geq \frac{1.87 * 10^6}{\frac{275}{1.05}} * 10^{-3} \geq 7.14 cm^3$$

El perfil elegido ha sido UPN80 doble en cajón soldado, cuyo  $W_{ply,Rd} = 64.13 cm^3$

$$\frac{W_{ply,Rd}}{W_{ply,Ed}} = \frac{64.13}{7.14} = 8.98 > 2.5$$

Perfil: UPN 80, Doble en cajón soldado (Cordón continuo)							
Material: Acero (S275)							
			Longitud (m)	Características mecánicas			
	Wpl,y (cm <sup>3</sup> )	Wpl,z (cm <sup>3</sup> )		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>t</sub> <sup>(2)</sup> (cm <sup>4</sup> )
	64.13	64.66	2.000	22.04	212.00	247.88	328.07
	Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme						
		Pandeo		Pandeo lateral			
		Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.		
β	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50		
L <sub>K</sub>	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000		
C <sub>m</sub>	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000		
Notación: β: Coeficiente de pandeo L <sub>K</sub> : Longitud de pandeo (m) C <sub>m</sub> : Coeficiente de momentos							

### 3.2.2 COMPROBACIÓN ESTADOS LÍMITE ÚLTIMOS

- **Resistencia a tracción** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Rd}}{N_{t,Ed}} \geq 2.5$$

Axil de tracción solicitante de cálculo  $N_{t,Ed} = 21.43 \text{ kN}$

Resistencia de cálculo a compresión  $N_{t,Rd} = 578.29 \text{ kN}$

Viene dada por:  $N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$

Donde:

Área de la sección transversal de la barra  $A = 22.08 \text{ cm}^2$

Resistencia de cálculo del acero.  $f_{yd} = 261.9 \text{ MPa}$

Siendo:  $f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$

Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)  $f_y = 275.0 \text{ MPa}$

Coefficiente parcial de seguridad del material.  $\gamma_{M0} = 1.05$

$$\eta = \frac{578.29}{21.43} = 26.98 \geq 2.5$$

- **Resistencia a flexión eje Y** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{c,Rd}}{M_{Ed}} \geq 2.5$$

Momento flector solicitante de cálculo  $M_{Ed} = 1.87 \text{ kNm}$

El momento flector resistente de cálculo  $M_{c,Rd} = 16.80 \text{ kNm}$

Viene dado por:  $M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$

Donde:

Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

Clase: 1

Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$W_{pl,y} = 64.13 \text{ cm}^3$

Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd} = 261.9 \text{ MPa}$

Siendo:  $f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$

Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y = 275.0 \text{ MPa}$

Coefficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M0} = 1.05$

$$\eta = \frac{16.80}{1.87} = 8.98 \geq 2.5$$

- **Resistencia a flexión eje Z** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{c,Rd}}{M_{Ed}} \geq 2.5$$

Momento flector solicitante de cálculo  $M_{Ed} = 0.16 \text{ kNm}$

El momento flector resistente de cálculo  $M_{c,Rd} = 16.93 \text{ kNm}$

Viene dado por:  $M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$

Donde:

Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

Clase: 1

Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$W_{pl,z} = 64.66 \text{ cm}^3$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd} = 261.9 \text{ MPa}$

Siendo:  $f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$

Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y = 275.0 \text{ MPa}$

Coefficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M0} = 1.05$

$$\eta = \frac{16.93}{0.16} = 105.81 \geq 2.5$$

**Resistencia a pandeo lateral:** (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)

Para esbelteces  $\lambda_{LT} < 0.4$  se puede omitir la comprobación frente a pandeo, y comprobar únicamente la resistencia de la sección transversal.

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,z} \cdot f_y}{M_{cr}}}$$

$\lambda_{LT} :$  0.13

$M_{cr}$ : Momento crítico elástico de pandeo lateral.

$M_{cr} :$  1135.57 kN·m

El momento crítico elástico de pandeo lateral  $M_{cr}$  se determina según la teoría de la elasticidad:

$$M_{cr} = \sqrt{M_{LTv}^2 + M_{LTw}^2}$$

Siendo:

$M_{LTv}$ : Componente que representa la resistencia por torsión uniforme de la barra.

$$M_{LTv} = C_1 \cdot \frac{\pi}{L_c} \cdot \sqrt{G \cdot I_t \cdot E \cdot I_y}$$

$M_{LTv} :$  1132.59 kN·m

$M_{LTw}$ : Componente que representa la resistencia por torsión no uniforme de la barra.

$$M_{LTw} = W_{el,z} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{L_c^2} \cdot C_1 \cdot i_{r,y}^2$$

$M_{LTw} :$  82.12 kN·m

Siendo:

$W_{el,z}$ : Módulo resistente elástico de la sección bruta, obtenido para la fibra más comprimida.

$W_{el,z}$ :	51.76	cm <sup>3</sup>
--------------	-------	-----------------

$I_y$ : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

$I_y$ :	232.91	cm <sup>4</sup>
---------	--------	-----------------

$I_t$ : Momento de inercia a torsión uniforme.

$I_t$ :	328.07	cm <sup>4</sup>
---------	--------	-----------------

E: Módulo de elasticidad.

E :	210000	MPa
-----	--------	-----

G: Módulo de elasticidad transversal.

G :	81000	MPa
-----	-------	-----

$L_c^+$ : Longitud efectiva de pandeo lateral del ala superior.

$L_c^+$ :	1.000	m
-----------	-------	---

$L_c^-$ : Longitud efectiva de pandeo lateral del ala inferior.

$L_c^-$ :	1.000	m
-----------	-------	---

$C_1$ : Factor que depende de las condiciones de apoyo y de la forma de la ley de momentos flectores sobre la barra.

$C_1$ :	1.00	
---------	------	--

$i_{f,y}$ : Radio de giro, respecto al eje de menor inercia de la sección, del soporte formado por el ala comprimida y la tercera parte de la zona comprimida del alma adyacente al ala comprimida.  $i_{f,y}^+ : 2.77 \text{ cm}$   
 $i_{f,y}^- : 2.77 \text{ cm}$

- **Resistencia a corte Z** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{c,Rd}}{V_{Ed}} \geq 2.5$$

Esfuerzo cortante solicitante de cálculo  $V_{Ed} = 1.69 \text{ kN}$

Esfuerzo cortante resistente  $V_{C,Rd} = 116.13 \text{ kN}$

Viene dado por:  $V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$

Donde:

Área transversal a cortante.

$$A_v = 7.68 \text{ cm}^2$$

Siendo:  $A_v = 2 \cdot d \cdot t_w$

Altura del alma.

$$d = 64.00 \text{ mm}$$

Espesor del alma.

$$t_w = 6.00 \text{ mm}$$

Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} = 261.9 \text{ MPa}$$

Siendo:  $f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$

Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y = 275.0 \text{ MPa}$$

Coficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} = 1.05$$

$$\eta = \frac{116.13}{1.69} = 68.71 \geq 2.5$$

- **Abolladura por cortante del alma:** (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

No es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70\varepsilon$$

Donde:

Esbeltez del alma  $\lambda_w = \frac{d}{t_w}$   $\lambda_w = 10.67$

Esbeltez máxima  $\lambda_{\max} = 70 \cdot \varepsilon$   $\lambda_{\max} = 64.71$

Factor de reducción  $\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{\text{ref}}}{f_y}}$   $\varepsilon = 0.92$

Siendo:

Límite elástico de referencia.  $f_{\text{ref}} = 235.0 \text{ MPa}$

Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)  $f_y = 275.0 \text{ MPa}$

$$10.67 < 64.71$$

- **Resistencia a corte Y** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{c,Rd}}{V_{Ed}} \geq 2.5$$

Esfuerzo cortante solicitante de cálculo  $V_{Ed} = 0.20 \text{ kN}$

Esfuerzo cortante resistente  $V_{c,Rd} = 217.74 \text{ kN}$

Viene dado por:  $V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$

Donde:

Área transversal a cortante.

$$A_v = 14.40 \text{ cm}^2$$

Siendo:  $A_v = A - 2 \cdot d \cdot t_w$

Altura del alma.

$$d = 64.00 \text{ mm}$$

Espesor del alma.

$$t_w = 5.00 \text{ mm}$$

Área de la sección bruta

$$A = 22.08 \text{ mm}^2$$

Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} = 261.9 \text{ MPa}$$

Siendo:  $f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$

Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y = 275.0 \text{ MPa}$$

Coefficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} = 1.05$$

$$\eta = \frac{217.74}{0.20} = 1088 \geq 2.5$$

- **Abolladura por cortante del alma:** (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

No es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{b}{t_f} < 70\varepsilon$$

Donde:

Esbeltez del alma  $\lambda_w = \frac{b}{t_f}$

$$\lambda_w = 11.25$$

Esbeltez máxima  $\lambda_{\max} = 70 \cdot \varepsilon$

$$\lambda_{\max} = 64.71$$

Factor de reducción  $\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{\text{ref}}}{f_y}}$

$$\varepsilon = 0.92$$

Siendo:

Límite elástico de referencia.

$$f_{\text{ref}} = 235.0 \text{ MPa}$$

Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y = 275.0 \text{ MPa}$$

$$11.25 < 64.71$$

- **Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

El esfuerzo cortante solicitante de cálculo  $V_{Ed}$  no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante  $V_{c,Rd}$  por lo que no será necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{ed} = 1.69 \text{ kN}$$

Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} = 116.13 \text{ kN}$$

$$1.69 \leq \frac{116.13}{2} = 58.06$$

- **Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

El esfuerzo cortante solicitante de cálculo  $V_{Ed}$  no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante  $V_{c,Rd}$  por lo que no será necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{ed} = 0.20 \text{ kN}$$

Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} = 217.74 \text{ kN}$$

$$0.20 \leq \frac{217.74}{2} = 108.87$$

- **Resistencia a flexión y axil combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

Ecuación 1

Ecuación 2

$$\eta = \frac{M_{ef,Ed}}{M_{b,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

$$\frac{1}{\eta} \geq 2.5$$

Donde:

Axil de tracción solicitante de cálculo

$$N_{t,Ed} = 21.43 \text{ kN}$$

Momentos flectores solicitantes de cálculo

$$M_{y,Ed} = 1.87 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = 0.16 \text{ kNm}$$

Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple

Clase: 1

Resistencia a tracción

$$N_{pl,Rd} = 578.29 \text{ kN}$$

Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas

$$M_{pl,Rd,y} = 16.80 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,Rd,z} = 16.93 \text{ kNm}$$

Ecuación 1:

$$\eta = \frac{21.43}{578.29} + \frac{1.87}{16.80} + \frac{0.16}{16.93} = 0.158$$

$$\frac{1}{\eta} = 6.32 > 2.5$$

**Resistencia a pandeo:** (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

Momento flector solicitante de cálculo

$$M_{ef,Ed} = -1.37 \text{ kNm}$$

$$\text{Viene dado por: } \mathbf{M_{ef,Ed}} = W_{y,com} \cdot \sigma_{com,Ed}$$

Siendo:

Tensión combinada en la fibra extrema comprimida

$$\sigma_{com,Ed} = 21.3 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{com,Ed} = \frac{M_{y,Ed}}{W_{y,com}} - 0.8 \cdot \frac{N_{t,Ed}}{A}$$

Módulo resistente de la sección referido a la fibra extrema comprimida, alrededor del eje Y.

$$W_{y,com} = 64.13 \text{ cm}^3$$

Área de la sección bruta.

$$A = 22.08 \text{ cm}^2$$

Momento flector resistente de cálculo.

$$M_{b,Rd,y} = 16.80 \text{ kNm}$$

Ecuación 2:

$$\eta = -\frac{1.37}{16.80} + \frac{0.16}{16.93} = 0.091 \quad \frac{1}{\eta} = 10.98 > 2.5$$

- **Resistencia a flexión, axil y cortante combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo  $V_{Ed}$  es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo  $V_{c,Rd}$ .

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

Donde:

Esfuerzo cortante solicitante de cálculo

$$V_{Ed,z} = 1.69 \text{ kN}$$

Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,z} = 115.03 \text{ kN}$$

$$1.69 \leq \frac{115.03}{2} = 57.52$$

- **Resistencia a torsión** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{t,Rd}}{M_{t,Ed}} \geq 2.5$$

Momento torsor solicitante de cálculo

$$M_{T,Ed} = 0.19 \text{ kNm}$$

Momento torsor resistente de cálculo

$$M_{T,Rd} = 14.25 \text{ kNm}$$

Siendo :  $M_{T,Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot W_T \cdot f_{yd}$

Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T = 94.24 \text{ cm}^3$$

Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} = 261.9 \text{ MPa}$$

Siendo:  $f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$

Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y = 275.0 \text{ MPa}$$

Coefficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} = 1.05$$

$$\eta = \frac{14.25}{0.19} = 75 \geq 2.5$$

- **Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{pl,T,Rd}}{V_{Ed}} \geq 2.5$$

Esfuerzo cortante solicitante de cálculo

$$V_{ed} = 1.25 \text{ kN}$$

Momento torsor solicitante de cálculo

$$M_{T,Ed} = 0.14 \text{ kNm}$$

Esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido

$$V_{pl,T,Rd} = 114.66 \text{ kN}$$

Siendo:  $V_{pl,T,Rd} = \left[ 1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd}$

Donde:

Esfuerzo cortante resistente de cálculo

$$V_{pl,Rd} = 116.13 \text{ kN}$$

Tensiones tangenciales por torsión

$$\tau_{T,Ed} = 1.9 \text{ MPa}$$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T = 72.58 \text{ cm}^3$$

Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} = 261.9 \text{ MPa}$$

Siendo: 
$$f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y = 275.0 \text{ MPa}$$

Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} = 1.05$$

$$\eta = \frac{114.66}{1.25} = 91.72 \geq 2.5$$

- **Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{pl,T,Rd}}{V_{Ed}} \geq 2.5$$

Esfuerzo cortante solicitante de cálculo

$$V_{ed} = 0.15 \text{ kN}$$

Momento torsor solicitante de cálculo

$$M_{T,Ed} = 0.14 \text{ kNm}$$

Esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido

$$V_{pl,T,Rd} = 215.68 \text{ kN}$$

Siendo: 
$$V_{pl,T,Rd} = \left[ 1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd}$$

Donde:

Esfuerzo cortante resistente de cálculo

$$V_{pl,Rd} = 217.74 \text{ kN}$$

Tensiones tangenciales por torsión

$$\tau_{T,Ed} = 1.4 \text{ MPa}$$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T = 96.77 \text{ cm}^3$$

Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} = 261.9 \text{ MPa}$$

Siendo:  $f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$   
Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)  $f_y = 275.0 \text{ MPa}$   
Coeficiente parcial de seguridad del material.  $\gamma_{M0} = 1.05$

$$\eta = \frac{215.68}{0.15} = 1437.86 \geq 2.5$$

- **Limitación de esbeltez** (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida de las barras traccionadas debe ser inferior al valor 3.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

Área de la sección bruta de la sección transversal de la barra  $A = 22.08 \text{ cm}^2$   
Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)  $f_y = 275.0 \text{ MPa}$   
Axil crítico de pandeo elástico.  $N_{cr} = 4427.24 \text{ kN}$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

El axil crítico de pandeo elástico  $N_{cr}$  es el menor de los valores obtenidos en a) y b):

- k) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.  
 $N_{cr,y} = 4427.24 \text{ kN}$
- l) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.  
 $N_{cr,z} = 4827.24 \text{ kN}$

$$\lambda = \sqrt{\frac{2208 \times 275.0}{4427240}} = 0.37 < 3$$

### 3.3 DIMENSIONADO BARRA TIPO 3 (2U 50X25)

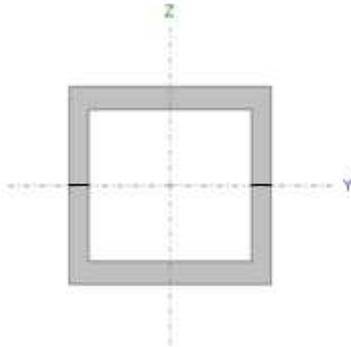
#### 3.3.1 PREDIMENSIONADO PERFIL

El perfil elegido deberá tener un módulo resistente plástico,  $W_{plz,Rd}$ , 2.5 veces mayor que el siguiente:

$$\sigma_{max} = \frac{Mz, ed}{W_{plz,Ed}} \leq \frac{fy}{\gamma_{Mo}} = \frac{275}{1.05} \quad W_{plz,Ed} \geq \frac{0.48 * 10^6}{\frac{275}{1.05}} * 10^{-3} \geq 1.83cm^3$$

El perfil elegido ha sido U 50x25 doble en cajón soldado, cuyo  $W_{plz,Rd} = 16.05cm^3$

$$\frac{W_{plz,Rd}}{W_{plz,Ed}} = \frac{16.05}{1.83} = 8.77 > 2.5$$

Perfil: U 50 x 25, Doble en cajón soldado (Cordón continuo)							
Material: Acero (S275)							
			Longitud (m)	Características mecánicas			
	Wpl,y (cm <sup>3</sup> )	Wpl,z (cm <sup>3</sup> )		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>t</sub> <sup>(2)</sup> (cm <sup>4</sup> )
	16.81	16.05	0.785	9.84	33.80	33.10	48.86
	Notas:						
	(1) Inercia respecto al eje indicado						
	(2) Momento de inercia a torsión uniforme						
		Pandeo		Pandeo lateral			
		Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.		
β	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50		
L <sub>K</sub>	0.392	0.392	0.392	0.392	0.392		
C <sub>m</sub>	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000		
Notación:							
β: Coeficiente de pandeo							
L <sub>K</sub> : Longitud de pandeo (m)							
C <sub>m</sub> : Coeficiente de momentos							

### 3.3.2 COMPROBACIÓN ESTADOS LÍMITE ÚLTIMOS

- **Resistencia a tracción** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{N_{t,Rd}}{N_{t,Ed}} \geq 2.5$$

Axil de tracción solicitante de cálculo  $N_{t,Ed} = 26.32 \text{ kN}$

Resistencia de cálculo a compresión  $N_{t,Rd} = 256.67 \text{ kN}$

Viene dada por:  $N_{t,Rd} = A \cdot f_{yd}$

Donde:

Área de la sección transversal de la barra  $A = 9.80 \text{ cm}^2$

Resistencia de cálculo del acero.  $f_{yd} = 261.9 \text{ MPa}$

Siendo:  $f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$

Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)  $f_y = 275.0 \text{ MPa}$

Coefficiente parcial de seguridad del material.  $\gamma_{M0} = 1.05$

$$\eta = \frac{706.10}{81.84} = 8.62 \geq 2.5$$

- **Resistencia a flexión eje Y** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{c,Rd}}{M_{Ed}} \geq 2.5$$

Momento flector solicitante de cálculo  $M_{Ed} = 0.35 \text{ kNm}$

El momento flector resistente de cálculo  $M_{c,Rd} = 4.40 \text{ kNm}$

Viene dado por:  $M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$

Donde:

Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

Clase: 1

Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$W_{pl,y} = 16.81 \text{ cm}^3$

Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd} = 261.9 \text{ MPa}$

Siendo:  $f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$

Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y = 275.0 \text{ MPa}$

Coefficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M0} = 1.05$

$$\eta = \frac{4.40}{0.35} = 12.57 \geq 2.5$$

Resistencia a pandeo lateral: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)

Para esbelteces  $\lambda_{LT} = 0.4$  se puede omitir la comprobación frente a pandeo, y comprobar únicamente la resistencia de la sección transversal.

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}}$$

$\lambda_{LT} : \underline{\hspace{2cm} 0.11 \hspace{2cm}}$

$M_{cr}$ : Momento crítico elástico de pandeo lateral.

$M_{cr} : \underline{\hspace{2cm} 414.44 \hspace{2cm}} \text{ kN}\cdot\text{m}$

El momento crítico elástico de pandeo lateral  $M_{cr}$  se determina según la teoría de la elasticidad:

$$M_{cr} = \sqrt{M_{LTv}^2 + M_{LTw}^2}$$

Siendo:

MLTv: Componente que representa la resistencia por torsión uniforme de la barra.

$$M_{LTV} = C_1 \cdot \frac{\pi}{L_c} \cdot \sqrt{G \cdot I_t \cdot E \cdot I_z} \quad MLTV : \quad \underline{411.72} \quad \text{kN}\cdot\text{m}$$

MLTw: Componente que representa la resistencia por torsión no uniforme de la barra.

$$M_{LTW} = W_{el,y} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{L_c^2} \cdot C_1 \cdot i_{f,z}^2 \quad MLTw : \quad \underline{47.42} \quad \text{kN}\cdot\text{m}$$

Siendo:

Wel,y: Módulo resistente elástico de la sección bruta, obtenido para la fibra más comprimida.

$$W_{el,y} : \quad \underline{13.52} \quad \text{cm}^3$$

Iz: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

$$I_z : \quad \underline{31.82} \quad \text{cm}^4$$

It: Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : \quad \underline{48.86} \quad \text{cm}^4$$

E: Módulo de elasticidad.

$$E : \quad \underline{210000} \quad \text{MPa}$$

G: Módulo de elasticidad transversal.

$$G : \quad \underline{81000} \quad \text{MPa}$$

Lc+: Longitud efectiva de pandeo lateral del ala superior.

$$L_{c+} : \quad \underline{0.392} \quad \text{m}$$

Lc-: Longitud efectiva de pandeo lateral del ala inferior.	Lc- :	<u>0.392</u>	m
C1: Factor que depende de las condiciones de apoyo y de la forma de la ley de momentos flectores sobre la barra.	C1 :	<u>1.00</u>	
if,z: Radio de giro, respecto al eje de menor inercia de la sección, del soporte formado por el ala comprimida y la tercera parte de la zona comprimida del alma adyacente al ala comprimida.	if,z+ :	<u>1.61</u>	cm
	if,z- :	<u>1.61</u>	cm

- **Resistencia a flexión eje Z** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{c,Rd}}{M_{Ed}} \geq 2.5$$

Momento flector solicitante de cálculo  $M_{Ed} = 0.48 \text{ kNm}$

El momento flector resistente de cálculo  $M_{c,Rd} = 4.20 \text{ kNm}$

Viene dado por:  $M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$

Donde:

Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

Clase: 1

Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra  
 $W_{pl,z}=16.05\text{cm}^3$   
con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd}= 261.9\text{MPa}$$

Siendo:  $f_{yd} = \frac{fy}{\gamma_{M0}}$

Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y=275.0\text{MPa}$$

Coficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0}=1.05$$

$$\eta = \frac{4.20}{0.48} = 8.75 \geq 2.5$$

- **Resistencia a corte Z** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{c,Rd}}{V_{Ed}} \geq 2.5$$

Esfuerzo cortante solicitante de cálculo

$$V_{Ed} = 0.54 \text{ kN}$$

Esfuerzo cortante resistente

$$V_{C,Rd} = 57.46 \text{ kN}$$

Viene dado por:  $V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$

Donde:

Área transversal a cortante.

$$A_v = 3.80 \text{ cm}^2$$

Siendo:  $A_v = 2 \cdot d \cdot t_w$

Altura del alma.

$$d = 38.00 \text{ mm}$$

Espesor del alma.

$$t_w = 5.00 \text{ mm}$$

Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} = 261.9 \text{ MPa}$$

Siendo:  $f_{yd} = \frac{fy}{\gamma_{M0}}$

Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y = 275.0 \text{ MPa}$$

Coficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} = 1.05$$

$$\eta = \frac{57.46}{0.54} = 106.40 \geq 2.5$$

- **Abolladura por cortante del alma:** (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

No es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70\varepsilon$$

Donde:

Esbeltez del alma  $\lambda_w = \frac{d}{t_w}$   $\lambda_w = 7.60$

Esbeltez máxima  $\lambda_{max} = 70 \cdot \varepsilon$   $\lambda_{m\acute{a}x} = 64.71$

Factor de reducción  $\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$   $\varepsilon = 0.92$

Siendo:

Límite elástico de referencia.  $f_{ref} = 235.0 \text{ MPa}$

Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)  $f_y = 275.0 \text{ MPa}$

$$7.60 < 64.71$$

- **Resistencia a corte Y** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{c,Rd}}{V_{Ed}} \geq 2.5$$

Esfuerzo cortante solicitante de cálculo  $V_{Ed} = 1.05 \text{ kN}$

Esfuerzo cortante resistente  $V_{c,Rd} = 90.73 \text{ kN}$

Viene dado por:  $V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$

Donde:

Área transversal a cortante.  $A_v = 6.00 \text{ cm}^2$

Siendo:  $A_v = A - 2 \cdot d \cdot t_w$

Altura del alma.  $d = 38.00 \text{ mm}$

Espesor del alma.  $t_w = 5.00 \text{ mm}$

Área de la sección bruta

$$A = 9.80 \text{ mm}^2$$

Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} = 261.9 \text{ MPa}$$

Siendo:  $f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$

Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y = 275.0 \text{ MPa}$$

Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} = 1.05$$

$$\eta = \frac{90.73}{1.05} = 86.40 \geq 2.5$$

- **Abolladura por cortante del alma:** (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

No es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{b}{t_f} < 70\varepsilon$$

Donde:

Esbeltez del alma  $\lambda_w = \frac{b}{t_f}$

$$\lambda_w = 8.33$$

Esbeltez máxima  $\lambda_{\max} = 70 \cdot \varepsilon$

$$\lambda_{\max} = 64.71$$

Factor de reducción  $\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{\text{ref}}}{f_y}}$

$$\varepsilon = 0.92$$

Siendo:

Límite elástico de referencia.

$$f_{\text{ref}} = 235.0 \text{ MPa}$$

Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y = 275.0 \text{ MPa}$$

$$8.33 < 64.71$$

- **Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

El esfuerzo cortante solicitante de cálculo  $V_{Ed}$  no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante  $V_{c,Rd}$  por lo que no será necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{ed} = 0.54 \text{ kN}$$

Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} = 57.46 \text{ kN}$$

$$0.54 \leq \frac{57.46}{2} = 28.73$$

- **Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

El esfuerzo cortante solicitante de cálculo  $V_{Ed}$  no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante  $V_{c,Rd}$  por lo que no será necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{ed} = 1.05 \text{ kN}$$

Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} = 90.73 \text{ kN}$$

$$1.05 \leq \frac{90.73}{2} = 45.36$$

- **Resistencia a flexión y axil combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

Ecuación 1

$$\eta = \frac{N_{t,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

Ecuación 2

$$\eta = \frac{M_{ef,Ed}}{M_{b,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

$$\frac{1}{\eta} \geq 2.5$$

Donde:

Axil de tracción solicitante de cálculo

$$N_{t,Ed} = 26.32 \text{ kN}$$

Momentos flectores solicitantes de cálculo

$$M_{y,Ed} = 0.35 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = 0.48 \text{ kNm}$$

Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple

Clase: 1

Resistencia a tracción

$$N_{pl,Rd} = 256.67 \text{ kN}$$

Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas

$$M_{pl,Rd,y} = 4.40 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,Rd,z} = 4.20 \text{ kNm}$$

Ecuación 1:

$$\eta = \frac{26.32}{256.67} + \frac{0.35}{4.40} + \frac{0.48}{4.20} = 0.296$$

$$\frac{1}{\eta} = 3.37 > 2.5$$

- **Resistencia a pandeo:** (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

Momento flector solicitante de cálculo

$$M_{ef,Ed} = 0 \text{ kNm}$$

$$\text{Viene dado por: } M_{ef,Ed} = W_{y,com} \cdot \sigma_{com,Ed}$$

Siendo:

Tensión combinada en la fibra extrema comprimida

$$\sigma_{com,Ed} = 0 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{com,Ed} = \frac{M_{y,Ed}}{W_{y,com}} - 0.8 \cdot \frac{N_{t,Ed}}{A}$$

Módulo resistente de la sección referido a la fibra extrema comprimida, alrededor del eje Y.

$$W_{y,com} = 16.81 \text{ cm}^3$$

Área de la sección bruta.

$$A = 9.80 \text{ cm}^2$$

Momento flector resistente de cálculo.

$$M_{b,Rd,y} = 4.40 \text{ kNm}$$

Ecuación 2:

$$\eta = \frac{0.48}{4.20} = 0.114 \quad \frac{1}{\eta} = 8.75 > 2.5$$

- **Resistencia a flexión, axil y cortante combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo  $V_{Ed}$  es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo  $V_{c,Rd}$ .

$$V_{Ed,z} \leq \frac{V_{c,Rd,z}}{2}$$

Donde:

Esfuerzo cortante solicitante de cálculo

$$V_{Ed,z} = 1.05 \text{ kN}$$

Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd,z} = 89.58 \text{ kN}$$

$$1.05 \leq \frac{89.58}{2} = 44.8$$

- **Resistencia a torsión** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{t,Rd}}{V_{t,Ed}} \geq 2.5$$

Momento torsor solicitante de cálculo

$$M_{T,Ed} = 0.05 \text{ kNm}$$

Momento torsor resistente de cálculo

$$M_{T,Rd} = 3.50 \text{ kNm}$$

Siendo:  $M_{T,Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot W_T \cdot f_{yd}$ 

Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T = 23.14 \text{ cm}^3$$

Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} = 261.9 \text{ MPa}$$

Siendo:  $f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$   
Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)  $f_y = 275.0 \text{ MPa}$   
Coeficiente parcial de seguridad del material.  $\gamma_{M0} = 1.05$

$$\eta = \frac{3.50}{0.05} = 70 \geq 2.5$$

- **Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{pl,T,Rd}}{V_{Ed}} \geq 2.5$$

Esfuerzo cortante solicitante de cálculo  $V_{ed} = 0.40 \text{ kN}$   
Momento torsor solicitante de cálculo  $M_{T,Ed} = 0.04 \text{ kNm}$   
Esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido  $V_{pl,T,Rd} = 56.73 \text{ kN}$

Siendo: 
$$V_{pl,T,Rd} = \left[ 1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd}$$

Donde:

Esfuerzo cortante resistente de cálculo  $V_{pl,Rd} = 57.46 \text{ kN}$   
Tensiones tangenciales por torsión  $\tau_{T,Ed} = 1.9 \text{ MPa}$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Módulo de resistencia a torsión.  $W_T = 19.80 \text{ cm}^3$

Resistencia de cálculo del acero.  $f_{yd} = 261.9 \text{ MPa}$

Siendo:  $f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$   
Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)  $f_y = 275.0 \text{ MPa}$   
Coeficiente parcial de seguridad del material.  $\gamma_{M0} = 1.05$

$$\eta = \frac{56.73}{0.40} = 141.82 \geq 2.5$$

- **Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{pl,T,Rd}}{V_{Ed}} \geq 2.5$$

Esfuerzo cortante solicitante de cálculo

$$V_{ed} = 0.78 \text{ kN}$$

Momento torsor solicitante de cálculo

$$M_{T,Ed} = 0.04 \text{ kNm}$$

Esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido

$$V_{pl,T,Rd} = 89.77 \text{ kN}$$

Siendo:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[ 1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd}$$

Donde:

Esfuerzo cortante resistente de cálculo

$$V_{pl,Rd} = 90.73 \text{ kN}$$

Tensiones tangenciales por torsión

$$\tau_{T,Ed} = 1.6 \text{ MPa}$$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T = 23.76 \text{ cm}^3$$

Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} = 261.9 \text{ MPa}$$

Siendo:

$$f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y = 275.0 \text{ MPa}$$

Coficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} = 1.05$$

$$\eta = \frac{89.77}{0.78} = 115 \geq 2.5$$

- **Limitación de esbeltez** (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida de las barras traccionadas debe ser inferior al valor 3.0.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

Área de la sección bruta de la sección transversal de la barra

$$A = 9.80 \text{ cm}^2$$

Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y = 275.0 \text{ MPa}$$

Axil crítico de pandeo elástico.

$$N_{cr} = 4282.74 \text{ kN}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

El axil crítico de pandeo elástico  $N_{cr}$  es el menor de los valores obtenidos en a) y b):

m) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$N_{cr,y} = 4548.72 \text{ kN}$$

n) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} = 4282.74 \text{ kN}$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{9800 \times 275.0}{42827400}} = 0.25 < 3$$

### 3.4 DIMENSIONADO BARRA TIPO 4 (2U 50X25)

#### 3.4.1 PREDIMENSIONADO PERFIL

El perfil elegido deberá tener un módulo resistente plástico,  $W_{plz,Rd}$ , 2.5 veces mayor que el siguiente:

$$\sigma_{max} = \frac{Mz, ed}{W_{plz,Ed}} \leq \frac{fy}{\gamma_{Mo}} = \frac{275}{1.05} \quad W_{plz,Ed} \geq \frac{1.23 * 10^6}{\frac{275}{1.05}} 4.696cm^3$$

El perfil elegido ha sido U 65 x 42 doble en cajón soldado, cuyo  $W_{plz,Rd} = 48.05 cm^3$

$$\frac{W_{plz,Rd}}{W_{plz,Ed}} = \frac{16.05}{4.696} = 3.41 > 2.5$$

Perfil: U 50 x 25, Doble en cajón soldado (Cordón continuo) Material: Acero (S275)							
	Wpl,y (cm <sup>3</sup> )	Wpl,z (cm <sup>3</sup> )	Longitud (m)	Características mecánicas			
				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>t</sub> <sup>(2)</sup> (cm <sup>4</sup> )
	16.81	16.05	2.500	9.84	33.80	33.10	48.86
	Notas:						
	<sup>(1)</sup> Inercia respecto al eje indicado <sup>(2)</sup> Momento de inercia a torsión uniforme						
	Pandeo		Pandeo lateral				
	Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.			
β	0.50	0.50	0.50	0.50			
L <sub>K</sub>	1.000	1.000	1.000	1.000			
C <sub>m</sub>	1.000	1.000	1.000	1.000			
Notación:							
β: Coeficiente de pandeo							
L <sub>K</sub> : Longitud de pandeo (m)							
C <sub>m</sub> : Coeficiente de momentos							

### COMPROBACIÓN ESTADOS LÍMITE ÚLTIMOS

- **Resistencia a compresión** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

Ecuación 1:

$$\eta = \frac{N_{c,Rd}}{N_{c,Ed}} \geq 2.5$$

Ecuación 2:

$$\eta = \frac{N_{b,Rd}}{N_{c,Ed}} \geq 2.5$$

Axil de compresión solicitante de cálculo  $N_{c,Ed} = 1.26 \text{ kN}$ Resistencia de cálculo a compresión  $N_{c,Rd} = 256.67 \text{ kN}$ Viene dada por  $N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$ 

Donde:

Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección. Clase: 1

Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.  $A=9.8 \text{ cm}^3$ Resistencia de cálculo del acero.  $f_{yd} = 261.9 \text{ MPa}$ Siendo:  $f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$   
Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)  $f_y = 275.0 \text{ MPa}$   
Coeficiente parcial de seguridad del material.  $\gamma_{M0} = 1.05$ 

Ecuación 1:

$$\eta = \frac{256.67}{1.26} = 203.7 \geq 2.5$$

**Resistencia a pandeo:** (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)Resistencia de cálculo a pandeo  $N_{b,Rd} = 170.10 \text{ kN}$ Viene dada por:  $N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd}$ 

Donde:

Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.  $A=9.8 \text{ cm}^2$ Resistencia de cálculo del acero.  $f_{yd} = 261.9 \text{ MPa}$

Siendo:  $f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$

Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y = 275.0 \text{ MPa}$

Coefficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M1} = 1.05$

Coefficiente de reducción por pandeo

$X_v = 0.68$

$X_z = 0.66$

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1$$

Viene dado por:

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[ 1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right]$$

Siendo:

$\Phi_v = 0.94$

$\Phi_z = 0.97$

Coefficiente de imperfección elástica

$\alpha_v = \alpha_z = 0.49$

Esbeltez reducida

$\lambda_v = 0.78$

$\lambda_z = 0.80$

Viene dada por:  $\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$

Siendo:

Axil crítico elástico de pandeo el menor de:

$N_{cr} = 422.25 \text{ kN}$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2} \quad N_{cr,y} = 448.04 \text{ kN}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2} \quad N_{cr,z} = 442.04 \text{ kN}$$

Donde:

Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.

$I_y = 33.79 \text{ cm}^4$

Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

$I_z = 31.82 \text{ cm}^4$

Módulo de elasticidad.

$E = 210000 \text{ MPa}$

Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.

$L_{ky} = 1.250 \text{ m}$

Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.

$L_{kz} = 1.250 \text{ m}$

Ecuación 2 :

$$\eta = \frac{170.10}{1.26} = 135 \geq 2.5$$

- **Resistencia a flexión eje Y** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{c,Rd}}{M_{Ed}} \geq 2.5$$

Momento flector solicitante de cálculo  $M_{Ed} = 0.02$  kNm

El momento flector resistente de cálculo  $M_{c,Rd} = 4.4$  kNm

Viene dado por:  $M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$

Donde:

Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

Clase: 1

Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$W_{pl,y} = 16.81$  cm<sup>3</sup>

Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd} = 261.9$ MPa

Siendo:  $f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$

Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y = 275.0$ MPa

Coefficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M0} = 1.05$

$$\eta = \frac{4.4}{0.02} = 220 \geq 2.5$$

**Resistencia a pandeo lateral:** (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)

Para esbelteces  $\lambda_{LT} < 0.4$  se puede omitir la comprobación frente a pandeo, y comprobar únicamente la resistencia de la sección transversal.

$$\lambda_{LT} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{M_{cr}}} \quad \lambda_{LT} : \quad \underline{\quad 0.19 \quad}$$

$M_{cr}$ : Momento crítico elástico de pandeo lateral.

$$M_{cr} : \quad \underline{\quad 129.33 \quad} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

El momento crítico elástico de pandeo lateral  $M_{cr}$  se determina según la teoría de la elasticidad:

$$M_{cr} = \sqrt{M_{LTv}^2 + M_{LTw}^2}$$

Siendo:

$M_{LTv}$ : Componente que representa la resistencia por torsión uniforme de la barra.

$$M_{LTv} = C_1 \cdot \frac{\pi}{L_c} \cdot \sqrt{G \cdot I_t \cdot E \cdot I_z} \quad M_{LTv} : \quad \underline{\quad 129.25 \quad} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

$M_{LTw}$ : Componente que representa la resistencia por torsión no uniforme de la barra.

$$M_{LTw} = W_{el,y} \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{L_c^2} \cdot C_1 \cdot i_{f,z}^2 \quad M_{LTw} : \quad \underline{\quad 4.67 \quad} \text{ kN}\cdot\text{m}$$

Siendo:

$W_{el,y}$ : Módulo resistente elástico de la sección bruta, obtenido para la fibra más comprimida.

$$W_{el,y} : \quad \underline{\quad 13.52 \quad} \text{ cm}^3$$

$I_z$ : Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.

$$I_z : \quad \underline{\quad 31.82 \quad} \text{ cm}^4$$

$I_t$ : Momento de inercia a torsión uniforme.

$$I_t : \quad \underline{\quad 48.86 \quad} \text{ cm}^4$$

<b>E:</b> Módulo de elasticidad.	<b>E :</b> $\underline{210000}$ MPa
<b>G:</b> Módulo de elasticidad transversal.	<b>G :</b> $\underline{81000}$ MPa
<b>L<sub>c</sub><sup>+</sup>:</b> Longitud efectiva de pandeo lateral del ala superior.	<b>L<sub>c</sub><sup>+</sup> :</b> $\underline{1.250}$ m
<b>L<sub>c</sub><sup>-</sup>:</b> Longitud efectiva de pandeo lateral del ala inferior.	<b>L<sub>c</sub><sup>-</sup> :</b> $\underline{1.250}$ m
<b>C<sub>1</sub>:</b> Factor que depende de las condiciones de apoyo y de la forma de la ley de momentos flectores sobre la barra.	<b>C<sub>1</sub> :</b> $\underline{1.00}$
<b>i<sub>f,z</sub>:</b> Radio de giro, respecto al eje de menor inercia de la sección, del soporte formado por el ala comprimida y la tercera parte de la zona comprimida del alma adyacente al ala comprimida.	<b>i<sub>f,z</sub><sup>+</sup> :</b> $\underline{1.61}$ cm
	<b>i<sub>f,z</sub><sup>-</sup> :</b> $\underline{1.61}$ cm

- **Resistencia a flexión eje Z** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{c,Rd}}{M_{Ed}} \geq 2.5$$

Momento flector solicitante de cálculo  $M_{Ed} = 1.23 \text{ kNm}$

El momento flector resistente de cálculo  $M_{c,Rd} = 4.20 \text{ kNm}$

Viene dado por:  $M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$

Donde:

Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

Clase: 1

Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$W_{pl,z} = 16.05 \text{ cm}^3$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd} = 261.9 \text{ MPa}$

Siendo:  $f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$

Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y = 275.0 \text{ MPa}$

Coefficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M0} = 1.05$

$$\eta = \frac{4.20}{1.23} = 3.41 \geq 2.5$$

- **Resistencia a corte Z** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{c,Rd}}{V_{Ed}} \geq 2.5$$

Esfuerzo cortante solicitante de cálculo  $V_{Ed} = 0.04$  kN

Esfuerzo cortante resistente  $V_{c,Rd} = 57.46$  kN

Viene dado por:  $V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$

Donde:

Área transversal a cortante.

$$A_v = 3.80 \text{ cm}^2$$

Siendo:  $A_v = 2 \cdot d \cdot t_w$

Altura del alma.

$$d = 38.00 \text{ mm}$$

Espesor del alma.

$$t_w = 5.00 \text{ mm}$$

Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} = 261.9 \text{ MPa}$$

Siendo:  $f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$

Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y = 275.0 \text{ MPa}$$

Coficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} = 1.05$$

$$\eta = \frac{57.46}{0.04} = 1436.5 \geq 2.5$$

- **Abolladura por cortante del alma:** (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

No es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{d}{t_w} < 70\epsilon$$

Donde:

Esbeltez del alma  $\lambda_w = \frac{d}{t_w}$

$$\lambda_w = 7.6$$

Esbeltez máxima  $\lambda_{max} = 70 \cdot \epsilon$

$$\lambda_{max} = 64.71$$

$$\text{Factor de reducción } \varepsilon = \sqrt{\frac{f_{\text{ref}}}{f_y}} \quad \varepsilon = 0.92$$

Siendo:

$$\begin{aligned} \text{Límite elástico de referencia.} & f_{\text{ref}} = 235.0 \text{ MPa} \\ \text{Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)} & f_y = 275.0 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$7.6 < 64.71$$

- **Resistencia a corte Y** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{c,Rd}}{V_{Ed}} \geq 2.5$$

$$\text{Esfuerzo cortante solicitante de cálculo} \quad V_{Ed} = 1.07 \text{ kN}$$

$$\text{Esfuerzo cortante resistente} \quad V_{c,Rd} = 90.73 \text{ kN}$$

$$\text{Viene dado por: } V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

Donde:

$$\text{Área transversal a cortante.} \quad A_v = 6.00 \text{ cm}^2$$

$$\text{Siendo: } A_v = A - 2 \cdot d \cdot t_w$$

$$\text{Altura del alma.} \quad d = 38.00 \text{ mm}$$

$$\text{Espesor del alma.} \quad t_w = 5.00 \text{ mm}$$

$$\text{Área de la sección bruta} \quad A = 9.80 \text{ mm}^2$$

$$\text{Resistencia de cálculo del acero.} \quad f_{yd} = 261.9 \text{ MPa}$$

$$\text{Siendo: } f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$\text{Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)} \quad f_y = 275.0 \text{ MPa}$$

$$\text{Coeficiente parcial de seguridad del material.} \quad \gamma_{M0} = 1.05$$

$$\eta = \frac{90.73}{1.07} = 84.79 \geq 2.5$$

- **Abolladura por cortante del alma:** (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

No es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

$$\frac{b}{t_f} < 70\varepsilon$$

Donde:

Esbeltez del alma  $\lambda_w = \frac{b}{t_f}$   $\lambda_w = 8.33$

Esbeltez máxima  $\lambda_{max} = 70 \cdot \varepsilon$   $\lambda_{max} = 64.71$

Factor de reducción  $\varepsilon = \sqrt{\frac{f_{ref}}{f_y}}$   $\varepsilon = 0.92$

Siendo:

Límite elástico de referencia.  $f_{ref} = 235.0 \text{MPa}$

Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)  $f_y = 275.0 \text{MPa}$

$$8.33 < 64.71$$

- **Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

El esfuerzo cortante solicitante de cálculo  $V_{Ed}$  no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante  $V_{c,Rd}$  por lo que no será necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.  $V_{ed} = 0.04 \text{ kN}$

Esfuerzo cortante resistente de cálculo.  $V_{c,Rd} = 57.46 \text{ kN}$

$$0.04 \leq \frac{57.46}{2} = 29.29$$

- **Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

El esfuerzo cortante solicitante de cálculo  $V_{Ed}$  no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante  $V_{c,Rd}$  por lo que no será necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{ed} = 1.07 \text{ kN}$$

Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} = 90.73 \text{ kN}$$

$$1.07 \leq \frac{90.73}{2} = 45.36$$

- **Resistencia a flexión y axil combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

Ecuación 1

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

Ecuación 2

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

Ecuación 3

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$\frac{1}{\eta} \geq 2.5$$

Donde:

Axil de compresión solicitante de cálculo

$$N_{c,Ed} = 1.26 \text{ kN}$$

Momentos flectores solicitantes de cálculo

$$M_{y,Ed} = 0.02 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = 1.23 \text{ kNm}$$

Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple

Clase: 1

Resistencia a compresión de la sección bruta  
kN

$$N_{pl,Rd} = 256.67$$

Resistencia a flexión de la sección bruta  
en condiciones plásticas

$$M_{pl,Rd,y} = 4.40 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,Rd,z} = 4.20 \text{ kNm}$$

Ecuación 1:

$$\eta = \frac{1.26}{256.67} + \frac{0.02}{4.40} + \frac{1.23}{4.20} = 0.303$$

$$\frac{1}{0.303} = 3.3 \geq 2.5$$

**Resistencia a pandeo:** (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

Área de la sección bruta

$$A = 9.80 \text{ cm}^2$$

Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z

$$W_{pl,y} = 16.81 \text{ cm}^3$$

$$W_{pl,z} = 16.05 \text{ cm}^3$$

Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} = 261.9 \text{ MPa}$$

Siendo:  $f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$

Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y = 275.0 \text{ MPa}$$

Coefficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} = 1.05$$

Coefficientes de interacción

$$k_y = 1.00$$

$$k_z = 1.00$$

Siendo:  $k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}}$

$$k_z = 1 + (\bar{\lambda}_z - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}}$$

Factores de momento flector uniforme equivalente.

$$C_{m,y} = C_{m,z} = 1.00$$

Coeficientes de reducción por pandeo alrededor de los ejes Y y Z	$\chi_y = 0.68$ $\chi_z = 0.66$
Esbelteces reducidas < 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.	$\lambda_y = 0.78$ $\lambda_z = 0.80$
Factores dependientes de la clase de la sección	$\alpha_y = \alpha_z = 0.60$

Ecuación 2:

$$\eta = \frac{1.26}{0.68 \times 9.8 \times 261.9} + 1.00 \times \frac{1.00 \times 0.02}{2.55 \times 10^{-5} \times 16.81 \times 261.9} + 0.60 \times 1.00 \times \frac{1.00 \times 1.23}{16.05 \times 261.9} = 0.189$$

$$\frac{1}{0.189} = 5.29 \geq 2.5$$

Ecuación 3:

$$\eta = \frac{1.26}{0.66 \times 9.8 \times 261.9} + 1.00 \times 0.60 \times \frac{1.00 \times 0.02}{16.81 \times 261.9} + 0.60 \times \frac{1.00 \times 1.23}{16.05 \times 261.9} = 0.305$$

$$\frac{1}{0.305} = 3.27 \geq 2.5$$

- **Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)**

El esfuerzo cortante solicitante de cálculo  $V_{Ed}$  no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante  $V_{c,Rd}$  por lo que no será necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd,y}}{2}$$

Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.  $V_{ed} = 1.07 \text{ kN}$

Esfuerzo cortante resistente de cálculo.  $V_{c,Rd} = 90.65 \text{ kN}$

$$1.07 \leq \frac{90.65}{2} = 46.20$$

- **Limitación de esbeltez** (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

Área de la sección bruta de la sección transversal de la barra

$$A = 9.80 \text{ cm}^2$$

Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y = 275.0 \text{ MPa}$$

Axil crítico de pandeo elástico.  
kN

$$N_{cr} = 422.04$$

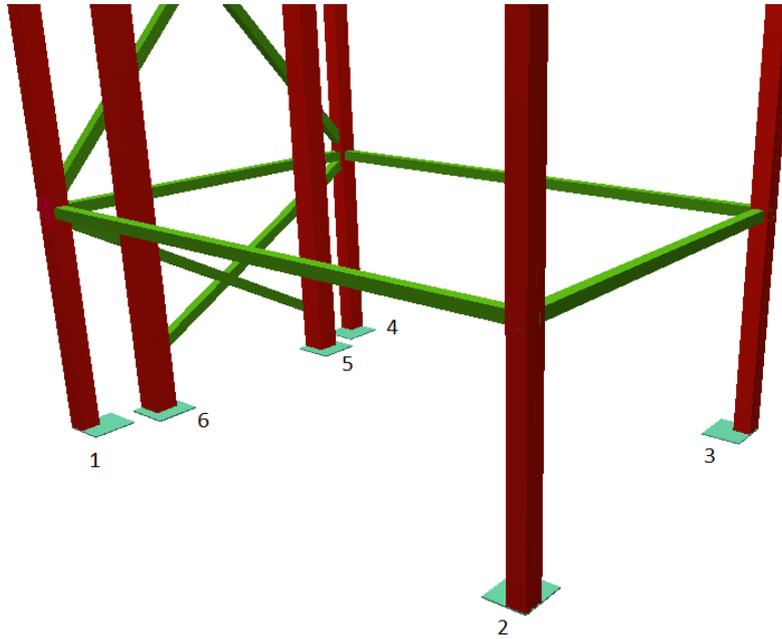
$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

El axil crítico de pandeo elástico  $N_{cr}$  es el menor de los valores obtenidos en a) y b):

- o) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.  
 $N_{cr,y} = 448.25 \text{ kN}$
- p) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.  
 $N_{cr,z} = 442.04 \text{ kN}$

$$\lambda = \sqrt{\frac{9800 \times 275.0}{4420400}} = 0.8 < 2$$

### 3.6. CÁLCULO PLACAS DE ANCLAJE



#### 3.6.1- DESCRIPCIÓN

Descripción				
Referencia	Placa base	Disposición	Rigidizadores	Pernos
1	Ancho X: 200 mm Ancho Y: 180 mm Espesor: 6 mm	Posición X: Por vuelo inicial 0.0 mm Posición Y: Por vuelo final 0.0 mm	Paralelos X: - Paralelos Y: -	4Ø6 mm L=30 cm Prolongación recta
2	Ancho X: 200 mm Ancho Y: 180 mm Espesor: 6 mm	Posición X: Por vuelo final 0.0 mm Posición Y: Por vuelo final 0.0 mm	Paralelos X: - Paralelos Y: -	4Ø6 mm L=30 cm Prolongación recta
3	Ancho X: 200 mm Ancho Y: 180 mm Espesor: 6 mm	Posición X: Por vuelo final 0.0 mm Posición Y: Por vuelo inicial 0.0 mm	Paralelos X: - Paralelos Y: -	4Ø6 mm L=30 cm Prolongación recta
4	Ancho X: 200 mm Ancho Y: 180 mm Espesor: 6 mm	Posición X: Por vuelo inicial 0.0 mm Posición Y: Por vuelo inicial 0.0 mm	Paralelos X: - Paralelos Y: -	4Ø6 mm L=30 cm Prolongación recta
5,6	Ancho X: 200 mm Ancho Y: 200 mm Espesor: 7 mm	Posición X: Centrada Posición Y: Por vuelo final 0.0 mm	Paralelos X: - Paralelos Y: -	4Ø8 mm L=30 cm Prolongación recta

### 3.6.2- MEDICIÓN PLACAS DE ANCLAJE

Pilares	Acero	Peso(kg)	Totales (kg)
1	S275	1 x 1.70	
2	S275	1 x 1.70	
5,6	S275	2 x 2.20	
3	S275	1 x 1.70	
4	S275	1 x 1.70	
			11.18
Totales			11.18

### 3.6.3- MEDICIÓN PERNOS PLACAS DE ANCLAJE

Pilares	Pernos	Acero	Longitud (m)	Peso (kg)	Totales (m)	Totales (Kg)
1	4Ø6 mm L=33 cm	B 400 S, Ys = 1.15 (corrugado)	4 x 0.33	4 x 0.07		
2	4Ø6 mm L=33 cm	B 400 S, Ys = 1.15 (corrugado)	4 x 0.33	4 x 0.07		
5.6	8Ø8 mm L=34 cm	B 400 S, Ys = 1.15 (corrugado)	8 x 0.34	8 x 0.13		
3	4Ø6 mm L=33 cm	B 400 S, Ys = 1.15 (corrugado)	4 x 0.33	4 x 0.07		
4	4Ø6 mm L=33 cm	B 400 S, Ys = 1.15 (corrugado)	4 x 0.33	4 x 0.07		
					7.99	2.24
Totales					7.99	2.24

### 3.6.4- COMPROBACIÓN DE LAS PLACAS DE ANCLAJE

Referencia: N1		
-Placa base: Ancho X: 200 mm Ancho Y: 180 mm Espesor: 6 mm		
-Pernos: 4Ø6 mm L=30 cm Prolongación recta		
-Disposición: Posición X: Por vuelo inicial 0.0 mm Posición Y: Por vuelo final 0.0 mm		
Comprobación	Valores	Estado
Separación mínima entre pernos: 3 diámetros	Mínimo: 18 mm Calculado: 156 mm	Cumple
Separación mínima pernos-borde: 1.5 diámetros	Mínimo: 9 mm Calculado: 12 mm	Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		



Referencia: N11

-Placa base: Ancho X: 200 mm Ancho Y: 200 mm Espesor: 7 mm

-Pernos: 4Ø8 mm L=30 cm Prolongación recta

-Disposición: Posición X: Centrada Posición Y: Por vuelo final 0.0 mm

Comprobación	Valores	Estado
Separación mínima entre pernos: 3 diámetros	Mínimo: 24 mm Calculado: 160 mm	Cumple
Separación mínima pernos-borde: 1.5 diámetros	Mínimo: 12 mm Calculado: 20 mm	Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		

#### 4. CÁLCULO DE LOS CABLES

Para el cálculo de los cables, la norma EN 81-3 dice que para montacargas se utilizara un factor de seguridad de 8.

$$\eta = \frac{Q_{min} N}{Q_N}$$

Donde:

$\eta$  = coeficiente de seguridad.

$Q_{min}$  = carga minima de rotura del cable.

$N$  = Numero de cables a utilizar.

$Q_N$  = Carga nominal a soportar por los cables (carga + bastidor)

Despejando de la ecuación anterior obtenemos:

$$Q_{min} = \frac{\eta Q_N}{N} = \frac{8 \cdot 3500 \cdot 9.81}{8} = 34.33 \text{ KN}$$

El motivo por el que se van a utilizar 8 cables, 4 en cada polea, es para que éstas no resulten de un diámetro muy elevado, debido a que el diámetro de las poleas debe ser 30 veces mayor que el de los cables.

Mirando en el catalogo de cables de acero del fabricante, se tiene que seleccionar un cable que tenga una carga mínima igual o superior a 34.33 KN.

El cable seleccionado es el tipo 3PAC del fabricante PRODINSA, está compuesto por alambres de alta resistencia según norma ISO 2232.

Ø Nom (pulg.)	Ø Nom (mm)	Carga de rotura mínima garantizada (kN)	(1000 lb)	(tm)	Peso lineal (kg/m)
1/4"	6,4	38,8	8,73	3,96	0,22

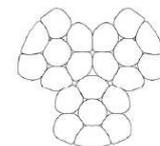


Figura 12. Tabla características cables.

Es un cable apto para este uso ya que tiene las siguientes características según el fabricante:

- Alta resistencia a la rotura con bajo diámetro
- Alta resistencia a la abrasión gracias al proceso de Swaged
- Torcido Regular, muy estable y resistente al aplastamiento
- Resistente al giro
- Baja elongación
- Acabado galvanizado.

## 5. CÁLCULO Y ELECCIÓN DE LAS POLEAS.

### 5.1 CÁLCULO

Para el cálculo de las poleas, la norma UNE 36715 dice que deben ser de un diámetro 30 veces superior al diámetro de los cables, por tanto el diámetro de cada polea:

$$D_{\text{polea}} = 30 \cdot 6.4 = 192 \text{ mm}$$

Entre las dos poleas llevarán los 8 cables, es decir cada polea llevará 4 carriles para 4 cables.

### 5.2. ELECCIÓN

Las características que debe cumplir son las siguientes:

- Capacidad de carga:  $Q = \frac{3500}{2} = 1750 \text{ kg}$
- Diámetro mínimo de cada polea:  $D = 192\text{mm}$
- Diámetro del cable:  $D = 6.4\text{mm}$
- N° canales = 4

Cumpliendo todo esto, las poleas elegidas son del fabricante HRSY:

Descripción	Modelo	Capacidad estándar (t)	Carga de la prueba (kN)	Diámetro cable (milímetros)	Diámetro polea (milímetros)	Ancho polea (milímetros)
Polea cuádruple acanaladura	HQG 4-2.5	2.5	16	6.2-7.7	200	35

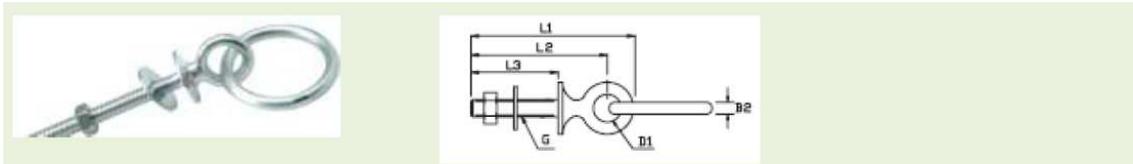
Tabla 4. Características de las poleas elegidas.



Figura 13. Foto de las poleas de cuádruple acanaladura.

Los cables irán anclados a la plataforma y mediante un cáncamo macho por polea, al igual que al suelo del fondo del foso. Por tanto a cada cáncamo se cojearan 4 cables. Los cáncamos serán del fabricante CABLES ESTRUCTURALES, modelo 371216 de acero inoxidable.

Como cada polea soporta una carga de 1750 kg, ésta será la carga que deberá soportar cada cáncamo. Para la fijación de estos, se debe colocar un casquillo rigidizador del mismo espesor que el perfil, es decir 9 mm, para que no se produzca abolladura del perfil al apretar la tuerca.



REF	G	L1	L2	L3	B1	B2	D1	D2	LONGITUD DE ROSCA	CARGA ROTURA KG
380630	M6	57	46	30	25	5	13	30	30	950
380660	M6	87	76	60	25	5	13	30	60	950
380835	M8	66	53	35	25	6	15	40	35	1500
380880	M8	111	98	80	25	6	15	40	75	1500
381050	M10	85	70	50	30	7	16	45	50	2200
381000	M10	135	120	100	30	7	16	45	95	2200
381210	M12	140	124	100	30	10	18	50	85	3300
381216	M12	200	184	160	30	10	18	50	85	3300

Figura 15. Tablas características del cáncamo macho para anclaje de los cables.

Como se puede observar, el cáncamo elegido cumple correctamente con las necesidades de carga ya que puede soportar una carga máxima de 3300kg, así como permite que se puedan sujetar a él los 4 cables de una polea, ya que posee una anilla de 50mm de diámetro y cada cable tiene 6.4 mm. Además en la anilla se deberán colocar 3 grapas separadoras de teflón cuyas dimensiones figuran en los planos PC-6, para que los 4 cables no se toquen entre ellos dentro del cáncamo, como lo exige la Norma EN 81-31.

Las poleas irán atornilladas al porta-poleas mediante un tornillo que apoyará sobre las vigas TIPO 1 de éste. El tornillo únicamente trabajará a esfuerzo cortante y soportará la fuerza de la polea. Los cálculos para el dimensionado de dicho tornillo son los siguientes:

Calidad del material: grado 10,9

- Sut= 1040 MPa

- Sy = 940 MPa

Se deberán colocar los siguientes elementos:

-Tornillo M16 (DIN 912)

-2 Arandelas M16(DIN912)

-Tuerca M16 (DIN558)

Comprobación a cortante del tornillo:

$$\tau = \frac{F}{A} = \frac{F}{\pi \frac{D^2}{4}} = \frac{S_y}{2 \eta}$$

Donde:

F= fuerza que tiene que resistir el tonillo.

A=Sección del tornillo donde D= diámetro de fondo del tornillo (9.853mm)

Sy= Resistencia a fluencia del material.

$\eta$  = factor de seguridad.

$$\frac{F}{\pi \frac{D^2}{4}} = \frac{S_y}{2 \eta}$$
$$\frac{17658}{\pi \frac{13.546^2}{4}} = \frac{940}{2 \eta}$$
$$\eta = 3.83 > 2.5$$

La longitud de junta del tornillo es:

$$L = L_{\text{junta}} + L_{\text{tuerca}} + L_{\text{arandelas}} + L_{\text{seguridad}} = 60 + 13 + 2 \times 3 = 79 \text{ mm}$$

La longitud del tornillo será finalmente L = 90 mm

## 6. DIMENSIONADO DEL PORTA-POLEAS

El porta-poleas es el elemento donde van a ir sujetas las poleas. Este irá colocado sobre la cabeza del pistón mediante una rosca de 40 mm que vendrá mecanizada de taller.

Dicho elemento, estará constituido por tres tipos de perfiles de acero ASTM A275 que serán los siguientes:

- Tipo 1: Perfil L de 80x80x10 mm
- Tipo 2: Perfil L de 50x50x4 mm
- Tipo 3: Perfil macizo de 60x40 mm

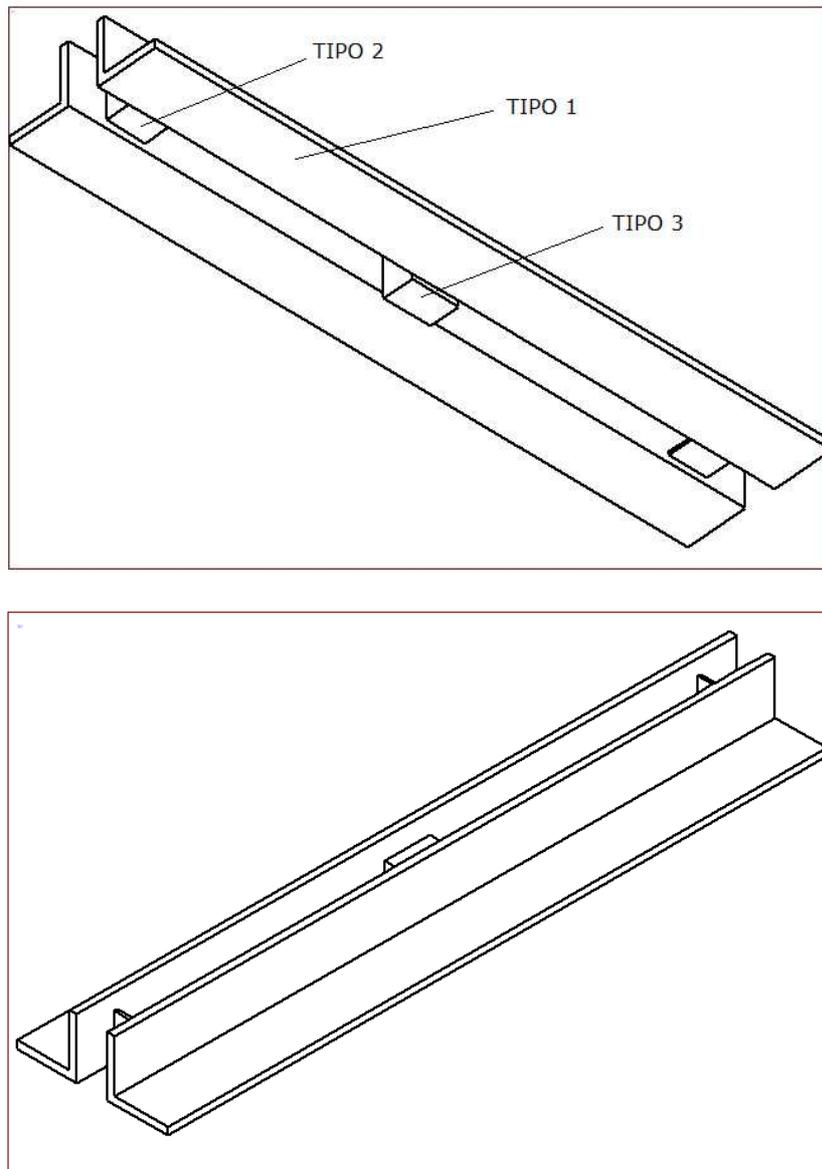


Figura 15. Esquema del porta-poleas.

Para realizar el dimensionado del porta-poleas, se ha tenido en cuenta que cada polea transmite la carga que soporta, que es la mitad de la carga nominal, a partes iguales entre sus dos apoyos.

$$Q_T = Q_{\text{carga}} + Q_{\text{bastidor}} + Q_{\text{cables}}$$

$$Q_T = 3000 + 500 + 100 = 3600 \text{ kg} \times 9.81 \text{ N/kg} = 35316 \text{ N}$$

$$\text{Carga que soporta cada polea} = Q_p = Q_T / 2 = 17658 \text{ N}$$

$$\text{Carga que soporta cada uno de los 2 apoyos de cada polea} = Q = 17658 / 2 = 8829 \text{ N}$$

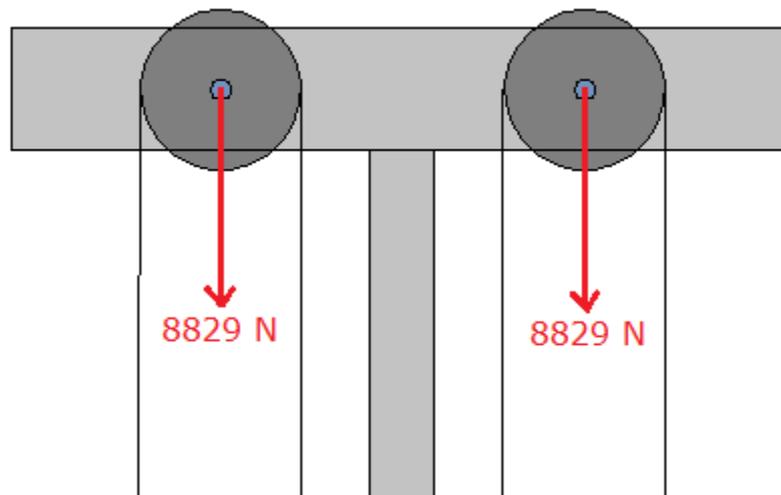


Figura 16. Representación de las fuerzas en el porta-poleas

Los diagramas de esfuerzos debidos a dichas cargas son los siguientes:

-EN LAS BARRAS TIPO 1:

DIAGRAMA DE MOMENTO FLECTOR (KNM)

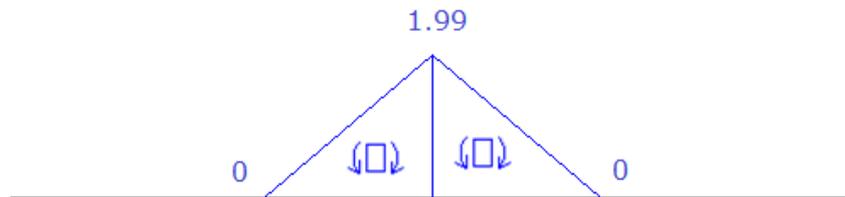
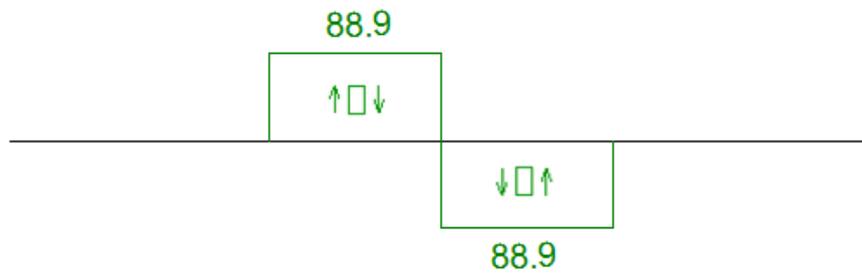


DIAGRAMA DE ESFUERZO CORTANTE (N)

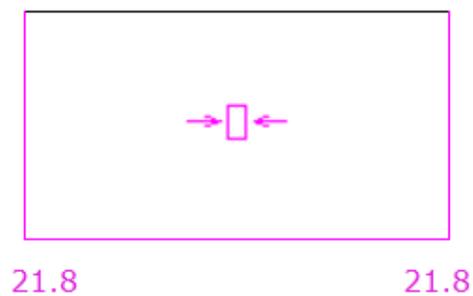


-EN LAS BARRAS TIPO 2:

DIAGRAMA DE MOMENTO FLECTOR (KNM)



DIAGRAMA DE ESFUERZO AXIL (N)



- En la barra tipo 3 no hay esfuerzos ya que es donde se encuentra el apoyo.

## 6.1 DIMENSIONADO PERFIL TIPO 1 (L 80X80X10 MM)

### 6.1.1 PREDIMENSIONADO DEL PERFIL

El perfil elegido deberá tener un módulo resistente plástico,  $W_{plz,Rd}$ , 2.5 veces mayor que el siguiente:

$$\sigma_{max} = \frac{M_{y,ed}}{W_{plz,Ed}} \leq \frac{f_y}{\gamma_{Mo}} = \frac{275}{1.05} \quad W_{plz,Ed} \geq \frac{1.99 * 10^3}{\frac{275}{1.05}} \geq 7.59 cm^3$$

Donde:

Momento flector solicitante de cálculo

$$M_{y,ed} = 1.99 \text{ kNm}$$

El perfil elegido ha sido L de 80x80x10 mm, cuyo  $W_{ply,Rd} = 28.47 \text{ cm}^3$

$$\frac{W_{plz,Rd}}{W_{plz,Ed}} = \frac{28.47}{7.59} = 3.75 > 2.5$$

Perfil: L 80 x 80 x 10 Material: Acero (S275)										
W <sub>plz</sub> (cm <sup>3</sup> )	W <sub>ply</sub> (cm <sup>3</sup> )	Longitud (m)	Características mecánicas							
			Area (cm <sup>2</sup> )	I <sub>x</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>y</sub> <sup>(1)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>xy</sub> <sup>(4)</sup> (cm <sup>4</sup> )	I <sub>x</sub> <sup>(2)</sup> (cm <sup>4</sup> )	y <sub>c</sub> <sup>(3)</sup> (mm)	z <sub>c</sub> <sup>(3)</sup> (mm)	a <sup>(5)</sup> (grados)
28.47	28.47	0.224	15.10	87.50	87.50	51.27	5.00	16.60	-16.60	-45.0
<p><i>Notas:</i></p> <p><sup>(1)</sup> Inercia respecto al eje indicado</p> <p><sup>(2)</sup> Momento de inercia a torsión uniforme</p> <p><sup>(3)</sup> Coordenadas del centro de gravedad</p> <p><sup>(4)</sup> Producto de inercia</p> <p><sup>(5)</sup> Es el ángulo que forma el eje principal de inercia U respecto al eje Y, positivo en sentido antihorario.</p>										
		Pandeo		Pandeo lateral						
		Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.					
b		0.50	0.50	0.50	0.50					
L <sub>K</sub>		0.112	0.112	0.112	0.112					
C <sub>m</sub>		1.000	1.000	1.000	1.000					
<p><i>Notación:</i></p> <p>b: Coeficiente de pandeo</p> <p>L<sub>K</sub>: Longitud de pandeo (m)</p> <p>C<sub>m</sub>: Coeficiente de momentos</p>										

## 6.1.2 COMPROBACIÓN ESTADOS LÍMITE ÚLTIMOS

- **Resistencia a flexión eje Y** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{c,Rd}}{M_{Ed}} \geq 2.5$$

Momento flector solicitante de cálculo  $M_{Ed} = 1.99$  kNm

El momento flector resistente de cálculo  $M_{c,Rd} = 7.46$  kNm

Viene dado por:  $M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$

Donde:

Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

Clase: 1

Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$W_{pl,y} = 28.47$  cm<sup>3</sup>

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd} = 261.9$ MPa

Siendo:  $f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$

Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y = 275.0$ MPa

Coefficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M1} = 1.05$

- **Resistencia a flexión eje Z** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{c,Rd}}{M_{Ed}} \geq 2.5$$

Momento flector solicitante de cálculo  $M_{Ed} = 0.81$  kNm

El momento flector resistente de cálculo  $M_{c,Rd} = 7.46$  kNm

Viene dado por:  $M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$

Donde:

Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

Clase: 1

Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$W_{pl,z} = 28.47 \text{ cm}^3$

Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd} = 261.9 \text{ MPa}$

Siendo:  $f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$

Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y = 275.0 \text{ MPa}$

Coefficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M0} = 1.05$

$$\eta = \frac{7.46}{0.81} = 9.20 \geq 2.5$$

- **Resistencia a corte Z** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{c,Rd}}{V_{Ed}} \geq 2.5$$

Esfuerzo cortante solicitante de cálculo  $V_{Ed} = 8.9 \text{ kN}$

Esfuerzo cortante resistente  $V_{c,Rd} = 120.97 \text{ kN}$

Viene dado por:  $V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$

Donde:

Área transversal a cortante.

$A_v = 8.00 \text{ cm}^2$

Siendo:  $A_v = h_{vert} \cdot t$

Altura del alma.

$h_{vert} = 80.00 \text{ mm}$

Espesor del alma.

$t = 10.00 \text{ mm}$

Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} = 261.9 \text{ MPa}$$

Siendo:  $f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$

Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y = 275.0 \text{ MPa}$$

Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} = 1.05$$

$$\eta = \frac{120.97}{8.9} = 13.6 \geq 2.5$$

- **Resistencia a corte Y** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{c,Rd}}{V_{Ed}} \geq 2.5$$

Esfuerzo cortante solicitante de cálculo

$$V_{Ed} = 2.19 \text{ kN}$$

Esfuerzo cortante resistente

$$V_{c,Rd} = 120.97 \text{ kN}$$

Viene dado por:  $V_{c,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$

Donde:

Área transversal a cortante.

$$A_v = 8.00 \text{ cm}^2$$

Siendo:  $A_v = h_{\text{vert}} \cdot t$

Altura del alma.

$$h_{\text{vert}} = 80.00 \text{ mm}$$

Espesor del alma.

$$t = 10.00 \text{ mm}$$

Área de la sección bruta

Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} = 261.9 \text{ MPa}$$

Siendo:  $f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$

Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y = 275.0 \text{ MPa}$$

Coeficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} = 1.05$$

$$\eta = \frac{120.97}{2.19} = 55.24 \geq 2.5$$

- **Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

El esfuerzo cortante solicitante de cálculo  $V_{Ed}$  no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante  $V_{c,Rd}$  por lo que no será necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{ed} = 8.86 \text{ kN}$$

Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} = 120.97 \text{ kN}$$

$$8.86 \leq \frac{120.97}{2} = 60.48$$

- **Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

El esfuerzo cortante solicitante de cálculo  $V_{Ed}$  no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante  $V_{c,Rd}$  por lo que no será necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión.

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd}}{2}$$

Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{ed} = 2.19 \text{ kN}$$

Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} = 120.97 \text{ kN}$$

$$2.19 \leq \frac{120.97}{2} = 60.48$$

- **Resistencia a flexión y axil combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

Ecuación 1

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

Ecuación 2

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\gamma_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

Ecuación 3

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$\frac{1}{\eta} \geq 2.5$$

Donde:

Axil de tracción solicitante de cálculo

$$N_{t,Ed} = 0 \text{ kN}$$

Momentos flectores solicitantes de cálculo

$$M_{y,Ed} = 1.99 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = 0.81 \text{ kNm}$$

Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple

Clase: 1

Resistencia a tracción

$$N_{pl,Rd} = 395.48 \text{ kN}$$

Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas

$$M_{pl,Rd,y} = 7.46 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,Rd,z} = 7.46 \text{ kNm}$$

Ecuación 1:

$$\eta = \frac{1.99}{7.46} + \frac{0.81}{7.46} = 0.375$$

$$\frac{1}{\eta} = 2.66 > 2.5$$

**Resistencia a pandeo:** (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

Área de la sección bruta

$$A = 15.10 \text{ cm}^2$$

Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z

$$W_{pl,y} = 28.47 \text{ cm}^3$$

$$W_{pl,z} = 28.47 \text{ cm}^3$$

Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} = 261.9 \text{ MPa}$$

Siendo:  $f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$

Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y = 275.0 \text{ MPa}$$

Coefficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} = 1.05$$

Coefficientes de interacción

$$k_y = 1.00$$

$$k_z = 1.00$$

$$k_{v,LT} = 0.68$$

Siendo:  $k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}}$

$$k_z = 1 + (\bar{\lambda}_z - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_{v,LT} = 1 - \frac{0.1 \cdot \bar{\lambda}_z}{C_{m,LT} - 0.25} \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}}$$

Factores de momento flector uniforme equivalente.

$$C_{m,y} = C_{m,z} = C_{m,LT} = 1.00$$

Coefficientes de reducción por pandeo  
alrededor de los ejes Y y Z

$$\chi_y = 0.68$$

$$\chi_z = 0.66$$

Esbelteces reducidas < 1.00, en relación  
a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\lambda_y = 0.08$$

$$\lambda_z = 0.08$$

Factores dependientes de la clase de la sección

$$\alpha_y = \alpha_z = 0.60$$

Ecuación 2:

$$\eta = 1.00 \times \frac{1.00 \times 1.99}{2.55 \times 10^{-5} \times 16.81 \times 261.9} + 0.60 \times 1.00 \times \frac{1.00 \times 0.81}{15.10 \times 261.9} = 0.332$$

$$\frac{1}{0.332} = 3.01 \geq 2.5$$

Ecuación 3:

$$\eta = 0.68 \times \frac{1.00 \times 1.99}{15.10 \times 261.9} + 0.60 \times \frac{1.00 \times 0.81}{15.10 \times 261.9} = 0.291$$

$$\frac{1}{0.291} = 3.43 \geq 2.5$$

- **Resistencia a momento flexión, cortante y axil combinados.** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo  $V_{Ed}$  es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo  $V_{c,Rd}$ .

$$V_{Ed} \leq \frac{V_{c,Rd,y}}{2}$$

Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.

$$V_{ed} = 2.19 \text{ kN}$$

Esfuerzo cortante resistente de cálculo.

$$V_{c,Rd} = 115.06 \text{ kN}$$

$$2.19 \leq \frac{115.06}{2} = 57.53$$

- **Resistencia a torsión** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{t,Rd}}{V_{t,Ed}} \geq 2.5$$

Momento torsor solicitante de cálculo

$$M_{T,Ed} = 0.09 \text{ kNm}$$

Momento torsor resistente de cálculo

$$M_{T,Rd} = 0.76 \text{ kNm}$$

Siendo:  $M_{T,Rd} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot W_T \cdot f_{yd}$

Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T = 5.00 \text{ cm}^3$$

Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} = 261.9 \text{ MPa}$$

Siendo:  $f_{yd} = \frac{fy}{\gamma_{M0}}$

Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$fy = 275.0 \text{ MPa}$$

Coficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} = 1.05$$

$$\eta = \frac{0.76}{0.09} = 8.44 \geq 2.5$$

- **Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)**

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{pl,T,Rd}}{V_{Ed}} \geq 2.5$$

Esfuerzo cortante solicitante de cálculo

$$V_{ed}=8.90 \text{ kN}$$

Momento torsor solicitante de cálculo

$$M_{T,Ed}=0.09 \text{ kNm}$$

Esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido

$$V_{pl,T,Rd}=115.06 \text{ kN}$$

Siendo:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[ 1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd}$$

Donde:

Esfuerzo cortante resistente de cálculo

$$V_{pl,Rd}= 120.97 \text{ kN}$$

Tensiones tangenciales por torsión

$$\tau_{T,Ed}= 18.0 \text{ MPa}$$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T= 5.00 \text{ cm}^3$$

Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd}= 261.9 \text{ MPa}$$

Siendo:

$$f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y=275.0 \text{ MPa}$$

Coefficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0}=1.05$$

$$\eta = \frac{115.06}{8.90} = 12.93 \geq 2.5$$

- **Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{V_{pl,T,Rd}}{V_{Ed}} \geq 2.5$$

Esfuerzo cortante solicitante de cálculo

$$V_{ed} = 2.19 \text{ kN}$$

Momento torsor solicitante de cálculo

$$M_{T,Ed} = 0.09 \text{ kNm}$$

Esfuerzo cortante resistente de cálculo reducido

$$V_{pl,T,Rd} = 115.06 \text{ kN}$$

Siendo:

$$V_{pl,T,Rd} = \left[ 1 - \frac{\tau_{T,Ed}}{f_{yd}/\sqrt{3}} \right] \cdot V_{pl,Rd}$$

Donde:

Esfuerzo cortante resistente de cálculo

$$V_{pl,Rd} = 120.97 \text{ kN}$$

Tensiones tangenciales por torsión

$$\tau_{T,Ed} = 18.0 \text{ MPa}$$

$$\tau_{T,Ed} = \frac{M_{T,Ed}}{W_t}$$

Módulo de resistencia a torsión.

$$W_T = 5 \text{ cm}^3$$

Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} = 261.9 \text{ MPa}$$

Siendo:

$$f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y = 275.0 \text{ MPa}$$

Coefficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} = 1.05$$

$$\eta = \frac{115.06}{2.19} = 52.53 \geq 2.5$$

## 6.2 DIMENSIONADO PERFIL TIPO 2 (L 50X50X4 MM)

### 6.2.1 PREDIMENSIONADO PERFIL

El perfil elegido deberá tener un módulo resistente plástico,  $W_{plz,Rd}$ , 2.5 veces mayor que el siguiente:

$$\sigma_{max} = \frac{Mz,ed}{W_{plz,Ed}} \leq \frac{fy}{\gamma_{Mo}} = \frac{275}{1.05} \quad W_{plz,Ed} \geq \frac{0.12 * 10^6}{\frac{275}{1.05}} * 10^{-3} \geq 0.458cm^3$$

El perfil elegido ha sido L 50x50x4 mm, cuyo  $W_{plz,Rd} = 4.63 \text{ cm}^3$

$$\frac{W_{plz,Rd}}{W_{plz,Ed}} = \frac{4.63}{0.458} = 10.10 > 2.5$$

Perfil: L 50 x 50 x 4											
Material: Acero (S275)											
	Wpl,y		Longitud	Características mecánicas							
	(cm <sup>3</sup> )	(cm <sup>3</sup> )		Área	I <sub>y</sub> <sup>(1)</sup>	I <sub>z</sub> <sup>(1)</sup>	I <sub>yz</sub> <sup>(4)</sup>	I <sub>t</sub> <sup>(2)</sup>	y <sub>g</sub> <sup>(3)</sup>	z <sub>g</sub> <sup>(3)</sup>	□ <sup>(5)</sup>
	(cm <sup>3</sup> )	(cm <sup>3</sup> )	(m)	(cm <sup>2</sup> )	(cm <sup>4</sup> )	(cm <sup>4</sup> )	(cm <sup>4</sup> )	(cm <sup>4</sup> )	(mm)	(mm)	(grados)
	4.63	4.63	0.040	3.89	8.97	8.97	5.28	0.20	11.40	-11.40	-45.0
Notas: (1) Inercia respecto al eje indicado (2) Momento de inercia a torsión uniforme (3) Coordenadas del centro de gravedad (4) Producto de inercia (5) 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.				
	□		0.50	0.50	0.50		0.50				
	L <sub>K</sub>		0.020	0.020	0.020		0.020				
	C <sub>m</sub>		1.000	1.000	1.000		1.000				
Notación: □: Coeficiente de pandeo L <sub>K</sub> : Longitud de pandeo (m) C <sub>m</sub> : Coeficiente de momentos											

## 6.2.2 COMPROBACIÓN ESTADOS LÍMITE ÚLTIMOS

- **Resistencia a compresión** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

Ecuación 1: 
$$\eta = \frac{N_{c,Rd}}{N_{c,Ed}} \geq 2.5$$

Ecuación 2: 
$$\eta = \frac{N_{b,Rd}}{N_{c,Ed}} \geq 2.5$$

Axil de compresión solicitante de cálculo  $N_{c,Ed} = 2.19 \text{ kN}$

Resistencia de cálculo a compresión  $N_{c,Rd} = 101.88 \text{ kN}$

Viene dada por  $N_{c,Rd} = A \cdot f_{yd}$

Donde:

Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección. Clase: 4

Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.  $A=3.89 \text{ cm}^3$

Resistencia de cálculo del acero.  $f_{yd}= 261.9\text{MPa}$

Siendo:  $f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$   
Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)  $f_y=275.0\text{MPa}$   
Coeficiente parcial de seguridad del material.  $\gamma_{M0}=1.05$

Ecuación1:

$$\eta = \frac{101.88}{2.19} = 46.52 \geq 2.5$$

**Resistencia a pandeo:** (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

Resistencia de cálculo a pandeo  $N_{b,Rd} = 99.25 \text{ kN}$

Viene dada por:  $N_{b,Rd} = \chi \cdot A \cdot f_{yd}$

Donde:

Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.  $A = 3.89 \text{ cm}^2$

Resistencia de cálculo del acero.  $f_{yd} = 261.9 \text{ MPa}$

Siendo:  $f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$

Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)  $f_y = 275.0 \text{ MPa}$

Coefficiente parcial de seguridad del material.  $\gamma_{M1} = 1.05$

Coefficiente de reducción por pandeo  $\chi_{FT} = 0.97$

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - (\bar{\lambda})^2}} \leq 1$$

Viene dado por:

$$\Phi = 0.5 \cdot \left[ 1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0.2) + (\bar{\lambda})^2 \right]$$

Siendo:  $\Phi_{FT} = 0.55$

Coefficiente de imperfección elástica  $\alpha_{FT} = 0.34$

Esbeltéz reducida  $\lambda_{FT} = 0.27$

Viene dada por:  $\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$

El axil crítico de pandeo elástico  $N_{cr}$  es el valor de la menor de las raíces de la siguiente ecuación cúbica:

$$i_0^2 \cdot (N_{cr} - N_{cr,y}) \cdot (N_{cr} - N_{cr,z}) \cdot (N_{cr} - N_{cr,T}) - N_{cr}^2 \cdot (N_{cr} - N_{cr,z}) \cdot y_0^2 - N_{cr}^2 \cdot (N_{cr} - N_{cr,y}) \cdot z_0^2 = 0$$

Siendo:

Axil crítico elástico de pandeo el menor de:  $N_{cr} = 1442.72 \text{ kN}$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2} \quad N_{cr,y}=191198.91 \text{ kN}$$

$$N_{cr,z} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_z}{L_{kz}^2} \quad N_{cr,z}=191198.91 \text{ kN}$$

$$N_{cr,T} = \frac{1}{i_0^2} \cdot \left[ G \cdot I_t + \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_w}{L_{kt}^2} \right] \quad N_{cr,T}=1450.35 \text{ kN}$$

Donde:

Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y.	$I_y = 8.97 \text{ cm}^4$
Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z.	$I_z = 8.97 \text{ cm}^4$
Momento de inercia a torsión uniforme	$I_t = 0.20 \text{ cm}^4$
Constante de alabeo de la sección	$I_w = 0.39 \text{ cm}^4$
Módulo de elasticidad.	$E = 210000 \text{ MPa}$
Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y.	$L_{ky} = 0.031 \text{ m}$
Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z.	$L_{kz} = 0.031 \text{ m}$
Longitud efectiva de pandeo por torsión	$L_{kt} = 0.020 \text{ m}$
Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión	$i_0 = 3.90 \text{ cm}$

$$i_0 = (i_y^2 + i_z^2 + y_0^2 + z_0^2)^{0.5}$$

Siendo:

$i_y, i_z$ : Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z.	$i_y = 1.52 \text{ cm}$ $i_z = 1.52 \text{ cm}$
$y_0, z_0$ : Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección.	$y_0 = 23.00 \text{ mm}$ $z_0 = -23.00 \text{ mm}$

Ecuación 2 :

$$\eta = \frac{99.25}{2.19} = 45.31 \geq 2.5$$

- **Resistencia a flexión eje Y** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{c,Rd}}{M_{Ed}} \geq 2.5$$

Momento flector solicitante de cálculo  $M_{Ed} = 0.02$  kNm

El momento flector resistente de cálculo  $M_{c,Rd} = 1.21$  kNm

Viene dado por:  $M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$

Donde:

Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

Clase+: 2

Clase-: 3

$W_{pl,y}^+$ : Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$$W_{pl,y}^+ = 4.63 \text{ cm}^3$$

$W_{el,y}^-$ : Módulo resistente elástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 3.

$$W_{pl,y}^- = 1.91 \text{ cm}^3$$

Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} = 261.9 \text{ MPa}$$

Siendo:  $f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$

Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y = 275.0 \text{ MPa}$$

Coficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} = 1.05$$

$$\eta = \frac{1.21}{0.02} = 60.5 \geq 2.5$$

- **Resistencia a flexión eje Z** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

$$\eta = \frac{M_{c,Rd}}{M_{Ed}} \geq 2.5$$

Momento flector solicitante de cálculo  $M_{Ed} = 0.12 \text{ kNm}$

El momento flector resistente de cálculo  $M_{c,Rd} = 1.21 \text{ kNm}$

Viene dado por:  $M_{c,Rd} = W_{pl,y} \cdot f_{yd}$

Donde:

Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple.

Clase+: 2

Clase-: 3

$W_{pl,z}^+$ : Módulo resistente plástico correspondiente a  $\text{cm}^3$   
la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2.

$W_{pl,z}^+ = 1.91$

$W_{el,z}$ : Módulo resistente elástico correspondiente a  
la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 3.

$W_{pl,z}^- = 4.63 \text{ cm}^3$

$f_{yd}$ : Resistencia de cálculo del acero.

$f_{yd} = 261.9 \text{ MPa}$

Siendo:  $f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$

Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$f_y = 275.0 \text{ MPa}$

Coficiente parcial de seguridad del material.

$\gamma_{M0} = 1.05$

$$\eta = \frac{1.21}{0.12} = 10.08 \geq 2.5$$

- **Resistencia a flexión y axil combinados** (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

Ecuación 1

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rd,y}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rd,z}} \leq 1$$

Ecuación 2

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + \alpha_z \cdot k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

Ecuación 3

$$\eta = \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + \alpha_y \cdot k_y \cdot \frac{C_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{W_{pl,y} \cdot f_{yd}} + k_z \cdot \frac{C_{m,z} \cdot M_{z,Ed}}{W_{pl,z} \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$\frac{1}{\eta} \geq 2.5$$

Donde:

Axil de compresión solicitante de cálculo

$$N_{c,Ed} = 2.19 \text{ kN}$$

Momentos flectores solicitantes de cálculo

$$M_{y,Ed} = 0.02 \text{ kNm}$$

$$M_{z,Ed} = 0.12 \text{ kNm}$$

Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple

Clase: 3

Resistencia a compresión de la sección bruta

$$N_{pl,Rd} = 101.88 \text{ kN}$$

Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas

$$M_{pl,Rd,y} = 0.5 \text{ kNm}$$

$$M_{pl,Rd,z} = 0.5 \text{ kNm}$$

Ecuación 1:

$$\eta = \frac{2.19}{101.88} + \frac{0.02}{0.5} + \frac{0.12}{0.5} = 0.289$$

$$\frac{1}{0.289} = 3.46 \geq 2.5$$

**Resistencia a pandeo:** (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

Área de la sección bruta

$$A = 3.89 \text{ cm}^2$$

Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z

$$W_{pl,y} = 1.91 \text{ cm}^3$$

$$W_{pl,z} = 1.91 \text{ cm}^3$$

Resistencia de cálculo del acero.

$$f_{yd} = 261.9 \text{ MPa}$$

Siendo: 
$$f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_{M0}}$$

Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y = 275.0 \text{ MPa}$$

Coefficiente parcial de seguridad del material.

$$\gamma_{M0} = 1.05$$

Coefficientes de interacción

$$k_y = 1.00$$

$$k_z = 1.00$$

$$k_{v,LT} = 1.00$$

Siendo: 
$$k_y = 1 + (\bar{\lambda}_y - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_y \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_z = 1 + (\bar{\lambda}_z - 0.2) \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}}$$

$$k_{v,LT} = 1 - \frac{0.1 \cdot \bar{\lambda}_z}{C_{m,LT} - 0.25} \cdot \frac{N_{c,Ed}}{\chi_z \cdot N_{c,Rd}}$$

Factores de momento flector uniforme equivalente.

$$C_{m,y} = C_{m,z} = 1.00$$

Coefficientes de reducción por pandeo alrededor de los ejes Y y Z

$$\chi_y = 1.00$$

$$\chi_z = 1.00$$

Esbelteces reducidas < 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

$$\lambda_y = 0.80$$

$$\lambda_z = 0.02$$

Factores dependientes de la clase de la sección

$$\alpha_y = 0.80$$

$$\alpha_z = 1.00$$

Ecuación 2:

$$\eta = \frac{2.19}{1.00 \times 3.89 \times 261.9} + 1.00 \times \frac{1.00 \times 0.02}{2.55 \times 10^{-5} \times 1.91 \times 261.9} + 1.00 \times 1.00 \frac{1.00 \times 0.12}{1.91 \times 261.9}$$

$$= 0.289$$

$$\frac{1}{0.289} = 3.46 \geq 2.5$$

Ecuación 3:

$$\eta = \frac{2.19}{1 \times 3.89 \times 261.9} + 1.03 \times 0.60 \times \frac{1.00 \times 0.02}{2.55 \times 10^{-5} \times 1.91 \times 261.9} + 1.00 \times \frac{1.00 \times 0.12}{1.91 \times 261.9}$$
$$= 0.289$$

$$\frac{1}{0.289} = 3.46 \geq 2.5$$

- **Limitación de esbeltez** (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$$

Área de la sección bruta de la sección transversal de la barra

$$A = 3.89 \text{ cm}^2$$

Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)

$$f_y = 275.0 \text{ MPa}$$

Axil crítico de pandeo elástico.

$$N_{cr} = 1442.72 \text{ kN}$$

$$N_{cr,y} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I_y}{L_{ky}^2}$$

El axil crítico de pandeo elástico  $N_{cr}$  es el menor de los valores obtenidos en a) y b):

- q) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y.

$$N_{cr,y} = 191198 \text{ kN}$$

- r) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z.

$$N_{cr,z} = 191198.91 \text{ kN}$$

$$\lambda = 0.27 < 2$$

## COLOCACION ROZADERAS

Al porta-poleas irán acopladas las rozaderas para que este se desplace por las guías. Las rozaderas van a ser del fabricante MACLA, modelo IGZ0040TC.

Estas llevan unos tetones de 12mm para que sean colocadas sobre el porta-poleas que tendrá mecanizados los agujeros de 13 mm donde encajaran los tetones.

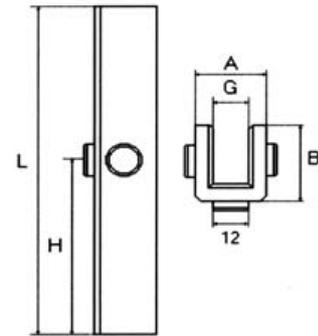


Figura 16. Rozadera a colocar en el porta-poleas

		<b>G</b>	<b>H</b>	<b>L</b>	<b>A</b>	<b>B</b>
AGX0001IG	Rozadera plana c/base VS60	6	30	61	50	30
AGX0002IG	Rozadera plana c/base VS80/5	6	32	80	60	26
AGX0003IG	Rozadera plana c/base VS80/7	8	32	80	60	26
IGX0003EC	Rozadera Sadet 9	10	59	118	24	26
IGX0020EC	Rozadera Sadet 30	31	50	100	45	26
IGX0025UA	Rozadera Ciasa 8	9	110	140	24	30
IGX0011TC	Rozadera Ciasa 9	10	110	140	24	30
<b>IGX0040TC</b>	<b>Rozadera c/base 5</b>	<b>18</b>	<b>130</b>	<b>153</b>	<b>40</b>	<b>49</b>
IGX0039TC	Rozadera c/base 30	32	130	153	76	41
IGX0023EC	Rozadera c/base 40	42	63	84	46	30
KGTSR30CC	Rozadera circular SR30 c/tetones	30	95	110	42	21
KGTSR45CC	Rozadera circular SR45 c/tetones	45	105	120	60	30
KGTSR50CC	Rozadera circular SR50 c/tetones	50	105	120	60	30
KGTSR55CC	Rozadera circular SR55 c/tetones	55	105	120	75	37,5
KGTSR60CC	Rozadera circular SR60 c/tetones	60	105	120	75	37,5

Figura 17. Tabla de modelos de rozaderas y sus dimensiones aportada por el fabricante

## 7. DIMENSIONADO DEL CIRCUITO HIDRÁULICO

### 7.1 DETERMINACIÓN DE LA CARGA TOTAL DE CÁLCULO.

$$Q_u = \text{carga util} = 3000 \text{ kg}$$

$$Q_b = \text{peso de la cabina completa} = 500 \text{ kg}$$

$$Q_1 = \text{peso de los cables} + \text{peso del cabezal (polea y chasis)} = 200 \text{ kg}$$

$$Q_2 = \text{peso propio del pistón (estimación)} = 150 \text{ kg}$$

$$Q_T = \text{carga total de cálculo} = 2 Q_u + 2 Q_b + Q_1 + Q_2 \\ = 2 \cdot 3000 + 2 \cdot 250 + 200 + 150$$

$$Q_T = 7350 \text{ kg}$$

### 7.2 DETERMINACIÓN DE LA CARRERA DEL PISTÓN.

Recorrido del bastidor = 5m

La carrera del pistón por ser de acción indirecta (1:2) será la mitad = 2.5 m

El reglamento marca un sobre recorrido de 0.3 m, por tanto:

$$\text{Carrera} = 2.5 + 0.3 = 2.8 \text{ m}$$

Se va a elegir un cilindro-pistón hidráulico del fabricante “Hidráulica Ferrer” modelo S5 de la serie AX200:

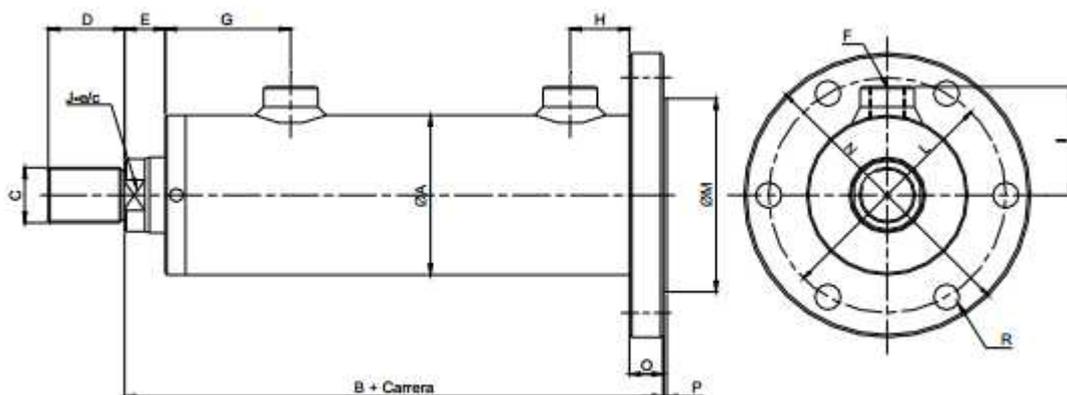


Figura 18. Esquema cilindro-pistón.

Ø Pistón	40		50		63		80		100		125		160		200	
Ø Vástago	22	28	28	36	36	45	45	56	56	70	70	90	90	110	110	140
Ø A	50		60		75		95		115		145		185		230	
B	139		162		185		213		239		261		324		382	
Ø C Métr.	16x1.5		20x1.5		27x2		33x2		42x2		52x2		68x3		90x3	
D	22		28		36		45		56		68		86		105	
E	13		15		17		19		22		26		29		35	
Ø F GAS	3/8"		3/8"		1/2"		1/2"		3/4"		3/4"		1"		1 1/4"	
G	50		55		64		74		83		95		113		127	
H	34		40		47		55		65		75		85		100	
I	40		45		55		65		77		92		114		150	
J	18	22	22	30	30	39	39	48	48	62	62	80	80	100	100	120
Ø L	85		95		120		140		170		205		255		310	
Ø M	65		75		95		115		140		170		215		265	
Ø N	105		118		146		169		202		242		297		356	
O	12		15		17		20		25		30		35		40	
P	2		2		2		2		2		3		3		3	
Ø R	9		11		13		15		17		21		25		28	

Para cilindros con carreras superiores a 1000 mm. añadir a **B** la longitud del distanciador correspondiente.

Figura 19. Tabla características del cilindro pistón.

Como el pistón que se va elegir tiene una longitud superior a 1000 mm se debe añadir a B la longitud del distanciador, que es según el fabricante:

⇒ 200 mm para carreras de 2501 a 3000 mm.

### 7.3 DETERMINACIÓN DE LA SUPERFICIE HIDRÁULICA DEL PISTÓN.

La presión de trabajo normal de todos los cilindros hidráulicos es de 160bar o 163.55 kg/cm<sup>2</sup>, luego la superficie hidráulica del pistón deberá ser:

$$A_p = \frac{Q_T}{P_T}$$

Donde:

A<sub>p</sub>= superficie hidráulica del pistón.

Q<sub>T</sub>= carga total de cálculo.

P<sub>T</sub>= Presión de trabajo.

Entonces:

$$A_p = \frac{7350}{163.55} = 44.95 \text{ cm}^2$$

Se elige un pistón de 80 mm de diámetro, cuya superficie es de 50.24 cm<sup>2</sup>.

#### 7.4 CÁLCULO DEL PISTÓN A COMPRESIÓN

El pistón va a trabajar a compresión, por lo tanto es necesario verificar su comportamiento respecto a las fuerzas exteriores, haciendo un control de la resistencia del pistón a pandeo. Para ello se utiliza la expresión de Euler:

$$\pi^2 E J = g_s L^2 Q_T$$

E = módulo de elasticidad (210 GPa)

J = momento de inercia de la sección del pistón =  $\pi (D^4 - d^4)/64$

$g_s$  = factor de esbeltez de Euler.

L = carrera total del pistón (280 cm)

$Q_T$  = carga total (6950 kg)

Sustituyendo en el segundo miembro de la expresión:

$$\pi^2 E J = g_s L^2 Q_T = 3 \cdot 280^2 \cdot 7350 = 1.728.720.000$$

Se comprueba si cumple el valor de  $\pi^2 E J$  del pistón elegido anteriormente:

D=80mm ; d=56mm:

$$J = \frac{\pi(8^4 - 5.6^4)}{64} = 152.78 \text{ cm}^4$$

$$\pi^2 E J = \pi^2 \times \frac{210 \times 10^4 \text{ kg}}{\text{cm}^2} \times 152.78 \text{ cm}^4 = 3.166.544.137 > 1.728.720.000$$

Por tanto el pistón tendrá un diámetro exterior de 80 mm y un diámetro interior de 56 mm, es decir un espesor de 12 mm y tendrá una superficie hidráulica de 50.24 cm<sup>2</sup>.

### 7.5 CÁLCULO DEL ESPESOR DE LA PARED DEL CILINDRO.

Se elige un material A-52, que tiene de límite elástico 340 MPa. Tomando un coeficiente de seguridad de 5, se puede calcular la tensión admisible:

$$\sigma_{adm} = \frac{340}{5} = 68 \text{ MPa}$$

Como se verifica que:

$$P_{m\acute{a}x} < \frac{\sigma_{adm}}{1.3}$$

Ya que la presión de trabajo del pistón elegido va a ser 16 Mpa.

$$16 < \frac{68}{1.3} = 52.3 \text{ MPa}$$

Como se cumple la anterior desigualdad, se puede aplicar la formula de Bach:

$$\frac{D}{d} = \sqrt{\frac{\sigma_{adm} + 0.4 P_{m\acute{a}x}}{\sigma_{adm} - 1.3 P_{m\acute{a}x}}}$$

Donde:

D = diámetro exterior del cilindro.

d = diámetro interior del cilindro.

$P_{m\acute{a}x}$  = Presión máxima del material.

$\sigma_{adm}$  = Presión máxima de servicio.

Se toma como diámetro del cilindro interior 85 mm debido a que el diámetro del pistón que va moverse por su interior es de 80 mm y porta, según el fabricante una junta de estanqueidad cuyo diámetro es de 2.5mm. Por tanto sustituyendo en la ecuación de Bach:

$$\frac{D}{d} = \sqrt{\frac{68 + 0.4 \cdot 16}{68 - 1.3 \cdot 16}} = 1.053$$

$$D = 1.053 \cdot 85 = 89.5 \text{ mm}$$

Luego el espesor será:  $e = \frac{D-d}{2} = \frac{89.5-85}{2} = 2.25 \text{ mm}$

Es válido el espesor que marca el catalogo de 10 mm por lo que D=95 mm

## 7.6 CÁLCULO DEL ESPESOR MÍNIMO DEL FONDO DEL CILINDRO.

El espesor del fondo del cilindro también debe ser calculado para resistir la presión máxima. Como la unión del fondo al tubo se efectuará mediante soldadura, el espesor viene determinado por la segunda expresión de Bach.

$$h = 0.45 d_s \sqrt{\frac{P_{m\acute{a}x}}{\sigma_{adm}}}$$

Donde:

$h$ = espesor del fondo del cilindro.

$P_{m\acute{a}x}$ = presión máxima de servicio.

$\sigma_{adm}$ = tensión admisible del material.

$d_s$ =diámetro interior de soldadura.

Para un diámetro interior de soldadura de  $d_s = 85$  mm, tenemos que:

$$h = 0.45 \cdot 85 \sqrt{\frac{4}{68}} = 9.27 \text{ mm}$$

Se elige por tanto un espesor del fondo de 10 mm.

Una vez determinadas las dimensiones del pistón, se calcula su peso para ver si está ajustado al supuesto de 150 kg al inicio del cálculo.

$$\text{Peso} = 2.8 \text{ m} \times 14 \frac{\text{kg}}{\text{m}} = 39.2 \text{ kg} < 150\text{kg}$$

Por tanto la hipótesis era correcta.

## 7.7 CÁLCULO DEL ESPESOR MÍNIMO DEL FONDO DEL PISTÓN.

Se calcula de la misma forma que el espesor del fondo del pistón:

$$h_1 = 0.45 d_{s1} \sqrt{\frac{P_{m\acute{a}x}}{\sigma_{adm}}} = 0.45 \cdot 80 \sqrt{\frac{4}{68}} = 8.73 \text{ mm}$$

Se elige por tanto un espesor del fondo del pistón normalizado de 10 mm.

Dimensiones finales del cilindro pistón:Cilindro:

Diámetro exterior del cilindro = 95 mm

Espesor de la pared del cilindro = 10 mm

Espesor del fondo del cilindro = 10 mm

Pistón:

Carrera máxima = 2300 mm

Diámetro exterior del pistón = 80 mm

Espesor de pared del pistón = 12 mm

Espesor del fondo del pistón = 10 mm

Por tanto la nomenclatura del pistón de cara al fabricante es:

S5 80 56 2800 M 1

S5: Tipo de sujeción: Brida trasera.

80: Diámetro pistón.

56: Diámetro vástago.

2800: Carrera.

M: Fijación del vástago: Roscado.

1: Junta estándar.

## 7.8. SELECCIÓN DEL EQUIPO HIDRAULICO

La central hidráulica a utilizar es un grupo hidráulico compacto. Lleva consigo un motor eléctrico, una bomba hidráulica, un depósito con aceite y los componentes correspondientes del grupo.

Para su elección tenemos que realizar los cálculos pertinentes para la determinación de la potencia del motor, el caudal de la bomba y la cantidad de aceite.

### 7.8.1 Determinación del caudal a suministrar por la bomba:

Se parte de la velocidad del bastidor, que será doble de la velocidad del pistón. El caudal de la bomba vendrá dado por:

$$c_d = k A_p v$$

Donde:

$c_d$  = caudal a suministrar por la bomba en litros/min

$A_p$  = superficie hidráulica del pistón (54.26 cm<sup>2</sup>)

$V$  = velocidad deseada del bastidor en m/s

$K$  = coeficiente de conversión de unidades (para acción indirecta = 3)

$$c_d = 3 \cdot 54.26 \cdot 0.3 = 48.83 \text{ litros/min}$$

Elegimos por tanto una bomba capaz de suministrar el siguiente caudal:

$$\text{Cilindrada de bomba (cc/rev)} = 41.3 \text{ cc/rev} \cdot \frac{1500 \text{ rev}}{1 \text{ min}} = 61500 \text{ cc/min} = 61500 \text{ litros / min}$$

### 7.8.2 Determinación de la presión de trabajo a suministrar por la bomba:

La presión de trabajo a suministrar por la bomba vendrá dada por:

$$P_t = \frac{Q_T}{A_p} \cdot 1.1$$

Donde:

$P_t$  = presión de trabajo a suministrar por la bomba.

$Q_T$  = carga total de cálculo (7350 kg)

$A_p$  = superficie hidráulica del pistón (56.24 cm<sup>2</sup>)

$$P_t = \frac{7350}{56.24} \cdot 1.1 = 143.75 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$$

### 7.8.3 Cálculo de la potencia máxima del motor absorbida a plena carga:

La potencia máxima del motor absorbida a plena carga, a proporcionar a la bomba será :

$$P = \frac{c_d p_t}{450 \eta_T}$$

Donde:

P = Potencia en CV

$c_d$  = caudal proporcionado por la bomba en litros/min

$p_t$  = presión de trabajo en kg/cm<sup>2</sup>

$\eta_T$  = rendimiento total de la bomba

Según el fabricante el rendimiento total de la bomba es del 80%. Por tanto:

$$P = \frac{48.83 \cdot 143.75}{450 \cdot 0.8} = 19.5 \text{ CV} \cdot \frac{736 \text{ W}}{1 \text{ CV}} = 14350 \text{ W} = 14.35 \text{ kW}$$

Se elige por tanto un motor de 15 kW.

### 7.8.4 Determinación de la cantidad de aceite:

Se conoce el diámetro interior del cilindro (105 mm) y el recorrido máximo del pistón es de 2800 mm. De esta manera podemos calcular el volumen de aceite que puede entrar dentro del cilindro:

$$V_1 = A_1 h_1$$

Donde:

$V_1$  = volumen de aceite en el cilindro.

$A_1$  = superficie de la sección interior del cilindro.

$h_1$  = recorrido total del pistón.

$$V_1 = \frac{\pi d_{cilindro}^2}{4} h_1 = \frac{\pi \cdot 0.085^2 \text{ dm}^2}{4} \cdot 28 \text{ dm} = 15.88 \text{ dm}^3 = 15.88 \text{ litros}$$

Se calcula seguidamente el volumen de aceite en la conducción, desde la central hidráulica hasta el cilindro. Para ello hacemos las siguientes toman los siguientes datos del catalogo del fabricante:

Diámetro interior del conducto = 40 mm

Longitud del conducto = 3000mm

El volumen será:

$$V_2 = A_2 h_2$$

Donde:

$V_2$  = volumen de aceite en la conducción.

$A_2$  = superficie de la sección interior del conducto.

$h_2$  = recorrido total del conducto.

$$V_1 = \frac{\pi d_{conducto}^2}{4} h_2 = \frac{\pi 0.4^2}{4} 30 \text{ dm} = 3.8 \text{ dm}^3 = 3.8 \text{ litros}$$

Por tanto el volumen máximo de circulación será:

$$V = V_1 + V_2 = 15.88 + 3.8 = 19.68 \text{ litros}$$

Con este dato se establecen las dimensiones del depósito de aceite, para una capacidad máxima de aceite de 30 litros y un volumen de aceite estacionario de 10.31 litros.

Con los datos anteriores se selecciona el equipo hidráulico del fabricante DIPRAX SL, modelo IDP.

- 1.- Depósito de acero
  - 2.- Nivel Visual.
  - 3.- Filtro de aire.
  - 4.- Motor eléctrico trifásico
  - 5.- Placa base estándar o especial.
  - 7.- Válvula de seguridad.
  - 8.- Manómetro de glicerina.
  - 9.- Electrovalvulas y modulares NG6 y 10
- Bomba de paletas  
Filtro de aspiración sumergido.

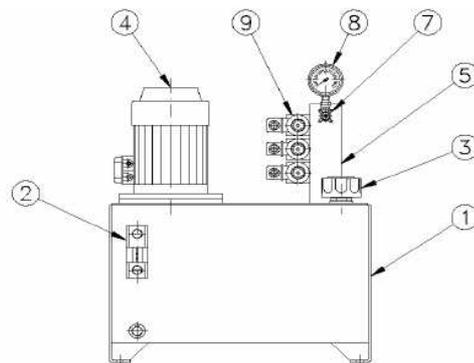


Figura 20. Esquema equipo hidráulico.

Dimensiones finales que debe cumplir el equipo hidráulico:

Capacidad de depósito (lts)= 10.31 litros

Cilindrada de bomba (cc/rev) = 48.83 litros / min

Potencia Motor (kW) = 14.35 kW

Dimensiones del equipo hidráulico elegido:

Capacidad de depósito (lts) = 30 litros

Cilindrada de bomba (cc/rev) = 41.3 cc/rev  $\frac{1500 \text{ rev}}{1 \text{ min}} = 61500 \text{ cc/min} = 61500 \text{ litros / min}$

Potencia Motor (kW) = 15 kW

## 8. ELECCIÓN DE LAS ROZADERAS DEL BASTIDOR.

El montacargas se va a desplazar, tanto cuando suba como cuando baje, a través de las guías. Para que esto sea posible, el bastidor debe llevar acopladas unos elementos capaces de guiarlo a través de éstas. Estos elementos pueden ser o bien rodadera o bien rozaderas.

Las rodaderas son más silenciosas pero tienen un tamaño superior al de las rozaderas, por lo que se van a montar estas últimas.

Las rozaderas deben ser capaces de soportar los posibles esfuerzos debidos a una descentralización en la colocación de la carga en el bastidor o cualquier otra desalineación, de modo que son fabricadas teniendo en consideración todos estos factores.

Se han elegido las rozaderas de las guías del fabricante MACLA y modelo ASA0002AL que garantiza su validez para montacargas de hasta 4500 kg y una velocidad de 1 m/s. Por tanto son aptas para su colocación, ya que se tiene una carga de 3500 kg y una velocidad de 0.3 m/s.

La fijación de las rozaderas al bastidor, se realizará mediante dos tornillos de M10, en la parte superior e inferior de los pilares del bastidor, como aparece indicado en los planos. La longitud de los tornillos será:

$$L_{\text{joint}} = L_{\text{base rozadera}} + L_{\text{espesor perfil}} + L_{\text{arandelas}} + L_{\text{tuerca}}$$

$$L_{\text{joint}} = 12 + 9 + 2 + 8 = 31 \text{ mm}$$

$$L_{\text{tornillo}} = 40 \text{ mm}$$

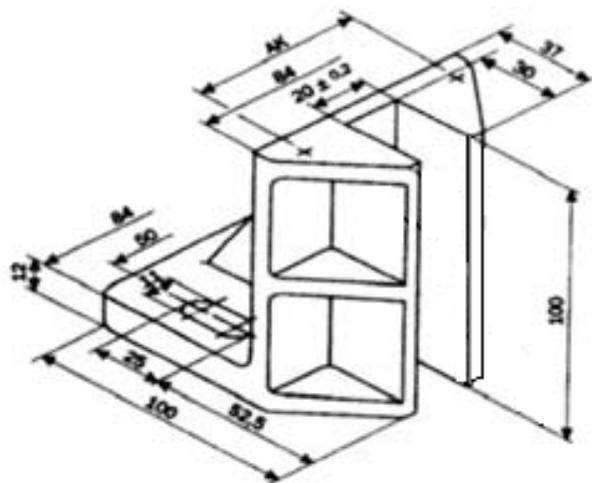


Figura 21. Rozadera.

## 9. SISTEMA DE SEGURIDAD PARACAÍDAS DEL MONTACARGAS.

La Norma EN 81-31 establece la necesidad de colocar un dispositivo de seguridad, para que detenga el bastidor en caso de excesiva velocidad de descenso. Esto es el llamado paracaídas, que va a anclar el bastidor a las guías.

Estos sistemas paracaídas funcionan en casos de emergencia, es decir cuando otros elementos que de acción continua e imprescindibles para el uso fallan y ponen en riesgo al equipo y usuarios.

Se necesita un paracaídas valido para las siguientes condiciones:

- Velocidad nominal del bastidor = 0.3 m/s
- Carga admisible = 3500 kg
- Ancho de las guías = 16mm

El paracaídas elegido es del fabricante LUEZAR modelo SLC IT100-PLUS. La tabla aportada por éste es la siguiente:

<b>SLC IT100-PLUS</b>		
<b>MASA TOTAL ADMISIBLE (P+Q)</b>		
<b>Kg.</b>		
<b>Vd (m/s)</b>	<b>CALIBRADA GUÍA 10-16 mm</b>	<b>CEPILLADA GUÍA 9-16 mm</b>
<b>0.5</b>	<b>3814</b>	<b>3866</b>
<b>0.6</b>	<b>3670</b>	<b>3720</b>
<b>0.7</b>	<b>3513</b>	<b>3561</b>
<b>0.8</b>	<b>3348</b>	<b>3394</b>
<b>0.9</b>	<b>3178</b>	<b>3222</b>
<b>1.0</b>	<b>3008</b>	<b>3050</b>
<b>1.1</b>	<b>2840</b>	<b>2879</b>
<b>1.2</b>	<b>2676</b>	<b>2713</b>
<b>1.32</b>	<b>2488</b>	<b>2522</b>
<b>165</b>	<b>2026</b>	<b>2054</b>

Figura 22. Características del paracaídas.

Por tanto se elige el primero de la lista, que tiene unas características adecuadas para las guías establecidas:

- Vd = 0.5 m/s
- Guía cepillada 16mm
- Carga admisible 3866 kg

Para su instalación el fabricante da las siguientes instrucciones:

El paracaídas deberá posicionarse colocando la zona estrecha de la ranura en la parte superior de tal forma que el rodillo quede en la zona inferior del paracaídas apoyado en el pasador inferior de modo que éste queda protegido de posibles golpes con la guía, evitando así acñamientos accidentales.

Debido al carácter instantáneo de estos paracaídas su actuación provoca elevados esfuerzos que se transmitirán al chasis, se deberá prestar atención en los orificios del chasis eliminando holguras con los tornillo u otros aspectos que puedan aumentar el esfuerzo sobre el chasis. Se colocará un tope en la parte superior del paracaídas para que transmita el esfuerzo de frenado al chasis en lugar de los tornillos de fijación.

El paracaídas, deberán fijarse al pilar del bastidor con cuatro tornillos de M12 calidad 8.8 DIN 601 junto con arandelas tipo grower DIN 127 (la timonería vendrá montada de fábrica) solo será necesario soldar el perfil cuadrado de la timonería, de 50x50 al bastidor como queda indicado en los planos.

Para realizar las uniones atornilladas, debido a que el perfil es hueco, se deberá colocar un casquillo rigidizador para evitar la abolladura de éste, del mismo espeso que el perfil, como se puede observar en los planos.

La longitud de la junta que será comprimida por el tornillo será la siguiente:

$$L = L_{\text{perfil}} + L_{\text{base paracaídas}} + \text{arandelas} + \text{tuerca} = 100 + 40 + 2 \times 2.5 + 10 = 155 \text{ mm}$$

La longitud del tornillo deberá ser de 170 mm.

## 10. CÁLCULO DE LOS AMORTIGUADORES DE ACUMULACIÓN DE ENERGÍA.

### 10.1. CARACTERÍSTICAS DE LOS RESORTES.

- Denominación: Acero ASTM A228 (Alambre de cuerda de piano).
- Modulo de cortadura del material:  $G = 80 \times 10^9 \text{Pa}$

### 10.2 DIMENSIONADO DE LOS RESORTES.

Dado que la tensión de torsión en el resorte helicoidal aumenta conforme disminuye la distancia del punto de evaluación de la tensión al eje del resorte, es necesario inicialmente evaluar este factor mediante el denominado coeficiente de Wahl. Este coeficiente esta dado por la siguiente fórmula:

$$k_D = \frac{\frac{D}{d} - 0.25}{\frac{D}{d} - 1} + \frac{0.625}{\frac{D}{d}}$$

Donde:

D = Diámetro nominal del resorte.

d= diámetro de la espira.

- El proceso de cálculo consta de las siguientes etapas:

#### 10.2.1 ESTIMACION DE LA RELACION DE DIÁMETROS.

Se estima la relación  $D/d=6$ , ya que es recomendable que esté entre 6 y 15, se elige el valor más pequeño ya que el diámetro del resorte no sea muy grande.

$$\frac{D}{d} = 10$$

$$K_D = \frac{11 - 0.25}{11 - 1} + \frac{0.625}{11} = 1.132$$

### 10.2.2 ELECCIÓN DEL DIÁMETRO DE LA ESPIRA.

$$d = 30 \text{ mm}$$

Con lo que:

$$\frac{D}{d} = \frac{D}{30} = 11$$

$$D = 330 \text{ mm}$$

### 10.2.3 DETERMINACIÓN DE LA RESISTENCIA A TRACCIÓN.

$$\sigma_T = \frac{A_p}{d^m}$$

Donde:

$A_p$  = Intersección de la línea recta.

$m$  = pendiente

$d$  = diámetro de la espira

Para determinar dichos valores usamos la siguiente tabla:

<i>Material</i>	<i>Exponente m</i>	<i>Coeficiente A</i>	
		<i>ksi</i>	<i>MPa</i>
<i>Alambre cuerda de piano</i>	<i>0.163</i>	<i>186</i>	<i>2060</i>
<i>Alambre de acero templado en aceite y revenido</i>	<i>0.193</i>	<i>146</i>	<i>1610</i>
<i>Alambre estirado en frío</i>	<i>0.201</i>	<i>137</i>	<i>1510</i>
<i>Acero al Cr- V templado en aceite y revenido</i>	<i>0.155</i>	<i>173</i>	<i>1790</i>
<i>Acero al Cr- Si templado en aceite y revenido</i>	<i>0.091</i>	<i>218</i>	<i>1960</i>

Figura 23. Coeficientes usados en la ecuación [ Engineering Guide to Spring Design, Barnes Group. Inc., 1987. ]

$$\sigma_T = \frac{2060}{30^{0.163}}$$

$$\sigma_T = 1183.3 \text{ MPa}$$

#### 10.2.4 DETERMINACIÓN DE LA TENSIÓN ADMISIBLE A FLUENCIA DEL MATERIAL.

Como se va a aplicar el proceso de preesforzado en la fabricación del resorte para otorgarle mayor capacidad de almacenar energía ya que este no va a estar expuesto a esfuerzos de fatiga, la tensión admisible a fluencia del material es 0.7 veces la resistencia a tracción del material.

$$\tau_T = 0.7 \sigma_{adm,y}$$

Donde:

$\tau_{adm,y}$  = Tensión admisible a fluencia (MPa)

$\sigma_T$  = Resistencia a tracción del material

$$\tau_T = 0.7 \times 1183.3 = 828.95 \text{ MPa} = 828.4 \times 10^6 \text{ Pa}$$

#### 10.2.5 CÁLCULO DE LA FUERZA MÁXIMA A SOPORTAR POR LOS RESORTES.

$$F_{m\acute{a}x} = \frac{(Q_u + Q_b) g_n}{N}$$

Donde:

$Q_u$ =carga nominal.

$Q_b$ =peso de la plataforma.

$N$  = numero de resortes (suponemos 2 resortes).

$$F_{m\acute{a}x} = \frac{(3000 + 500) 9.81}{2} = 17167.5 \text{ N}$$

### 10.2.6 DETERMINACIÓN DEL NÚMERO DE ESPIRAS ACTIVAS DEL RESORTE HELICOIDAL.

La compresión del resorte puede expresarse mediante la siguiente ecuación:

$$F = k x$$

Donde K es la rigidez del resorte helicoidal y pudiéndose expresar x como:

$$x = \phi \frac{D}{2}$$

Tomando  $\phi$ , el ángulo de torsión la siguiente expresión:

$$\phi = \frac{M_T l}{G J}$$

Donde:

$M_T$  = Par de torsión (Nm)

$l$  = longitud del resorte sometida a torsión.

$G$  = modulo de cortadura del material.

$J$  = momento de inercia polar de la sección de la espira (en torno al eje perpendicular a la sección en el centro de esta).

Así:

$$M_T = \frac{F D}{2} \text{ (N mm)}$$

$$l = \pi D n \text{ (mm)}$$

Donde n es el número de espiras activas del resorte.

$$J = \frac{\pi d^4}{32} \text{ (mm}^4\text{)}$$

Sustituyendo todo en la ecuación de x :

$$x = \frac{8 F D^3 n}{G d^4}$$

Y combinando esta ecuación con la ecuación de compresión del resorte:

$$\frac{F}{k} = \frac{8 F D^3 n}{G d^4}$$

Y por lo tanto, n, el número de espiras activas toma la siguiente expresión:

$$n = \frac{G d^4}{8 D^3 k}$$

Para poder calcularlo es necesario determinar la rigidez del resorte, que viene dada por la relación:

$$k = \frac{F_{\text{máx}}}{f_{\text{máx}}}$$

Donde:

$F_{\text{máx}}$  = La fuerza máxima a realizar por cada amortiguador (68670 N)

$f_{\text{máx}}$  = La carrera del amortiguador.

La carrera del amortiguador según la Norma EN 81-1, es la mayor de los siguientes valores:

$f_{\text{máx}} = \text{máx} (65\text{mm o } 0.135 v^2)$  con  $f_{\text{máx}}$  en metros y v en m/s)

En este caso  $0.135v^2 = 0.135 \times 0.3^2 = 0.012 \text{ m} < 65\text{mm}$  por tanto la carrera del amortiguador va a ser 65mm

Para el cálculo de la rigidez del resorte se debe estimar una deformación del resorte, con la que absorber la fuerza de 17167.5 N.

Para que el resorte no resulte con una rigidez muy elevada, se va a establecer una rigidez del resorte, de valor:

$$k = 42000 \text{ N/m}$$

De este modo, la deformación de resorte va a ser:

$$f_{\text{máx}} = \frac{17167.5}{42000} = 0.409 \text{ m}$$

Como es mayor que la deformación mínima que permite la norma es correcta.

Y el número de espiras activas es:

$$n = \frac{80 \times 10^9 \times 0.03^4}{8 \times 0.330^3 \times 42000}$$

$$n = 5.36 = 6 \text{ espiras}$$

### 10.2.7 ESPIRAS TOTALES DEL RESORTE.

Los extremos del resorte van a ser en escuadra y aplanados por tanto las espiras totales son:

$$N = 6 + 2 = 8 \text{ espiras.}$$

Por lo tanto son necesarios 2 resortes helicoidales con las siguientes dimensiones:

$$D = 330 \text{ mm}$$

$$d = 30 \text{ mm}$$

$$n = 8 \text{ espiras}$$

$$L = L_{\text{recorrido}} + L_{\text{cerrado}} = 409 + 8 \times 30 = 649 \text{ mm}$$

### 10.3 COMPROBACIÓN DE LA ESTABILIDAD DEL RESORTE.

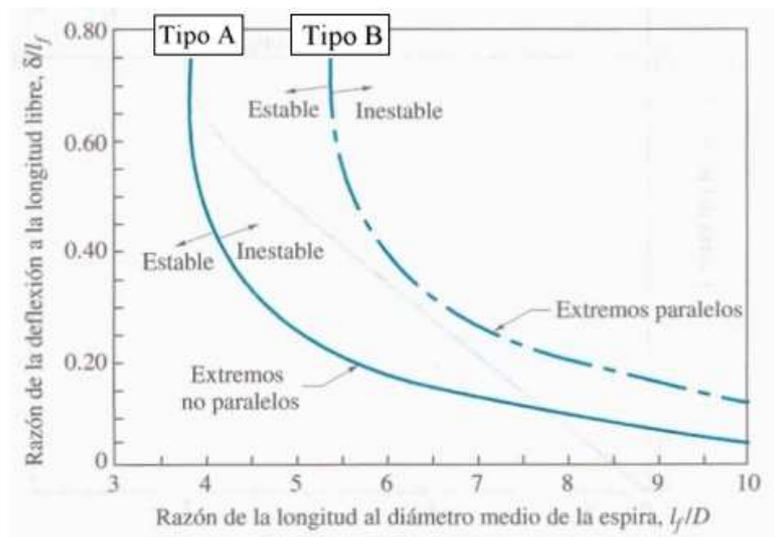


Figura 23.. Condiciones críticas de alabeo. uación [ Engineering Guide to Spring Design, Barnes Group. Inc., 1987. ]

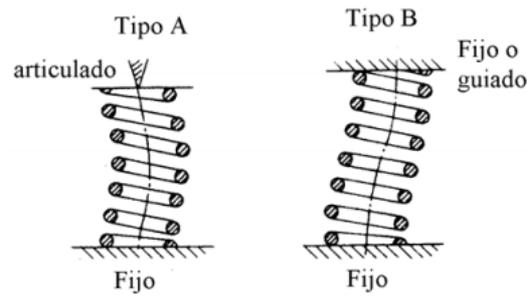


Figura 24. Tipos de fijación de los resortes.

Siendo el resorte determinado del tipo A, ya que el bastidor no está siempre sobre este.

$$\frac{L_f}{D} = \frac{649}{330} = 1.96$$

Como se puede observar, el valor mínimo que aparece en la grafica es de  $\frac{L_f}{D} = 3$ , con lo que el resorte es estable.

Por último se debe comprobar la resistencia del resorte. Para ello se usa la siguiente ecuación:

$$K_d \frac{8 F D}{\pi d^3} = \frac{\tau_{adm,y}}{\eta}$$

Donde despejando el factor de seguridad queda:

$$\eta = \frac{\pi d^3 \tau_{adm,y}}{8 F D K_d}$$

Como la norma no indica un factor de seguridad a tener en cuenta en los resortes, para mayor seguridad se a considerar un factor de 1.3.

$$\eta = \frac{\pi \times 0.03^3 \times 828.95 \times 10^6}{8 \times 17167.5 \times 0.330 \times 1.132} = 1.37 > 1.30$$

## 11. ELECCIÓN DE BARANDILLAS

Dado que la distancia entre la plataforma del montacargas y el cerramiento de éste es superior a 35 mm, la norma EN 81-3 exige que sea instalada una barandilla de protección, con un pasamanos a 1.1 m de altura, una barra intermedia y un rodapié. Ésta debe soportar una fuerza de 1000 N en la posición más desfavorable.

Además interesa que sea una barandilla económica, ligera y de fácil montaje.

Buscando todos estos requisitos, se ha elegido una barandilla del fabricante DIVETIS, modelo INPR51.

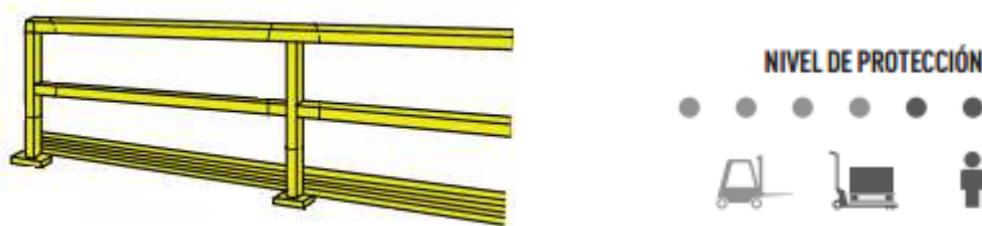


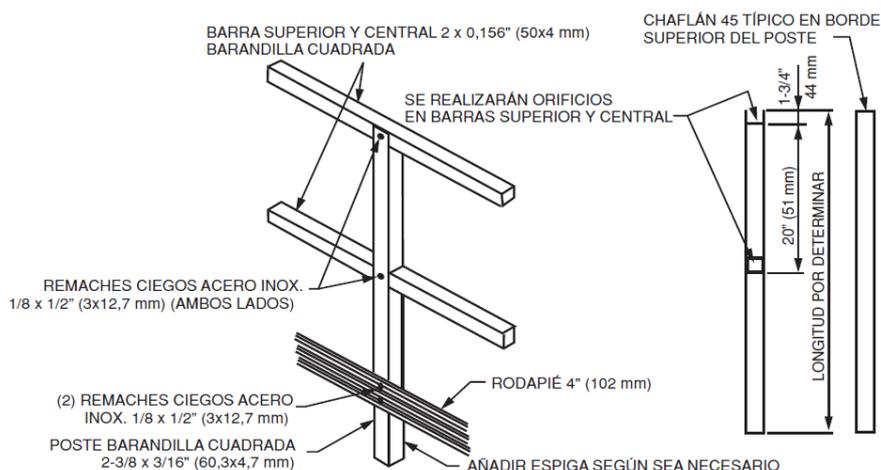
Figura 25. Ilustración de la barandilla y croquis del nivel de protección que posee ésta.

Este modelo favorece la seguridad de las personas encargadas de la carga y descarga del montacargas y resiste posibles impactos con la máquina en la que se transporte la carga. El fabricante garantiza una resistencia de más de 1000 N en todos sus puntos. Además es muy ligera ya que es de fibra de vidrio, de fácil montaje y económica.

Sus dimensiones son las siguientes:

- Alto: 1.1 m
- Ancho: 0.9 m
- Largo:  $2 \times 1.4\text{m} + 1.8\text{m} = 4.6\text{m}$

A continuación se presentan diversos detalles aportados por el fabricante para el montaje de la barandilla:



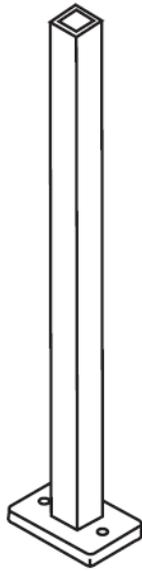


Figura 26. Detalle poste de la barandilla

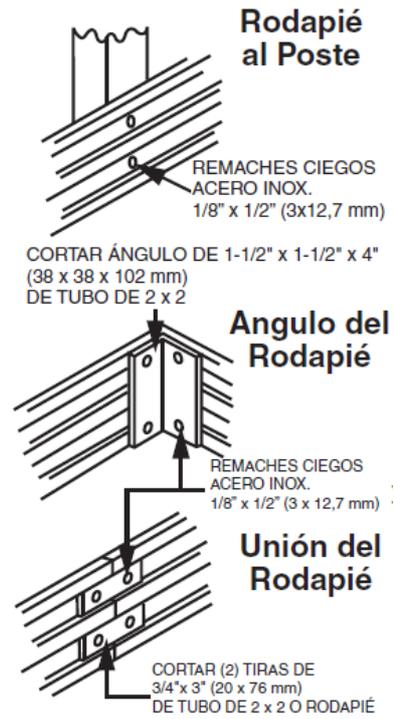


Figura 27. Detalle montaje del rodapié de la barandilla.

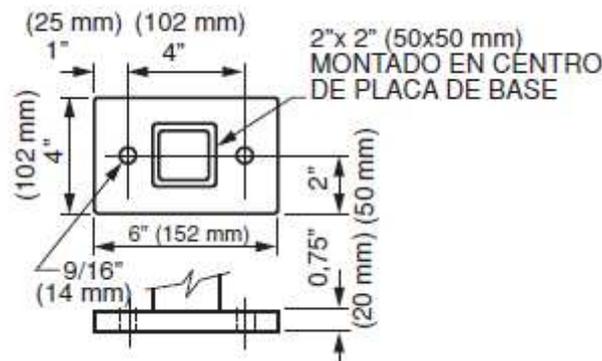


Figura 28. Detalle de dimensiones de la base del poste de la barandilla

Finalmente para fijar la barandilla al bastidor, se atornillaran a la plataforma, mediante tornillos M12 como exige el fabricante, y la longitud de estos será la siguiente:

e junta = e placa + e base pilar + arandelas + tuerca

e junta = 6 + 20 + 2.5x2 + 10mm = 41mm

Por tanto:  $L = 50 \text{ mm}$

## 12. ELECCIÓN DE LOS ELEMENTOS QUE CONSTITUYEN EL CIRCUITO DE CONTROL.

El esquema eléctrico de control es el siguiente:

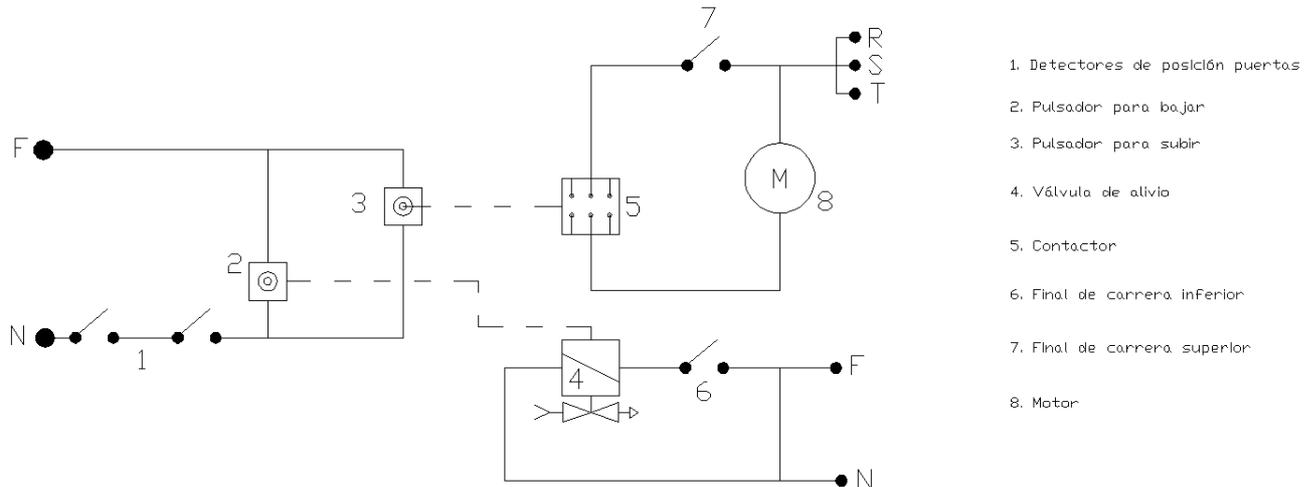


Figura 29. Esquema de control.

Así es necesario un contactor para accionar el motor, dos pulsadores, y detectores tanto de posición como de puerta abierta.

Cuando se pulse el botón de subir que estará situado en la primera planta, siempre y cuando no esté abierto el detector de puerta abierta, se cerrará el contactor y se pondrá el motor eléctrico en funcionamiento para que suba el montacargas hasta que salte el final de carrera superior.

Para bajar, cuando se accione el pulsador de bajada, si el detector de puerta abierta está cerrado, se actuara sobre la válvula de alivio del sistema hidráulico, descendiendo el montacargas hasta que salte el final de carrera inferior.

Con todo esto, se procede a la elección de dichos elementos del catalogo del fabricante:

- Elección del contactor:

Se debe colocar un contactor del fabricante Rockwel Automation, modelo 100/104-C09, para corriente trifásica y una potencia de 22kW ya que el motor del montacargas es de 15kW.

		100-KR		100/104-K			100/104-C, 100S/104S-C										
		05	09	05	09	12	09	12	16	23	30	37	40*200	40*400	43	60	
Tipo de bobina:	Convencional	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
	Electrónicos - EI	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
AC-1 Carga de alimentación eléctrica activa (50 Hz); temperatura ambiente 40 °C																	
$I_e$	≤500 V	[A]	10	10	20	20	20	32	32	32	32 (40)*	65	65	75	75	85	100
	690 V	[A]	10	10	20	20	20	32	32	32	32 (40)*	65	65	75	75	85	100
	1000 V	[A]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	230 V	[kW]	4	4	8	8	8	13	13	13	13	26	26	30	30	34	40
	240 V	[kW]	4	4	8.3	8.3	8.3	13	13	13	13	27	27	31	31	35	42
	400 V	[kW]	6.9	6.9	14	14	14	22	22	22	22	45	45	52	52	59	69

Figura 30. Tabla de contactores del fabricante.

- Elección de los pulsadores:

Se deben colocar los pulsadores del fabricante Rockwel Automation, modelos 800FP-FT3PX10. Se trata de pulsadores sencillos, económicos y resistentes.

	Descripción	Tipo de contacto		Color	Construcción	Unidades por paq.	N° de cat.
		N.A.	N.C.				
	Rasante	1	-	Verde	Operador de plástico/enclavamiento de plástico	1	800FP-F3PX10
				Negro			800FP-F2PX10
				Verde	Operador de metal/enclavamiento de metal		800FM-F3MX10

Figura 31. Tabla pulsador del fabricante.

- Elección de los finales de carrera:

Los finales de carrera deben ser del fabricante Allen Bradley modelo 802T de palanca de retorno por muelle.

Las especificaciones técnicas que aporta el fabricante son las siguientes:

### Especificaciones

Calificación del envolvente	NEMA 13, IP54
Grado de contaminación	3
Certificaciones	Listado UL, Certificado CSA y marca CE para todas las directivas vigentes
Temperatura ambiente [C (F)] <sup>Ⓜ</sup>	Los interruptores de final de carrera no enchufables están diseñados para funcionar en una temperatura ambiente de -18...+54° (0...+130°).

Capacidad de contactos de CA (máximo por polo, 50 ó 60 Hz, misma polaridad)						
Designación NEMA	Voltaje máx.	A		Corriente portadora continua	VA	
		Cierre	Apertura		Cierre	Apertura
A600 AC-15	120	60	6.00	10	7,200	720
	240	30	3.00	10	7,200	720
	480	15	1.50	10	7,200	720
	600	12	1.20	10	7,200	720

Capacidad de contactos de CC (máximo por polo, misma polaridad)	
Rango de voltaje	Capacidad nominal de corriente
115 - 125	0.4 A
230 - 250	0.2 A
550 - 600	0.1 A

<sup>Ⓜ</sup> El rango de temperatura por debajo de 0 °C (+32 °F) se basa en la ausencia de humedad o agua a punto de congelamiento. Consulte la página 5-73 para ver la opción de temperatura extendida.



Figura 32. Especificaciones del interruptor de final de carrera del fabricante.

Figura 32. Interruptor final de carrera

- Detectores de puerta abierta:

Los sensores de puerta abierta van a ser los mismos que los finales e carrera del montacargas. Cuando la puerta se abra se accionará la palanca que abra el contacto y volvera a su posición inicial mediante el muelle. Cuando se cierre la puerta se volvera a accionar la palanca del detector y se cerrara el contacto pudiendo ponerse en marcha el montacargas.

El Ingeniero Técnico Industrial.

José Manuel Vera Zaragoza

En, Murcia a 23 de Octubre de 2012.



# DOCUMENTO N°2: PLANOS

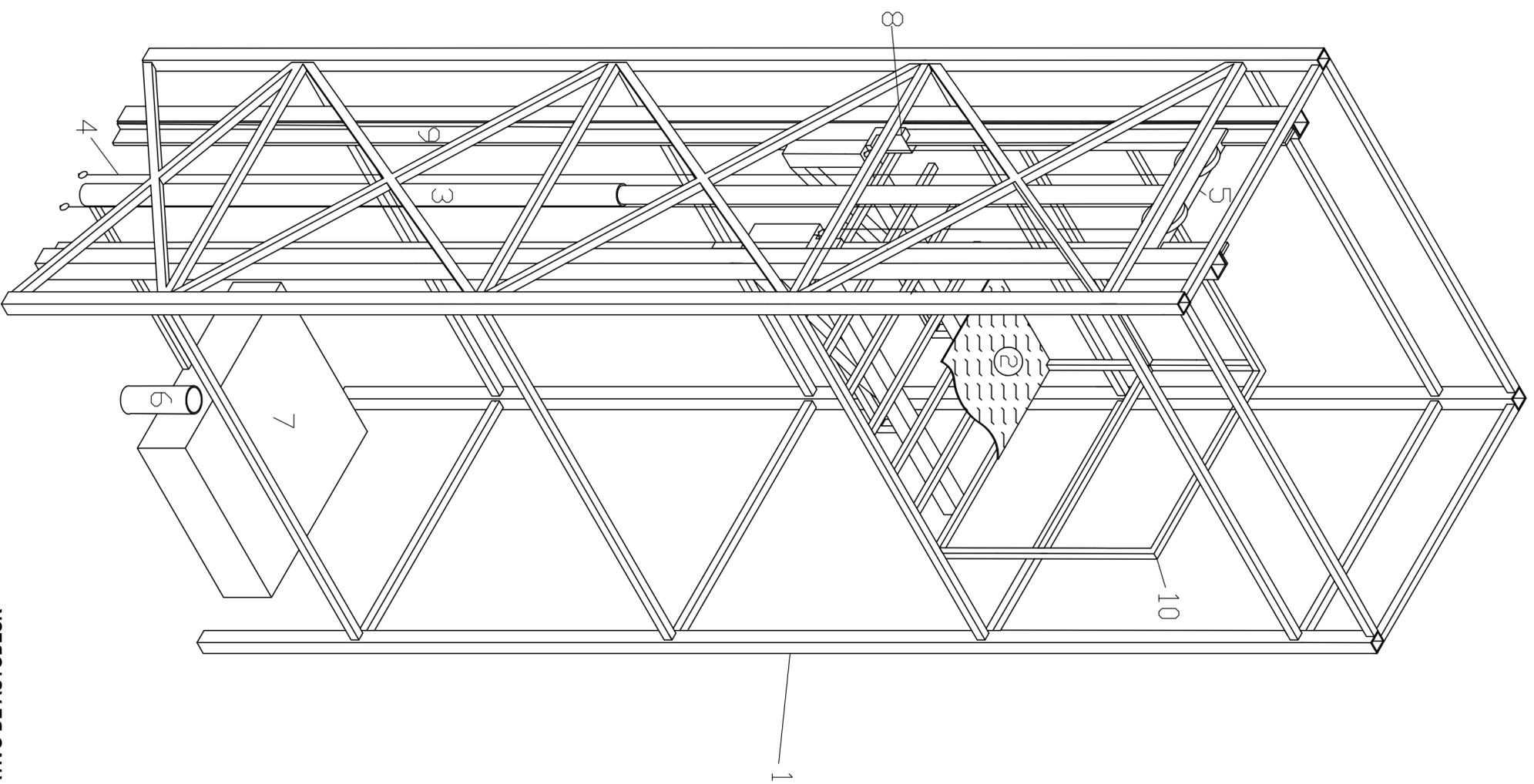
José Manuel Vera Zaragoza



# INDICE

## DOCUMENTO N°2: PLANOS

1. Conjunto montacargas en isométrica.....	PC-1
2. Conjunto distribución en el foso.....	PC-2
3. Fabricación del bastidor.....	PF-1
4. Fabricación de la estructura.....	PF-2
5. Fabricación del porta-poleas.....	PF-3
6. Fabricación del resorte de los resortes de compresión.....	PF-4
7. Colocación de rozaderas y paracaídas.....	PC-3
8. Colocación de las guías.....	PC-4
9. Colocación del cerramiento y las puestas .....	PC-5
10. Anclaje de los cables.....	PC-6
11. Colocación barandillas.....	PC-7
12. Detalle placa de anclaje 1.....	PC-8
13. Detalle placa de anclaje 2.....	PC-9
14. Esquema de control.....	PC-10



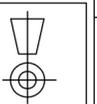
PLANDS RELACIONADOS

Nº	DESCRIPCION
PC-1	Conjunto montacargas en isométrica
PC-2	Conjunto del foso
PC-3	Colocación de rozaderas y portapoleas
PC-4	Colocación de las guías
PC-5	Colocación del cerramiento y puertas
PC-6	Anclaje cables
PC-7	Colocación barandillas
PC-8 PC-9	Placas de anclaje
PF-1	Plano de fabricación del bastidor
PF-2	Plano de fabricación de la estructura
PF3 y PF4	Planos fabricación portapoleas y resortes

NOTAS

LISTA DE PIEZAS

Nº	DESCRIPCION
1	Estructura
2	Bastidor
3	Pistón (Hidráulica Ferrer) Serie S5
4	Cables (Prodinsa)
5	Portapoleas
6	Resorte de compresión
7	Equípo hidráulico (Diprax) IDP
8	Rozaderas (Macla) ASA0002AL
9	Guías (Ride super) T114/B
10	Barandilla (Divetis) INPR51



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

PLANO Nº

PC-1

ESCALA

1:15

Conjunto montacargas en isométrica

SUSTITUIVE AL PLANO

SUSTITUIDO POR

JOSÉ MANUEL VERA

FECHA

23/10/12

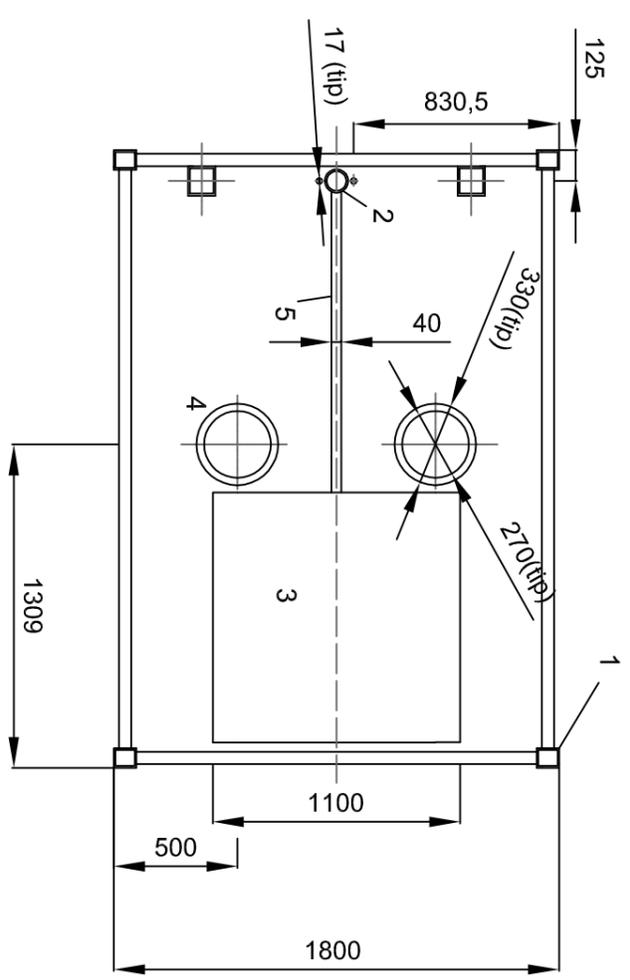
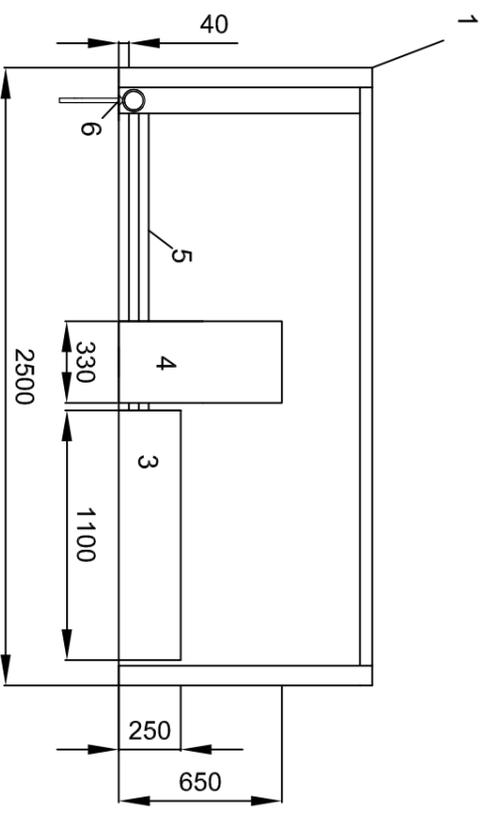
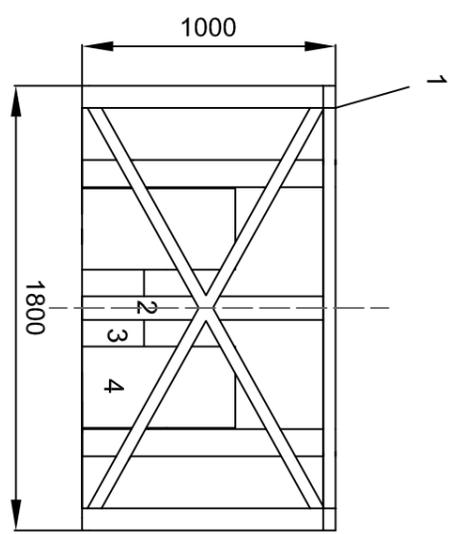
Nº HOJAS

1

PLANOS RELACIONADOS

Nº	DESCRIPCION
PG-1	Conjunto montacargas en isométrica
PF-2	Fabricación estructura
PF-4	Fabricación resorte de compresión

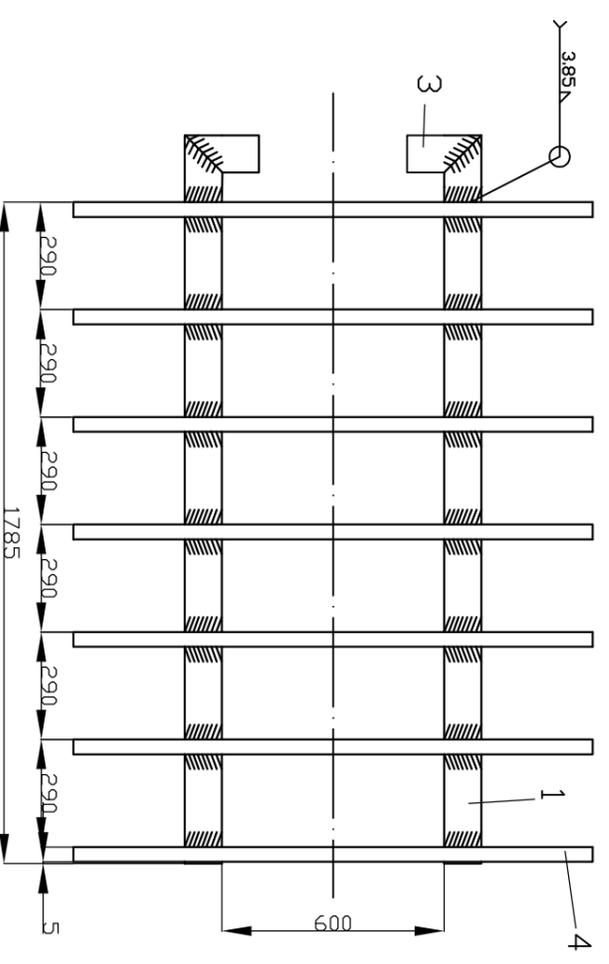
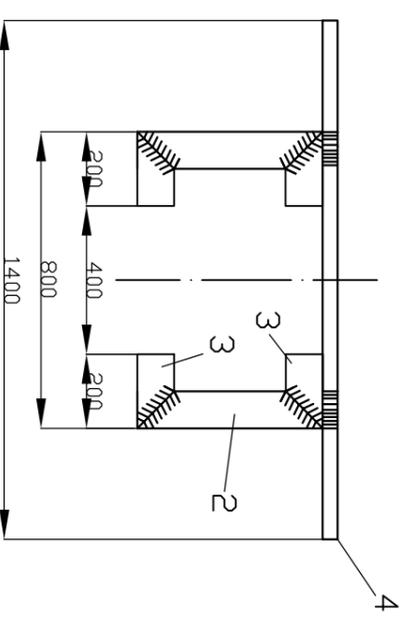
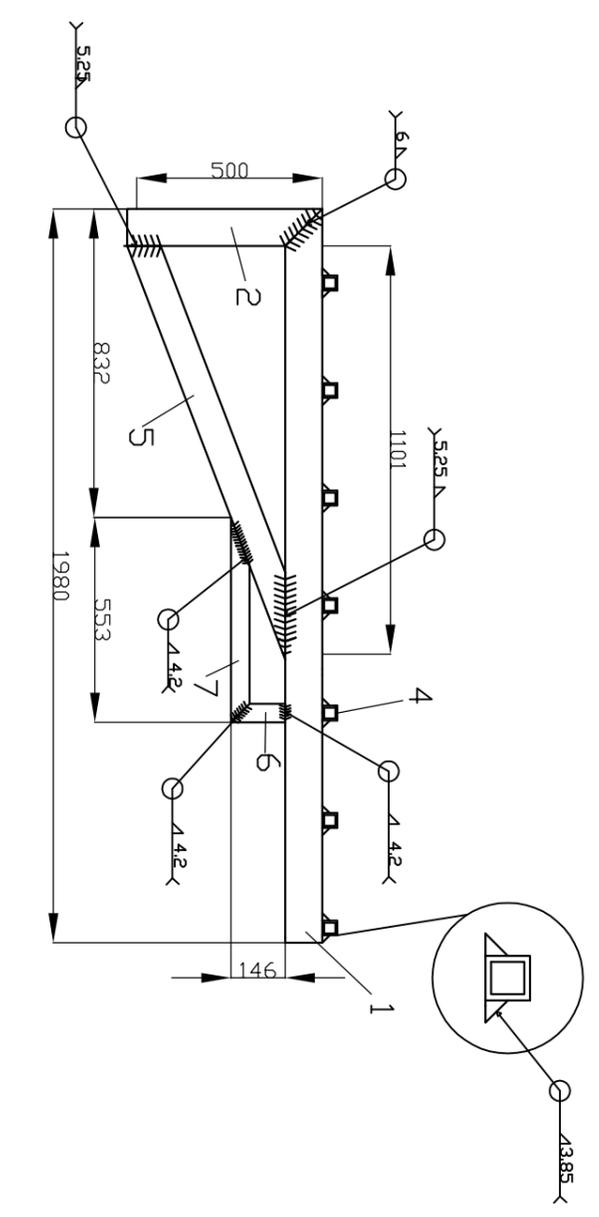
NOTAS



LISTA DE PIEZAS

Nº	DESCRIPCION	CANT
1	Estructura	1
2	Pistón (Hidráulica Ferrer) Serie S5	1
3	Equipo hidráulico (Diprax) IDP	1
4	Resorte de compresión	2
5	Conducto de aceite	2
6	Cáncamo M16x160mm	2

		<p>UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA</p>	<p>PLANO Nº</p> <p>1</p>
<p>ESCALA</p> <p>1:50</p>		<p>Conjunto distribución en el foso</p>	
<p>SUSTITUYE AL PLANO</p>			
<p>SUSTITUIDO POR</p>			
<p>FECHA</p> <p>23/10/12</p>		<p>JOSÉ MANUEL VERA</p>	
<p>Nº HOJAS</p> <p>1</p>			



PLANOS RELACIONADOS

Nº	DESCRIPCION
PC1	Conjunto montacargas en isométrica
PC3	Detalle anclaje de los cables al bastidor
PC4	Detalle colocación rozaderas y paracaídas

NOTAS

LISTA DE MATERIALES

Nº	DESCRIPCION	MATERIAL	CANT.
1	Perfil 2xUPN100 (L=1980mm)	A 275	2
2	Perfil 2xUPN100 (L=500mm)	A 275	4
3	Perfil 2xUPN100 (L=250mm)	A 275	2
4	Perfil 40x40 (L=1400mm)	A 275	7
5	Perfil 65x84 (L=1209mm)	A 275	2
6	Perfil 50x50 (L=146mm)	A 275	2
7	Perfil 50x50 (L=553mm)	A 275	2



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

PLANO Nº PF1

ESCALA

1:20

FABRICACION BASTIDOR

SUSTITUYE AL PLANO

SUSTITUIDO POR

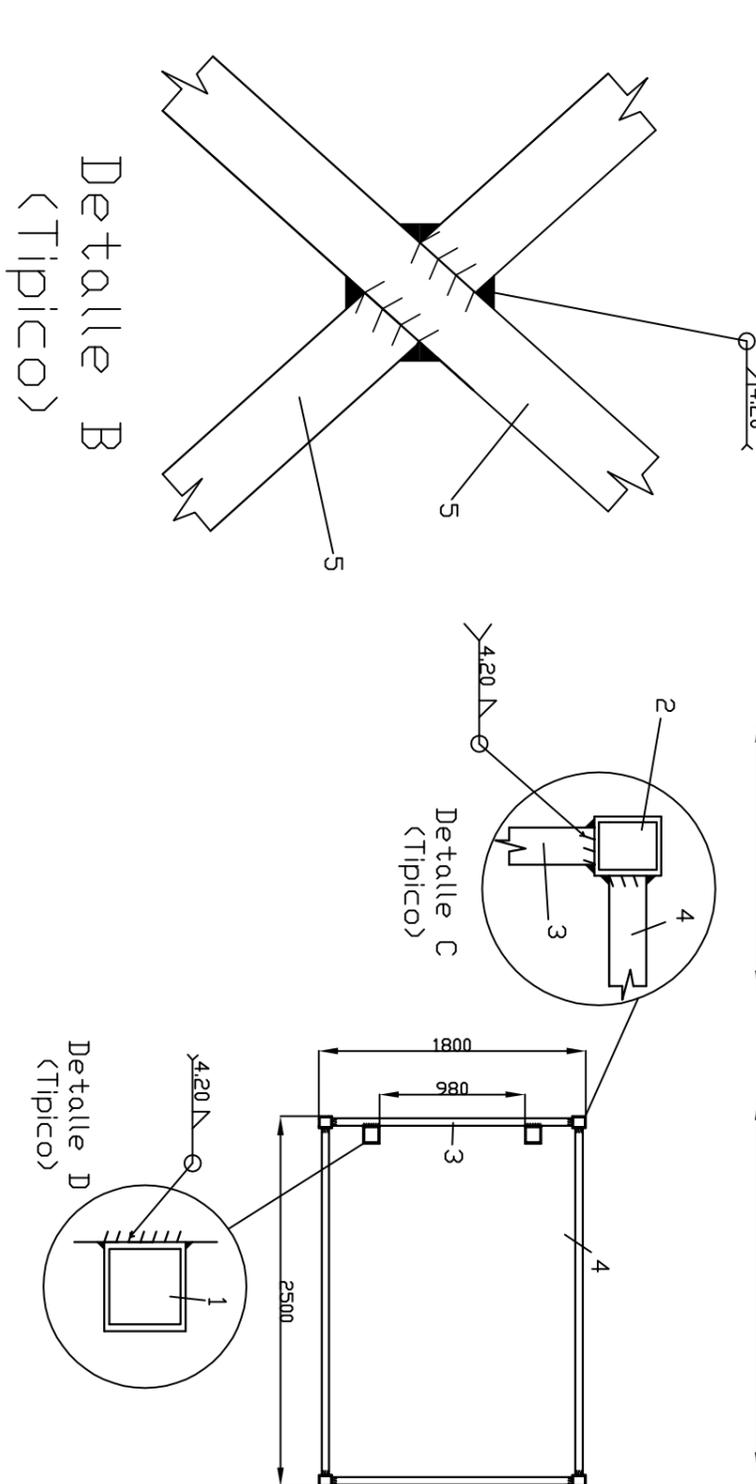
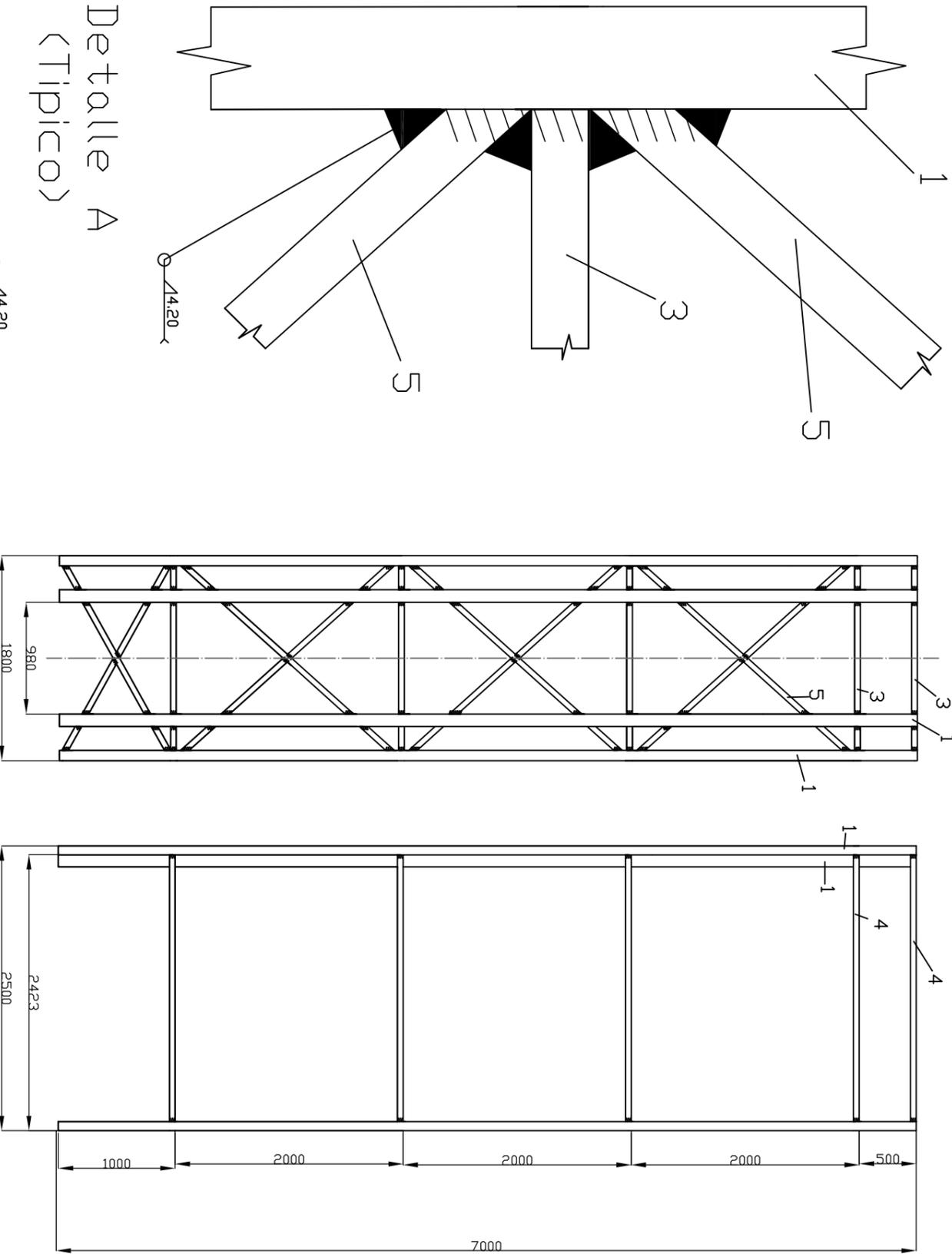
JOSÉ MANUEL VERA

FECHA

23/10/12

Nº HOJAS

1



PLANDS RELACIONADOS

Nº	DESCRIPCION
PC1	Conjunto montacargas en isometrica
PC5	Montaje guías

NOTAS

LISTA DE MATERIALES

Nº	DESCRIPCION	MATERIAL	CANT.
1	Perfil 2xUPN120(L=7500mm)	A 275	2
2	Perfil 2xUPN80(L=7500mm)	A 275	4
3	Perfil 50x50 (L=1600mm)	A 275	10
4	Perfil 50x50 (L=2300mm)	A 275	10
5	Perfil 50x50 (L=1890mm)	A 275	2
5	Perfil 50x50 (L=2500mm)	A 275	6

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

PLANO Nº PF-2

ESCALA

1:50

FABRICACION ESTRUCTURA

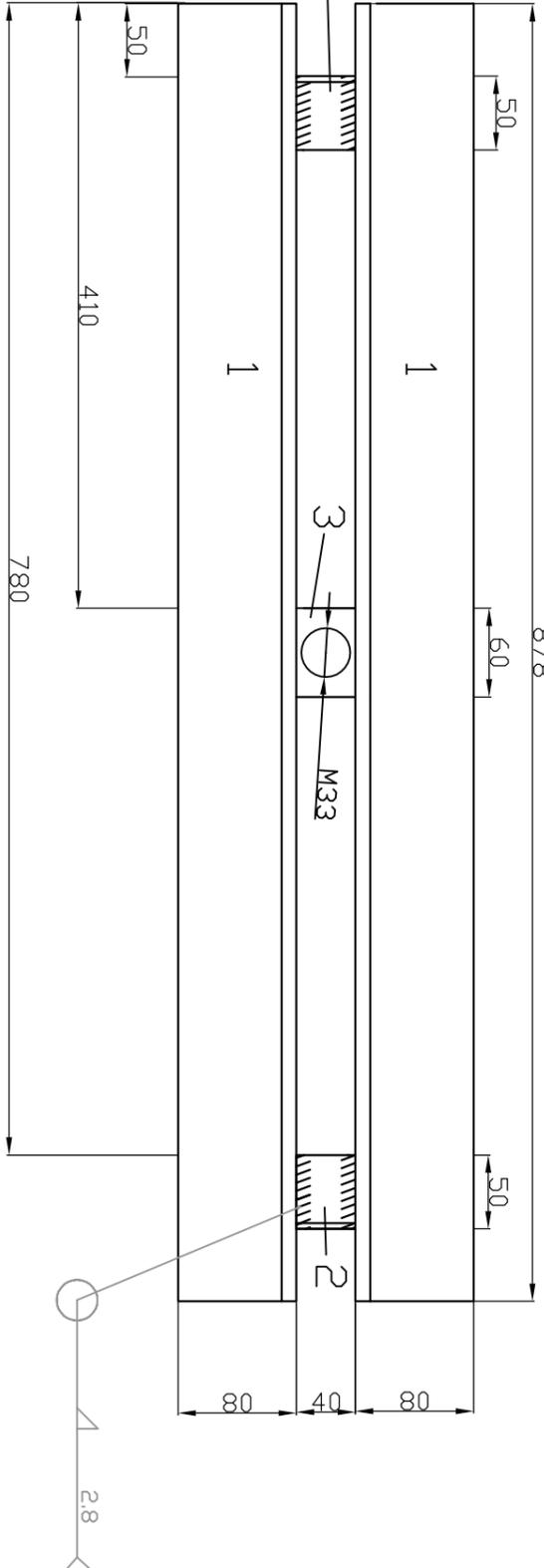
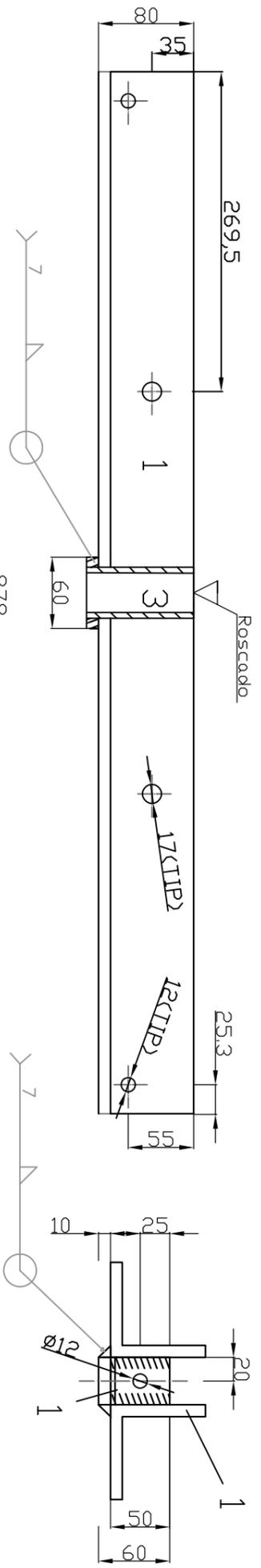
SUSTITUYE AL PLANO

SUSTITUIDO POR

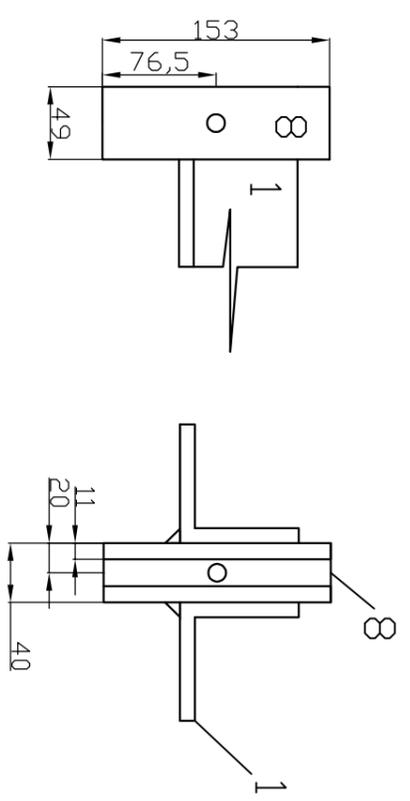
JOSÉ MANUEL VERA

FECHA 23/10/12

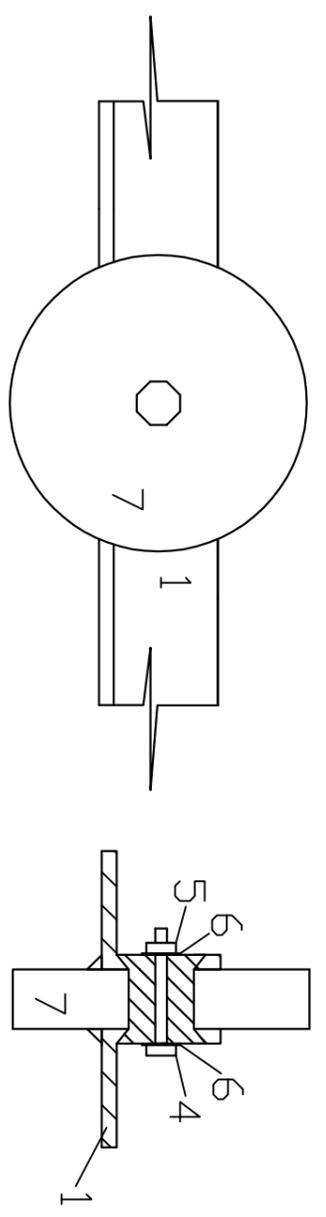
Nº HOJAS 1



DETALLE COLOCACION ROZADERA



DETALLE COLOCACION POLEA



DESCRIPCION

Nº	DESCRIPCION	MATERIAL	CANT.
1	Perfil L80x80x10 (L=878mm)	A275	2
2	Perfil L50x50x40 (L=40mm)	A275	2
3	Perfil macizo 60x40x60	A275	1
4	Tornillo M16x90mm	A275	2
5	Tuerca M16	A275	2
6	Arandela M16	A275	4
7	Polea D=200mm		
8	Rozadera		

LISTA DE MATERIALES

NOTAS

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

PLANO Nº PF-3

ESCALA

1:20

PORTA-POLEAS

SUSTITUYE AL PLANO

SUSTITUIDO POR

JOSÉ MANUEL VERA

FECHA

23/10/12

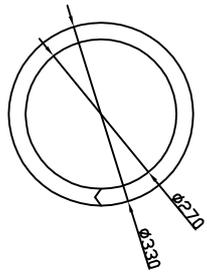
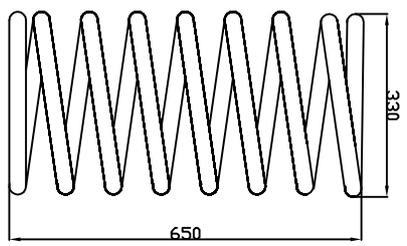
Nº HOJAS

1

Nº	DESCRIPCION
PC-1	Conjunto montacargas en isométrica

NOTAS

Diámetro de la espira = 30mm



LISTA DE MATERIALES

Nº	DESCRIPCION	MATERIAL	CANT.
1	Resorte de compresión	A228	1

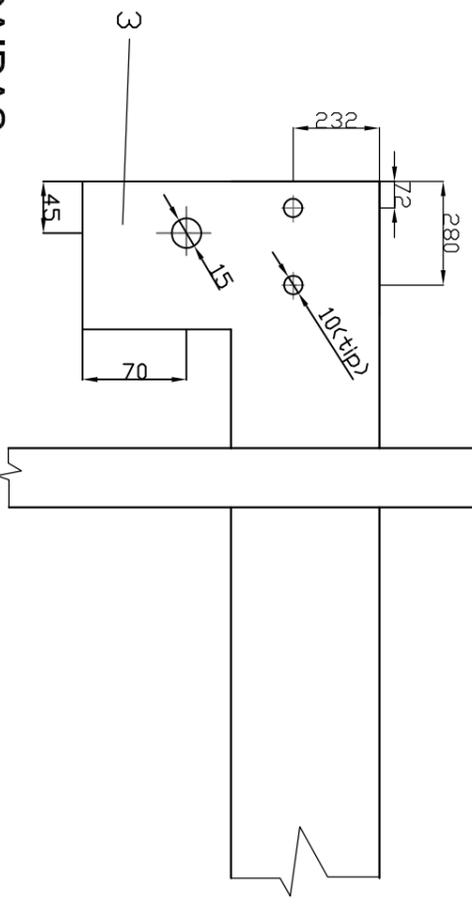
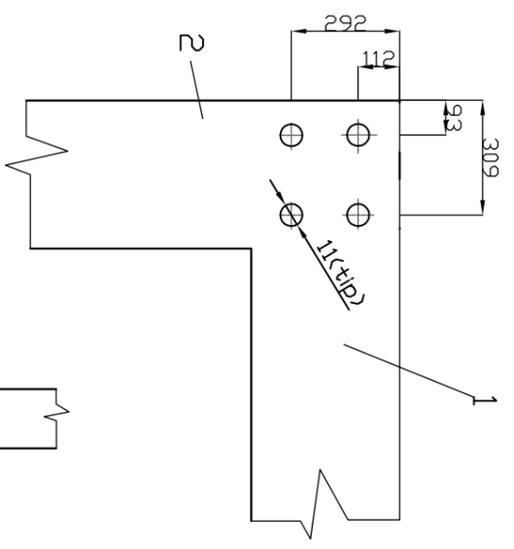
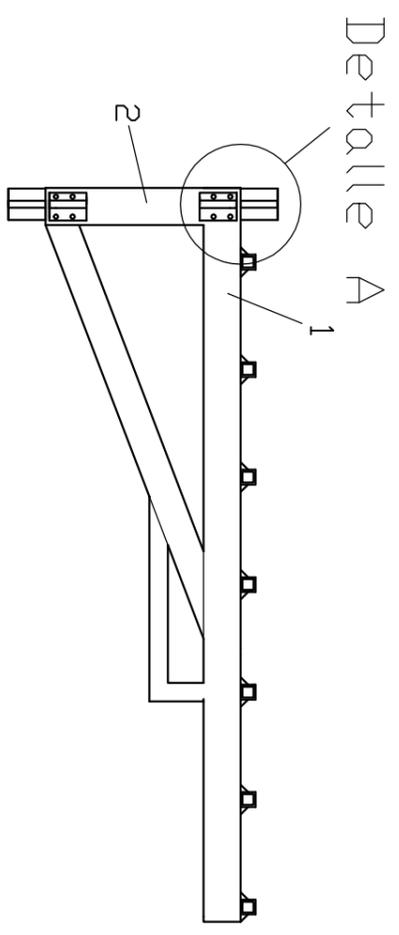
	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA	PLANO Nº PF-4
ESCALA 1:20	Resorte de compresión	
SUSTITUYE AL PLANO	SUSTITUIDO POR	JOSÉ MANUEL VERA

FECHA 23/10/12	Nº HOJAS 1	JOSÉ MANUEL VERA
-------------------	---------------	------------------

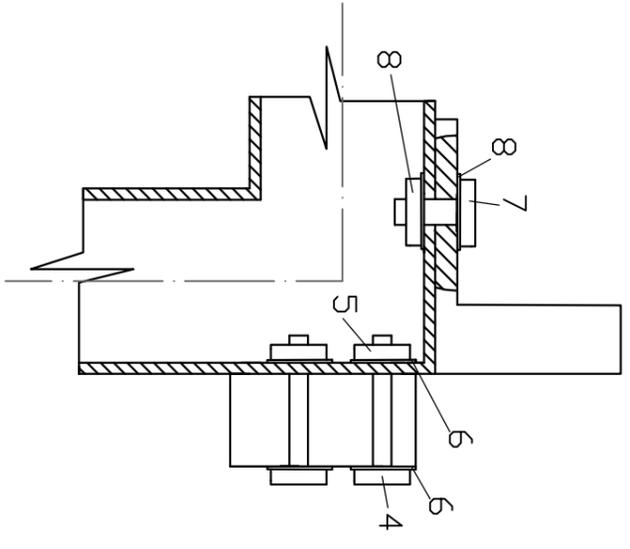
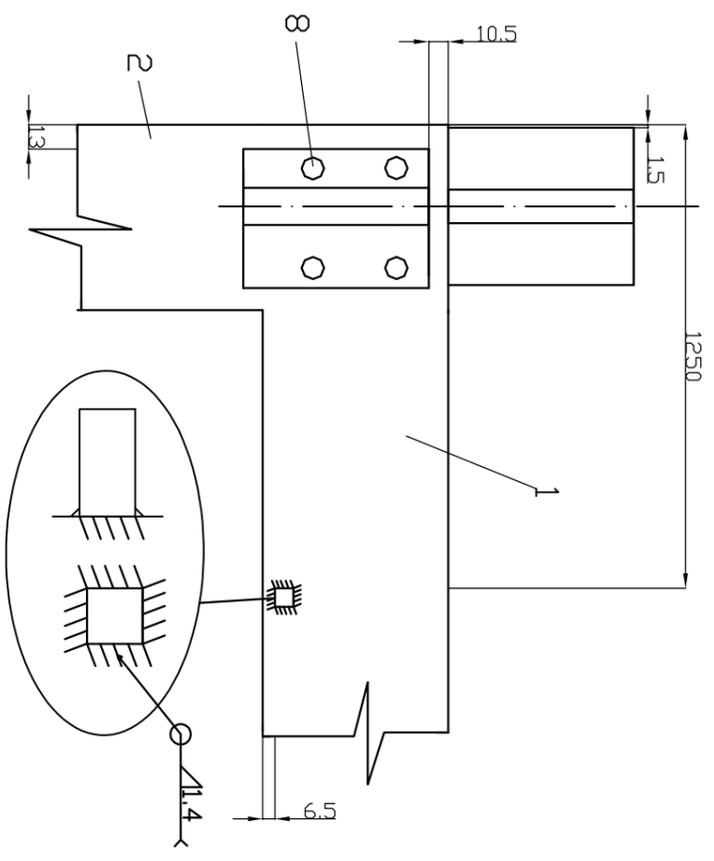
Nº	DESCRIPCION
PC1	Conjunto montacargas en isométrica
PF1	Batidor
PC3	Detalle anclaje de los cables al bastidor
PC5	Detalle anclaje de la barandilla al bastidor

NOTAS

-El detalle de colocación de las rozaderas y paracaídas está a escala 1:5.



DETALLE A: COLOCACION ROZADERAS Y PARACAIDAS

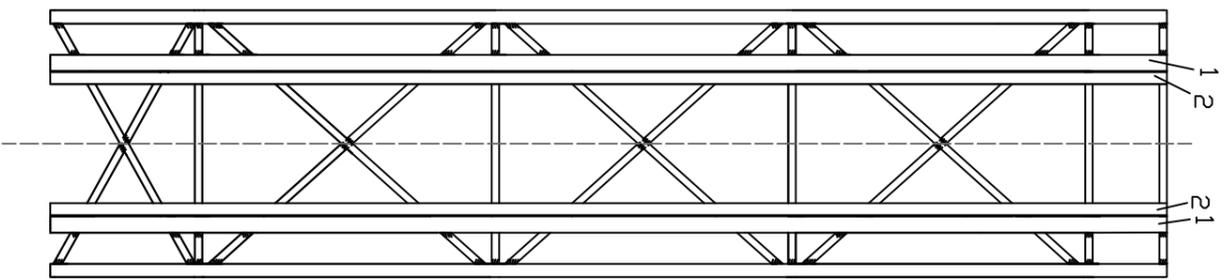


LISTA DE PIEZAS

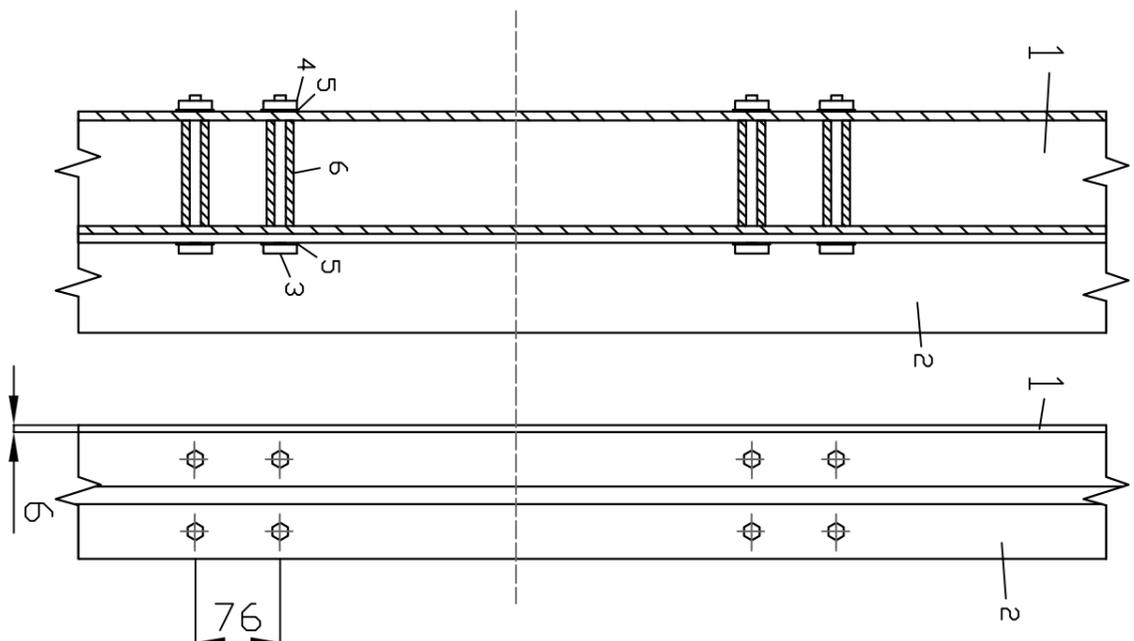
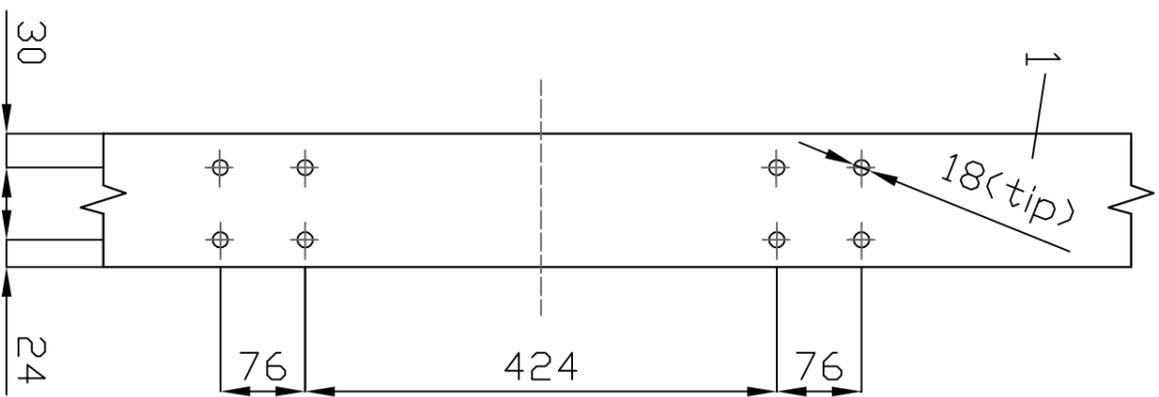
Nº	DESCRIPCION	CANT
1	Perfil 2xUPN100 (L=1980mm)	2
2	Perfil 2xUPN100 (L=500mm)	2
3	Perfil 2xUPN100 (L=250mm)	2
4	Tornillo M12x170mm	16
5	Tuerca M12	16
6	Arandela M12	16
7	Tornillo M10x40mm	8
8	Tuerca M10	8
9	Arandela M10	8

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA		PLANONº
PC3		
Colocación rozaderas y paracaídas		
ESCALA	1:20	
SUSTITUYE AL PLANO		SUSTITUIDO POR
FECHA	23/10/12	Nº HOJAS
		1
JOSÉ MANUEL VERA		

Detalle orificios en el pilar



Detalle colocación de las guías



Nº DESCRIPCIÓN

PC1 Conjunto montacargas en isométrica

PF1 Fabricación bastidor

NOTAS

- Detalles a escala 1:5

LISTA DE PIEZAS

Nº	DESCRIPCIÓN	CANT
1	Perfil 2xUPN120(L=7500mm)	2
2	Perfil T144-B (L=7500mm)	2
3	Tornillo M16x130mm	60
4	Tuerca M16	60
5	Arandela M60	60
6	Casquillo rigidizador (e=9mm)	60



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

PC-4

ESCALA

1:20

Colocación de las guías

SUSTITUYE AL PLANO

SUSTITUIDO POR

JOSÉ MANUEL VERA

FECHA

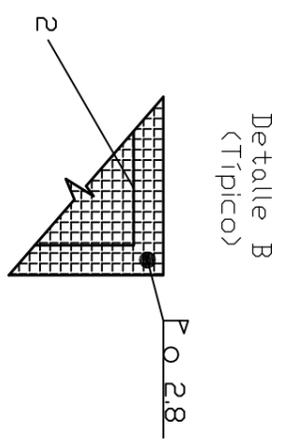
23/10/12

Nº HOJAS

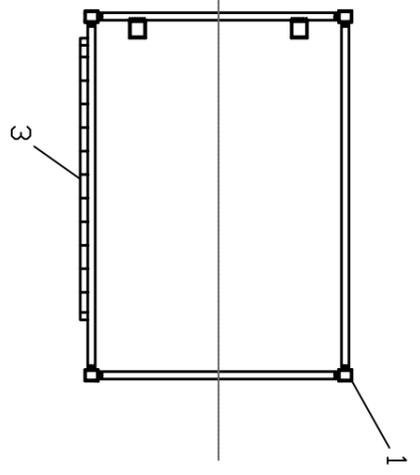
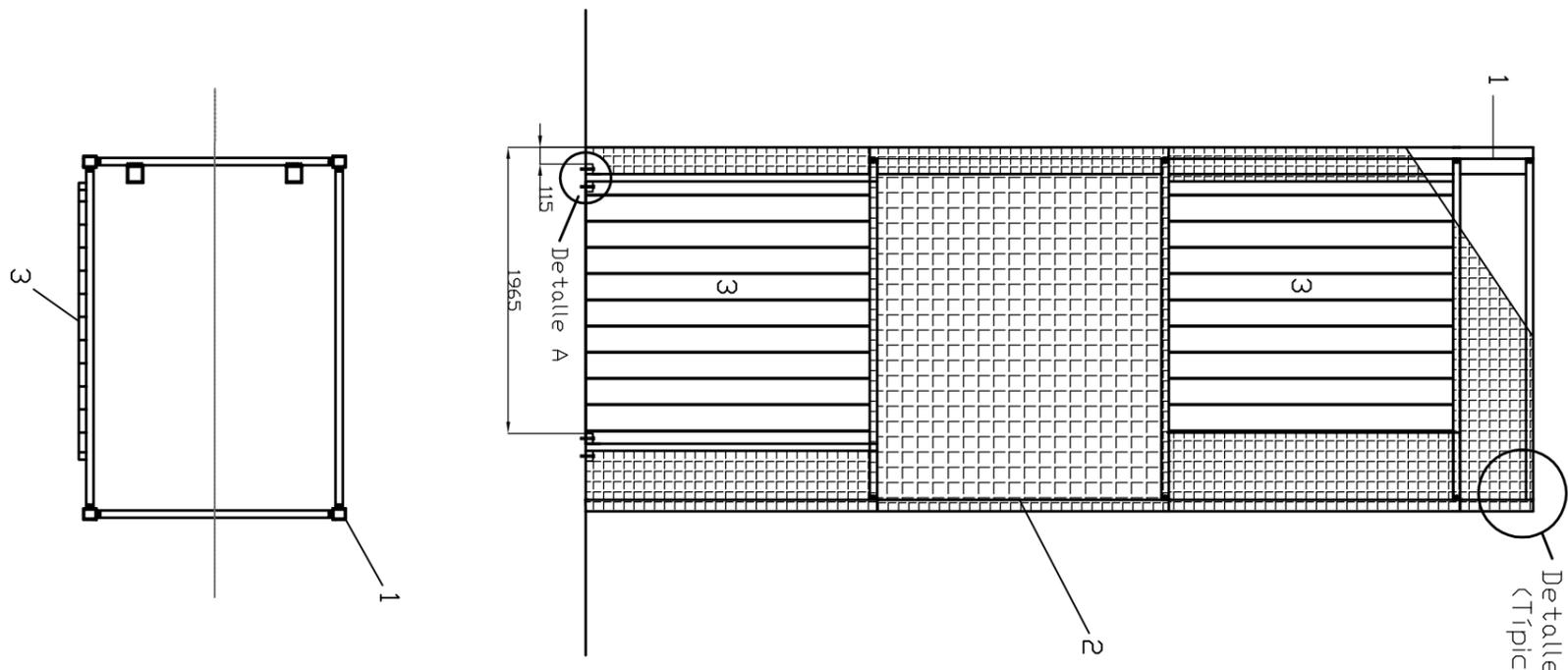
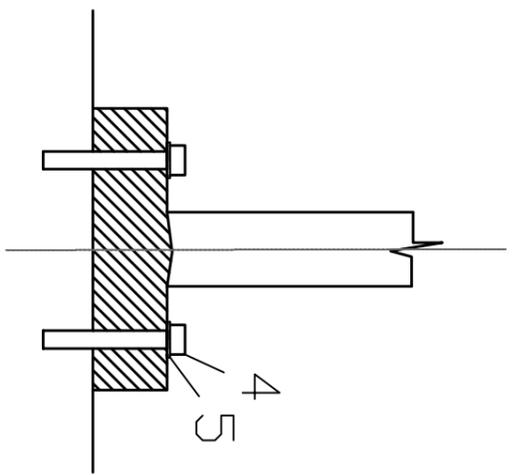
1

Nº	DESCRIPCION
PC-1	Conjunto montacargas en isometrica
PF-2	Fabricación Estructura

NOTAS



Detalle A  
(Típico)

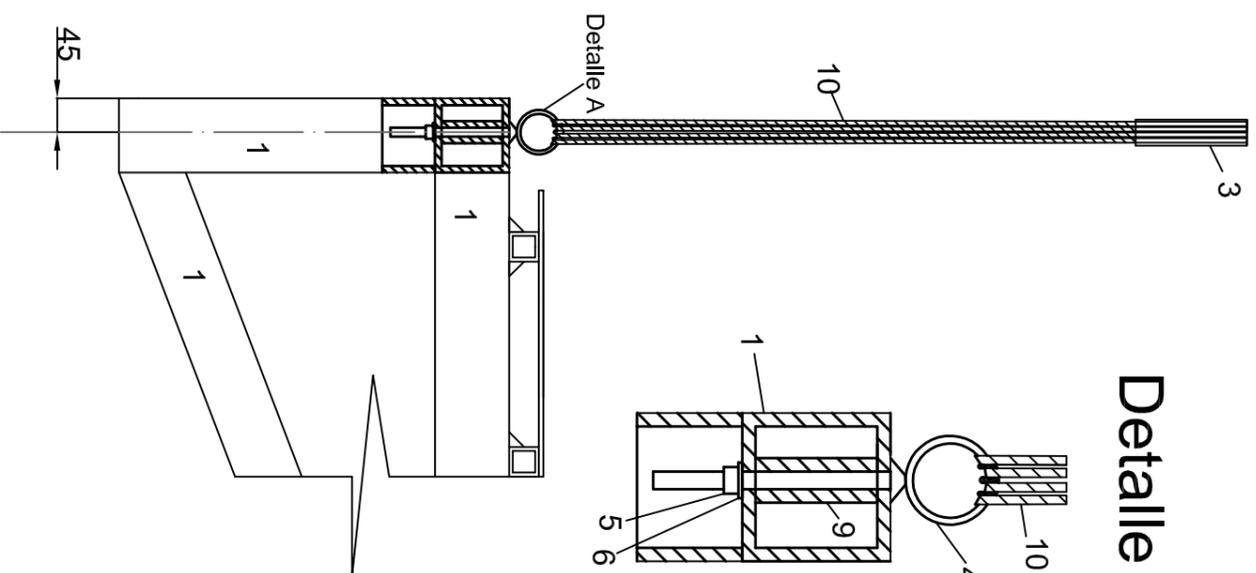
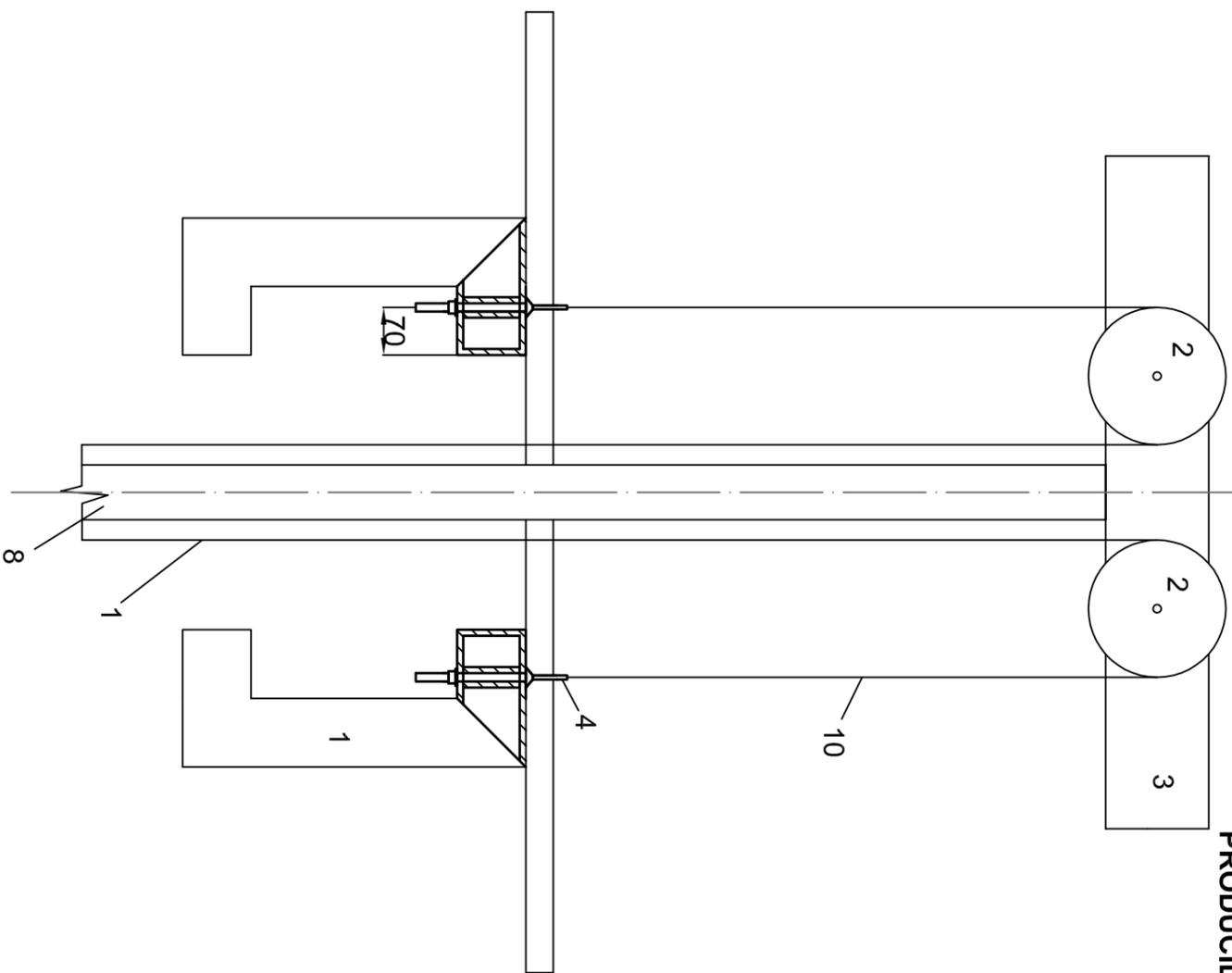


LISTA DE PIEZAS

Nº	DESCRIPCION	Nº
1	Estructura	1
2	Chapa perforada (RM PERMESA) LT1230Z4525	1
3	Puerta (Bruhl) FTS201800	2
4	Tornillo M12x54	4
5	Arandela M12	4

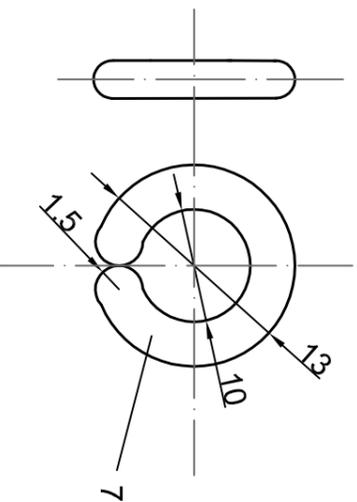
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA		PLANO Nº
PC-5		
ESCALA	Colocación cerramiento estructura y puertas	
1:50		
SUSTITUYE AL PLANO	SUSTITUIDO POR	JOSÉ MANUEL VERA

FECHA	23/10/12	Nº HOJAS	1
SUSTITUYE AL PLANO			
SUSTITUIDO POR			
JOSÉ MANUEL VERA			

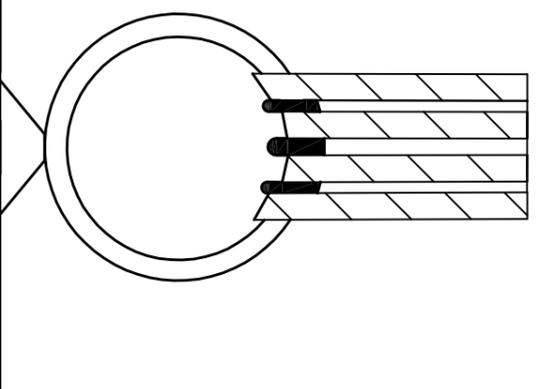


Detalle A

Detalle grapa separadora



Detalle uso grapa



PLANOS RELACIONADOS

Nº	DESCRIPCION
PC-1	Conjunto montacargas en isometrica
PF-1	Bastidor
PF-3	Porta poleas

NOTAS

LISTA DE PIEZAS

Nº	DESCRIPCION
1	Bastidor
2	Polea (HRSY) HOG 4-2.5
3	Porta poleas
4	Cáncamo (cables estructurales) 381216
5	Tuerca M12
6	Arandela M12
7	Grapa separadora
8	Pistón (Hidraulica Ferrer) Serie S5
9	Casquillo rigidizador
10	Cables (Prodirinsa)

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

PLANO Nº  
PC-6

ANCLAJE CABLES

ESCALA

1:20

SUSTITUYE AL PLANO

SUSTITUIDO POR

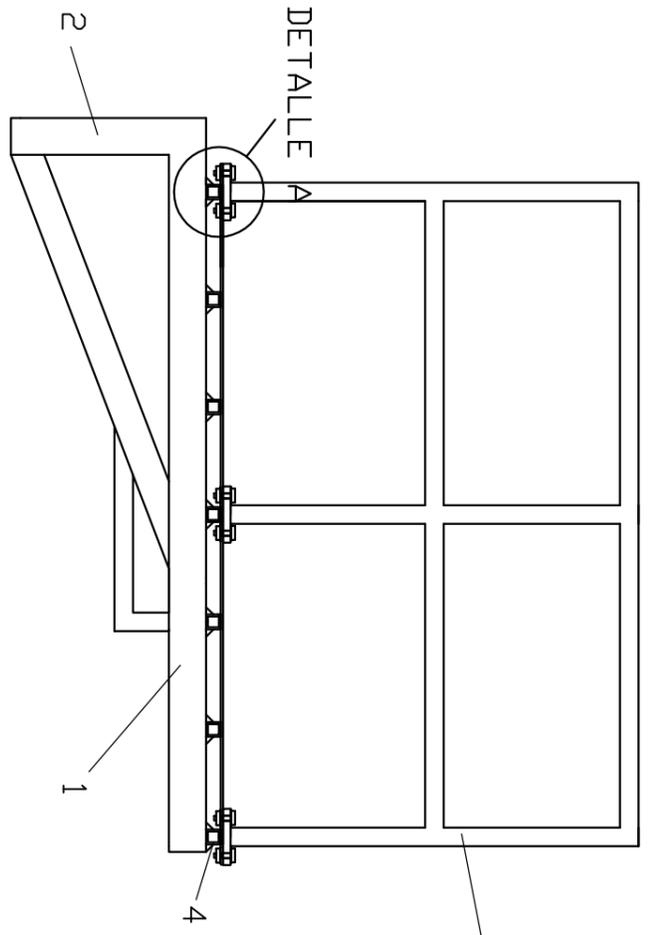
JOSÉ MANUEL VERA

FECHA

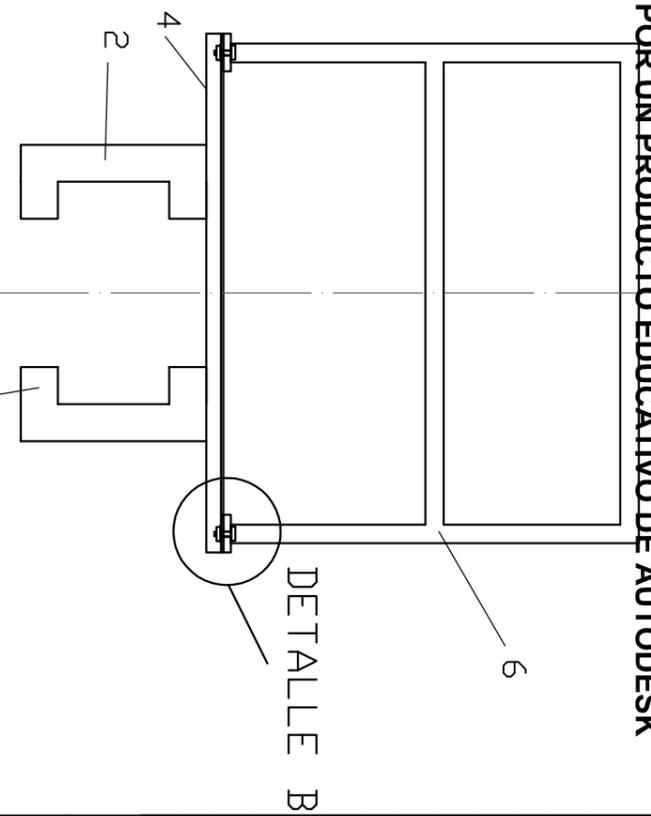
23/10/12

Nº HOJAS

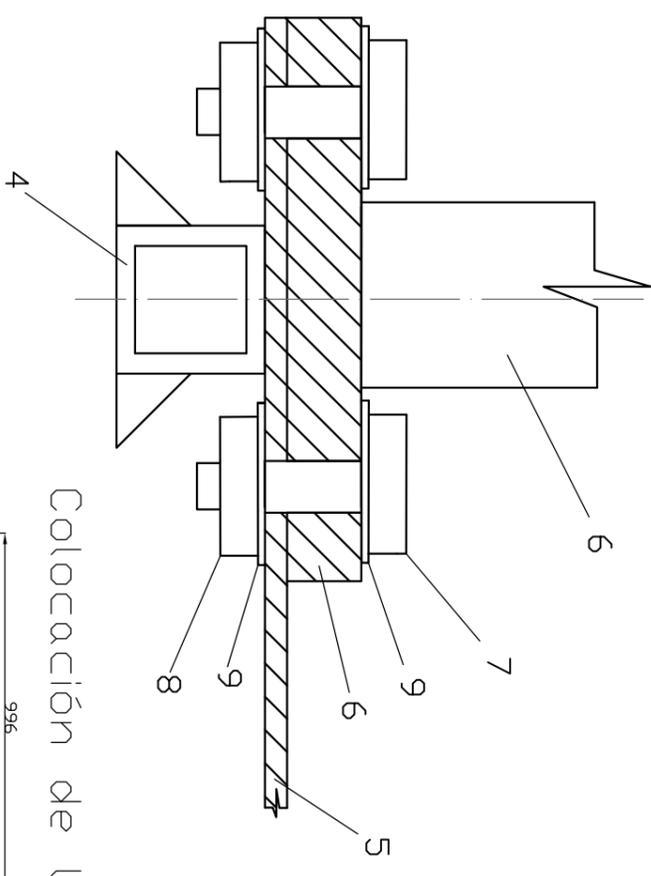
1



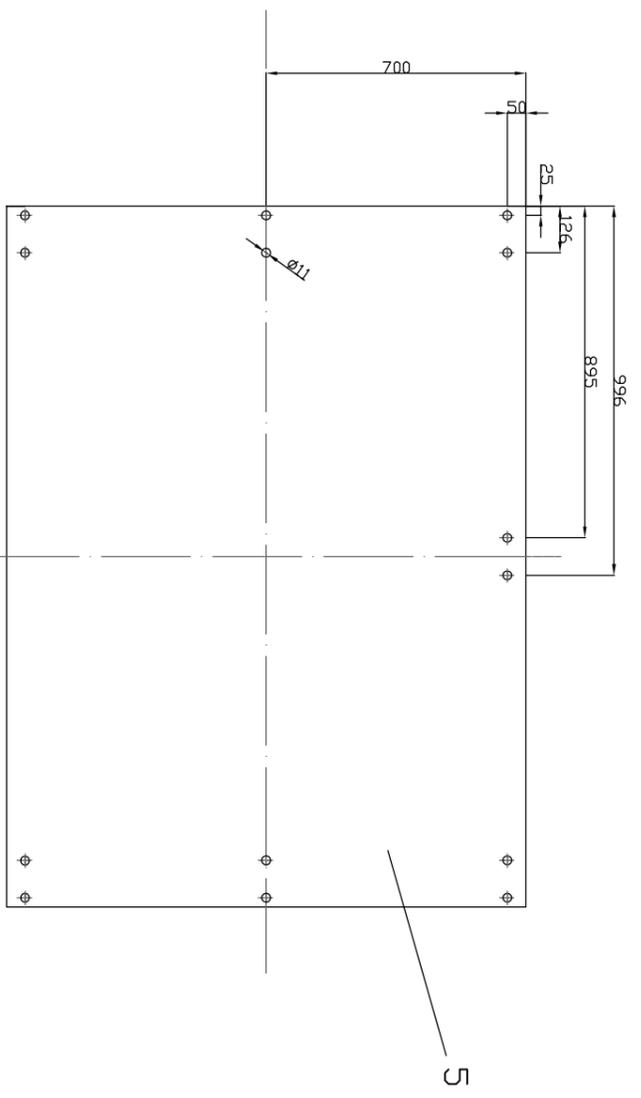
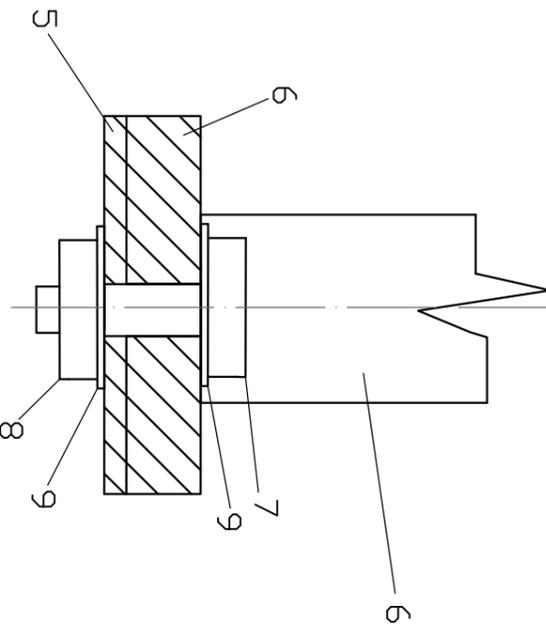
DETALLE A



DETALLE B



Colocación de los orificios en la chapa



PLANDS RELACIONADOS

Nº	DESCRIPCION
PC1	Conjunto montacargas en isométrica
PF1	Fabricación Batidor
PC3	Detalle anclaje de los cables al bastidor
PC4	Detalle colocación rozaderas y paracaídas

NOTAS

LISTA DE PIEZAS

Nº	DESCRIPCION
1	Perfil 2xUPN100 (L=1980mm)
2	Perfil 2xUPN100 (L=500mm)
3	Perfil 2xUPN100 (L=250mm)
4	Perfil 40x40 (L=1400mm)
5	Chapa 1890x1400x6mm
6	Barandilla (Divetis) INPRS1
7	Tornillo M12x50mm
8	Tuerca M12
9	Arandela M12

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

PC-7

ESCALA

1:20

Colocación barandillas

SUSTITUYE AL PLANO

SUSTITUIDO POR

JOSÉ MANUEL VERA

FECHA

23/10/12

Nº HOJAS

1

Nº	DESCRIPCION
PC-1	Conjunto montacargas en isométrica
PF-2	Plano fabricación estructura

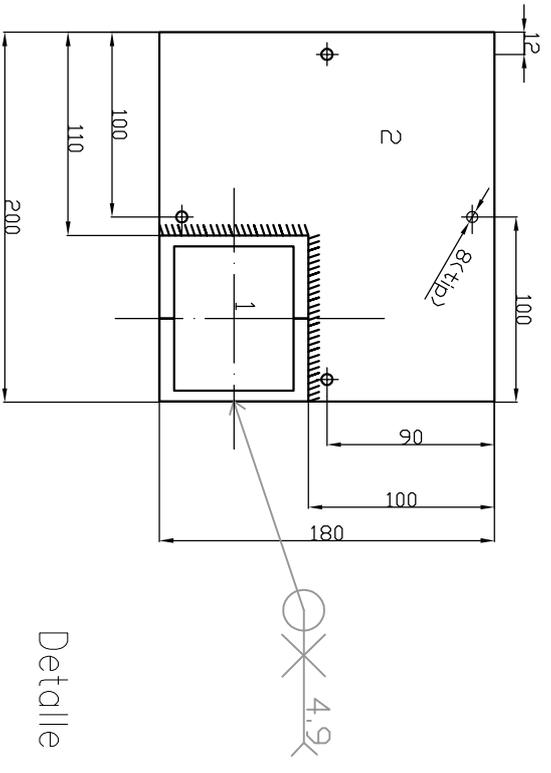
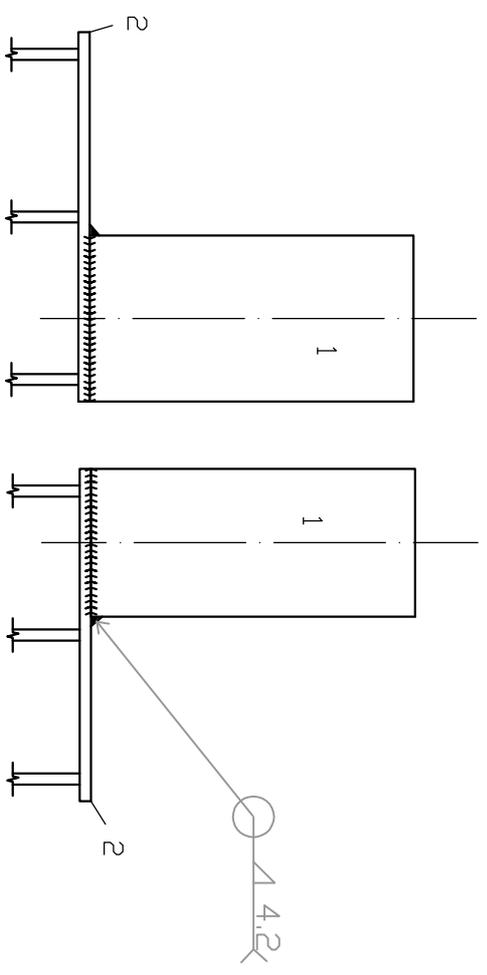
NOTAS

Dimensiones Placa = 200x180x6 mm ( S275 )  
 Pernos = 4ø6 mm, B 400 S, Ys = 1.15

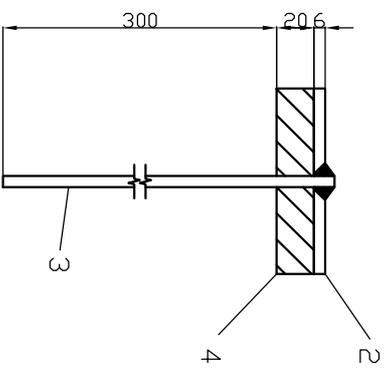
La placa de anclaje ha sido calculada descentrada ya que los pilares se encuentran pegados a la pared del foso

LISTA DE PIEZAS

Nº	DESCRIPCION	CANT.
1	Perfil ZUPN80 mm	1
2	Placa de anclaje	1
3	Perno	4
4	Horquilla de limpieza	1



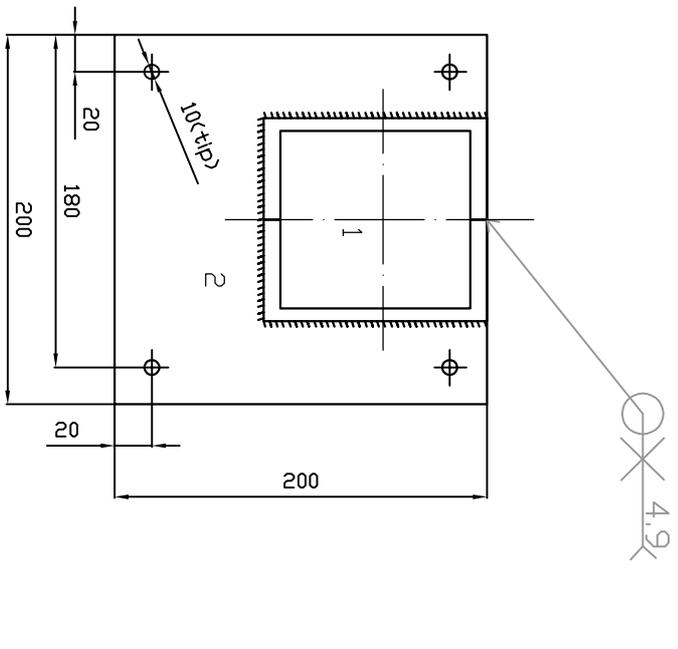
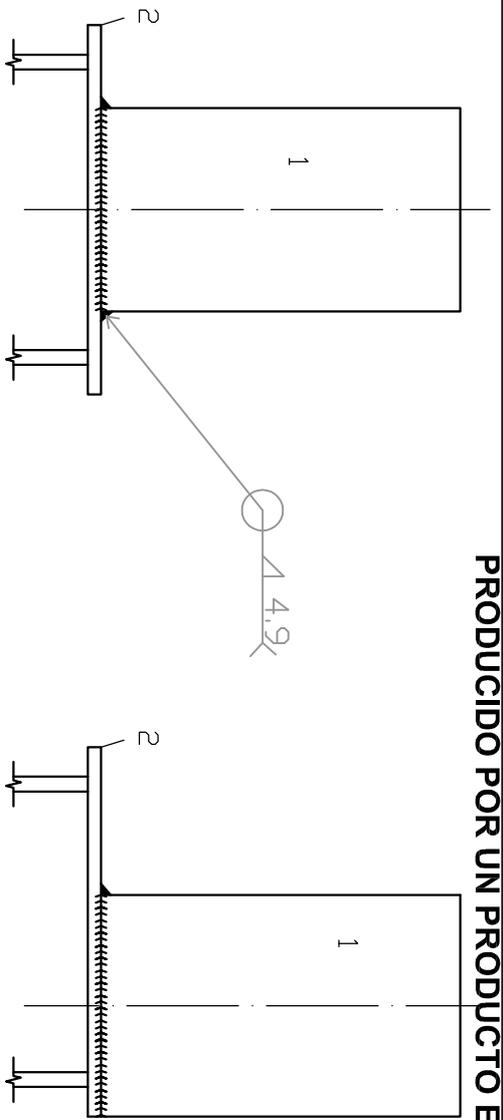
Detalle Anclaje Perno



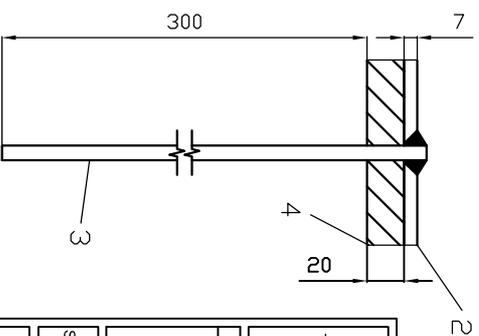
		PLANO Nº PC-9
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA		
ESCALA	DETALLE PLACA ANCALAJE 2	
1:10		
SUSTITUYE AL PLANO	SUSTITUIDO POR	JOSÉ MANUEL VERA

FECHA	23/10/12	Nº HOJAS	1
DETALLE PLACA ANCALAJE 2			

Nº	DESCRIPCION
PC-1	Conjunto montacargas en isométrica
PF-2	Plano fabricación estructura



Detalle Anclaje Perno



La placa de anclaje ha sido calculada descentrada ya que los pilares se encuentran pegados a la pared del foso

Dimensiones Placa = 200x200x7 mm ( S275 )  
 Pernos = 4ø8 mm, B 400 S, Ys = 1.15

LISTA DE PIEZAS

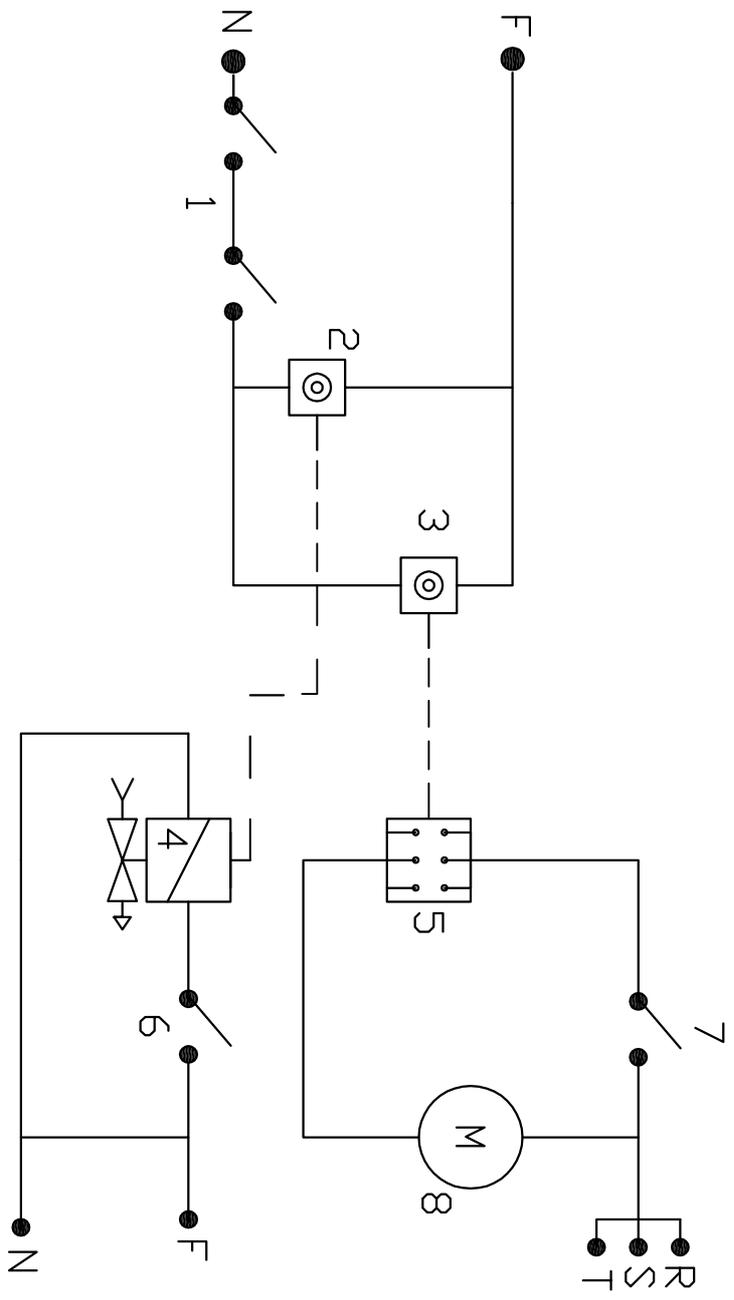
Nº	DESCRIPCION	CANT.
1	Perfil 2UPN120 mm	1
2	Placa de anclaje	1
3	Perno	4
4	Horribión de limpieza	1

	UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA	PLANO Nº PC-8
ESCALA 1:10	DETALLE PLACA ANCALAJE 1	

FECHA 23/10/12	Nº HOJAS 1	JOSÉ MANUEL VERA
SUSTITUYE AL PLANO	SUSTITUIDO POR	SUSTITUIDO POR

Nº	DESCRIPCION
PC-1	Plano conjunto montacargas en isométrica

NOTAS



LISTA DE PIEZAS

Nº	DESCRIPCION	CANT.
1	Detectores de posición puertas	1
2	Pulsador para bajar	1
3	Pulsador para subir	1
4	Válvula de alivio	1
5	Contacto	1
6	Final de carrera inferior	1
7	Final de carrera superior	1
8	Motor	1

		UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA		PLANO Nº	PC-10
ESCALA		-		ESQUEMA DE CONTROL	

SUSTITUYE AL PLANO	FECHA	Nº HOJAS	SUSTITUIDO POR	JOSÉ MANUEL VERA
	23/10/12	1		



# DOCUMENTO N°3: PLIEGO DE CONDICIONES

José Manuel Vera Zaragoza



# INDICE

## DOCUMENTO N°3: PLIEGO DE CONDICIONES

1. Generalidades.....	1
2. Normativa CE.....	2
3. Documentación técnica de referencia.....	3
4. Las partes.....	4
5. Normas de construcción.....	7
6. Condiciones generales de ejecución.....	8
7. Condiciones generales económicas.....	9
8. Interpretación de documentos y planos.....	13
9. Condiciones que deben satisfacer los materiales.....	14
10. Instalación eléctrica.....	18
11. Condiciones generales de uso.....	20
12. Condiciones generales de seguridad e higiene.....	21
13. Condición final.....	25



### **3. PLIEGO DE CONDICIONES.**

#### **1 GENERALIDADES.**

El pliego de condiciones, es el documento que marca las disposiciones legales de tipo general del proyecto, así como las condiciones técnicas de los materiales que incluye la máquina.

Se incluyen todos los condicionantes legales, las responsabilidades de cada una de las partes y las obligaciones de las mismas. Y dentro de las partes se incluye la propiedad, el fabricante, los proveedores y todos los participantes dentro del proyecto. Este apartado, es además del contrato o los contratos entre propiedad y fabricante, quien establece los términos legales frente a cualquier disputa, duda o requerimiento en todos los aspectos mencionados anteriormente y los que explícitamente se detallaran en los apartados que siguen a este punto.

Además se establecen las características que son de estricto cumplimiento para la aceptación de todos los materiales que integran la maquina en términos generales. Siempre teniendo presente que en ultimo termino las listas de materiales de cada uno de los conjuntos, y en particular cada uno de los planos, son los contratos legales para cada una de las piezas, estableciendo el material, el tratamiento, el recubrimiento y todos los condicionantes finales de aceptación de la pieza para otorgarle la funcionalidad y los requerimientos dentro de la maquina.



## 2 NORMATIVA CE.

Con la elaboración de la Directiva de Maquinas se pretende asegurar la seguridad y la salud de los trabajadores delante de riesgos derivados de la utilización de las maquinas.

La directiva de maquinas integra la seguridad en las fases de diseño y fabricación y en las fases de la instalación y mantenimiento. Esta directiva pero, tendrá que completarse en cada caso con las disposiciones legales específicas sobre prevención de riesgos laborales que puedan afectar a los trabajadores durante su trabajo.

Por conseguir una unificación de criterios se creó la Directiva de Maquinas (89/392/CEE) que en el transcurso de los años ha sido modificada en varias ocasiones (Directivas 91/368/CC ,93/4/CEE y 93/68/CE). La Directiva de Maquinas (98/37/CE) que pretende agrupar el contenido de las directivas sobre maquinas anteriores ha sido modificada por la 98/79/CE. Las directivas europeas son recomendaciones dirigidas a los estados miembros los cuales tienen un plazo determinado por incorporarlas a sus legislaciones nacionales. En este momento se dirigen a los ciudadanos y se convierten en documentos de obligado cumplimiento. La Directiva de Maquinas tiene por objetivo que cualquiera maquina nueva comercializada en el territorio de la unión europea tenga que traer el logotipo del marcaje CE, que implica:

- La seguridad de la maquina mediante el cumplimiento de los requisitos esenciales de seguridad citados en la directiva.
- La garantía de la libre circulación de la maquina dentro del mercado interior de la unión europea.
- Y que los estados miembros no podrán prohibir, restringir o impedir la puesta en el mercado y la instalación en su territorio de todas aquellas maquinas que cumplan con los requisitos marcados por la directiva. España ha incorporado la directiva 89/392/CEE y sus modificaciones al ordenamiento jurídico nacional mediante el Real Decreto 1435/1992 (BOE no 297. 11-12-1992) y el Real Decreto 56/1995 (BOE no33. 08-02-1995).



### 3. DOCUMENTACIÓN TÉCNICA DE REFERENCIA

El Contratista deberá atenerse en la ejecución de los trabajos a las condiciones especificadas en los capítulos de este Pliego de Condiciones, respecto a las condiciones que deben reunir los materiales, forma de ejecución de las obras e instalaciones, normativa de ensayos a que deberán someterse las obras realizadas y condiciones de recepción de las mismas, a no ser que existan especificaciones o mayores concreciones en el Proyecto.

En aquellos puntos no señalados explícitamente, deberá atenerse a las condiciones especificadas en los textos oficiales que se indican a continuación:

a) Generales

- Reglamento de Seguridad e Higiene en el trabajo en la Industria de la Metalurgia.

b) Construcción

- Normas UNE

c) Instalaciones

- Reglamento electrotécnico de Baja Tensión.
- Instrucciones MI BT complementarias al reglamento electrotécnico de Baja Tensión.
- Reglamento de actividades molestas, insalubres, nocivas y peligrosas.
- Normas de Seguridad para elementos de transmisión mecánica (ANSI/ASSME B15.1-1996).
- Normas armonizadas con la directiva de máquinas 2006/42/CE.



## **4. LAS PARTES.**

### **4.1. DELIMITACIÓN DE FUNCIONES TÉCNICAS Y CONTRACTUALES**

#### **4.1.1 Promotor:**

El Promotor es aquella persona física, jurídica, pública o privada que se propone ejecutar, dentro de los cauces legales establecidos, una obra arquitectónica o urbanística, de nueva planta o de conservación.

Podrá exigir de la Dirección Técnica que desarrolle sus iniciativas en forma técnicamente adecuada para la ejecución de la obra, dentro de las limitaciones legales existentes.

#### **4.1.2 Contratista:**

Se entiende por Constructor o Contratista a todo ente físico, jurídico, público o privado, que de acuerdo con la legislación vigente se ocupa de la realización material de las obras, o de una parte de ellas, tras la oportuna tramitación y adjudicación, de acuerdo con lo establecido en la legislación de Contratos del Estado.

#### **4.1.3 Director de obra.**

Se entiende por dirección de obra la función que el profesional desempeña controlando la fiel interpretación de los planos y de la documentación técnica que forma parte del proyecto y la revisión y extensión de los certificados correspondientes a pagos de la obra en ejecución, inclusive el ajuste final de los mismos (Art. 47 decreto-ley 7887/55).

#### **4.1.4 Agentes suministradores:**

Se consideran agentes suministradores de productos a los fabricantes, almacenistas, distribuidores, importadores o vendedores de productos destinados a la ejecución de este Proyecto. Son obligaciones del suministrador, de las que se hace responsable subsidiario el Contratista, las siguientes:

1. Realizar las entregas de acuerdo con las especificaciones del pedido, respondiendo del origen e identidad del mismo, así como del cumplimiento de las exigencias técnicas solicitadas.
2. Facilitar las fichas técnicas de uso y mantenimiento.

#### **4.1.5 Trabajadores:**

Todos los trabajadores que intervengan en las obras dependerán del Contratista adjudicatario y todos ellos estarán dados de alta en Seguridad Social, y responderán a las cualificaciones específicas requeridas para la ejecución de cada partida, debiendo de tener experiencia en el tipo de obras de conservación/restauración contenidas en este Proyecto.

#### **4.2 CONDICIONES GENERALES FACULTATIVAS.**

En este apartado se describen y regulan las relaciones en la contrata y la dirección facultativa para la instalación de la maquinaria y la adecuación de las distintas instalaciones.

##### **4.2.1. Funciones a desarrollar por el contratista**

4.2.1.1 Observar la normativa vigente en cuanto a seguridad e higiene en el trabajo y velar por su cumplimiento.

4.2.1.2 Asegurar la idoneidad de todos y cada uno de los elementos componentes del proyecto rechazando aquellos que no cuenten con las garantías exigidas.

4.2.1.3 Suscribir con el promotor las actas de recepción provisional y definitiva.

4.2.1.4 Conocer las leyes y verificar los documentos del proyecto.

4.2.1.5 El constructor recibirá solución a los problemas técnicos no previstos en el proyecto que se presenten en su ejecución.



#### **4.2.2. Funciones a desarrollar por el ingeniero director**

Es el máximo responsable de la ejecución del proyecto, decide sobre comienzo, ritmo y calidad de los trabajos. Velará por el cumplimiento de los mismos y por las condiciones de seguridad del personal.

Las funciones que corresponden al ingeniero director son:

4.2.2.1 Redactar los complementos o rectificaciones del proyecto que se precisen.

4.2.2.2 Asistir a los trabajos las veces necesarias.

4.2.2.3 Aprobar las certificaciones parciales del proyecto, la liquidación final y asesorar al promotor en el acto de la recepción.

4.2.2.4 Preparar la documentación final del proyecto, expedir y suscribir el certificado final de la misma.



## **5. NORMAS DE CONSTRUCCION.**

El proveedor se deberá asegurar que los materiales comerciales utilizados no se van a descatalogar o dejarse de fabricar durante los dos años siguientes a la entrega de la maquina, salvo que sean los sustitutos de estos materiales, equivalentes y que no requieran de una modificación sustancial de la maquina.

## **6. CONDICIONES GENERALES DE EJECUCIÓN.**

### **6.1 Condiciones generales de ejecución de los trabajos**

Los trabajos se ejecutarán con estricta sujeción al proyecto, a las modificaciones del mismo que hayan sido aprobadas y a las órdenes e instrucciones que entreguen por escrito bajo su responsabilidad el ingeniero o aparejador o ingeniero técnico.

### **6.2 Trabajos defectuosos**

Los constructores e instaladores deberán emplear materiales que cumplan las condiciones exigidas en las condiciones técnicas generales y particulares del pliego de condiciones y realizar los trabajos de acuerdo con lo especificado en el pliego. Hasta la recepción definitiva del laboratorio son los responsables de la ejecución y de los defectos derivados de una mala ejecución.

### **6.3 Materiales defectuosos**

El ingeniero dará orden a los contratistas de sustituir los materiales y aparatos defectuosos por otros que satisfagan las condiciones de calidad exigidas en el presente pliego de condiciones.

### **6.4 Pruebas y ensayos**

Los gastos ocasionados por pruebas y ensayos corren por cuenta de los contratistas, pudiéndose repetir aquellos que no ofrezcan las suficientes garantías.

### **6.5 Limpieza de las obras**

Es obligación del Constructor mantener limpias las obras y sus alrededores, tanto de escombros como de materiales sobrantes, hacer desaparecer las instalaciones provisionales que no sean necesarias, así como adoptar las medidas y ejecutar todos los trabajos que sean necesarios para que la obra ofrezca buen aspecto.



## **7. CONDICIONES GENERALES ECONÓMICAS**

En este apartado se describen y regulan las relaciones económicas entre la propiedad y la contrata, así como la dirección de control de la dirección facultativa.

Todos los intervinientes en el proceso de montaje tienen derecho a percibir puntualmente las cantidades devengadas por su correcta actuación con arreglo a las condiciones contractuales establecidas. La propiedad y los contratistas pueden exigirse recíprocamente las garantías adecuadas al cumplimiento puntual de sus obligaciones de pago.

### **7.1 Los precios**

Todos los precios unitarios a que se refiere las normas de medición y valoración de las obras contenidas en este Pliego de Condiciones se entenderá que incluyen siempre el suministro, manipulación y empleo de todos los materiales necesarios para la ejecución de las unidades de obra correspondientes, a menos que explícitamente se excluyan algunos de ellos.

Asimismo se entenderá que todos los precios unitarios comprenden los gastos de maquinaria, mano de obra, elementos, accesorios, transportes, herramientas, gastos generales y toda clase de operaciones, directas o incidentales, necesarias para dejar las unidades de obra terminadas con arreglo a las condiciones especificadas en los artículos de este Pliego de Condiciones.

También queda incluida en el precio la parte proporcional para la realización de ensayos acreditativos de las calidades previstas.

Si existiera alguna excepción a esta norma general deberá estar explícitamente indicada en el Contrato de Adjudicación.

La descripción de las operaciones y materiales necesarios para ejecutar las unidades de obra que figuran en el Pliego de Condiciones del Proyecto no es exhaustiva. Por lo tanto



cualquier operación o material no descrito o relacionado, pero necesario para ejecutar una unidad de obra, se considera siempre incluido en los precios.

Asimismo las descripciones que en algunas unidades de obra aparezcan de los materiales y operaciones que se incluyen en el precio, es puramente enunciativa y complementaria para la mejor comprensión del concepto que representa la unidad de obra.

El cálculo de los precios es el resultado de sumar los costes, los gastos generales y el beneficio industrial.

Los costes son:

- Mano de obra.
- Los materiales.
- Equipos y sistemas técnicos de seguridad e higiene.

Los gastos generales son:

- Gastos generales de empresa, gastos financieros, cargas fiscales, tasas de la administración. También se fija como un porcentaje, en este caso de la suma de costes directos e indirectos (en la administración pública es del 13 al 17 por 100).

El beneficio industrial:

- El beneficio del contratista se establece en un 6 por 100 sobre la suma de las anteriores partidas.



Precio de ejecución material:

- El resultado obtenido por la suma de las anteriores partidas exceptuando el beneficio industrial.

Precio de contrata:

- Es la suma de costes directos, indirectos, gastos generales y beneficio industrial. El IVA se aplica a este precio.

## **7.2 FORMAS VARIAS DE ABONO DE LAS OBRAS**

Según la modalidad elegida para la contratación de las obra y salvo que en el Pliego Particular de Condiciones Económicas se preceptúe obra cosa, el abono de los trabajos se efectuará así:

7.2.1 Tipo fijo o tanto alzado total. Se abonará la cifra previamente fijada como base de la adjudicación, disminuida en su caso en el importe de la baja efectuada por el adjudicatario.

7.2.2 Tipo o tanto alzado por unidad de obra, cuyo precio invariable se haya fijado de antemano, pudiendo variar solamente el número de unidades ejecutadas.

Previa medición y aplicando al total de las diversas unidades de obra ejecutadas, del precio invariable estipulado de antemano para cada una de ellas, se abonará al Contratista el importe de las comprendidas en los trabajos ejecutados y ultimados con arreglo y sujeción a los documentos que constituyen el Proyecto, los que servirán de base para la medición y valoración de las diversas unidades.

7.2.3 Tanto variable por unidad de obra, según las condiciones en que se realice y los materiales diversos empleados en su ejecución de acuerdo con las órdenes del Director. Se abonará al Contratista en idénticas condiciones al caso anterior.

7.2.4 Por listas de jornales y recibos de materiales, autorizados en la forma que el presente "Pliego Generales de Condiciones económicas" determina.

7.25 Por horas de trabajo ejecutado en las condiciones determinadas en el contrato.

### **7.2 Precios contradictorios**

Se producirán precios contradictorios sólo cuando la Propiedad por medio de la Dirección Facultativa decida introducir unidades o cambios de calidad en alguno de las previstas, o cuando sea necesario afrontar alguna circunstancia imprevista.

El contratista estará obligado a efectuar los cambios.

A falta de acuerdo, el precio se resolverá contradictoriamente entre la Dirección Facultativa y el Contratista antes de comenzar la ejecución de los trabajos y en el plazo que determine el Pliego de Condiciones Particulares. Si subsiste la diferencia se acudirá, en primer lugar, al concepto más análogo dentro del cuadro de precios del Proyecto, y en segundo lugar al banco de precios de uso más frecuente en la localidad.

Los contradictorios que hubiere se referirán siempre a los precios unitarios de la fecha del contrato.

### **7.3 Reclamaciones de aumento de precios por causas diversas**

Si el contratista, antes de la firma del contrato, no hubiere hecho la reclamación u observación oportuna, no podrá bajo ningún pretexto de error u omisión reclamar aumento de los precios fijados en el cuadro correspondiente del presupuesto que sirva de base para la ejecución de las obras (con referencia a Facultativas).



## **8. INTERPRETACIÓN DE DOCUMENTOS Y PLANOS**

La interpretación técnica del proyecto corresponderá a al contratista.

El Contratista deberá ejecutar por su cuenta todos los dibujos y planos de detalle necesarios para facilitar y organizar la ejecución de los trabajos.

Dichos planos, acompañados con todas las justificaciones correspondientes, deberá someterlos a la aprobación de la entidad de la construcción, a medida que sea necesario, pero en todo caso con 8 días de antelación a la fecha en que piense ejecutar los trabajos a que dichos diseños se refieran.

La entidad de la obra dispondrá de un plazo de cinco días a partir de la recepción de dichos planos para examinarlos y devolverlos al Contratista debidamente aprobados o acompañados, si hubiera lugar a ello, de sus observaciones.

El Contratista será responsable de los retrasos que se produzcan en la ejecución de los trabajos como consecuencia de una entrega tardía de dichos planos, así como de las correcciones y complementos de estudio necesarios para su puesta a punto.



## **9. CONDICIONES QUE DEBEN SATISFACER LOS MATERIALES**

### **9.1 Calidad de los materiales**

Tanto los materiales como la ejecución de los trabajos, las unidades de obra y la propia instalación terminada tendrán la máxima calidad, y cumplirán las instrucciones del Director, y podrán ser sometidos en cualquier momento a los ensayos y pruebas que éste determine.

En los siguientes puntos se especifican las condiciones concretas que deberán reunir algunos materiales, desechándose los que a juicio de la Dirección Facultativa no las reúnan, sin que ello pueda dar lugar a reclamación alguna por parte del Contratista.

#### **9.1.1 Tornillería**

La tornillería empleada para la fijación de las piezas así como tuercas, será de acero con recubrimiento superficial según normas.

#### **9.1.2 Tratamiento de las piezas**

Los componentes que requieren de un tratamiento superficial serán los resortes y las guías que serán graneado y cepillado respectivamente. Para el tratamiento, se seguirá la norma UNE correspondiente

#### **9.1.3 Precisión**

Es imprescindible que la superficie de contacto entre las guías de las columnas y las rozaderas, tanto del bastidor como del porta-poleas, esté perfectamente mecanizada para evitar desalineaciones de los componentes que forman la instalación vertical.



## 9.4 Bastidor y estructura metálica

### 9.4.1 Perfiles y material

Se utilizarán perfiles normalizados para la construcción completa del bastidor y de la estructura metálica. Se procederá según planos.

El material de dichos perfiles es el A275, tal y como se describe en la memoria, y se acogerá a la norma UNE-EN 10020:2001 debiéndose cumplir exactamente las prescripciones sobre composición química y características mecánicas estipuladas en dicha norma.

### 9.4.2 Soldadura

El calculista presentará, a petición del Ingeniero Director de la obra, la marca y clase de los electrodos a emplear en la ejecución de las soldaduras.

El contratista queda obligado a almacenar los electrodos recibidos en condiciones tales que no puedan perjudicar las características del material de aportación.

En la ejecución de las uniones soldadas se tendrán muy presentes las siguientes prescripciones:

- a) Los empalmes se verificarán siempre antes que las uniones de los perfiles simples entre sí para constituir el perfil compuesto.
- b) Las uniones de perfiles simples para constituir las barras se realizarán antes que las uniones de nudos.
- c) Se dejará la máxima libertad posible a los movimientos de retracción de la soldadura; y por tanto se procederá en todas las uniones desde el centro hacia los bordes de la barra o desde el centro hacia los extremos de las vigas.

- d) A fin de evitar en lo posible las deformaciones residuales se conservará la mayor simetría posible en el conjunto de las soldaduras efectuadas. Ello obliga también a llevar la soldadura desde el centro hacia los bordes; pero simultanea o alternativamente por un lado y otro de la barra, disponiendo para ello de los elementos auxiliares de volteo que sean necesarios.
- e) Se evitará la excesiva acumulación de calor en las zonas localizadas del bastidor y la estructura. Para ello se espaciará suficientemente el depósito de los cordones sucesivos y se adoptarán las secuencias convenientes a la disipación del calor.
- f) Antes de comenzar la soldadura se limpiarán los bordes de las piezas a unir con cepillo de alambre o con cualquier otro procedimiento, eliminando cuidadosamente todo rastro de grasa, pintura o suciedad.
- g) Se ha de depositar un cordón sobre otro previamente ejecutado, se cuidará de eliminar completamente la escoria del primero mediante un ligero martilleado con la piqueta y el cepillo de alambre.
- h) No se efectuarán nunca soldaduras con temperaturas inferiores a cero grados centígrados ( $0^{\circ}\text{C}$ ).
- i) Antes de pintar se eliminará la última capa de escoria. La superficie vista de la soldadura presentará siempre un terminado regular, acusando una perfecta fusión del metal y una perfecta regulación de la corriente eléctrica empleada, sin poros, mordeduras, oquedades, ni rastros de escoria.

### 9.4.3 Montaje

El montaje tanto del bastidor como de la estructura se regirá de acuerdo con la normativa CTE vigente: Cálculo y ejecución de estructura metálica y Montaje de estructuras metálicas y uniones.



El contratista podrá organizar los trabajos en la forma que estime conveniente, pero tendrá la obligación de presentar, por anticipado, al Ingeniero Director de la obra un programa detallado de los mismos, en el que justifique el cumplimiento de los plazos previstos.

Podrá preparar en su propio taller todas las barras o partes del bastidor y de la estructura que sean susceptibles de un fácil transporte, dando en este caso las máximas facilidades para que, dentro de su factoría se pueda realizar la labor de inspección que compete al Ingeniero Director. Todas las operaciones de enderezado de perfiles o chapas ser realizarán en frío.

Los cortes y preparación de bordes para la soldadura podrán realizarse con soplete oxi-acetilénico, con sierra o con herramienta neumática, pero nunca con sierra citrozadora.

Deberán eliminarse siempre las rebabas, tanto las de laminación como las originadas por las operaciones de corte.

Serán rechazadas todas las barras o perfiles que presenten en su superficie ondulaciones, fisuras o defectos de borde que, a juicio del Ingeniero Director puedan causar un efecto apreciable de entalle.

### **9.5. Colocación de elementos y piezas**

Para la correcta instalación del montacargas, todos los elementos y piezas que lo constituyen tienen una posición determinada, la cual queda definida en los planos.



## 10. INSTALACIÓN ELÉCTRICA

### 10.1 Objeto.

El objeto del presente capítulo es el de definir las condiciones de la Instalación Eléctrica en sus equipos, materiales y modo de ejecución, completándose las especificaciones aquí señaladas con las establecidas en los demás documentos de este Proyecto, con el doble fin de obtener un adecuado suministro energético y de proteger y dar seguridad a la instalación.

### 10.2 Normativa de aplicación

a) Son de obligado cumplimiento las siguientes Normas e Instrucciones Técnicas

Complementarias:

- Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión.
- Norma Básica de la Edificación IEI sobre Instalaciones Eléctricas de Alumbrado Interior.
- Norma Básica de la Edificación IEE sobre Instalaciones Eléctricas de Alumbrado Exterior.

b) La instalación eléctrica será realizada por empresa instaladora que esté en posesión del Documento de Calificación Empresarial, actualizado y vigente.

### 10.3 Materiales

a) Cables:

Con cubierta y aislamiento de policloruro de vinilo y conductor de cobre, o sus equivalentes en sección mejorada de aluminio, empotrados en líneas independientes de uso distinto bajo tubos flexibles de PVC.

Las secciones serán las indicadas en los planos.

b) Cajas de empalme y derivación:

De PVC, empotradas en los muros con grado de protección IP54.

c) Mecanismos

De las características y tipos indicados en la Medición del Proyecto.



### **10.5 Características de la ejecución**

- a) Todas las redes serán empotradas, con cajas de registro en los empalmes y cambio de dirección; en cada tramo, el cableado será continuo, sin uniones o empalmes dentro de los tubos empotrados.
- b) Estarán instalados correctamente todos los mecanismos de seguridad frente a fugas y contactos indirectos, cuyas protecciones se efectuarán con un diferencial individualizado por circuito más un diferencial magnetotérmico general con sensibilidad de 30mA.



## 11. CONDICIONES GENERALES DE USO

El montacargas ha sido diseñado según la normativa EN 81-31 sólo para el transporte de carga y no de personas.

A su vez deberá respetarse la carga máxima para la que ha sido diseñado, siendo ésta de 3000 kg.



## **12. CONDICIONES GENERALES DE SEGURIDAD E HIGIENE.**

### **12.1 Normas armonizadas europeas**

- EN 292-2. Conceptos básicos, principios generales para el diseño.
- EN 1050. Evaluación de riesgos.
- EN 292-1. Conceptos básicos, principios generales para el diseño.
- EN 60204-1. Equipo eléctrico de las máquinas.
- EN 418. Equipo de parada de emergencia, aspectos funcionales.
- EN 954. Partes de los sistemas de mando relacionados con la seguridad.
- EN 1037. Prevención de una puesta en marcha intempestiva.
- EN 294. Distancias de seguridad para impedir que se alcancen zonas peligrosas con los miembros superiores.
- EN 811. Distancias de seguridad para impedir que se alcancen zonas peligrosas con los miembros inferiores.
- EN 349. Distancias mínimas para evitar el aplastamiento de partes del cuerpo humano.
- EN 953. Principios generales para el diseño y construcción de resguardos tanto fijos como móviles.
- EN 457. Señales audibles de peligro.
- EN 983. Requisitos de Seguridad para las transmisiones neumáticas.



## 12.2 Índice de legislación sobre seguridad en máquinas

- DIRECTIVA 2006/42/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO  
de 17 de mayo de 2006

## 12.3 Señalización y precauciones

Durante la ejecución de los trabajos, el Contratista colocará señalización o vallas para advertir del peligro de la maquinaria y manipulación, durante la construcción de la máquina y las instalaciones.

Queda prohibida la fijación de anuncios en las vallas o cercas de precaución que instale el Contratista con motivo de la ejecución de las obras objeto de esta Contrata.

No se considerará anuncio, el nombre o anagrama de la empresa Contratista, que obligatoriamente debe figurar en las vallas.

## 12.4 Puesta en marcha del montacargas

La puesta en funcionamiento se efectuará de acuerdo con lo previsto en el Real Decreto 2135/1981, no precisando otro requisito que la presentación ante el Órgano Territorial competente de la Administración Pública de un certificado expedido por técnico competente, en el que se ponga de manifiesto la adaptación de la obra al proyecto y cumplimiento de las condiciones técnicas y prescripciones establecidas por este Reglamento y sus ITC.

La puesta en marcha de la máquina sólo será posible cuando estén garantizadas las condiciones de seguridad para las personas y para la propia máquina, con las siguientes inspecciones:

Dispositivos de seguridad tanto mecánicos como eléctricos.

Elementos de suspensión y sus amarres.

Interruptores de final de carrera.

Amortiguadores de acumulación de energía.

Presión en el equipo hidráulico a plena carga.

Si una máquina se para aunque sea momentáneamente por un fallo en su alimentación de energía, y su puesta en marcha inesperada pueda suponer peligro, no podrá ponerse en marcha automáticamente al ser restablecida la alimentación de energía.

Si la parada de una máquina se produce por la actuación de un sistema de protección, la nueva puesta en marcha sólo será posible después de restablecidas las condiciones de seguridad y previo accionamiento del órgano que ordena la puesta en marcha.

No se realizará la puesta en marcha de la máquina si no se aprueba su montaje mediante una inspección a cargo de las entidades competentes.

Primero deberán comprobarse la correcta colocación de los anclajes, uniones y soldaduras. A continuación se procederá a la supervisión de todos los elementos de tracción del montacargas.

Además, deberán estar colocados todos los elementos de protección de partes móviles.

Finalmente, se comprobará de forma manual que funcionan todos los sistemas de seguridad instalados.

### **12.5. Desconexión del montacargas**

En toda máquina debe existir un dispositivo manual que permita al final de su utilización su puesta en condiciones de la mayor seguridad (máquina parada).

Este dispositivo debe asegurar en una sola maniobra la interrupción de todas las funciones de la máquina, salvo que la anulación de alguna de ellas pueda dar lugar a peligro para las personas, o daños a la máquina. En este caso, tal función podrá ser mantenida o bien diferida su desconexión hasta que no exista peligro.



## 12.6 Parada de emergencia

Como toda máquina que pueda necesitar ser parada lo más rápidamente posible, con el fin de evitar o minimizar los posibles daños, el montacargas deberá estar dotado de un sistema de paro de emergencia.

En todo caso, la parada de emergencia no supondrá nuevos riesgos para las personas.

## 12.7 Mantenimiento, ajuste o regulación.

Se realizarán inspecciones periódicas cuyos ensayos no deberían ser más rigurosos que los que se requieren antes de la puesta en servicio del montacargas por primera vez.

A su vez estos ensayos no deberán provocar un desgaste excesivo ni imponer esfuerzos susceptibles de reducir la seguridad del montacargas.

Dichas pruebas deberán llevarse a cabo con la cabina vacía y a velocidad reducida y ser registradas debidamente en el informe de la inspección.

Se realizarán ensayos complementarios tras una modificación importante en el uso del montacargas o tras un accidente. Consideramos modificaciones importantes:

Cambio de velocidad, carga nominal, masa de transporte de carga o modificación del recorrido del montacargas.

Sustitución de cualquier dispositivo de seguridad, tipo de guías, poleas, pistón



### 13. CONDICIÓN FINAL

Los documentos redactados por el ingeniero que suscribe, así como el conjunto de normas y condiciones que figuran en este pliego de condiciones y las que de acuerdo con éste sean de aplicación del pliego de condiciones varias de la edificación, aprobado por el Consejo Superior de Ingenieros de España y adoptado por la Dirección General de Ingeniería, constituyen el contrato que determina y regula las obligaciones y derechos de las partes contratantes, las cuales se obligan a dirimir sus diferencias por amigables componedores y preferentemente el Ingeniero Director de obras o por los ingenieros designados a este efecto por la Delegación Provincial correspondiente al Colegio de Ingenieros.

El Ingeniero Técnico Industrial.  
José Manuel Vera Zaragoza

En, Murcia a 23 de Octubre de 2012.



# DOCUMENTO N°4: PRESUPUESTO

José Manuel Vera Zaragoza



## INDICE

### DOCUMENTO N°4: PRESUPUESTO

1. Estado de mediciones.....	1
2. Cuadro de precios.....	6
3. Presupuesto general.....	10
4. Resumen final del presupuesto.....	14

## 1. ESTADO DE MEDICIONES

### CAPITULO 1º: PERFILES METÁLICOS.

Nº	Descripción	Dimensiones (m)				Unidad	
		Nº Partes iguales	Largo	Ancho	Alto	Parcial (Kg/m)	Total (kg)
1.1	Perfil 2UPN-120 de acero A275 totalmente montado y colocado	2	7.5	-	-	26.8	402
1.2	Perfil 2UPN-80 de acero A275 totalmente montado y colocado	4	7.5	-	-	26.8	518.4
1.3	Perfil 2 50x25 de acero A275 totalmente montado y colocado	10	1.6	-	-	7.72	123.5
1.4	Perfil 2 50x25 de acero A275 totalmente montado y colocado	10	2.3	-	-	7.72	177.5
1.5	Perfil 2 50x25 de acero A275 totalmente montado y colocado	6	2.56	-	-	7.72	118.6
1.6	Perfil 2 50x25 de acero A275 totalmente montado y colocado	2	2.56	-	-	21.2	39.53
1.7	Perfil 2 UPN100 de acero A275 totalmente montado y colocado	2	1.98	-	-	21.2	89.95
1.8	Perfil 2 UPN100 de acero A275 totalmente montado y colocado	2	0.5	-	-	21.2	21.2

Nº	Descripción	Dimensiones (m)				Unidad	
		Nº Partes iguales	Largo	Ancho	Alto	Parcial (Kg/m)	Total (kg)
1.9	Perfil 2 UPN100 de acero A275 totalmente montado y colocado	2	0.25	-	-	21.2	7.72
1.10	Perfil 2 40x20 de acero A275 totalmente montado y colocado	7	1.4	-	-	5.74	56.25
1.11	Perfil 2 65x42 de acero A275 totalmente montado y colocado	2	1.209	-	-	14.2	34.33
1.12	Perfil 2 50x50 de acero A275 totalmente montado y colocado	2	0.146	-	-	7.72	2.25
1.13	Perfil 2 50x50 de acero A275 totalmente montado y colocado	2	0.553	-	-	7.72	8.53
1.14	Perfil L80x80x10 de acero A275 totalmente montado y colocado	2	0.878	-	-	11.9	20.9
1.15	Perfil L50x50x40 de acero A275 totalmente montado y colocado	2	0.040	-	-	3.06	0.25
1.16	Perfil macizo 60x40x60 de acero A275 totalmente montado y colocado	1	0.06	-	-	28	1.68
1.17	Perfil T 114/B	2	7.5	-	-	19.2	288

## CAPITULO 2: TORNILLERÍA

Nº	Descripción	Unidad	Nº Partes iguales
2.1	Tornillo cabeza hexagonal	Unidad	108
2.2	Cáncamo para anclaje de cables	Unidad	4
2.3	Casquillo rigidizador 83x8.5	Unidad	2
2.4	Casquillo rigidizador 102x9	Unidad	64
2.5	Tuerca cabeza hexagonal	Unidad	100
2.6	Arandela plana	Unidad	208



## CAPITULO 3. ELEMENTOS SELECCIONADOS DE CATALOGO

N°	Descripción	Dimensiones (m)				Unidad	
		N° Partes iguales	Largo	Ancho	Alto		
3.1	Cilindro-Pistón (Hidraulica Ferrer) Serie S5	1	-	-	-	Unidad	
3.2	Equipo hidráulico Diprax IDP	1	-	-	-	Unidad	
3.3	Polea HRSY HQG 4-2.5	2	-	-	-	Unidad	
3.4	Rozaderas Macla Portapoleas	2	-	-	-	Unidad	
3.5	Rozaderas Macla Bastidor (Con soporte)	2	-	-	-	Unidad	
3.6	Barandilla Divetis INPR51	1	4.6	-	-	Parcial	Total
						4.6 m	4.6 m
3.7	Cables Prodinsia 6.4 mm	8	8	-	-	8 m	64 m
3.8	Chapa de acero corrugada Hierros Hernández	1	1.8	1.4	0.006	51 kg/m <sup>2</sup>	128.5 kg
3.9	Chapa perforada RM Permesa	2	1.8	6.5	0.004	3.53 kg/m <sup>2</sup>	82.6 kg
3.10	Chapa perforada RM Permesa	2	2.5	6.5	0.004	3.53 kg/m <sup>2</sup>	114.7 kg
3.10	Chapa perforada RM Permesa	1	2.5	1.8	0.004	3.53 kg/m <sup>2</sup>	15.9 kg

## CAPITULO 4. ELEMENTOS A FABRICAR.

Nº	Descripción	Nº Partes iguales	Unidad
4.1	Resorte de compresión	2	Unidad
4.2	Grapa de teflón	3	Unidad

## CAPITULO 5. ELEMENTOS DEL ESQUEMA DE CONTROL

Nº	Descripción	Nº Partes iguales	Unidad
5.1	Contactor Rockwel Automation	1	Unidad
5.2	Pulsador Rockwel Automation	2	Unidad
5.3	Detector de posición Montacargas Allen Bradley	2	Unidad
5.4	Detector de posición Puertas Allen Bradley	2	Unidad

## 2. CUADRO DE PRECIOS

### CAPITULO 1º: PERFILES METÁLICOS.

Nº	Descripción	Unidad	Coste (€/kg)
1.1	Perfil 2UPN-120 de acero A275 totalmente montado y colocado	kg	1.80
1.2	Perfil 2UPN-80 de acero A275 totalmente montado y colocado	kg	1.80
1.3 1.4 1.5 1.6 1.12 1.13	Perfil 2 50x25 de acero A275 totalmente montado y colocado	kg	1.80
1.7 1.8 1.9	Perfil 2 UPN100 de acero A275 totalmente montado y colocado	kg	1.80
1.10	Perfil 2 40x20 de acero A275 totalmente montado y colocado	kg	1.80
1.11	Perfil 2 65x42 de acero A275 totalmente montado y colocado	kg	1.80
1.14	Perfil L80x80x10 de acero A275 totalmente montado y colocado	kg	1.80
1.15	Perfil L50x50x40 de acero A275 totalmente montado y colocado	kg	1.80
1.16	Perfil macizo 60x40x60 de acero A275 totalmente montado y colocado	kg	1.80
1.17	Perfil T 114/B	kg	1.80



## CAPITULO 2: TORNILLERÍA

Nº	Descripción	Unidad	Coste (€/Ud)
2.1	Tornillo cabeza hexagonal	Unidad	0.50
2.2	Cáncamo para anclaje de cables	Unidad	0.80
2.3	Casquillo rigidizador 83x8.5	Unidad	0.90
2.4	Casquillo rigidizador 102x9	Unidad	0.90
2.5	Tuerca cabeza hexagonal	Unidad	0.70
2.6	Arandela plana	Unidad	0.80

## CAPITULO 3. ELEMENTOS SELECCIONADOS DE CATALOGO

Nº	Descripción	Unidad	Coste (€/Ud)
3.1	Cilindro-Pistón (Hidraulica Ferrer) Serie S5	Unidad	1900.00
3.2	Equipo hidráulico Diprax IDP	Unidad	1800.00
3.3	Polea HRSY HQG 4-2.5	Unidad	70.00
3.4	Rozaderas Macla Portapoleas	Unidad	25.00
3.5	Rozaderas Macla Bastidor (Con soporte)	Unidad	65.00
3.6	Barandilla Divetis INPR51	Unidad	60.00
3.7	Cables Prodinsia 6.4 mm	m	170.00
3.8	Chapa de acero corrugada Hierros Hernández	kg	1.22
3.8	Chapa perforada RM Permesa	kg	1.80
3.9 3.10 3.11	Chapa de acero corrugada Hierros Hernández	kg	1.22

## CAPITULO 4. ELEMENTOS A FABRICAR.

Nº	Descripción	Unidad	Coste (€/Ud)
4.1	Resorte de compresión	Unidad	40.00
4.2	Grapa de teflón	Unidad	1.00

## CAPITULO 5. ELEMENTOS DEL ESQUEMA DE CONTROL

Nº	Descripción	Unidad	Coste (€/Ud)
5.1	Contactador Rockwel Automation	Unidad	50.00
5.2	Pulsador Rockwel Automation	Unidad	12.00
5.3	Detector de posición Montacargas Allen Bradley	Unidad	30.00
5.4	Detector de posición Puertas Allen Bradley	Unidad	30.00

### 3. PRESUPUESTO GENERAL

#### CAPITULO 1º: PERFILES METÁLICOS.

Nº	Descripción	Unidad Total (kg)	Coste	
			Parcial (€/Kg)	Total (€)
1.1	Perfil 2UPN-120 de acero A275 totalmente montado y colocado	402	1.80	723.60
1.2	Perfil 2UPN-80 de acero A275 totalmente montado y colocado	518.4	1.80	933.00
1.3 1.4 1.5 1.6 1.12 1.13	Perfil 2 50x25 de acero A275 totalmente montado y colocado	469.9	1.80	845.90
1.7 1.8 1.9	Perfil 2 UPN100 de acero A275 totalmente montado y colocado	118.87	1.80	213.95
1.10	Perfil 2 40x20 de acero A275 totalmente montado y colocado	56.25	1.80	101.2
1.11	Perfil 2 65x42 de acero A275 totalmente montado y colocado	34.33	1.80	61.80
1.14	Perfil L80x80x10 de acero A275 totalmente montado y colocado	20.9	1.80	37.60
1.15	Perfil L50x50x40 de acero A275 totalmente montado y colocado	0.25	1.80	0.45
1.16	Perfil macizo 60x40x60 de acero A275 totalmente montado y colocado	1.68	1.80	3.02
1.17	Perfil T 114/B	288	1.80	518.40
<b>TOTAL CAPITULO 1 = 3452.50 €</b>				

## APITULO 2: TORNILLERÍA

Nº	Descripción	Unidades	Coste	
			Parcial (€/Ud)	Total (€)
2.1	Tornillo cabeza hexagonal	108	0.50	54.00
2.2	Cáncamo para anclaje de cables	4	0.80	3.20
2.3	Casquillo rigidizador 83x8.5	2	0.90	1.80
2.4	Casquillo rigidizador 102x9	64	0.90	57.60
2.5	Tuerca cabeza hexagonal	100	0.70	70.00
2.6	Arandela plana	208	0.80	166.40
TOTAL CAPITULO 2 = 353.00 €				

CAPITULO 3. ELEMENTOS SELECCIONADOS DE CATALOGO

Nº	Descripción	Unidad Total	Coste	
			Parcial (€/Ud)	Total (€)
3.1	Cilindro-Pistón (Hidraulica Ferrer) Serie S5	1 Ud	4000.00	4000.00
3.2	Equipo hidráulico Diprax IDP	1 Ud	2400	2400.00
3.3	Polea HRSY HQG 4-2.5	1 Ud	70.00	140.00
3.4	Rozaderas Macla Portapoleas	1 Ud	25.00	50.00
3.5	Rozaderas Macla Bastidor (Con soporte)	1 Ud	65.00	130.00
3.6	Barandilla Divetis INPR51	4.6 m	60.00	276.00
3.7	Cables Prodinsia 6.4 mm	64 m	170.00	2720.00
3.8	Chapa de acero corrugada Hierros Hernández	128.5 kg	1.22	156.80
3.9	Chapa perforada RM Permesa	82.6 kg	1.80	148.70
3.10	Chapa perforada RM Permesa	114.7 kg	1.80	206.50
3.11	Chapa perforada RM Permesa	15.9 kg	1.80	28.62
<b>TOTAL CAPITULO 3 = 10256.62 €</b>				

## CAPITULO 4. ELEMENTOS A FABRICAR.

Nº	Descripción	Unidades	Coste	
			Parcial (€/m)	Total (€)
4.1	Resorte de compresión	2	40.00	80.00
4.2	Grapa de teflón	3	10.00	30.00
TOTAL CAPITULO 4 = 120.00 €				

## CAPITULO 5. ELEMENTOS DEL ESQUEMA DE CONTROL

Nº	Descripción	Unidades	Coste	
			Parcial (€/Ud)	Total (€)
5.1	Contactador Rockwel Automation	1	50.00	50.00
5.2	Pulsador Rockwel Automation	2	12.00	24.00
5.3	Detector de posición Montacargas Allen Bradley	2	30.00	60.00
5.4	Detector de posición Puertas Allen Bradley	2	30.00	60.00
TOTAL CAPITULO 5 = 194.00 €				



#### 4 RESUMEN FINAL PRESUPUESTO

TOTAL CAPÍTULO 1 = 3452.50 €

TOTAL CAPÍTULO 2 = 353.00 €

TOTAL CAPÍTULO 3 = 10256.62 €

TOTAL CAPÍTULO 4 = 120.00 €

TOTAL CAPÍTULO 5 = 194.00 €

Asciende el presupuesto de ejecución material del presente proyecto a la cantidad de (14376.12€), catorce mil trescientos setenta y seiseuros con doce céntimos.

-Presupuesto de ejecución material.....14376.12 €

- Beneficio industrial (6%).....862.57 €

Total = 15238.70 €

Asciende por tanto el presupuesto de ejecución por contrata del presente proyecto, a la cantidad de (15238.70 €), quince mil doscientos treinta y ocho euros con setenta céntimos.

El Ingeniero Técnico Industrial.

José Manuel Vera Zaragoza

En, Murcia a 23 de Octubre de 2012.