

**UNIVERSITAT  
JAUME·I**

**ESCUELA SUPERIOR DE TECNOLOGÍA Y CIENCIAS EXPERIMENTALES**

**GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA**

**Diseño y cálculo de la estructura de una grúa  
pórtico de 50 t de capacidad y 50 m de luz**

**AUTOR**

**David Martínez Ribes**

**DIRECTOR**

**David Hernández Figueirido**

**Castellón de la Plana, julio de 2016**



# ÍNDICE GENERAL

<i>DOCUMENTO I. MEMORIA DESCRIPTIVA</i>	<u>5</u>
<i>DOCUMENTO II. PLIEGO DE CONDICIONES</i>	<u>87</u>
<i>DOCUMENTO III. ESTADO DE MEDICIONES</i>	<u>133</u>
<i>DOCUMENTO IV. PRESUPUESTO</i>	<u>139</u>
<i>DOCUMENTO V. PLANOS</i>	<u>147</u>



# DOCUMENTO I

# MEMORIA DESCRIPTIVA



## ÍNDICE DE LA MEMORIA DESCRIPTIVA

<b>1</b>	<b>OBJETO Y ALCANCE</b>	<b>13</b>
1.1	Objeto	13
1.2	Alcance	13
<b>2</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>14</b>
2.1	Emplazamiento del proyecto	14
2.2	Grúa pórtico	15
2.2.1	Astilleros e industrias pesadas	16
2.2.2	Manutención de contenedores	16
2.2.3	Pórticos automotrices	16
2.2.4	Talleres	16
2.3	Componentes	17
2.3.1	Viga	17
2.3.2	Soportes	17
2.3.3	Carro	17
2.3.4	Polipasto	18
2.3.5	Mecanismo de traslación	18
2.4	Clasificación de las grúas pórtico	18
2.4.1	Según la constitución del pórtico	18
2.4.2	Según la traslacionalidad del pórtico	19
2.4.3	Según el sistema estructural del pórtico	19
2.4.4	Según la morfología de la viga	20
<b>3</b>	<b>NORMAS Y REFERENCIAS</b>	<b>22</b>
3.1	Normativa	22
3.2	Referencias bibliográficas	22
3.3	Programas de cálculo	24
<b>4</b>	<b>REQUISITOS DE DISEÑO</b>	<b>25</b>
4.1	Geometría de la grúa	25
4.1.1	Luz	25
4.1.2	Altura de elevación	25
4.1.3	Morfología	25
4.2	Cargas	25
4.2.1	Carga útil	25
4.2.2	Conjunto carro-polipasto	25
4.2.3	Carga de servicio	25
4.3	Velocidades de maniobra	26
4.3.1	Elevación de la carga	26

4.3.2 Traslación del pórtico	26
4.3.3 Traslación del carro	26
<b>4.4 Periodo de servicio</b>	<b>26</b>
<b>4.5 Aspectos técnico-económicos</b>	<b>26</b>
<b>5 ASPECTOS TECNOLÓGICOS</b>	<b>27</b>
5.1 Acero	27
5.2 Uniones	30
5.2.1 Uniones soldadas	30
5.2.2 Uniones atornilladas	30
<b>6 CLASIFICACIÓN DE LA GRÚA</b>	<b>32</b>
6.1 Clase de utilización	32
6.2 Estado de carga	33
6.3 Grupo de clasificación del aparato	33
<b>7 BASES DE CÁLCULO</b>	<b>34</b>
7.1 Estados Límite de Servicio	34
7.2 Estados Límite Últimos	34
<b>8 ACCIONES SOBRE LA ESTRUCTURA</b>	<b>35</b>
8.1 Solicitaciones principales	35
8.2 Solicitaciones debidas a los movimientos verticales	35
8.3 Solicitaciones debidas a los movimientos horizontales	36
8.3.1 Movimiento oblicuo	36
8.3.2 Fuerza de inercia de la carga	40
8.3.3 Efectos de choque	41
8.4 Solicitaciones debidas a los efectos climáticos	41
8.4.1 Acción del viento	41
8.4.2 Sobrecarga de nieve	45
8.4.3 Variaciones de temperatura	45
<b>9 COMBINACIONES DE ACCIONES</b>	<b>46</b>
9.1 Estados Límite Últimos	46
9.1.1 Caso I	46
9.1.2 Caso II	46
9.1.3 Caso III	46
9.2 Estados Límite de Servicio	47

<b>10 ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS</b>	<b>48</b>
<b>10.1 Descripción del modelo simplificado</b>	<b>48</b>
10.1.1 Geometría	48
10.1.2 Acciones	48
10.1.3 Combinación de acciones	50
<b>10.2 Opción 1. Perfil laminado IPE</b>	<b>51</b>
10.2.1 Descripción del modelo	51
10.2.2 Dimensionado/comprobación	52
<b>10.3 Opción 2. Perfil laminado HE</b>	<b>52</b>
10.3.1 Descripción del modelo	52
10.3.2 Dimensionado/comprobación	53
<b>10.4 Opción 3. Viga cajón armada</b>	<b>53</b>
10.4.1 Descripción del modelo	53
10.4.2 Dimensionado/comprobación	55
10.4.3 Cantidad de acero empleado	58
<b>10.5 Opción 4. Viga en celosía tridimensional con perfiles SHS</b>	<b>59</b>
10.5.1 Descripción del modelo	59
10.5.2 Dimensionado/comprobación	61
10.5.3 Cantidad de acero empleado	66
<b>10.6 Conclusiones del análisis</b>	<b>67</b>
<b>11 DISEÑO DE LA GRÚA COMPLETA</b>	<b>68</b>
<b>11.1 Descripción del modelo</b>	<b>68</b>
11.1.1 Consideraciones de diseño	68
11.1.2 Vigas	69
11.1.3 Soportes	69
11.1.4 Carro	70
<b>11.2 Cálculo de acciones</b>	<b>70</b>
11.2.1 Peso propio	70
11.2.2 Carga de servicio	70
11.2.3 Solicitaciones horizontales	71
11.2.4 Viento en servicio	74
<b>11.3 Hipótesis de cálculo</b>	<b>76</b>
11.3.1 ELS	76
11.3.2 ELU	76
<b>11.4 Dimensionado/comprobación</b>	<b>77</b>
<b>11.5 Conclusiones finales</b>	<b>82</b>
<b>ANEXO. DATOS ADICIONALES</b>	<b>83</b>
<b>A1. Esfuerzos dimensionantes</b>	<b>83</b>

**A2. Aprovechamiento de los perfiles \_\_\_\_\_ 84**

**A3. Reacciones de la estructura \_\_\_\_\_ 85**

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1. Fabricación de bloques de hormigón [22]	14
Figura 2-2. Emplazamiento del proyecto [11]	14
Figura 2-3. Movimientos principales de una grúa pórtico	15
Figura 2-4. Grúa Taisun [9]	16
Figura 2-5. Pórtico automotriz [12]	16
Figura 2-6. Componentes principales de una grúa pórtico [10]	17
Figura 2-7. Configuración empotrada – articulada [11]	18
Figura 2-8. Grúa pórtico en celosía [13]	20
Figura 5-1. Diagrama Fe-C [19]	27
Figura 5-2. Símbolos adicionales para los aceros de construcción [18]	29
Figura 5-3. Soldadura a tope	30
Figura 5-4. Uniones soldadas en ángulo	30
Figura 8-1. Valores de $\Psi$	36
Figura 8-2. Posiciones de los pares de ruedas	37
Figura 8-3. Fuerzas sobre el aparato durante el movimiento oblicuo	38
Figura 8-4. Coeficiente aerodinámico	43
Figura 8-5. Coeficiente de superficie neta	44
Figura 8-6. Coeficiente de separación	44
Figura 10-1. Viga con carga distribuida uniforme [17]	49
Figura 10-2. Viga con carga puntual centrada [17]	49
Figura 10-3. Dimensiones del perfil IPE	51
Figura 10-4. Dimensiones de la sección CAJÓN	54
Figura 10-5. Flecha de la viga con la sección CAJÓN 5	55
Figura 10-6. Geometría de la viga en celosía	60
Figura 10-7. Flecha del cordón superior de la viga en celosía	63
Figura 11-1. Modelo de la grúa pórtico en SAP2000	68
Figura 11-2. Esquema del carro-polipasto	70
Figura 11-3. Carga de servicio $S_L$	71
Figura 11-4. Carga de oblicuidad $S_{HO}$	71
Figura 11-5. Carga debida al movimiento del pórtico $S_{HP}$	72
Figura 11-6. Carga debida al movimiento del carro $S_{HC}$	73
Figura 11-7. Carga de viento en servicio	74
Figura 11-8. Flecha del cordón superior de la viga	78
Figura A-1. Tipos de barra	83
Figura A-2. Grado de aprovechamiento de los perfiles	84
Figura A-3. Nudos correspondientes a los apoyos de la estructura	85

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 6-1. Clase de utilización	32
Tabla 6-2. Estado de carga	33
Tabla 6-3. Grupo de clasificación del aparato	33
Tabla 8-1. Combinaciones de pares de ruedas	37
Tabla 8-2. Valores de $\xi$ y $v$	39
Tabla 8-3. Velocidad y presión del viento en servicio	42
Tabla 8-4. Coeficiente de forma	42
Tabla 8-5. Coeficiente de efecto pantalla	43
Tabla 8-6. Velocidad y presión del viento fuera de servicio	45
Tabla 9-1. Coeficiente de mayoración $\gamma_c$	46
Tabla 10-1. Esfuerzos dimensionantes en la viga cajón	56
Tabla 10-2. Secciones utilizadas en la viga en celosía	62
Tabla 10-3. Esfuerzos dimensionantes en la viga en celosía	63
Tabla 10-4. Peso de la viga en celosía por tipo de sección	66
Tabla 10-5. Comparativa de resultados del análisis	67
Tabla 11-1. Valores medios de aceleración y velocidad	73
Tabla 11-2. Cargas de viento por tipo de sección	75
Tabla 11-3. Coeficientes de mayoración de las acciones y número de combinaciones	77
Tabla A-1. Esfuerzos dimensionantes por tipo de elemento	84
Tabla A-2. Reacciones máximas en apoyos	85

# 1 OBJETO Y ALCANCE

## 1.1 Objeto

El objeto de este proyecto es el diseño estructural de una grúa pórtico de gran luz y carga media. Para llegar a él se seguirán los siguientes pasos:

- Adquisición de la información necesaria para el planteamiento del problema.
- Estudio y modelización simplificada de las diferentes alternativas estructurales existentes para la construcción de la grúa con la ayuda de un programa informático de análisis estructural.
- Elección de la opción más adecuada.
- Diseño final de la estructura de la grúa considerando la alternativa seleccionada.

## 1.2 Alcance

Este estudio se limitará al cálculo estructural de la grúa pórtico partiendo de los requisitos de diseño. No obstante, quedan fuera del ámbito de este proyecto:

- El cálculo de las uniones entre los diferentes elementos estructurales.
- El cálculo a fatiga de los elementos sometidos a cargas cíclicas.
- El análisis modal de la estructura.

Así mismo, tampoco se considerará el diseño de elementos electromecánicos como grupos reductores, motores o sistemas para la regulación y mando de la grúa.

## 2 INTRODUCCIÓN

### 2.1 Emplazamiento del proyecto

La grúa objeto de este proyecto ha sido encargada por PREFAHOR, empresa dedicada a la producción de elementos prefabricados de hormigón de grandes dimensiones, tales como pilas y tableros de puentes. La grúa se emplazará concretamente en la planta que PREFAHOR construirá próximamente en el Polígono Industrial Caseta Blanca de Vall d'Alba, localidad situada en la provincia de Castellón. En dicha planta se fabricarán en exclusiva bloques hexaédricos de hormigón armado de entre 20 y 40 toneladas para la formación de diques y escolleras (Figura 2-1).

La localización del solar (Figura 2-2) destinado a la construcción de la planta de PREFAHOR tiene unas medidas de 125 m por 230 m. Dentro del recinto, la grúa se situará a la intemperie en la campa de almacenaje para realizar tareas de manutención de las piezas acabadas. La superficie de acción de la grúa (rect. verde) será de 50 m por 100 m.



Figura 2-1. Fabricación de bloques de hormigón [22]



Figura 2-2. Emplazamiento del proyecto [11]

## 2.2 Grúa pórtico

La grúa pórtico es un tipo especial de grúa que eleva la carga mediante un polipasto instalado sobre una viga, que a su vez es sostenida mediante dos o más patas. Estas patas suelen estar fijadas al suelo mediante un mecanismo que permite la traslación de toda la estructura. Generalmente la grúa se desplaza sobre rieles a lo largo de la superficie a cubrir.

El funcionamiento de una grúa pórtico es similar al de un puente grúa con la diferencia de que en este último la viga apoya directamente sobre rieles elevados y anclados a la estructura portante del edificio donde se encuentra situado. Ambas configuraciones tienen un sistema montacargas similar que puede recorrer la viga completamente.

Con una grúa pórtico se puede cubrir un espacio volumétrico, ya que la carga se puede mover en las tres dimensiones. Los movimientos principales que una grúa pórtico es capaz de realizar son (Figura 2-3):

1. Movimiento vertical de elevación y descenso de la carga.
2. Movimiento horizontal de traslación del carro/polipasto a lo largo de la viga.
3. Movimiento horizontal de traslación de toda la estructura a lo largo del camino de rodadura del pórtico.

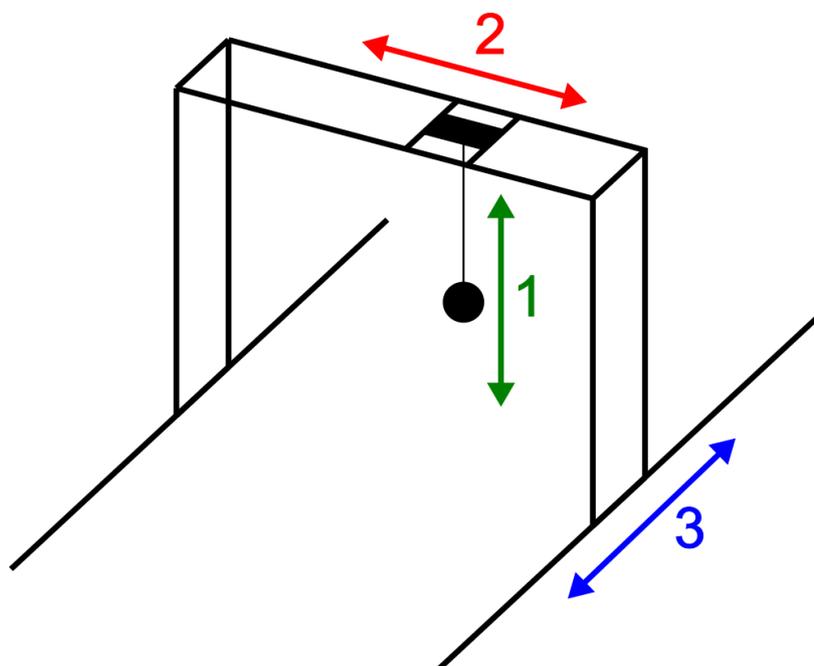


Figura 2-3. Movimientos principales de una grúa pórtico

Debido a su versatilidad, las grúas pórtico son ampliamente utilizadas en diversos sectores industriales para el manejo de cargas. El rango que pueden cubrir va desde unos centenares de kg hasta miles de toneladas. Algunos ejemplos de su aplicación son mostrados a continuación.

### 2.2.1 Astilleros e industrias pesadas

En estas industrias las cargas a mover son elevadas (secciones de buques, bogies de tren o elementos prefabricados de hormigón), oscilando entre 20 y 200 t y llegando a valores extremos de hasta 20.000 t, como es el caso de la grúa *Taisun*, situada en el astillero de Yantai, China.



Figura 2-4. Grúa *Taisun* [9]

### 2.2.2 Manutención de contenedores

Otra aplicación habitual de las grúas pórtico es el movimiento de contenedores en zonas portuarias. Las cargas máximas son del orden de 30 t.

### 2.2.3 Pórticos automotrices

En este caso la grúa tiene la particularidad de poder desplazarse en cualquier dirección de manera autónoma a través de ruedas neumáticas. Son muy utilizadas en el trasiego de contenedores y embarcaciones en zonas portuarias.



Figura 2-5. Pórtico automotriz [12]

### 2.2.4 Talleres

En talleres de reparación o fabricación mecánica se utilizan grúas pórtico de tamaño reducido para manipular máquinas o partes de éstas. Su capacidad puede variar entre 100 y 3000 kg. Suelen estar provistas de ruedas por lo que se pueden desplazar en cualquier dirección.

## 2.3 Componentes

En este apartado se describen brevemente los componentes principales que constituyen una grúa pórtico.

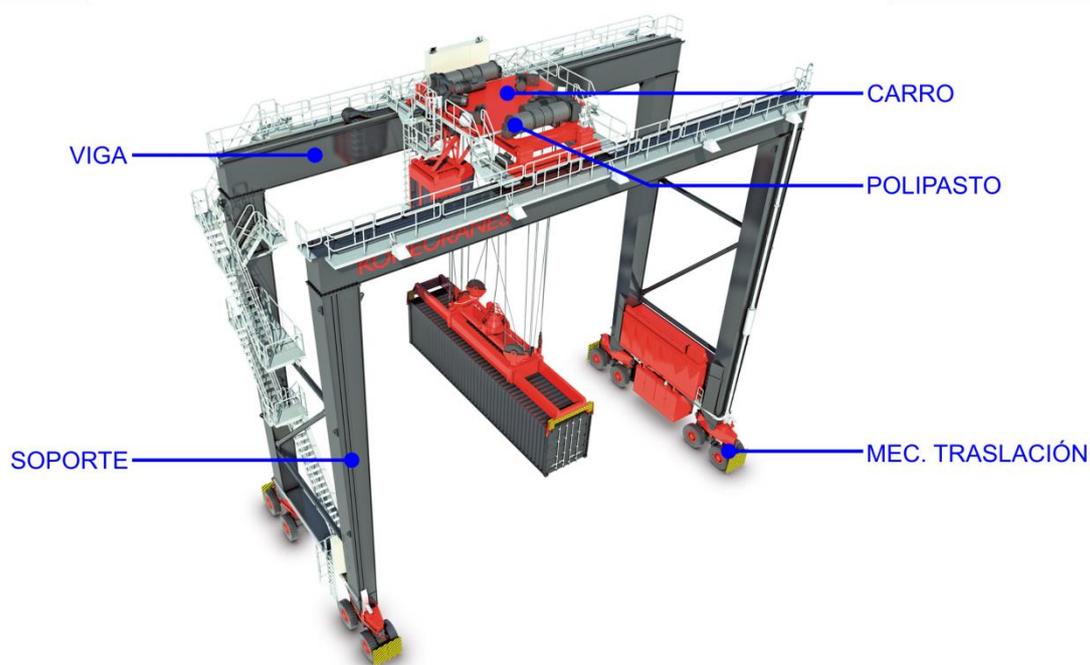


Figura 2-6. Componentes principales de una grúa pórtico [10]

### 2.3.1 Viga

Junto con los soportes, forma el sistema estructural básico de la grúa. Su misión es servir de plataforma para el movimiento del conjunto carro-polipasto así como soportar los esfuerzos que recibe de él. Además, puede alojar la cabina de mando, diversos sistemas electromecánicos o pasarelas de acceso para mantenimiento.

### 2.3.2 Soportes

Son los encargados de recibir la carga transmitida por la viga y canalizarla hasta el suelo. Además, al igual que la viga, pueden alojar la cabina de mando, sistemas electromecánicos y escaleras de acceso.

### 2.3.3 Carro

El carro sirve de soporte para el polipasto. Está provisto de un grupo electromecánico que le permite desplazarse a lo largo de la viga.

### 2.3.4 Polipasto

El polipasto es el mecanismo que permite el desplazamiento vertical de la carga aprovechando la ventaja mecánica producida por la actuación de al menos dos poleas. Los ramales pueden ser cadenas, cuando las cargas son ligeras, o cables de acero.

### 2.3.5 Mecanismo de traslación

La forma más habitual de traslación de las grúas pórtico es a través de raíles o de ruedas neumáticas. Por ello, los soportes apoyan en bogies o bastidores dotados de ruedas que son movidas por grupos electromecánicos.

## 2.4 Clasificación de las grúas pórtico

Para concluir la introducción, y con el fin de caracterizar con más profundidad las grúas pórtico, éstas se pueden clasificar según diferentes aspectos; algunos de ellos son comentados a continuación.

### 2.4.1 Según la constitución del pórtico

#### 2.4.1.1 Pórtico con un soporte articulado y el otro empotrado a la viga



Figura 2-7. Configuración empotrada – articulada [11]

La unión de la viga con cada uno de los dos soportes se realiza de manera diferente (Figura 2-7). En un soporte se ejecuta una unión articulada, sin transmisión de momentos entre ambos elementos.

En el soporte restante se materializa un empotramiento, de tal manera que se garantiza la transmisión de momentos.

Con esta disposición, la estructura es un mecanismo si atendemos a su constitución interna. No obstante, globalmente la estructura es isostática debido a que en la unión de los soportes con los rieles se obtienen sendos apoyos fijos.

La principal ventaja de esta configuración es que la sección necesaria para el soporte articulado es menor, ya que sólo trabaja bajo esfuerzo axial.

#### **2.4.1.2 Pórtico con ambos soportes empotrados a la viga**

En este caso la unión de ambos soportes con la viga se ejecuta como un empotramiento, obteniendo una estructura hiperestática de constitución (ver Figura 2-5).

La principal ventaja de esta configuración es que la flecha en la viga es menor respecto al sistema articulado-empotrado.

### **2.4.2 Según la traslacionalidad del pórtico**

#### **2.4.2.1 Pórtico fijo**

En este caso el pórtico no se desplaza de su posición, por lo que únicamente puede mover cargas a lo largo de su luz (ver Figura 2-4).

#### **2.4.2.2 Pórtico móvil**

Con esta disposición la grúa pórtico puede desplazarse para abarcar más superficie de trabajo. El desplazamiento puede ser unidireccional a lo largo de rieles o en cualquier dirección si se trata de una grúa pórtico automotriz sobre ruedas neumáticas (Figura 2-5).

### **2.4.3 Según el sistema estructural del pórtico**

#### **2.4.3.1 Pórtico a base de elementos en celosía**

Tanto la viga como los soportes están constituidos por perfiles en celosía, ya sea plana o espacial.

La principal ventaja de esta solución es que resulta más económica cuando se pretenden salvar grandes luces. Además, la superficie expuesta al viento es notablemente menor comparada con los pórticos formados por vigas cajón.

No obstante, su limitación viene dada por su capacidad máxima de carga, que es menor que la que se puede alcanzar con vigas cajón.



Figura 2-8. Grúa pórtico en celosía [13]

### 2.4.3.2 Pórtico a base de perfiles de alma llena

Las grúas a base de perfiles laminados en caliente de alma llena tipo IPE, IPN o HE se emplean cuando las luces a salvar son reducidas y las cargas a manipular son ligeras.

Su principal ventaja radica en su sencillez y economía de construcción.

### 2.4.3.3 Pórtico a base de perfiles armados tipo viga cajón

Con esta configuración, la viga está constituida por un perfil armado a base de chapas soldadas (ver Figura 2-6). Se puede conseguir prácticamente cualquier tipo de sección que se necesite. Generalmente, las secciones tienen forma rectangular hueca (con o sin rebordes exteriores), muy adecuadas para soportar los esfuerzos de flexión y cortante predominantes en la viga.

Esta morfología es la más utilizada en la construcción de grúas pórtico a partir de cierto tamaño. Con ella se pueden alcanzar capacidades de carga superiores a 1000 toneladas y luces de más de 100 m.

## 2.4.4 Según la morfología de la viga

### 2.4.4.1 Pórtico monoviga o monorraíl

Es la configuración básica de una grúa pórtico y en ella el carro es soportado por una sola viga. Es una solución adecuada para soportar cargas bajas. A partir de 20 t suele ser preferible el empleo de una configuración birraíl.

#### **2.4.4.2 Pórtico de viga doble o birraíl**

Cuando las cargas a desplazar son elevadas y/o la luz a salvar es importante, se utiliza una configuración birraíl. Con ella la carga queda repartida entre dos vigas, con lo que los perfiles necesarios pueden ser de menor sección.

## 3 NORMAS Y REFERENCIAS

### 3.1 Normativa

A continuación se relacionan las normas que se han tenido en cuenta para la realización de este proyecto:

[A] *EN 1993-1-1:2005. Eurocódigo 3. Proyecto de estructuras de acero. Parte 1-1. Reglas generales y reglas para edificios.* Esta norma se ha empleado para realizar el dimensionado y las comprobaciones relativas a la resistencia y estabilidad de la estructura.

[B] *EN 10210-2:2006. Perfiles huecos para construcción, acabados en caliente, de acero no aleado y de grano fino. Parte 2: Tolerancias, dimensiones y propiedades de la sección.*

[C] *UNE 36524:1994. Productos de acero laminados en caliente. Perfiles HE de alas anchas y caras paralelas. Medidas.*

[D] *UNE 36526:1994. Productos de acero laminados en caliente. Perfiles IPE. Medidas.*

[E] *UNE 58112-1:1991. Grúas y aparatos de elevación. Clasificación. Parte 1: General.* Esta norma se ha usado para clasificar la grúa en función del número de ciclos de maniobra.

[F] *UNE 58132-2:2005. Aparatos de elevación. Reglas de cálculo. Parte 2: Solicitaciones y casos de solicitaciones que deben intervenir en el cálculo de las estructuras y de los mecanismos.* Esta norma es necesaria para definir las acciones y las hipótesis de carga que se han de aplicar sobre la estructura de la grúa.

[G] *UNE 58113:1985. Grúas. Acción del viento.* Esta norma explica la forma de calcular las acciones del viento sobre la grúa.

[H] *UNE 76201:1988. Caminos de rodadura de puentes grúa. Bases de cálculo.*

### 3.2 Referencias bibliográficas

[1] ITEA. *Programa europeo de formación en cálculo y diseño de la construcción en acero. Tomo 3. Metalurgia aplicada.* San Sebastián: Bellisco, 1997.

- [2] ITEA. *Programa europeo de formación en cálculo y diseño de la construcción en acero. Tomo 13. Diseño de uniones*. San Sebastián: Bellisco, 1997.
- [3] ITEA. *Programa europeo de formación en cálculo y diseño de la construcción en acero. Tomo 15. Estructuras tubulares*. San Sebastián: Bellisco, 1997.
- [4] ITEA. *Programa europeo de formación en cálculo y diseño de la construcción en acero. Tomo 16. Sistemas estructurales: Edificios*. San Sebastián: Bellisco, 1997.
- [5] ARCELOR-MITTAL y otros. *Edificios de acero de una sola planta. Parte 5. Diseño detallado de celosías*.
- [6] THE STEEL CONSTRUCTION INSTITUTE. *Best practice in steel construction. Industrial buildings*. 2008. ISBN 978-1-85942-063-8.
- [7] MONFORT LLEONART, J. *Estructuras metálicas para edificación. Tomo I*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia, 2002.
- [8] IGLESIAS, G y otros. *Guía de diseño para estructuras en celosía resueltas con perfiles tubulares de acero*. España: ICT, 2004.
- [9] <https://www.ghcranes.com/pdfs/catalogos/GH-04-polipastos-de-gran-capacidad-2016.pdf> [consulta: febrero 2016].
- [10] <http://www.abusgruas.es/var/storage/original/application/98122e8ea1bd479a5305b69f593ebd56.pdf> [consulta: febrero 2016].
- [11] <http://www.sedecatastro.gob.es/> [consulta: abril 2016]
- [12] <http://en.wikipedia.org/wiki/Taisun> [consulta: abril 2016].
- [13] <http://www.konecranes.com> [consulta: mayo 2016].
- [14] <https://www.ghcranes.com/es/> [consulta: mayo 2016].
- [15] <https://www.logismarket.es/almarin/grua-portico-1/2829288848-551184200-p.html> [consulta: mayo 2016].
- [16] <http://spanish.overhead-cranehoist.com/sale-192593-dcs100t-10t-25m-16m-truss-double-girder-gantry-crane.html> [consulta: mayo 2016].
- [17] <http://hdl.handle.net/10045/25612> [consulta: mayo 2016].
- [18] [http://www.construmatica.com/construpedia/Designaci%C3%B3nSimb%C3%B3lica de los Aceros](http://www.construmatica.com/construpedia/Designaci%C3%B3nSimb%C3%B3lica%20de%20los%20Aceros) [consulta: mayo 2016].

[19] <http://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm13/Imagenes/Fig13-1.jpg> [consulta: junio 2016].

[20] [http://sections.arcelormittal.com/fileadmin/redaction/2-Products\\_Services/1\\_Product\\_Range/ES-EN-IT/IPE.pdf](http://sections.arcelormittal.com/fileadmin/redaction/2-Products_Services/1_Product_Range/ES-EN-IT/IPE.pdf) [consulta: junio 2016].

[21] [http://sections.nvision.lu/fileadmin/redaction/2-Products\\_Services/1\\_Product\\_Range/ES-EN-IT/HE.pdf](http://sections.nvision.lu/fileadmin/redaction/2-Products_Services/1_Product_Range/ES-EN-IT/HE.pdf) [consulta: junio 2016].

[22] [http://www.ciccp.es/biblio\\_digital/V\\_Congreso/congreso/pdf/010208.pdf](http://www.ciccp.es/biblio_digital/V_Congreso/congreso/pdf/010208.pdf) [consulta: junio 2016]

### 3.3 Programas de cálculo

COMPUTERS & STRUCTURES, INC. SAP2000 v.17.

El dimensionado de la viga se ha llevado a cabo con la ayuda del software SAP2000. El programa realiza básicamente dos tareas:

- Calcular los esfuerzos internos y los desplazamientos de la estructura (análisis). Para ello es necesario definir con anterioridad la geometría de la estructura y asignar una sección a cada elemento, así como las cargas externas y condiciones de contorno.
- Realizar las comprobaciones necesarias (dimensionado) según la normativa que se aplique, en este caso el Eurocódigo 3.

A cada elemento se le asigna la lista de secciones que puede emplear y el programa se ocupa de seleccionar la más adecuada a base de iteraciones. Si con una sección no cumple, se pasa a una superior y vuelve a calcular. Y a la inversa, si una sección está muy sobredimensionada, selecciona una inferior y repite el proceso.

## 4 REQUISITOS DE DISEÑO

### 4.1 Geometría de la grúa

#### 4.1.1 Luz

La luz del pórtico  $L$  es la distancia horizontal entre ejes de los soportes. Se ha establecido en 50 metros.

#### 4.1.2 Altura de elevación

La altura de elevación  $H$  es la distancia vertical entre el plano de apoyo del aparato y el punto de mayor elevación del gancho. Se ha establecido en 15 metros.

#### 4.1.3 Morfología

Debido a las exigencias en cuanto a luz y carga, la grúa tendrá una configuración birraíl, es decir, estará provista de dos vigas principales sobre las que se desplazará el carro.

### 4.2 Cargas

#### 4.2.1 Carga útil

La carga útil considerada  $Q$  es de 45 toneladas. Ésta incluye tanto el peso de los objetos a elevar como de los aparejos, ganchos y otros accesorios necesarios para su sujeción.

#### 4.2.2 Conjunto carro-polipasto

El peso del conjunto formado por el carro, el polipasto y sus elementos de accionamiento ( $P_C$ ) se ha establecido en 5 toneladas.

#### 4.2.3 Carga de servicio

La carga de servicio  $S_L$  es la suma de la carga útil y del peso del carro-polipasto. Por tanto,  $S_L = 50$  toneladas.

## 4.3 Velocidades de maniobra

### 4.3.1 Elevación de la carga

Tras consultar diversos catálogos comerciales de fabricantes de polipastos como GHSA o ABUS (ref. [9] y [10], respectivamente), se ha observado que la velocidad de elevación para cargas nominales en torno a 50 t se encuentra en el rango de [4 – 6] m/min. La velocidad establecida para este estudio será  $V_L = 5$  m/min.

### 4.3.2 Traslación del pórtico

La velocidad de traslación de la grúa pórtico a lo largo de su camino de rodadura será de 0,4 m/s.

### 4.3.3 Traslación del carro

La velocidad de traslación del carro a lo largo de las vigas principales será de 0,4 m/s.

## 4.4 Periodo de servicio

La vida útil de la grúa se ha establecido en 25 años.

Se considera que funcionará una media de 250 días al año y una media de 8 horas al día, realizando 5 ciclos de maniobra por hora.

## 4.5 Aspectos técnico-económicos

La alternativa considerada como óptima será la que suponga la utilización de una menor cantidad de material, en este caso acero, en su construcción.

El acero empleado será S 355 JR, con  $f_y = 355$  MPa y  $f_u = 490$  MPa.

## 5 ASPECTOS TECNOLÓGICOS

### 5.1 Acero

Según la norma UNE 10020, el acero es un material que contiene, en peso, más hierro que cualquier otro elemento simple, con un contenido en carbono generalmente inferior al 2%. El acero también contiene otros minerales en menor proporción, como fósforo (P), azufre (S) y nitrógeno (N). Los aceros aleados contienen además otros elementos como manganeso (Mn), silicio (Si), cromo (Cr), níquel (Ni) y molibdeno (Mo).

El contenido de carbono tiene un efecto fundamental en las propiedades del acero. A medida que crece el contenido de carbono, aumenta la dureza y la resistencia del acero, pero también aumenta su fragilidad y disminuye la ductilidad. A menor contenido de carbono, el acero presenta mejor soldabilidad. El acero es, en general, un material dúctil, maleable, forjable y soldable. La Figura 5-1 muestra el diagrama de fase del acero.

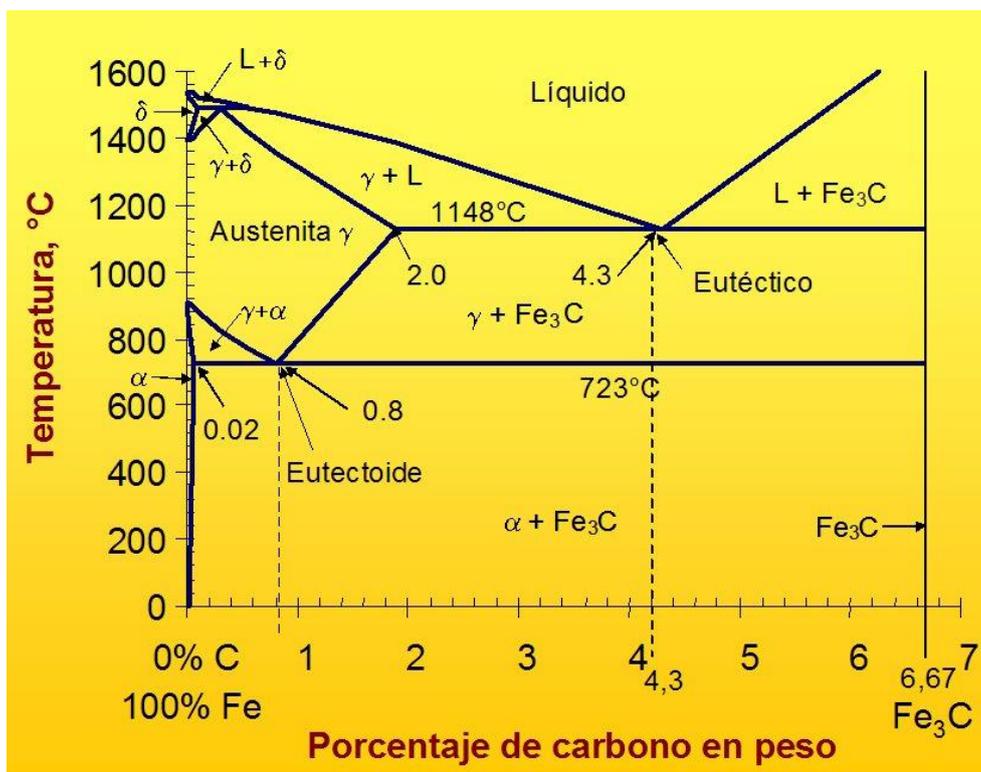


Figura 5-1. Diagrama Fe-C [19]

Los aceros se pueden clasificar en función del contenido de carbono:

- Acero no aleado, cuyo contenido de carbono es inferior al 0,2%.
- Acero de baja aleación, que contiene carbono en cantidad superior al 0,2% y una cantidad total de otros elementos no superior al 5%.
- Acero de alta aleación, que contiene una cantidad total de otros elementos superior al 5%. En este grupo se encuentran los aceros inoxidables, que contienen un mínimo del 10,5% de cromo y un máximo del 1,2% de carbono.

Los aceros destinados a estructuras contienen generalmente cerca de un 0,25% C y hasta un 1,6% Mn.

### 5.1.1.1 Designación de los aceros

La norma UNE-EN 10027-1 establece las reglas para la designación simbólica de los aceros mediante símbolos numéricos y letras que expresan ciertas características básicas, por ejemplo, mecánicas, químicas, físicas, de aplicación, etc.

Así a los aceros para construcción metálica se les designa con una *S* (*Steel*, acero en inglés) seguida de un número que indica el valor mínimo especificado del límite elástico en MPa, para el menor intervalo de espesor. A continuación aparece un ejemplo:

S 355 XXX

donde

- *S* es la letra clave del acero
- *355* es el valor mínimo garantizado del límite elástico en MPa
- *XXX* son símbolos adicionales (ver cuadro adjunto)

Los símbolos adicionales se dividen en grupo 1 y grupo 2. Si los símbolos del grupo 1 son insuficientes para describir completamente el acero, se pueden añadir símbolos adicionales del grupo 2. Los símbolos del grupo 2 sólo deben utilizarse conjuntamente con los del grupo 1 y colocarse detrás de ellos.

El uso de los distintos grados del acero es el siguiente:

- Grado JR: aplicación en construcción ordinaria.
- Grado J0: aplicación en construcción con altas exigencias de soldabilidad.
- Grado J2: aplicación en construcción con especiales exigencias de resistencia, resiliencia y soldabilidad.

Símbolos adicionales para los aceros de construcción				
GRUPO 1			GRUPO 2	
Características de flexión por choque en Julios (J)			C= Conformado especial en frío D= Galvanización en caliente E= Esmaltado F= Forjado H= Perfil hueco L= Baja temperatura M= Laminación termomecánica N= Normalizado o laminado de normalización P= Tablestacas Q= Templado y revenido S= Construcción naval T= Tubos W= Resistentes a la corrosión atmosférica	
27J	40J	60J		Temperatura de ensayo
JR	KR	LR		°C
J0	K0	L0		20
J2	K2	L2		0
J3	K3	L3		-20
J4	K4	L4		-30
J5	K5	L5		-40
J6	K6	L6		-50
A= Endurecimiento por precipitación M= Laminación termomecánica N= Normalizado o laminado de normalización Q= Templado y revenido G= Otras características				-60
Nota: los símbolos A, M, N y Q se aplican a los aceros de grano fino				

Figura 5-2. Símbolos adicionales para los aceros de construcción [18]

Los aceros para la construcción se clasifican de acuerdo al proceso de fabricación y están regulados en Euronormas:

- Productos de acero laminados en caliente, definidos en la norma UNE-EN 10025.
- Productos huecos para la construcción, acabados en caliente (UNE-EN 10210) y conformados en frío (UNE-EN 10219).
- Perfiles abiertos para la construcción laminados en frío y perfilados (UNE-EN 10162).
- Productos planos de acero recubiertos en continuo de materias orgánicas (prelacados), UNE-EN 10169 y UNE-EN 10326.

Las siguientes características son comunes a todos los aceros:

- Módulo de Elasticidad:  $E = 210.000 \text{ N/mm}^2$
- Módulo de Elasticidad Transversal:  $G = 81.000 \text{ N/mm}^2$
- Coeficiente de Poisson:  $\nu = 0,3$
- Coeficiente de dilatación térmica:  $\alpha = 1,2 \times 10^{-5} (\text{°C})^{-1}$
- Densidad:  $\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$

## 5.2 Uniones

### 5.2.1 Uniones soldadas

La soldadura es el método de unión más económico cuando las condiciones de montaje son favorables. Debido a esto, cuando se fabrica una estructura en taller sus uniones se suelen ejecutar mediante soldadura.

#### 5.2.1.1 Tipos de soldaduras

Los tipos de soldaduras más empleados en la fabricación de estructura metálica son:

- Soldadura a tope. Se realiza en la sección transversal de las chapas que están en contacto. Puede requerir de una preparación de bordes previa, en función del espesor de los elementos a unir.



Figura 5-3. Soldadura a tope

- Soldadura en ángulo. Se aplica en el perfil de la superficie de las chapas, y generalmente no necesita preparación de bordes. En función de la posición relativa de las piezas a soldar existen tres tipos: unión solapada, unión en T y unión de esquina.

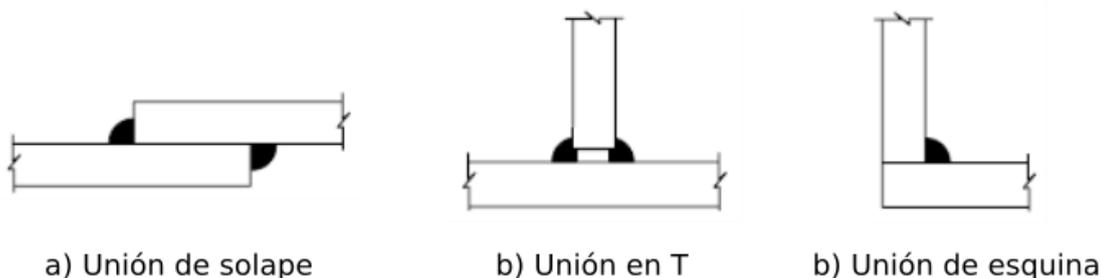


Figura 5-4. Uniones soldadas en ángulo

### 5.2.2 Uniones atornilladas

Cuando el montaje de la estructura se realiza en la obra, las uniones atornilladas son el método de ensamblaje más utilizado. Esto se debe a que en obra las soldaduras presentan diversos inconvenientes, como la dificultad para

asegurar una atmósfera controlada y para realizar ensayos que garanticen la calidad de las soldaduras ejecutadas.

Las uniones atornilladas se pueden clasificar en dos grupos básicamente:

- Con tornillos no pretensados. Este tipo de tornillos se utilizan en estructuras sometidas a cargas estáticas. En este tipo de uniones los tornillos trabajan a cortadura.
- Con tornillos pretensados. Esta clase de tornillos se emplean en estructuras sometidas a cargas dinámicas. Aquí los tornillos están sometidos a esfuerzo axial de tracción, sometiendo a las chapas unidas a esfuerzos de compresión que originan una resistencia por rozamiento.

## 6 CLASIFICACIÓN DE LA GRÚA

La norma UNE 58112-1:1991 [E] establece una clasificación general para los aparatos de elevación partiendo del número máximo de ciclos de maniobra previstos durante la vida útil del aparato y de un parámetro denominado *estado de carga*. Se considera que un ciclo de maniobra se inicia en el momento en que una carga está preparada para ser desplazada y finaliza cuando el aparato está dispuesto para desplazar la siguiente carga.

### 6.1 Clase de utilización

La siguiente tabla muestra la clase de utilización del aparato en función del número máximo de ciclos de maniobra.

Clase de utilización	Número máximo de ciclos de maniobra	Observaciones
U <sub>0</sub>	1,6 × 10 <sup>4</sup>	Utilización ocasional
U <sub>1</sub>	3,2 × 10 <sup>4</sup>	
U <sub>2</sub>	6,3 × 10 <sup>4</sup>	
U <sub>3</sub>	1,25 × 10 <sup>5</sup>	
U <sub>4</sub>	2,5 × 10 <sup>5</sup>	Utilización regular en servicio ligero
U <sub>5</sub>	5 × 10 <sup>5</sup>	Utilización regular en servicio intermitente
U <sub>6</sub>	1 × 10 <sup>6</sup>	Utilización regular en servicio intensivo
U <sub>7</sub>	2 × 10 <sup>6</sup>	Utilización intensiva
U <sub>8</sub>	4 × 10 <sup>6</sup>	
U <sub>9</sub>	Más de 4 × 10 <sup>6</sup>	

Tabla 6-1. Clase de utilización

Considerando los datos de partida, el número máximo de ciclos de maniobra del aparato será de 250.000 ciclos, que se corresponde con una **clase de utilización U4** (Utilización regular en servicio ligero).

## 6.2 Estado de carga

El estado de carga aparece en la Tabla 6-2 y se puede definir como el número de veces que es elevada una carga de un orden de magnitud determinado correspondiente a la capacidad del aparato. Asociado al estado de carga aparece el coeficiente del espectro de cargas  $K_p$ .

Estado de carga	Coeficiente nominal del espectro de las cargas $K_p$	Observaciones
Q1 – Ligero	0,125	Aparato que levanta raramente la carga máxima de servicio y corrientemente cargas muy pequeñas
Q2 – Moderado	0,25	Aparato que levanta con bastante frecuencia la carga máxima de servicio y corrientemente cargas pequeñas
Q3 – Pesado	0,50	Aparato que levanta con bastante frecuencia la carga máxima de servicio y corrientemente cargas medianas
Q4 – Muy pesado	1,00	Aparato que corrientemente maneja cargas próximas a la carga máxima de servicio

Tabla 6-2. Estado de carga

Se considera que el aparato es susceptible de pertenecer al **estado de carga Q3**.

## 6.3 Grupo de clasificación del aparato

Una vez conocida la clase de utilización y el estado de carga, se puede especificar el grupo al que pertenece el aparato según la siguiente tabla.

Estado de carga	Coeficiente nominal del espectro de las cargas $K_p$	Clases de utilización y número máximo de ciclos de maniobra del aparato									
		$U_0$	$U_1$	$U_2$	$U_3$	$U_4$	$U_5$	$U_6$	$U_7$	$U_8$	$U_9$
Q1 – Ligero	0,125	A1	A1	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
Q2 – Moderado	0,25	A1	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A8
Q3 – Pesado	0,5	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A8	A8
Q4 – Muy pesado	1,0	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A8	A8	A8

Tabla 6-3. Grupo de clasificación del aparato

Teniendo en cuenta los parámetros obtenidos anteriormente se puede observar que la grúa objeto del estudio queda englobada en el **grupo A5**.

## 7 BASES DE CÁLCULO

Para el dimensionado de la estructura se realizarán las comprobaciones relativas al método de los estados límite expuesto en el Eurocódigo 3. Los estados límite se pueden definir como las situaciones que, en caso de ser superadas, suponen que la estructura no cumple alguna de las funciones para las que ha sido proyectada. Los estados límite se dividen en dos.

### 7.1 Estados Límite de Servicio

Los Estados Límite de Servicio (en adelante, ELS) son las situaciones para las que no se cumplen los requisitos de funcionalidad, durabilidad, confort o apariencia de la estructura.

En este caso, la comprobación se lleva a cabo con tal de que la flecha de la viga no supere un valor máximo establecido  $F_{adm}$ . La superación de esta flecha no pondría en riesgo de colapso a la estructura pero sí que podría afectar negativamente al funcionamiento de los elementos móviles de la grúa.

### 7.2 Estados Límite Últimos

Los Estados límite últimos (en adelante, ELU) son aquellos que producen el fallo de la estructura, por colapso o ruina total o parcial. Se verifica la resistencia tanto a nivel de sección como del elemento entero.

La norma EN 1993-1-1:2005 [A] establece, en su apartado 6.1, los siguientes coeficientes parciales de minoración que se aplican a los valores característicos de resistencia del material:

- Resistencia de las secciones transversales:  $\gamma_{M0} = 1,00$
- Resistencia de elementos estructurales a inestabilidad:  $\gamma_{M1} = 1,00$
- Resistencia a rotura de secciones transversales a tracción:  $\gamma_{M2} = 1,25$

## 8 ACCIONES SOBRE LA ESTRUCTURA

La norma UNE 58132-2:2005 especifica las acciones que deben considerarse en el cálculo de las estructuras de los aparatos de elevación en general. Estas acciones pueden englobarse en cuatro grupos:

- Solicitaciones principales, en el estado de carga más desfavorable.
- Solicitaciones debidas a los movimientos verticales.
- Solicitaciones debidas a los movimientos horizontales.
- Solicitaciones debidas a los cambios climáticos.

### 8.1 Solicitaciones principales

Las sollicitaciones principales engloban:

- Peso propio de cada elemento de la estructura  $S_G$ . Incluye el peso de todos los elementos que forman la estructura del pórtico.
- Carga de servicio  $S_L$ . Constituida por el peso de la carga a elevar sumada al peso del conjunto carro-polipasto. Todas estas cargas móviles se supondrán en la posición más desfavorable.

### 8.2 Solicitaciones debidas a los movimientos verticales

Estas acciones provienen del levantamiento más o menos brusco de la carga de servicio, de las aceleraciones o deceleraciones en el movimiento de elevación y de los choques verticales debidos a la rodadura sobre los raíles. Quedan aplicadas mayorando la carga de servicio con un coeficiente dinámico  $\Psi$  que se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\Psi = 1 + \xi \cdot V_L$$

siendo

- $V_L$  la velocidad de elevación en m/s.
- $\xi$  un coeficiente experimental obtenido a partir de numerosas mediciones realizadas en diversos aparatos.

Para grúas pórtico se toma  $\xi = 0,6$ .

La expresión anterior es de aplicación para velocidades de elevación hasta 1 m/s. Para velocidades superiores, el coeficiente dinámico permanece constante. Además, no podrá ser inferior a 1,15. La siguiente figura muestra los valores de  $\Psi$  en función de  $V_L$ .

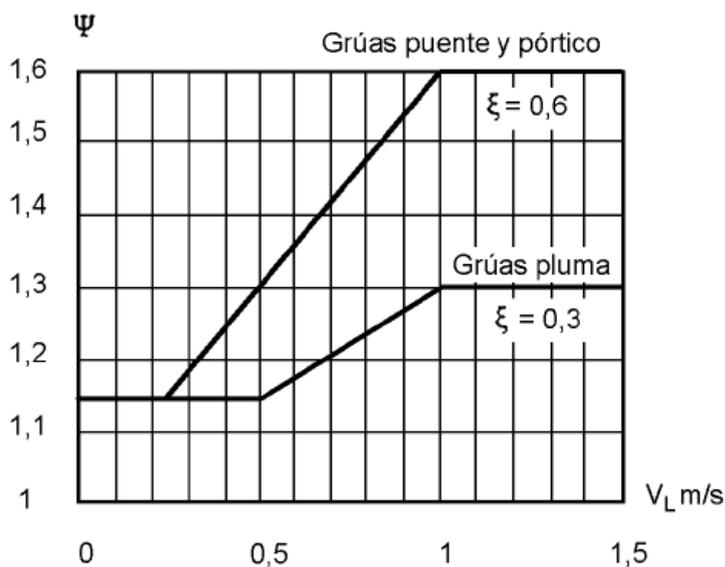


Figura 8-1. Valores de  $\Psi$

### 8.3 Solicitaciones debidas a los movimientos horizontales

Las sollicitaciones debidas a movimientos horizontales que se deben considerar son:

- Movimiento oblicuo de la grúa  $S_{Ho}$ .
- Fuerza de inercia de la carga debida a la traslación del pórtico  $S_{Hp}$ .
- Fuerza de inercia de la carga debida al movimiento del carro  $S_{Hc}$ .

#### 8.3.1 Movimiento oblicuo

Se considera el aparato desplazándose a velocidad constante y desprovisto de accionamiento antioblicuidad.

Los pares de ruedas pueden combinarse de varias formas, según se indica en la Tabla 8-1:

	Acoplada (C)	Independiente (I)
Fija/Fija (F/F)		
Fija/Móvil (F/M)		

Tabla 8-1. Combinaciones de pares de ruedas

Las posiciones de los pares de ruedas respecto a la posición de los medios de guiado se pueden expresar por la distancia  $d_i$  (Figura 8-2):

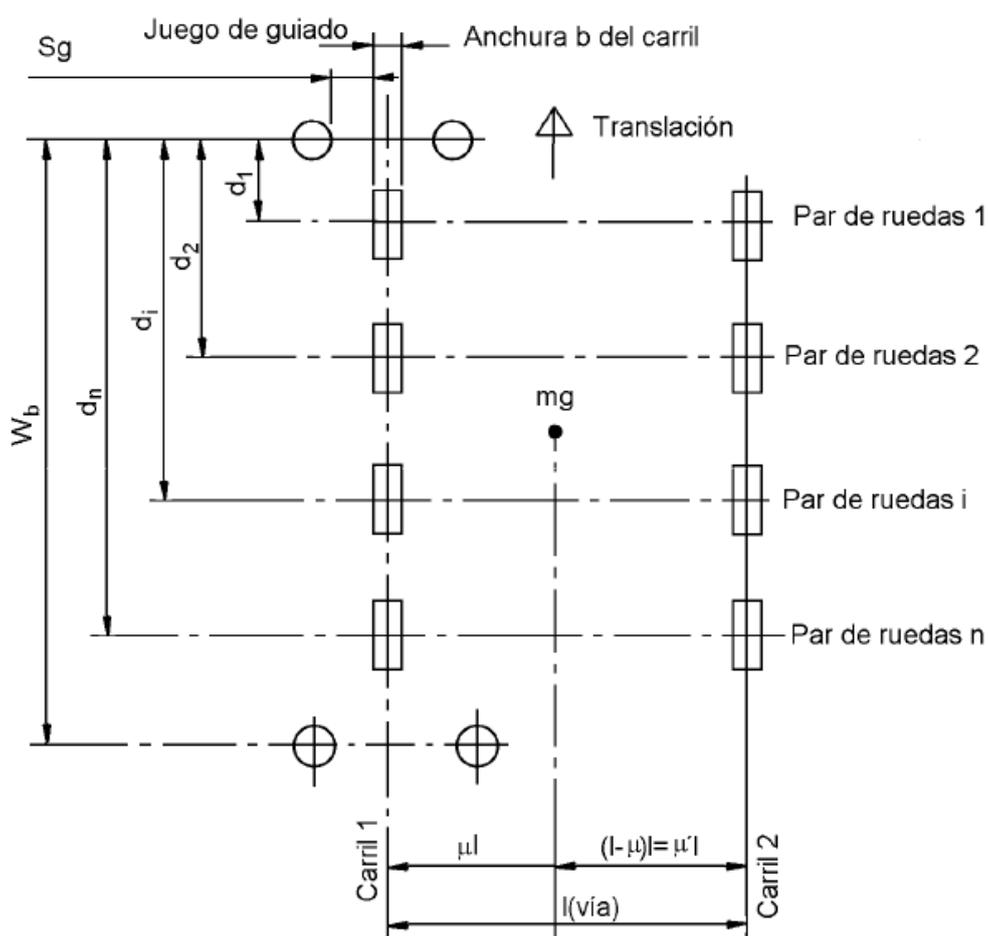


Figura 8-2. Posiciones de los pares de ruedas

Si se utilizan ruedas con pestaña en lugar de un dispositivo de guiado externo,  $d_1 = 0$ .

Se supone que el aparato de elevación se desplaza a velocidad constante inclinado un ángulo  $\alpha$  tal como se muestra en la Figura 8-3:

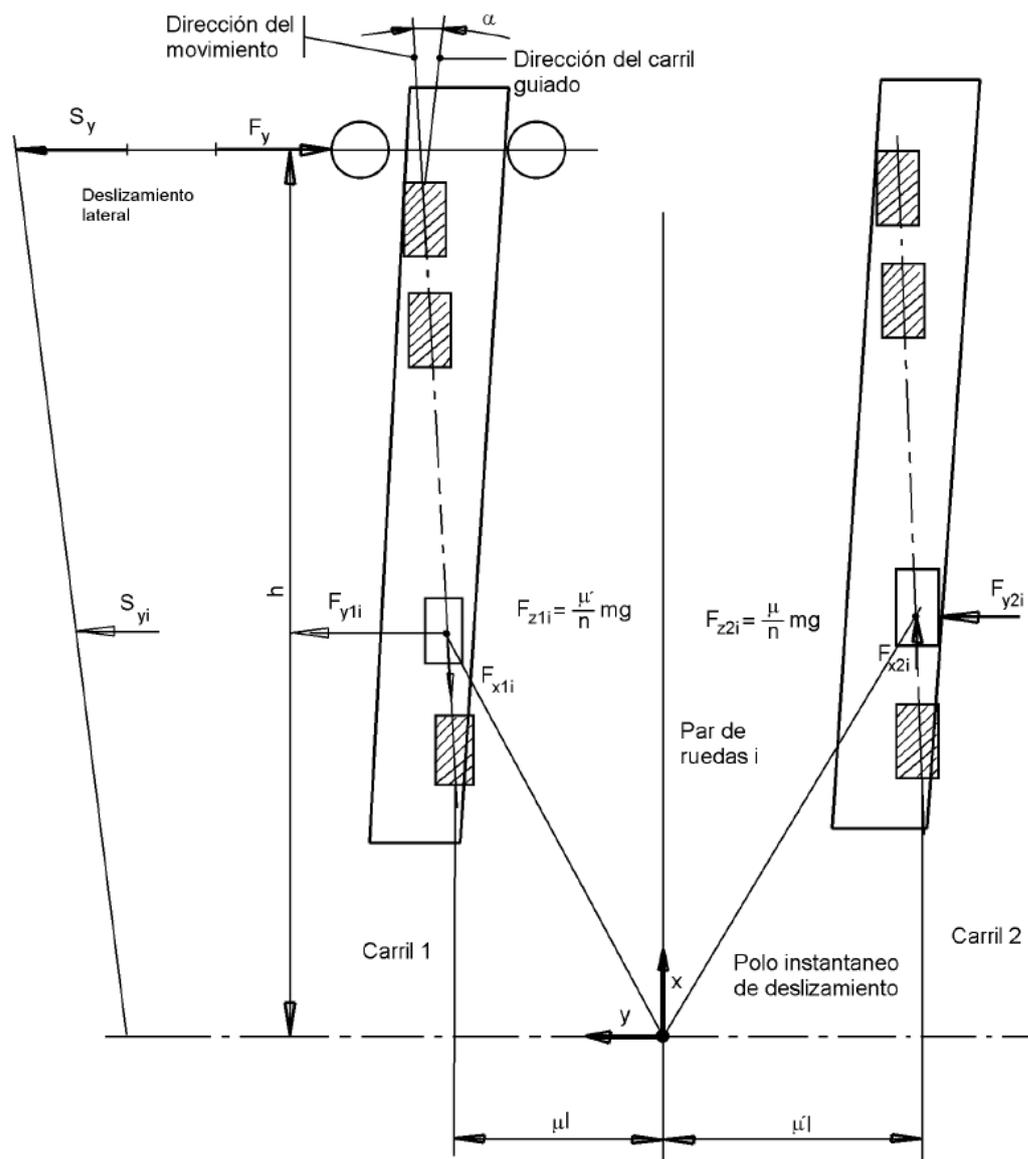


Figura 8-3. Fuerzas sobre el aparato durante el movimiento oblicuo

La fuerza de guiado  $F_y$  está equilibrada con las fuerzas tangenciales de las ruedas. El ángulo  $\alpha$  debe ser  $\leq 0,015$  rad y depende del juego entre los elementos de guiado y el carril y de las tolerancias.

La distancia  $h$  entre los medios de guiado y el polo instantáneo de deslizamiento se puede calcular mediante las siguientes expresiones:

- Para sistemas F/F

$$h = (p \cdot \mu \cdot \mu' \cdot l^2 + \sum d_i^2) / \sum d_i$$

- Para sistemas F/M

$$h = (p \cdot \mu \cdot l^2 + \sum d_i^2) / \sum d_i$$

donde

- $p$  es el número de pares de ruedas acopladas;
- $\mu$  es la fracción de distancia entre el polo instantáneo de deslizamiento y el carril 1;
- $\mu'$  es la fracción de distancia entre el polo instantáneo de deslizamiento y el carril 2;
- $l$  es la vía del aparato;
- $d_i$  es la distancia entre el par de ruedas  $i$  y los medios de guiado.

Por su parte, el esfuerzo de guiado  $F_y$  se obtiene como:

$$F_y = v \cdot f \cdot m \cdot g$$

siendo

$$f = 0,3 \cdot (1 - e^{-250 \cdot \alpha})$$

- Para sistemas F/F:

$$v = 1 - \sum d_i/n \cdot h$$

- Para sistemas F/M:

$$v = \mu' \cdot \left(1 - \sum d_i/n \cdot h\right)$$

- $m \cdot g$  = fuerza de gravedad del aparato cargado;
- $n$  = nº de ruedas del aparato a cada lado del camino de rodadura.

Finalmente, las fuerzas tangenciales  $F_x$  y  $F_y$  se calculan como sigue:

$$F_{x1i} = \xi_{1i} \cdot f \cdot m \cdot g \quad F_{y1i} = v_{1i} \cdot f \cdot m \cdot g$$

$$F_{x2i} = \xi_{2i} \cdot f \cdot m \cdot g \quad F_{y2i} = v_{2i} \cdot f \cdot m \cdot g$$

Los valores de los parámetros  $\xi$  y  $v$  aparecen en la Tabla 8-2:

Combinaciones de pares de ruedas (véase figura 3)	$\xi_{1i} = \xi_{2i}$	$v_{1i}$	$v_{2i}$
CFF	$\mu\mu' l/nh$	$\frac{\mu'}{n} \left(1 - \frac{d_i}{h}\right)$	$\frac{\mu}{n} \left(1 - \frac{d_i}{h}\right)$
IFF	0		
CFM	$\mu\mu' l/nh$		
IFM	0		0

Tabla 8-2. Valores de  $\xi$  y  $v$

### 8.3.2 Fuerza de inercia de la carga

La fuerza de inercia es una fuerza horizontal ficticia que se aplica en el punto de suspensión de la carga y que produce el mismo efecto sobre el movimiento considerado que el par acelerador o decelerador aplicado por el motor o el freno.

La fuerza de inercia máxima de la carga producida por aceleraciones (o deceleraciones) horizontales de la carga se puede calcular como:

$$F_{cmax} = \Psi_h \cdot F_{cm}$$

siendo

$$F_{cm} = m_1 \cdot j_m$$

donde

- $m_1$  es la masa de la carga;
- $j_m$  es la aceleración (o deceleración) media del punto de suspensión de la carga.

#### 8.3.2.1 Traslación del pórtico

Para el cálculo de la fuerza de inercia debida a la traslación de la grúa completa se debe tomar:

$$\Psi_h = 2$$

#### 8.3.2.2 Traslación del carro

Por su parte, en el cálculo de la fuerza de inercia debida a la traslación del carro se tomará:

$$\Psi_h = \sqrt{2 + \mu + 1/\mu}$$

siendo

$$\mu = \frac{m_1}{m}$$

donde

- $m_1$  es la masa de la carga;
- $m$  es la masa del carro.

### 8.3.3 Efectos de choque

Se pueden dar dos situaciones de choque  $S_T$ :

- Choque contra la estructura. Para velocidades de traslación hasta 0,4 m/s como es el caso de esta grúa, no se considera el efecto de la colisión.
- Choque sobre la carga suspendida. No se tiene en consideración excepto si la carga está guiada rígidamente.

Los efectos de choque no se tendrán en cuenta puesto que no se dan los factores necesarios para su consideración.

## 8.4 Solicitaciones debidas a los efectos climáticos

Comprenden la acción del viento, las sobrecargas de nieve y los cambios de temperatura.

### 8.4.1 Acción del viento

#### 8.4.1.1 Viento con el aparato en servicio

Las acciones sobre la estructura debidas al viento estando el aparato en servicio ( $S_w$ ) vienen descritas en la norma UNE 58113:1985 [G]. Se propone la siguiente fórmula:

$$F = A \cdot p \cdot C_f$$

donde

- $F$  es la fuerza debida al viento en kN;
- $A$  es la superficie neta del elemento considerado en  $m^2$ ;
- $p$  es la presión del viento en  $kN/m^2$ ;
- $C_f$  es el coeficiente de forma del elemento considerado.

En la Tabla 8-3 aparecen la velocidad y presión del viento en función del tipo de grúa:

## Diseño y cálculo de la estructura de una grúa pórtico

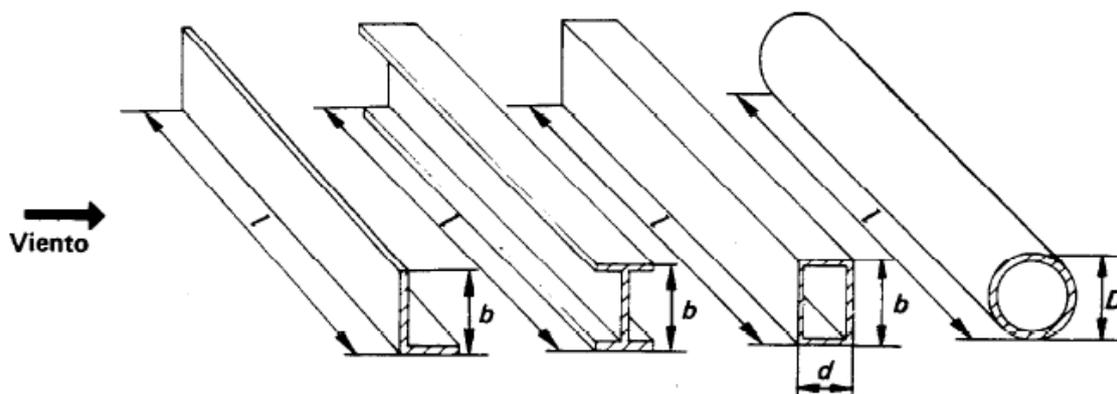
Tipo de Grúa	Velocidad del viento m/s	Presión del viento kPa/m <sup>2</sup>
a) Grúas fácilmente protegibles contra la acción del viento y concebidas para utilizarse exclusivamente en caso de viento ligero (por ejemplo, grúas bajas cuya pluma pueda abatirse fácilmente hasta el suelo).	14	0,125
b) Todos los tipos normales de grúas que se instalen al aire libre.	20	0,25
c) Grúas de tipo portuario que deben poder continuar funcionando incluso en caso de viento fuerte.	28,5	0,50

Tabla 8-3. Velocidad y presión del viento en servicio

Mediante la Tabla 8-4 y la Figura 8-4 se puede determinar el coeficiente de forma:

Tipo	Descripción	Coeficiente aerodinámico l/b ó l/D					
		5	10	20	30	40	50
Elementos simples	Perfiles laminados en L, en U y chapas planas	1,3	1,35	1,6	1,65	1,7	1,9
	Perfiles redondos, en los que $D v_s < 6 \text{ m}^2/\text{s}$ en los que $D v_s \geq 6 \text{ m}^2/\text{s}$	0,75	0,80	0,90	0,95	1,0	1,1
		0,60	0,65	0,70	0,70	0,75	0,8
	Perfiles cuadrados de más de 350 mm de lado y rectangulares de más de 250 mm X 450 mm	b/d					
$\geq 2$		1,55	1,75	1,95	2,1	2,2	
1		1,40	1,55	1,75	1,85	1,9	
0,5		1,0	1,2	1,3	1,35	1,4	
	0,25	0,8	0,9	0,9	1,0	1,0	
Marcos simples de celosía	Perfiles de caras planas	1,7					
	Perfiles redondos en los que $D v_s < 6 \text{ m}^2/\text{s}$ en los que $D v_s \geq 6 \text{ m}^2/\text{s}$	1,2 0,8					
Casetas de máquinas, etc.	Estructuras rectangulares llenas, sobre el suelo o sobre fundación maciza (el aire no puede circular bajo la estructura)	1,1					

Tabla 8-4. Coeficiente de forma



$$\text{Coeficiente aerodinámico} = \frac{\text{longitud del elemento}}{\text{altura de la sección cara al viento}} = \frac{l}{b} \text{ ó } \frac{l}{D}$$

$$\text{Proporción de sección (Perfiles cuadrados)} = \frac{\text{altura de la sección cara al viento}}{\text{ancho de la sección, paralela al viento}} = \frac{b}{d}$$

Figura 8-4. Coeficiente aerodinámico

Cuando el viento sopla formando un ángulo respecto al eje longitudinal de un elemento, la acción del viento se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$F = A \cdot p \cdot C_f \cdot \sin^2 \theta$$

siendo  $\theta < 90^\circ$ .

Se puede dar el caso de que algunos elementos queden al abrigo de otros. En este caso, el coeficiente de forma se multiplica por un factor de efecto pantalla  $\eta$  que se puede consultar en la Tabla 8-5 y que, a su vez, depende de los coeficientes de superficie neta y de separación (Figuras 8-5 y 8-6, respectivamente).

Coeficiente de separación a/b	Coeficiente de superficie neta A/A <sub>e</sub>					
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6
0,5	0,75	0,4	0,32	0,21	0,15	0,1
1,0	0,92	0,75	0,59	0,43	0,25	0,1
2,0	0,96	0,8	0,63	0,5	0,33	0,2
4,0	1	0,88	0,76	0,66	0,55	0,45
5,0	1	0,95	0,88	0,81	0,75	0,68
6,0	1	1	1	1	1	1

Tabla 8-5. Coeficiente de efecto pantalla

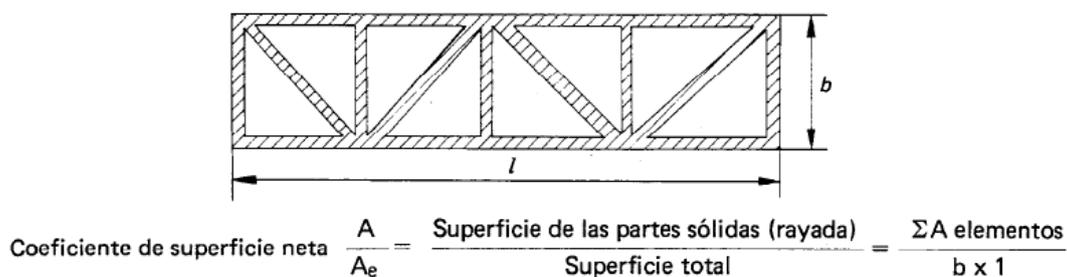


Figura 8-5. Coeficiente de superficie neta

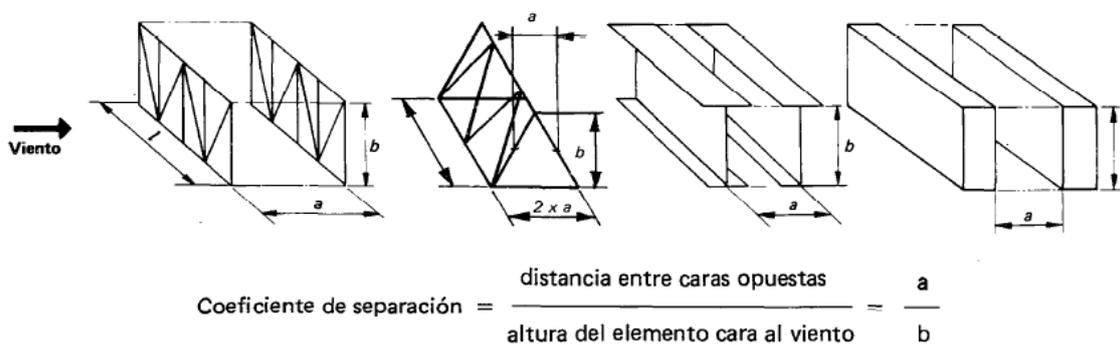


Figura 8-6. Coeficiente de separación

Por su parte, la acción del viento sobre la carga móvil se puede obtener mediante las siguientes expresiones:

- Para aparatos tipo a)

$$f = 0,015 \cdot m \cdot g$$

- Para aparatos tipo b)

$$f = 0,03 \cdot m \cdot g$$

- Para aparatos tipo c)

$$f = 0,06 \cdot m \cdot g$$

donde

- $f$  es la fuerza del viento en kN;
- $m$  es la masa de la carga móvil en t;
- $g$  es la aceleración de la gravedad en  $m/s^2$ .

### 8.4.1.2 Viento con el aparato fuera de servicio

La acción del viento estando el aparato fuera de servicio  $S_{Wmax}$  queda recogida en la norma UNE 58132-2:2005 [F]. La velocidad y presión del viento sobre la estructura en función de la altura se pueden observar en la siguiente tabla:

Altura sobre el suelo m	Presión del viento fuera de servicio N/m <sup>2</sup>	Velocidad aproximada equivalente del viento fuera de servicio m/s
0 a 20	800	36
20 a 100	1 100	42
más de 100	1 300	46

Tabla 8-6. Velocidad y presión del viento fuera de servicio

Quedando del lado de la seguridad, se puede adoptar un valor de presión constante para toda la altura del aparato e igual al obtenido en su extremo superior.

### 8.4.2 Sobrecarga de nieve

En el cálculo de aparatos de elevación no se tiene en cuenta la acción de la nieve.

### 8.4.3 Variaciones de temperatura

Las sollicitaciones debidas a las variaciones de temperatura no se tienen en cuenta excepto en casos concretos. Por ejemplo, cuando los elementos no puedan dilatarse libremente. En estos casos se toma un rango de temperaturas extremas (de -20°C a +45°C).

## 9 COMBINACIONES DE ACCIONES

### 9.1 Estados Límite Últimos

La norma UNE 58132-2:2005 [F] estipula que se deben considerar tres combinaciones de acciones distintas en el cálculo de las estructuras:

- Caso I. Servicio normal sin viento.
- Caso II. Servicio normal con viento límite.
- Caso III. Solicitaciones excepcionales.

Además, se contempla la incorporación de un coeficiente de mayoración  $\gamma_c$  que depende del grupo al que pertenece el aparato y que aparece en la siguiente tabla:

Grupo del aparato	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>	A <sub>5</sub>	A <sub>6</sub>	A <sub>7</sub>	A <sub>8</sub>
$\gamma_c$	1,00	1,02	1,05	1,08	1,11	1,14	1,17	1,20

Tabla 9-1. Coeficiente de mayoración  $\gamma_c$

#### 9.1.1 Caso I

Se consideran las acciones estáticas debidas al peso propio  $S_G$ , las debidas a la carga de servicio  $S_L$  mayoradas por el coeficiente dinámico  $\Psi$  y los dos efectos horizontales más desfavorables  $S_H$ , excluyendo los efectos de choque  $S_T$ . Todas ellas multiplicadas por el coeficiente  $\gamma_c$  descrito anteriormente:

$$\gamma_c \cdot (S_G + \Psi \cdot S_L + S_H)$$

#### 9.1.2 Caso II

Al Caso I se le añade la acción del viento límite de servicio  $S_W$  y, si es necesario, la acción debida a la variación de temperatura:

$$\gamma_c \cdot (S_G + \Psi \cdot S_L + S_H) + S_W$$

#### 9.1.3 Caso III

En esta hipótesis se considerará la combinación de acciones más desfavorable de entre las que se enuncian a continuación:

- Aparato fuera de servicio con viento máximo:

$$S_G + S_{Wmax}$$

Dado que la grúa contará con un dispositivo antivuelco que evitará la pérdida del equilibrio, esta combinación no se tendrá en cuenta.

- Aparato en servicio bajo el efecto de un choque:

$$S_G + S_L + S_T$$

En este caso no se contemplan efectos de choque, así que esta combinación no se considerará.

- Aparato sometido a los ensayos descritos en la norma UNE 58118. Estos ensayos quedan fuera del alcance de este proyecto y no serán contemplados.

## 9.2 Estados Límite de Servicio

Los tres casos de combinaciones descritos anteriormente se utilizan en el dimensionado y comprobación de los ELU. Para la comprobación del ELS de deformación (comprobación de la flecha máxima en las vigas) se emplea la siguiente combinación de acciones:

$$S_G + S_L$$

Con la aplicación de esta hipótesis de cálculo se debe verificar que la flecha máxima  $F$  no supera la flecha admisible  $F_{adm}$ , que para este tipo de aparatos de elevación es:

$$F \leq F_{adm}$$

$$F_{adm} = \frac{L}{1000}$$

## 10 ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS

Una vez conocidos los datos de partida y los requisitos de diseño, se pasa a realizar un análisis de las diferentes alternativas estructurales disponibles actualmente con el fin de escoger la más adecuada para la realización de este proyecto.

Para la realización de esta comparativa se han tenido en cuenta las siguientes consideraciones:

- Se ha creado un modelo de la grúa simplificado tanto en geometría como en cargas.
- Las diversas alternativas se han modelizado con la ayuda del software de análisis y diseño estructural *SAP2000 v.17*, a partir del cual se han obtenido los valores de los esfuerzos actuantes y las comprobaciones requeridas por la normativa.
- La opción escogida será la que suponga una menor cantidad de acero. No obstante, a la hora de escoger una solución intervienen también otros factores importantes como pueden ser la mano de obra necesaria para la fabricación y el montaje, el mantenimiento, la apariencia, etc. Dado que la estimación de todos estos factores ocuparía un proyecto entero aparte, no se tendrán en cuenta.
- Una vez realizada esta comparativa y seleccionada la opción más adecuada, se desarrollará un modelo completo de la grúa en cuanto a geometría y cargas que supondrá la solución definitiva al problema.

### 10.1 Descripción del modelo simplificado

#### 10.1.1 Geometría

La grúa completa se construirá como un pórtico birraíl, es decir, con dos vigas principales. Sin embargo, el modelo simplificado consiste en una sola viga continua de luz  $L = 50$  m apoyada isostáticamente en sus extremos (apoyo móvil/apoyo fijo), solicitada con la mitad de la carga de servicio  $S_L$ . La morfología de la viga dependerá de la alternativa estudiada.

#### 10.1.2 Acciones

Las acciones a considerar son dos. Por un lado, el peso propio de la estructura  $S_G$ , que es una acción permanente y se puede representar como una carga

uniformemente distribuida a lo largo de la longitud de la viga. En la Figura 10-1 aparece un esquema junto con las expresiones para el cálculo de esfuerzos y deformaciones.

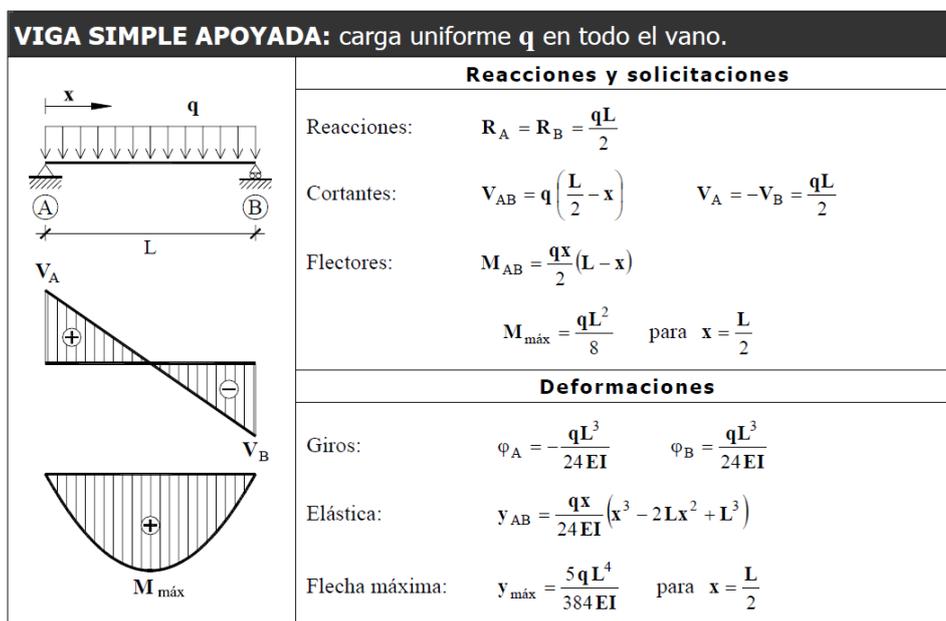


Figura 10-1. Viga con carga distribuida uniforme [17]

Por otro lado, la carga de servicio  $S_L = 25$  t, modelizada como una carga puntual aplicada en el punto más desfavorable, es decir, en el centro del vano ( $L/2$ ) (Figura 10-2).

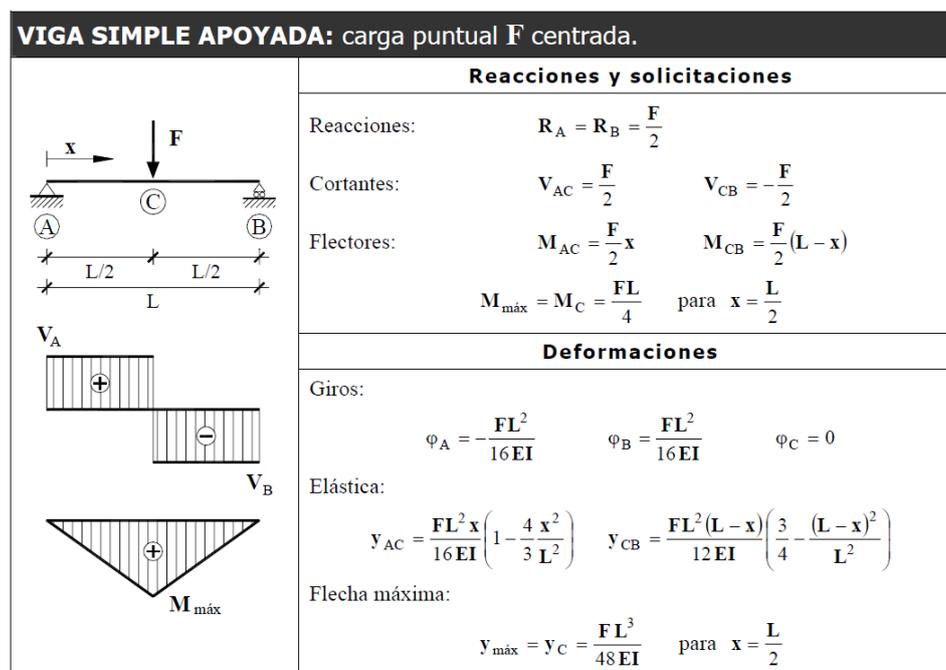


Figura 10-2. Viga con carga puntual centrada [17]

### 10.1.3 Combinación de acciones

#### 10.1.3.1 ELU

Para realizar el dimensionado y las comprobaciones relativas a los ELU de la estructura, las acciones se mayoran con los coeficientes  $\gamma_c$  y  $\Psi$ , descritos en el Capítulo 8. La hipótesis de cálculo es, por tanto:

$$\gamma Y_c \cdot (S_G + \Psi \cdot S_L)$$

El valor de la carga correspondiente al peso propio depende del tipo de perfil utilizado, por lo que se determinará para cada caso. En cambio, la carga de servicio sí que es conocida. Su valor total se ha establecido en 50 toneladas para la grúa completa. Para este modelo se considera la mitad de esta cifra, 25 toneladas, ya que solo se está analizando una viga aislada.

$$S_L = 25 t$$

Por su parte, los coeficientes  $\gamma_c$  y  $\Psi$  son calculados a continuación.

El aparato se ha englobado en el grupo A5. Por tanto, el valor de  $\gamma_c$ , según la Tabla 9-1, será:

$$\gamma Y_c = 1,11$$

En cuanto al coeficiente dinámico  $\Psi$ , considerando una velocidad de elevación de 5 m/min (0,083 m/s), se tiene:

$$\Psi = 1 + 0,6 \cdot 0,083 = 1,05$$

No obstante,  $\Psi$  no puede ser menor de 1,15. Por tanto:

$$\Psi = 1,15$$

De esta manera la hipótesis de cálculo será:

$$1,11 \cdot S_G + 1,30 \cdot S_L$$

#### 10.1.3.2 ELS

Para la verificación del ELS de deformación, tanto el peso propio como la carga de servicio se combinan sin mayorar, es decir, sin aplicación de coeficientes. Por tanto, la hipótesis de carga es este caso será:

$$1 \cdot S_G + 1 \cdot S_L$$

## 10.2 Opción 1. Perfil laminado IPE

### 10.2.1 Descripción del modelo

La primera alternativa supone la utilización de un perfil laminado en caliente de alas paralelas tipo IPE. Dada la luz de la viga, en primer lugar se prueba con la sección mayor del catálogo comercial de ArcelorMittal [20], IPE 750x196. Sus dimensiones son:

<b>G</b>	<b>h</b>	<b>b</b>	<b>t<sub>w</sub></b>	<b>t<sub>f</sub></b>	<b>r</b>	<b>A</b>
kg/m	mm	mm	mm	mm	mm	mm <sup>2</sup> x 10 <sup>2</sup>
196	770	268	15,6	25,4	17,0	251

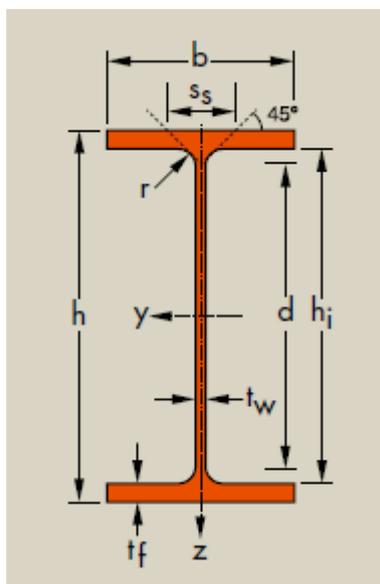


Figura 10-3. Dimensiones del perfil IPE

Las propiedades de la sección respecto a su eje fuerte son:

<b>G</b>	<b>I<sub>y</sub></b>	<b>W<sub>el,y</sub></b>	<b>W<sub>pl,y</sub></b>	<b>i<sub>y</sub></b>	<b>A<sub>vz</sub></b>	<b>Clase</b>
kg/m	mm <sup>4</sup> x 10 <sup>4</sup>	mm <sup>3</sup> x 10 <sup>3</sup>	mm <sup>3</sup> x 10 <sup>3</sup>	mm	mm <sup>2</sup> x 10 <sup>2</sup>	Flexión
196	240300	6241	7174	310	127	1

## 10.2.2 Dimensionado/comprobación

### 10.2.2.1 ELS Deformación

Cuando se trata de dimensionar vigas biapoyadas con una luz considerable, el mayor condicionante es la limitación de flecha. Por tanto, el dimensionamiento se inicia con la comprobación de este parámetro.

A partir de la combinación característica de acciones  $1 \cdot S_G + 1 \cdot S_L$  se obtiene el valor de la flecha máxima producida en la viga. Se debe verificar que la flecha no supere el valor admisible:

$$F \leq F_{adm}$$

La flecha máxima admisible se establece en  $L/1000$ . Siendo  $L = 50$  m,  $F_{adm} = 0,050$  m.

ELS Deformación	F (m)	F <sub>adm</sub> (m)	¿CUMPLE?
IPE 750x196	1,577	0,050	NO

Por tanto, la viga no cumple los requisitos exigidos y no cumple el ELS de deformación. Así pues, ningún perfil IPE es válido para la realización de esta estructura y esta opción queda descartada.

## 10.3 Opción 2. Perfil laminado HE

### 10.3.1 Descripción del modelo

La siguiente alternativa considerada es el perfil laminado en caliente tipo HE. Dada la luz de la viga, en primer lugar se prueba con la sección mayor del catálogo comercial de ArcelorMittal, HE 1000 M. Sus dimensiones son:

G	h	b	t <sub>w</sub>	t <sub>f</sub>	r	A
kg/m	mm	mm	mm	mm	mm	mm <sup>2</sup> x 10 <sup>2</sup>
349	1008	302	21	40	30	444,2

Las propiedades de la sección respecto a su eje fuerte son:

G	I <sub>y</sub>	W <sub>el,y</sub>	W <sub>pl,y</sub>	i <sub>y</sub>	A <sub>vz</sub>	Clase
kg/m	mm <sup>4</sup> x 10 <sup>4</sup>	mm <sup>3</sup> x 10 <sup>3</sup>	mm <sup>3</sup> x 10 <sup>3</sup>	mm	mm <sup>2</sup> x 10 <sup>2</sup>	Flexión
349	722300	14330	16570	403,2	235	1

## 10.3.2 Dimensionado/comprobación

### 10.3.2.1 ELS Deformación

A partir de la combinación característica de acciones  $1 \cdot S_G + 1 \cdot S_L$  se obtiene el valor de la flecha máxima producida en la viga. Se debe verificar que la flecha no supere el valor admisible:

$$F \leq F_{adm}$$

La flecha máxima admisible se establece en  $L/1000$ . Siendo  $L = 50$  m,  $F_{adm} = 0,050$  m.

ELS Deformación	F (m)	F <sub>adm</sub> (m)	¿CUMPLE?
HE 1000 M	0,604	0,050	NO

Por tanto, la viga no cumple los requisitos exigidos y no cumple el ELS de deformación. Así pues, ningún perfil HE es válido para la realización de esta estructura y esta opción queda descartada, aunque la mejora respecto al perfil IPE es notable.

## 10.4 Opción 3. Viga cajón armada

### 10.4.1 Descripción del modelo

La tercera alternativa consiste en una viga cajón armada a base de planchas de acero laminado soldadas. Las vigas cajón armadas son la solución estructural más empleada a la hora de construir tanto puentes grúa como grúas pórtico destinados a mover cargas medianas y grandes, con cualquier rango de luces a salvar.

Su popularidad radica en que soportan realmente bien los esfuerzos de flexión simple y compuesta predominantes en este tipo de estructuras. Además, al ser secciones cerradas, son útiles cuando aparecen momentos torsores y generalmente no tienen problemas de inestabilidad lateral. Se puede construir prácticamente cualquier tipo de sección que se necesite, aunque las más habituales son rectangulares o cuadradas.

El proceso de diseño de esta viga comienza con el dimensionado de una sección inicial teniendo en cuenta las siguientes relaciones:

$$h \geq \frac{L}{25}$$

$$b \geq \frac{L}{65}$$

siendo  $L$  la distancia entre apoyos de la viga. Si  $L = 50$  m:

$$h \geq 2 \text{ m}$$

$$b \geq 0,769 \text{ m}$$

El espesor de las planchas se puede calcular de tal manera que se eviten problemas de abolladura del alma por cortante. Esto se puede conseguir si la sección es de clase 1, 2 o 3. Para que la sección sea al menos de clase 3 (semicompacta o elástica), según el Apartado 5.5.2, Tabla 5.2 de la norma EN 1993-1-1 [A]:

$$\frac{C}{t} \leq 124 \cdot \varepsilon$$

siendo

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

Si para su construcción se emplea acero S 355, con  $f_y = 355$  MPa, se tiene:

$$\varepsilon = 0,814$$

En base a estas relaciones, se han calculado las dimensiones de una sección base (CAJÓN 1). Para obtener unas dimensiones sin números decimales, éstas se han redondeado al alza. A partir de la sección base se han definido 4 secciones adicionales incrementando las dimensiones originales desde un 10% hasta un 40%, con lo que se tienen 5 secciones diferentes para la viga cajón.

El espesor de las alas  $t_f$  y el de las almas  $t_w$  se ha unificado en un solo valor  $t$  (el mayor de ambos) para simplificar el proceso, quedando del lado de la seguridad.

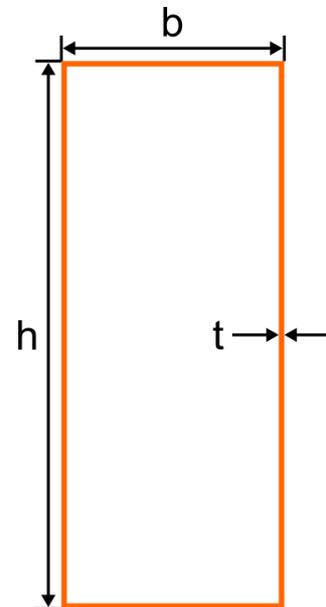


Figura 10-4. Dimensiones de la sección CAJÓN

Sección	h (mm)	b (mm)	t (mm)	A (mm <sup>2</sup> )	G (kg/m)
CAJÓN 1	2000	800	20	110400	867
CAJÓN 2	2200	880	22	133584	1049
CAJÓN 3	2400	960	24	158976	1248
CAJÓN 4	2600	1040	26	186576	1465
CAJÓN 5	2800	1120	28	216384	1699

Las propiedades de las secciones respecto a su eje fuerte son:

Sección	$I_y$ mm <sup>4</sup>	$W_{el,y}$ mm <sup>3</sup>	$W_{pl,y}$ mm <sup>3</sup>	$i_y$ mm	$A_{vz}$ mm <sup>2</sup>	Clase Flexión
CAJÓN 1	5,646E+10	5,646E+07	7,009E+07	715	76355	3
CAJÓN 2	8,267E+10	7,515E+07	9,330E+07	787	92390	3
CAJÓN 3	1,171E+11	9,757E+07	1,211E+08	858	109951	3
CAJÓN 4	1,613E+11	1,240E+08	1,540E+08	930	129040	3
CAJÓN 5	2,169E+11	1,549E+08	1,923E+08	1001	149656	3

Se considerarán las 5 secciones y se adoptará como definitiva la menor que cumpla las comprobaciones de ELS y ELU.

## 10.4.2 Dimensionado/comprobación

### 10.4.2.1 ELS Deformación

En primer lugar se utiliza la sección menor, es decir, CAJÓN 1. A partir de la combinación de acciones  $1 \cdot S_G + 1 \cdot S_L$  se obtiene el valor de la flecha máxima producida en la viga. Se debe verificar que la flecha no supere el valor admisible:

$$F \leq F_{adm}$$

La flecha máxima admisible se establece en  $L/1000$ . Siendo  $L = 50$  m,  $F_{adm} = 0,050$  m.

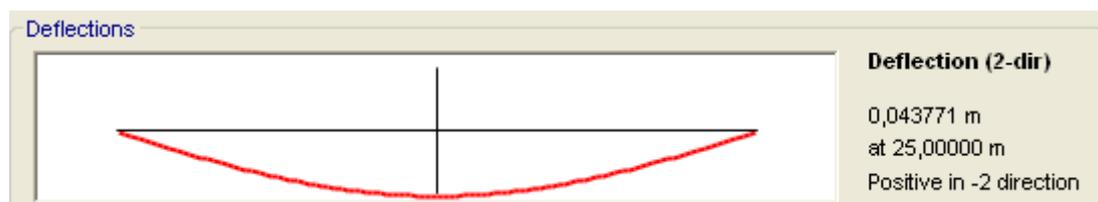


Figura 10-5. Flecha de la viga con la sección CAJÓN 5

ELS Deformación	F (m)	F <sub>adm</sub> (m)	¿CUMPLE?
CAJÓN 1	0,112	0,050	NO
CAJÓN 2	0,085	0,050	NO
CAJÓN 3	0,066	0,050	NO
CAJÓN 4	0,053	0,050	NO
CAJÓN 5	0,044	0,050	SI

Por tanto, se toma la sección CAJÓN 5 y a continuación se verifican los ELU.

#### 10.4.2.2 ELU Resistencia de las secciones

Para la comprobación de los diversos ELU se utilizará la combinación de acciones  $1,11 \cdot S_G + 1,30 \cdot S_L$ .

Los esfuerzos máximos en la viga tienen los siguientes valores:

BARRA	N <sub>Ed</sub> (kN)	V <sub>Ed</sub> (kN)	M <sub>Ed</sub> (kN·m)
1	0	621,55	9761,40

Tabla 10-1. Esfuerzos dimensionantes en la viga cajón

#### Momento flector

Según el Artículo 6.2.5 de la norma EN 1993-1-1 [A], el valor de cálculo del momento flector  $M_{Ed}$  en cada sección transversal debe cumplir:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1,0$$

siendo  $M_{c,Rd}$ , para secciones de clase 3:

$$M_{c,Rd} = M_{el,Rd} = \frac{W_{el} \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

BARRA	M <sub>Ed</sub> (kN·m)	M <sub>c,Rd</sub> (kN·m)	RATIO	¿CUMPLE?
1	9761,40	55001,47	0,178	SI

#### Esfuerzo cortante

Según el Artículo 6.2.6 de [A], el valor de cálculo del esfuerzo cortante  $V_{Ed}$  debe cumplir:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1,0$$

siendo  $V_{c,Rd}$ , en ausencia de esfuerzos de torsión:

$$V_{c,Rd} = V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}$$

BARRA	$V_{Ed}$ (kN)	$V_{c,Rd}$ (kN)	RATIO	¿CUMPLE?
1	621,55	30673,33	0,020	SI

### Interacción de esfuerzos

El Apartado 6.2.8 de [A] establece que cuando el esfuerzo cortante sea menor que la mitad de la resistencia plástica de cálculo a cortante  $V_{pl,Rd}$ , su efecto sobre la resistencia a flexión puede despreciarse. Es decir, se debe cumplir:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} \leq 0,5$$

BARRA	$V_{Ed}$ (kN)	$0,5 \cdot V_{pl,Rd}$ (kN)	RATIO	¿CUMPLE?
1	621,55	15336,67	0,041	SI

Por tanto, no hay interacción del esfuerzo cortante.

### 10.4.2.3 ELU Inestabilidad

#### Elementos uniformes sometidos a flexión

Según el Artículo 6.3.2.1 de [A], los elementos sin arriostramiento lateral sometidos a flexión alrededor del eje fuerte deben satisfacer la siguiente relación:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} \leq 1,0$$

Donde  $M_{b,Rd}$  es la resistencia de cálculo a flexión frente a pandeo lateral. Para secciones clase 3, se puede calcular como:

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \cdot W_{eL,y} \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$$

siendo

$\chi_{LT}$  el coeficiente de reducción por pandeo lateral:

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} \quad \text{con } \chi_{LT} \leq 1,0$$

donde

$$\phi_{LT} = 0,5 \cdot [1 + \alpha_{LT} \cdot (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2]$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_{el,y} \cdot f_y}{M_{cr}}}$$

$\alpha_{LT}$  es un coeficiente de imperfección cuyos valores aparecen en la Tabla 6.3 [A] y dependen de la curva de pandeo. La Tabla 6.4 [A] propone la elección de la curva de pandeo en función del tipo de sección transversal.

Así pues, para secciones diferentes de las formadas en I, se debe escoger la curva de pandeo  $d$ , que conlleva  $\alpha_{LT} = 0,76$ .

$M_{cr}$  se obtiene a partir de diversos parámetros, como las características de la sección transversal, las condiciones de carga o los arriostramientos laterales.

Los resultados parciales se hallan en la siguiente tabla:

$M_{cr}$ (kN·m)	$\bar{\lambda}_{LT}$	$\alpha_{LT}$	$\Phi_{LT}$	$\chi_{LT}$	$M_{b,Rd}$ (kN·m)
824498,53	0,258	0,760	0,556	0,955	52526,40

Aplicando la condición propuesta al inicio de este apartado:

BARRA	$M_{Ed}$ (kN·m)	$M_{b,Rd}$ (kN·m)	RATIO	¿CUMPLE?
1	9761,40	52526,40	0,186	SI

Por tanto, la viga no alcanza el ELU de pandeo lateral. Al cumplirse todos los requisitos, la viga con la sección CAJÓN 5 supone una alternativa válida para la ejecución de la grúa.

### 10.4.3 Cantidad de acero empleado

La cantidad de acero necesaria para construir la viga será:

$$M_{acero} = 1699 \frac{kg}{m} \cdot 50 m = 84950 kg$$

## 10.5 Opción 4. Viga en celosía tridimensional con perfiles SHS

### 10.5.1 Descripción del modelo

La siguiente opción considerada consiste en el empleo de una viga en celosía espacial de sección triangular y canto constante. Este tipo de celosías son estables por sí mismas, no necesitan de arriostramientos externos y pueden soportar cargas en todas las direcciones.

Las vigas en celosía están caracterizadas por la luz  $L$ , la altura o canto  $h$ , por la disposición de las barras de relleno y por la distancia entre nudos. La altura está condicionada por la carga, la luz, la flecha admisible, etc. Al incrementar  $h$  se reducen los esfuerzos en los cordones pero aumentan las longitudes de las barras de relleno. El canto se sitúa habitualmente entre  $L/10$  y  $L/15$ .

Una estructura en celosía normalmente se diseña con el fin de transmitir las cargas aplicadas mediante esfuerzos axiales en las barras. Sin embargo, en las vigas en celosía de perfiles tubulares los cordones son habitualmente continuos, y las barras de relleno suelen soldarse sobre ellos. Por tanto, se generan momentos flectores secundarios tanto en las barras como en las uniones. Aun así, se acepta que si las barras y las uniones son capaces de redistribuir esos momentos de forma plástica, el conjunto se puede considerar como articulado.

Se considera que aproximadamente el 50% del peso de material corresponde a los cordones comprimidos, alrededor del 30% lo aportan los cordones traccionados y el 20% restante corresponde a las barras de relleno. Por tanto, si se busca optimizar el peso de la estructura, el objetivo estará puesto en el cordón comprimido.

Para la creación del modelo mediante el software SAP2000, se ha considerado que:

- Los cordones son elementos continuos.
- Los elementos de relleno se unen en sus extremos mediante nudos articulados.
- Todos los ejes longitudinales de los elementos coinciden en los nudos.

### 10.5.1.1 Perfiles utilizados

Para el diseño de esta viga se utilizan perfiles tubulares de sección cuadrada SHS (Square Hollow Section) según la norma EN 10210-2. Se ha decidido la utilización de esta clase de barras tubulares en detrimento de los CHS (Circular Hollow Section) debido a que los resultados en cuanto a gasto de material son similares y, por el contrario, la ejecución de uniones entre perfiles tubulares redondos es mucho más laboriosa, ya que los cortes son curvos. La lista de secciones a utilizar será la gama comprendida entre el SHS 40X40X3 y el SHS 400X400X16.

### 10.5.1.2 Geometría de la viga

#### Altura $h$ y anchura $b$

Dado que tanto la luz como la carga son elevadas, se ha tomado como canto de la viga:

$$h = \frac{L}{10}$$

Teniendo en cuenta que  $L = 50$  m,

$$h = 5 \text{ m}$$

Así mismo, se ha tomado como anchura  $b$ :

$$b = \frac{h}{2,5}$$

Por tanto,

$$b = 2 \text{ m}$$

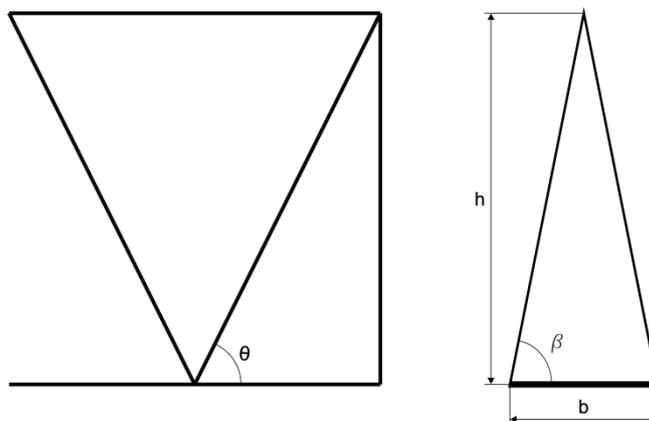


Figura 10-6. Geometría de la viga en celosía

### Dimensiones de las barras de relleno

Las dimensiones de las barras de relleno y los ángulos que forman respecto a los cordones aparecen a continuación:

$\theta$	$\beta$	Long. diagonales (m)	Long. montantes (m)
63,43°	78,69°	5,68	5,10

## 10.5.2 Dimensionado/comprobación

El dimensionado de una viga en celosía tridimensional es más complicado que el de una viga de alma llena como la viga cajón que se ha tratado anteriormente, ya que está compuesta por múltiples elementos (cordones, diagonales y montantes) y todos ellos influyen en su comportamiento.

### 10.5.2.1 Predimensionado de los elementos de relleno

El objetivo es definir la sección de las barras de relleno para que el programa sólo se ocupe de dimensionar los cordones y así reducir el tiempo de cálculo de la estructura. Las secciones obtenidas con el predimensionado no estarán muy optimizadas, pero como su influencia en el peso total de la estructura es baja, es una solución aceptable.

Se calculan dos secciones, una para las diagonales comprimidas y los montantes de los extremos (también comprimidos), y otra para las diagonales traccionadas. Para los montantes horizontales se toma un perfil SHS 40X40X3, dado que los esfuerzos en esas barras son muy reducidos (en torno a 1 kN).

Una viga en celosía se puede asemejar a una viga de alma llena en la que los elementos de relleno son los encargados de absorber los esfuerzos cortantes.

Suponiendo que el cordón superior es un SHS 400X400X16 ( $G = 184 \text{ kg/m}$ ), y que su peso supone aproximadamente el 50% del total:

$$S_G = \frac{184}{0,5} = 368 \frac{\text{kg}}{\text{m}} = 3,61 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$S_L = 25 \text{ t} = 245,25 \text{ kN}$$

Partiendo de la combinación de acciones  $1,11 \cdot S_G + 1,30 \cdot S_L$  empleada para la comprobación de los ELU, se obtiene el esfuerzo cortante máximo en la viga:

$$V = \frac{1,1 \cdot S_G \cdot L}{2} + \frac{1,3 \cdot S_L}{2}$$

$$V = 259,59 \text{ kN}$$

El axil en cada diagonal es:

$$N_d = \frac{V}{2 \cdot \operatorname{sen} \rho}$$

Siendo  $\rho = 61,70^\circ$  el ángulo que forma la diagonal con el plano horizontal. Por tanto:

$$N_d = 147,41 \text{ kN}$$

Para las diagonales a compresión, y de manera conservadora, se adopta un perfil SHS 120X120X5, con una resistencia a pandeo  $N_{b,Rd} = 272,44 \text{ kN}$ .

Para las diagonales a tracción, y de forma también conservadora, se adopta un perfil SHS 50X50X5, con una resistencia a tracción  $N_{t,Rd} = 309,92 \text{ kN}$ .

### 10.5.2.2 Dimensionado final

Con las barras de relleno ya definidas, se pasa a dimensionar los cordones. Los perfiles obtenidos se muestran en la Tabla 10-2:

ELEMENTO	Nº BARRAS	LONG. UNITARIA (m)	SECCIÓN
Cordón superior	1	50	SHS 350X350X8
Cordón inferior	2	50	SHS 250X250X8
Diagonal comprimida	20	5,68	SHS 120X120X5
Diagonal traccionada	20	5,68	SHS 50X50X5
Montante extremo	4	5,10	SHS 120X120X5
Montante horizontal	12	2	SHS 40X40X3
<b>TOTAL</b>	<b>59</b>		

Tabla 10-2. Secciones utilizadas en la viga en celosía

A continuación se muestran los resultados de las comprobaciones relativas a los estados últimos según la norma EN 1993-1-1 [A].

### 10.5.2.3 ELS Deformación

A partir de la combinación de acciones  $1 \cdot S_G + 1 \cdot S_L$  se obtiene el valor de la flecha máxima producida en la viga. Se debe verificar que la flecha no supere el valor admisible:

$$F \leq F_{adm}$$

La flecha máxima admisible se establece en  $L/1000$ . Siendo  $L = 50 \text{ m}$ ,  $F_{adm} = 0,050 \text{ m}$ .

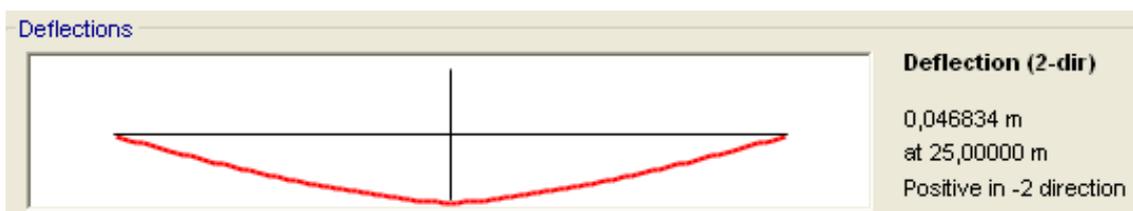


Figura 10-7. Flecha del cordón superior de la viga en celosía

La barra que debe cumplir el ELU de deformación es el cordón superior (Figura 10-7), ya que es el que servirá de base para el camino de rodadura del carro.

ELS Deformación	F (m)	F <sub>adm</sub> (m)	¿CUMPLE?
Cordón superior	0.047	0,050	SI

### 10.5.2.4 ELU Resistencia de las secciones

Para la comprobación de los diversos ELU se utilizará la combinación de acciones  $1,11 \cdot S_G + 1,30 \cdot S_L$ .

En la Tabla 10-3 se muestran los esfuerzos máximos (dimensionantes) para cada tipo de barra.

BARRA	N <sub>Ed</sub> (kN)	V <sub>Ed</sub> (kN)	M <sub>Ed</sub> (kN·m)
Cordón superior	-890,93	8,72	30,36
Cordón inferior	484,57	3,33	6,40
Diagonal comprimida	-127,47	0,26	0,37
Diagonal traccionada	126,12	0,10	0,14
Montante extremo	-115,42	0,10	0,12
Montante horizontal	-1,24	0,04	0,02

Tabla 10-3. Esfuerzos dimensionantes en la viga en celosía

El esfuerzo cortante y el momento flector se despreciarán en todos los casos excepto en la comprobación del cordón superior.

#### Esfuerzo axil de tracción

Los elementos traccionados, véase el cordón inferior y la diagonal traccionada, se comprueban como sigue.

Según el Artículo 6.2.3 [A] el valor de cálculo del esfuerzo axil de tracción  $N_{Ed}$  en cada sección transversal debe cumplir:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1,0$$

En ausencia de agujeros,  $N_{t,Rd}$  puede tomarse como:

$$N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

BARRA	$N_{Ed}$ (kN)	$N_{t,Rd}$ (kN)	RATIO	¿CUMPLE?
Cordón inferior	484,57	2726,40	0,178	SI
Diagonal trac.	126,12	309,92	0,407	SI

### 10.5.2.5 ELU Inestabilidad

#### Elementos uniformes sometidos a compresión

Los elementos solicitados a compresión, como es el caso del montante horizontal, el montante extremo y la diagonal comprimida se comprueban a pandeo.

Según el Artículo 6.3.1.1 de [A], los elementos comprimidos deben satisfacer la siguiente relación:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,0$$

donde  $N_{b,Rd}$  es la resistencia de cálculo a pandeo. Para secciones de clase 1,2 o 3 se puede calcular como:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

siendo  $\chi$  el coeficiente de reducción por pandeo:

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \quad \text{con } \chi \leq 1,0$$

donde

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2]$$

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

$\alpha$  es un coeficiente de imperfección cuyos valores aparecen en la Tabla 6.1 [A] y dependen de la curva de pandeo. La Tabla 6.2 [A] propone la elección de la curva de pandeo en función del tipo de sección transversal.

Así pues, para secciones huecas acabadas en caliente, se debe escoger la curva de pandeo a, que conlleva  $\alpha = 0,21$ .

$N_{cr}$  se puede obtener como:

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{l^2}$$

Los resultados parciales se detallan a continuación:

BARRA	$N_{cr}$ (kN)
Diagonal comprimida	320,05
Montante extremo	396,99
Montante horizontal	50,68

BARRA	$\bar{\lambda}$	$\alpha$	$\Phi$	$\chi$	$N_{b,rd}$ (kN)
Diag. compr.	1,587	0,210	1,905	0,338	272,44
Mont. extr.	1,425	0,210	1,644	0,406	327,19
Mont. horiz.	1,744	0,210	2,182	0,286	44,09

Aplicando la condición propuesta al inicio de este apartado:

BARRA	$N_{Ed}$ (kN)	$N_{b,Rd}$ (kN·m)	RATIO	¿CUMPLE?
Diagonal compr.	-127,47	272,44	0,468	SI
Montante extr.	-115,42	327,19	0,353	SI
Montante horiz.	-1,24	44,09	0,028	SI

### Elementos sometidos a compresión y flexión

Los elementos sometidos a compresión y flexión combinadas como es el caso del cordón superior se comprueban según lo indicado en el Artículo 6.6.3 [A] (Ecuación 6.61):

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{\gamma_{M1}} \leq 1,0$$

No obstante, como  $M_{z,Ed} = 0$ , la ecuación anterior queda:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$$

Donde  $k_{yy}$  es el coeficiente de interacción calculado según el Anexo B de [A]. En este caso,  $k_{yy} = 1,018$ .

Por su parte,  $\chi_y$  y  $\chi_{LT}$  son coeficientes de reducción por pandeo a compresión y pandeo lateral respectivamente. Como se trata de un elemento no susceptible a la deformación por torsión,  $\chi_{LT} = 1$ .

BARRA	$N_{cr}$ (kN)	$\bar{\lambda}_y$	$\alpha$	$\Phi$	$\chi_y$
Cordón sup.	17492,89	0,436	0,210	0,620	0,943

El perfil SHS 350X350X8 es de clase 4, con lo que, según la Tabla 6.7 [A]:

$$N_{Rk} = f_y \cdot A_{eff}$$

$$M_{y,Rk} = f_y \cdot W_{eff,y}$$

Aplicando la condición propuesta al inicio de este apartado:

BARRA	$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}}$	$k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}}$	RATIO	¿CUMPLE?
Cordón superior	0,285	0,079	0,364	SI

Al cumplirse todos los requisitos, la viga en celosía con perfiles tipo SHS es una alternativa válida para la ejecución de la grúa.

### 10.5.3 Cantidad de acero empleado

La cantidad de acero necesaria para construir la viga será:

SECCIÓN	Nº BARRAS	LONG. TOTAL (m)	PESO (kN)
SHS 350X350X8	1	50,00	41,96
SHS 250X250X8	2	100,00	59,12
SHS 120X120X5	24	133,97	23,41
SHS 50X50X5	20	113,58	7,63
SHS 40X40X3	12	24,00	0,80
<b>TOTAL</b>	<b>59</b>	<b>421,55</b>	<b>132,91</b>

Tabla 10-4. Peso de la viga en celosía por tipo de sección

Por tanto,

$$M_{acero} = 13548 \text{ kg}$$

## 10.6 Conclusiones del análisis

ALTERNATIVA	¿ES VÁLIDA?	ACERO (kg)	DIFERENCIA
1 - IPE	NO	-	-
2 - HE	NO	-	-
3 - CAJÓN	SÍ	84950	+627%
4 - CELOSÍA	SÍ	13548	-627%

Tabla 10-5. Comparativa de resultados del análisis

Tras analizar las diversas opciones disponibles para llevar a cabo la ejecución de la grúa pórtico objeto de este proyecto, se concluye que:

- Las opciones 1 y 2, basadas en el empleo de perfiles simples laminados en caliente tipo IPE y HE respectivamente, son a todas luces inviables y quedan descartadas. Dadas las dimensiones de la viga y la magnitud de la carga a soportar, a primera vista era de esperar que no fuesen adecuadas; no obstante, es importante analizarlas también para tener una idea de cuál es su límite de aplicación en este tipo de estructuras.
- La tercera alternativa, que supone el empleo de una viga armada en cajón es totalmente válida desde el punto de vista estructural. Su punto fuerte es la relativa sencillez de fabricación y de diseño, ya que se compone de un solo elemento (aunque también hay que prever el uso de rigidizadores internos y otros elementos de refuerzo que aquí no se han considerado y que dificultan el diseño y encarecen su construcción). Su principal desventaja es que se necesita una gran cantidad de acero para su construcción.
- La cuarta y última alternativa considerada, la viga en celosía de sección triangular a base de perfiles tubulares SHS, también resulta válida. Su punto fuerte es la enorme reducción en acero que supone respecto a la viga cajón, como se aprecia en la Tabla 10-5. Su principal punto débil es la complejidad de fabricación en taller, ya que la estructura cuenta con múltiples nudos. Aun así, algunos de estos nudos son idénticos, con lo que el trabajo en taller se puede simplificar notablemente.

Considerando todos los puntos anteriores, **se ha optado por escoger la alternativa nº 4** para llevar a cabo el diseño final de la grúa pórtico. La diferencia de peso de acero empleado es muy abultada (+627%) y suple la diferencia en los costes de fabricación de ambas alternativas. Además, la grúa realizará su actividad en el exterior, y las estructuras en celosía ofrecen una resistencia aerodinámica mucho menor. Por tanto, se necesitarán grupos de impulsión menos potentes, que supondrán un menor coste inicial de instalación y un menor consumo energético a lo largo de toda la vida útil del aparato.

# 11 DISEÑO DE LA GRÚA COMPLETA

## 11.1 Descripción del modelo

Para diseñar la grúa completa se ha tomado como base la viga en celosía con perfiles tubulares tipo SHS obtenida en el análisis de alternativas. La grúa es birraíl, por lo que se compone de dos pórticos idénticos. Para formar cada pórtico, a la viga se le han añadido sendos soportes formados por tres perfiles tubulares como elementos principales acompañados de elementos de arriostramiento. Finalmente, ambos pórticos quedan unidos mediante diversas barras de refuerzo en la parte superior y mediante los bogies o trenes de rodadura en la parte inferior.

La Figura 11-1 muestra la grúa completa modelada en SAP2000.

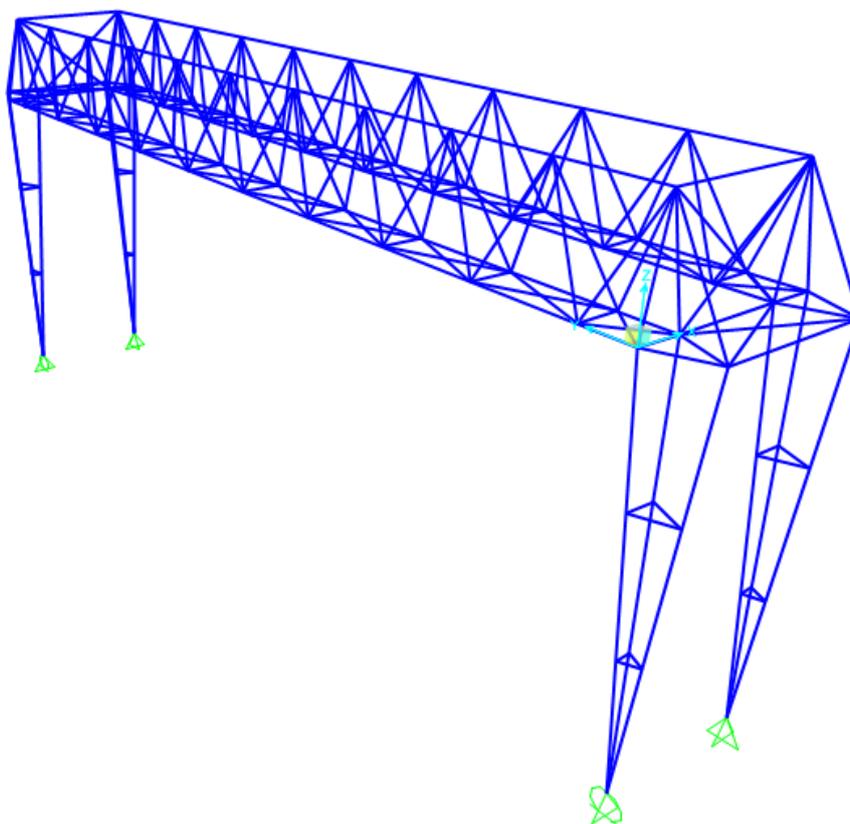


Figura 11-1. Modelo de la grúa pórtico en SAP2000

### 11.1.1 Consideraciones de diseño

Se han hecho las siguientes consideraciones a la hora de desarrollar el modelo de la grúa:

### 11.1.2 Vigas

La geometría de las vigas es básicamente la propuesta y calculada en el análisis de alternativas. No obstante, se han añadido algunas barras de refuerzo. Esto es debido a que en el estudio previo sólo se ha considerado el efecto del peso propio sumado a la carga de servicio, ambas acciones de componente gravitatoria. En cambio, en el diseño completo se consideran, además de las anteriores, cargas horizontales como la acción del viento o la fuerza de inercia debida al movimiento del carro. Debido a estas acciones es necesario arriostrar la viga en el plano horizontal; para ello se añaden una serie de barras en forma de cruz en el plano inferior de la celosía.

Además, la sección de las diagonales traccionadas se ha igualado con la de las diagonales comprimidas, de tal manera que todas las diagonales estén construidas con el mismo tipo de perfil. Este cambio viene motivado por:

- En el estudio previo se ha considerado la carga de servicio en el centro de la viga, en  $L/2$ . Pero la carga se puede mover a lo largo de toda la viga, con lo que los esfuerzos pueden variar.
- Facilidad de construcción. Aunque colocar todas las diagonales idénticas incrementa ligeramente el peso de la estructura, queda compensado por la mayor facilidad de construcción al impedir cualquier error a la hora del montaje. Por ejemplo, colocar una barra dimensionada para trabajar a tracción en el lugar de una comprimida podría llevar la estructura al colapso.

### 11.1.3 Soportes

Los esfuerzos en las vigas se transmiten al tren de rodadura a través de los soportes. Cada viga descansa sobre dos soportes ejecutados en celosía con tres perfiles principales cada uno y diversas barras de arriostramiento para reducir la longitud de pandeo.

Se ha considerado que cada bogie cuenta con dos ruedas situadas en sus extremos, que coinciden con la unión con los soportes. El tren de rodadura no se ha incluido en el modelo; no obstante, en las condiciones de apoyo de la estructura se ha tenido en cuenta su efecto.

### 11.1.4 Carro

El carro (Figura 11-2), que soporta al polipasto y se desplaza sobre las vigas del pórtico, tiene unas dimensiones de 5 x 7 m.

Además, sólo dos de sus ruedas son motrices, una por testero.

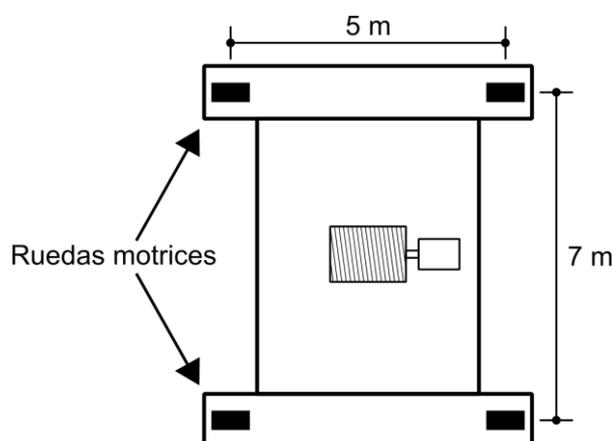


Figura 11-2. Esquema del carro-polipasto

## 11.2 Cálculo de acciones

Siguiendo lo expuesto en el Capítulo 8, a continuación se muestra el cálculo de las acciones que actúan sobre la estructura.

### 11.2.1 Peso propio

El peso propio  $S_G$  de cada elemento se puede considerar como una carga lineal distribuida a lo largo del mismo, de componente gravitatoria. Depende de los perfiles utilizados en la construcción de la grúa, por lo que su valor final no se conocerá hasta que se haya obtenido el dimensionado definitivo.

### 11.2.2 Carga de servicio

La carga de servicio  $S_L$  ha sido definida en 50 t. El carro se apoya sobre las vigas mediante dos ruedas por testero, con lo cual la carga de servicio se divide en cuatro cargas puntuales de 12,5 t cada una.

$S_L$  se aplica en tres posiciones diferentes y no concomitantes.  $S_{L1}$  y  $S_{L3}$  se aplican en los extremos de las vigas, siendo las posiciones más desfavorables para los soportes, mientras que  $S_{L2}$  se aplica en el centro del vano, que es la posición menos favorable para las vigas.

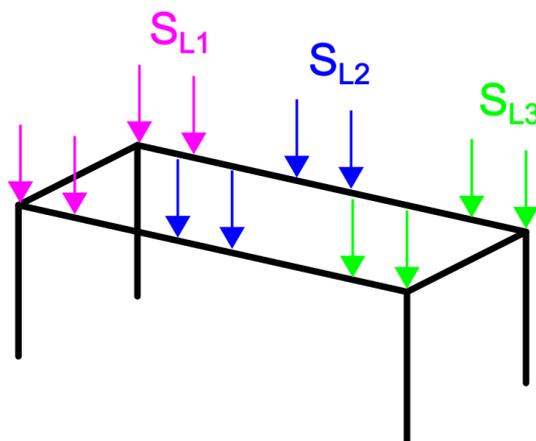


Figura 11-3. Carga de servicio  $S_L$

### 11.2.3 Solicitaciones horizontales

#### 11.2.3.1 Oblicuidad

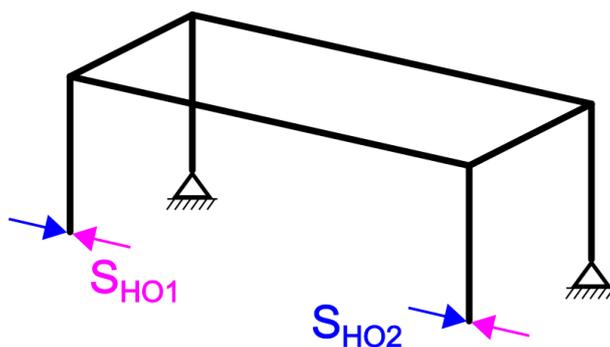


Figura 11-4. Carga de oblicuidad  $S_{HO}$

Las cargas debidas al movimiento oblicuo se han calculado siguiendo el desarrollo mostrado en el Apartado 8.3.1:

- La disposición de los pares de ruedas de los bogies es *IFF*
- Hay 2 ruedas por bogie, sumando un total de 4 ruedas
- Se ha considerado que la carga de servicio se encuentra en la posición 2, es decir, en el centro del vano. Por tanto:

$$\mu = \mu' = 0,5$$

Cálculo de  $h$ :

p	$\mu$	$\mu'$	l (m)	$d_1$ (m)	$d_2$ (m)	h (m)
0	0,5	0,5	50	0	7	7

Cálculo de la carga de oblicuidad en el primer par de ruedas:

$\alpha$ (rad)	f	m·g (kN)	n	v <sub>11</sub>	v <sub>21</sub>	F <sub>y11</sub> (kN)	F <sub>y21</sub> (kN)
0,015	0,293	981,00*	2	0,250	0,250	71,84	71,84

\*m es la masa del aparato más la carga máxima de servicio. Para hacer este cálculo se ha estimado la masa del aparato en 50 toneladas de forma conservadora, ya que hasta que se realice el dimensionado ésta no se conocerá con exactitud. En el caso que tras el dimensionado la masa superase este valor o fuese notablemente inferior, se modificará y se repetirá el cálculo.

Cálculo de la carga de oblicuidad en el segundo par de ruedas:

$\alpha$ (rad)	f	m·g (kN)	n	v <sub>11</sub>	v <sub>21</sub>	F <sub>y11</sub> (kN)	F <sub>y21</sub> (kN)
0,015	0,293	981,00*	2	0	0	0	0

### 11.2.3.2 Debidas al movimiento del pórtico

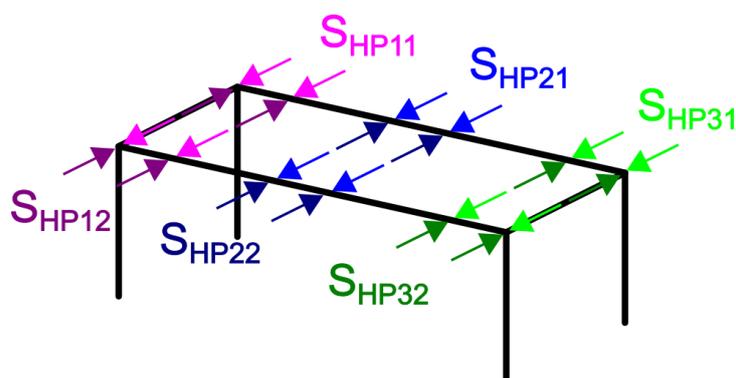


Figura 11-5. Carga debida al movimiento del pórtico S<sub>HP</sub>

En la Tabla 6 de la norma UNE 76201 [H] aparecen los valores medios de aceleración y deceleración para diversas condiciones de explotación de los aparatos de elevación.

Velocidad m/s	1 Velocidad lenta y media con gran recorrido		2 Velocidad media y rápida (aplicaciones corrientes)		3 Velocidad rápida con fuertes aceleraciones	
	Duración de la aceleración s	Aceleración media m/s <sup>2</sup>	Duración de la aceleración s	Aceleración media m/s <sup>2</sup>	Duración de la aceleración s	Aceleración media m/s <sup>2</sup>
4,00			8,0	0,50	6,0	0,67
3,15			7,1	0,44	5,4	0,58
2,50			6,3	0,39	4,8	0,52
2,00	9,1	0,22	5,6	0,35	4,2	0,47
1,60	8,3	0,19	5,0	0,32	3,7	0,45
1,00	6,6	0,15	4,0	0,25	3,0	0,33
0,63	5,2	0,12	3,2	0,19		
0,40	4,1	0,098	2,5	0,16		
0,25	3,2	0,078				
0,16	2,5	0,064				

Tabla 11-1. Valores medios de aceleración y velocidad

Para una velocidad de traslación de la grúa de 0,40 m/s y, englobando a ésta en el grupo 1 “velocidad lenta y media con gran recorrido”, se tiene que  $T_m = 4,1$  s y  $j_m = 0,098$  m/s<sup>2</sup>.

Cálculo de la fuerza de inercia debida a la traslación del pórtico:

$m_1$ (ton)	$j_m$ (m/s <sup>2</sup> )	$F_{cm}$ (kN)	$\Psi_h$	$F_{cmax}$ (kN)	$F_{cmax,rueda}$ (kN)
45	0,098	4,41	2	8,82	2,21

### 11.2.3.3 Debidas al movimiento del carro

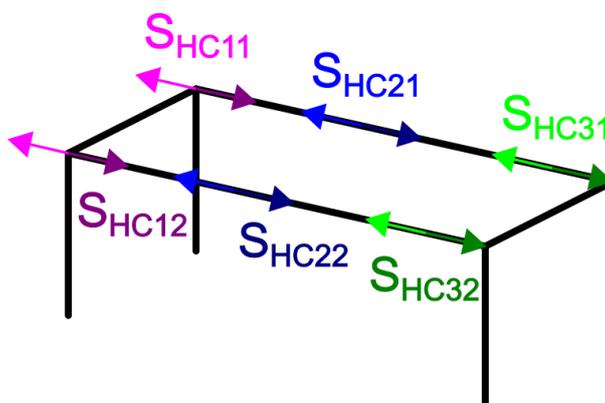


Figura 11-6. Carga debida al movimiento del carro  $S_{HC}$

La velocidad de traslación del carro también se ha establecido en 0,40 m/s con lo que, consultando la Tabla 11-1, se tiene que  $j_m = 0,098 \text{ m/s}^2$ . Por tanto,  $F_{cm}$  tiene el mismo valor que en el apartado anterior; es decir,  $F_{cm} = 4,41 \text{ kN}$ .

Cálculo de la fuerza de inercia debida a la traslación del carro:

$m_1$ (t)	$m$ (t)	$\mu$	$\Psi_h$	$F_{cm\max}$ (kN)	$F_{cm\max,rueda}$ (kN)
45	5	9	3,33	14,70	7,35

### 11.2.4 Viento en servicio

El viento se aplica en dos direcciones perpendiculares entre sí. Por un lado, en dirección normal al plano del pórtico y en ambos sentidos alternativamente (viento frontal  $S_{W1}$  y  $S_{W2}$ ). Por el otro lado, en dirección paralela al plano del pórtico, también en ambos sentidos (viento lateral  $S_{W3}$  y  $S_{W4}$ ).

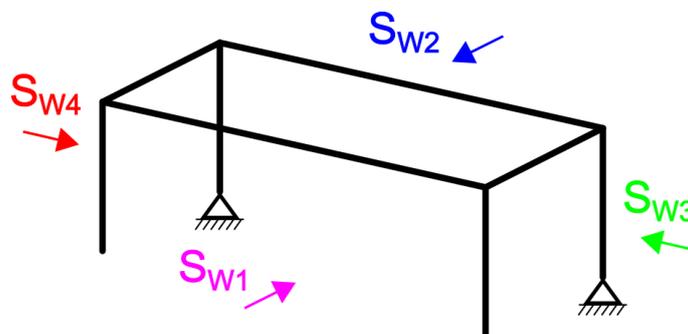


Figura 11-7. Carga de viento en servicio

En primer lugar se ha calculado la estructura sin considerar las cargas de viento y posteriormente, una vez conocidas las secciones iniciales de los elementos, se han añadido las cargas de viento y se ha recalculado. Así se han obtenido las secciones definitivas.

#### 11.2.4.1 Viento sobre la estructura

Según la Tabla 8-3, para grúas tipo *b*) se toma una presión del viento de  $0,25 \text{ kN/m}^2$ .

Dado que la estructura está formada por barras de sección cuadrada, se divide dicha presión entre el ancho de cada barra para obtener una fuerza distribuida linealmente.

Según la Tabla 8-4, para marcos simples de celosía con perfiles de caras planas se debe tomar  $C_f = 1,7$ .

En el caso de viento frontal se ha de calcular el coeficiente de efecto pantalla  $\eta$ , cuyo cálculo se muestra a continuación:

SECCIÓN	b (m)	LONGITUD (m)	Nº BARRAS	ÁREA (m <sup>2</sup> )
350x350x10	0,35	50,00	1	17,50
250X250X8	0,25	50,00	1	12,50
200x200x8	0,20	18,20	2	7,28
200x200x8	0,20	18,00	2	7,20
200x200x8	0,20	5,60	2	2,24
200x200x8	0,20	5,00	2	2,00
120x120x5	0,12	5,60	20	13,44
120x120x5	0,12	2,50	2	0,60
<b>ÁREA NETA (m<sup>2</sup>)</b>				<b>62,76</b>

A (m <sup>2</sup> )	A <sub>e</sub> (m <sup>2</sup> )	A/A <sub>e</sub>	a	b	a/b	$\eta$
62,76	307,50	0,20	1	5	0,20	0,40

En la Tabla 11-2 se muestran las cargas a aplicar en función de la sección del elemento y de su posición (expuesto o abrigado).

SECCIÓN	b (m)	p (N/m <sup>2</sup> )	C <sub>f</sub>	F <sub>marco1</sub> (N/m)	F <sub>marco2</sub> (N/m)
350x350x10	0,35	250	1,7	149	60
250X250X8	0,25	250	1,7	106	43
200x200x8	0,20	250	1,7	85	34
140x140x5	0,14	250	1,7	60	24
120x120x5	0,12	250	1,7	51	20

Tabla 11-2. Cargas de viento por tipo de sección

#### 11.2.4.2 Viento sobre la carga

Para grúas tipo *b*), se toma una fuerza sobre la carga móvil de:

$$f = 13,24 \text{ kN}$$

En los casos  $S_{W1}$  y  $S_{W2}$  la fuerza resultante por rueda que se aplica sobre la estructura es  $f/4$ :

$$f_{rueda} = 3,31 \text{ kN}$$

En los casos  $S_{W3}$  y  $S_{W4}$  la fuerza resultante por rueda que se aplica sobre la estructura es  $f/2$ , ya que sólo 2 de las 4 ruedas del carro son motrices:

$$f_{rueda} = 6,62 \text{ kN}$$

#### 11.2.4.3 Viento fuera de servicio

La grúa estará provista de un dispositivo de anclaje antivuelco, de tal manera que las ruedas siempre estén en contacto con el camino de rodadura. Por este motivo, la acción del viento fuera de servicio, que puede implicar una pérdida de equilibrio de la estructura y una situación de vuelco, queda desestimada y no se tiene en consideración.

### 11.3 Hipótesis de cálculo

#### 11.3.1 ELS

Para la verificación del ELS de deformación, tanto el peso propio como la carga de servicio aplicada en el centro de las vigas ( $S_{L2}$ ) se combinan sin mayorar, es decir, sin aplicación de coeficientes. Por tanto, la hipótesis de carga es este caso será:

$$1 \cdot S_G + 1 \cdot S_{L2}$$

#### 11.3.2 ELU

Siguiendo lo expuesto en el Capítulo 9, la Tabla 11-3 muestra todas las combinaciones de acciones que se han considerado para el dimensionado de la estructura y la verificación de los ELU.

	$S_G$ (1)	$S_L$ (3)	$S_{HC}$ (2)	$S_{HP}$ (2)	$S_{HO}$ (2)	$S_W$ (4)	Nº
<b>CASO I</b>	1,11	1,30					3
	1,11	1,30	1,11				6
	1,11	1,30	1,11		1,11		12
	1,11	1,30		1,11			6
	1,11	1,30		1,11	1,11		12
	1,11	1,30			1,11		6
<b>CASO II</b>	1,11	1,30				1	12
	1,11	1,30	1,11			1	24
	1,11	1,30	1,11		1,11	1	48
	1,11	1,30		1,11		1	24
	1,11	1,30		1,11	1,11	1	48
	1,11	1,30			1,11	1	24
<b>TOTAL</b>							<b>225</b>

Tabla 11-3. Coeficientes de mayoración de las acciones y número de combinaciones

El proceso de cálculo de la estructura es el siguiente:

Primero se calcula con las hipótesis que contienen  $S_G$ ,  $S_L$ ,  $S_{HC}$  y  $S_{HP}$ , es decir, las acciones pertenecientes al CASO I exceptuando  $S_{HO}$ , que depende del peso total de la grúa cargada. Una vez calculada la estructura con estas hipótesis, se añade  $S_{HO}$ . Se redimensiona y, con los perfiles obtenidos, se añade  $S_W$ . Con  $S_W$  se tienen todas las combinaciones del CASO II. Se comprueba que cumpla con  $S_W$  y, si no cumple, se realizan iteraciones hasta conseguir que todas las barras cumplan y el diseño es entonces definitivo.

## 11.4 Dimensionado/comprobación

### 11.4.1.1 ELS Deformación

A partir de la combinación de acciones  $1 \cdot S_G + 1 \cdot S_{L2}$  se obtiene el valor de la flecha máxima producida en la viga. Se debe verificar que la flecha no supere el valor admisible:

$$F \leq F_{adm}$$

La flecha máxima admisible se establece en  $L/1000$ . Siendo  $L = 50$  m,  $F_{adm} = 0,050$  m.

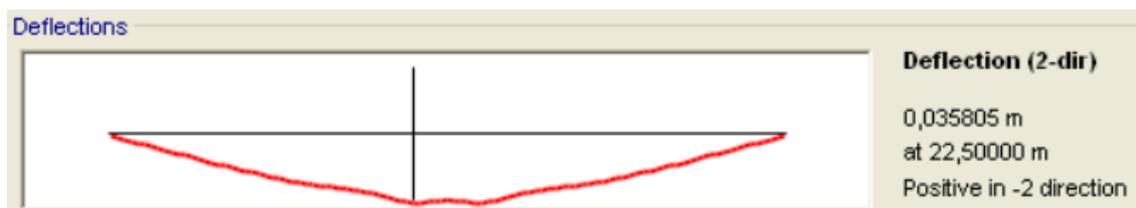


Figura 11-8. Flecha del cordón superior de la viga

La barra que debe cumplir el ELS de deformación es el cordón superior (Figura 11-8), ya que es el que servirá de base para el camino de rodadura del carro.

ELS Deformación	F (m)	F <sub>adm</sub> (m)	¿CUMPLE?
Cordón superior	0.036	0,050	SI

### 11.4.1.2 ELU Resistencia de las secciones

Debido a su escasa influencia, el esfuerzo cortante y el momento flector se despreciarán en todos los casos excepto en la comprobación del cordón superior.

#### Esfuerzo axil de tracción

Los elementos traccionados, véase el cordón inferior y la diagonal traccionada, se comprueban como sigue.

Según el Artículo 6.2.3 de [A], el valor de cálculo del esfuerzo axil de tracción  $N_{Ed}$  en cada sección transversal debe cumplir:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1,0$$

En ausencia de agujeros,  $N_{t,Rd}$  puede tomarse como:

$$N_{t,Rd} = N_{pl,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

BARRA	N <sub>Ed</sub> (kN)	N <sub>t,Rd</sub> (kN)	RATIO	¿CUMPLE?
Cordón inferior	468,88	2726,40	0,172	SI
Diagonal trac.	187,74	805,85	0,233	SI

### 11.4.1.3 ELU Inestabilidad

#### Elementos uniformes sometidos a compresión

Los elementos solicitados a compresión se comprueban a pandeo.

Según el Artículo 6.3.1.1 [A], los elementos comprimidos deben satisfacer la siguiente relación:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,0$$

donde  $N_{b,Rd}$  es la resistencia de cálculo a pandeo. Para secciones de clase 1,2 o 3 se puede calcular como:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

siendo  $\chi$  el coeficiente de reducción por pandeo:

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \quad \text{con } \chi \leq 1,0$$

donde

$$\phi = 0,5 \cdot [1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2]$$

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

$\alpha$  es un coeficiente de imperfección cuyos valores aparecen en la Tabla 6.1 [A] y dependen de la curva de pandeo. La Tabla 6.2 [A] propone la elección de la curva de pandeo en función del tipo de sección transversal.

Así pues, para secciones huecas acabadas en caliente, se debe escoger la curva de pandeo *a*, que conlleva  $\alpha = 0,21$ .

$N_{cr}$  se puede obtener como:

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{l^2}$$

Los resultados parciales se muestran a continuación:

BARRA	N <sub>cr</sub> (kN)
<b>Diagonal comprimida</b>	320,05
<b>Cruz plano horizontal</b>	49,81
<b>Montante plano horizontal</b>	104,67
<b>Montante extremo</b>	1953,04
<b>Diagonal viga - soporte</b>	2460,61
<b>CSA plano vertical</b>	274,20
<b>CSA plano horizontal</b>	244,30
<b>Cordón interior</b>	2129,38
<b>Cordón exterior</b>	1406,19

<b>Cordón lateral</b>	2095,52
<b>Triángulo superior</b>	1423,67
<b>Triángulo medio</b>	129,93

BARRA	$\bar{\lambda}$	$\alpha$	$\Phi$	$\chi$	$N_{b,rd}$ (kN)
<b>Diagonal comprimida</b>	1,587	0,210	1,905	0,338	272,44
<b>Cruz plano horizontal</b>	3,377	0,210	6,535	0,082	46,83
<b>Montante plano horiz.</b>	1,371	0,210	1,562	0,432	85,06
<b>Montante extremo</b>	0,800	0,210	0,883	0,796	994,69
<b>Diagonal viga-soporte</b>	0,937	0,210	1,016	0,709	1531,27
<b>CSA plano vertical</b>	1,859	0,210	2,403	0,255	241,53
<b>CSA plano horizontal</b>	1,816	0,210	2,319	0,266	214,27
<b>Cordón interior</b>	1,007	0,210	1,092	0,661	1426,38
<b>Cordón exterior</b>	0,943	0,210	1,023	0,705	881,53
<b>Cordón lateral</b>	1,015	0,210	1,101	0,655	1414,15
<b>Triángulo superior</b>	0,752	0,210	0,841	0,822	662,23
<b>Triángulo medio</b>	1,230	0,210	1,365	0,511	100,53

Aplicando la condición propuesta al inicio de este apartado:

BARRA	$N_{Ed}$ (kN)	$N_{b,Rd}$ (kN·m)	RATIO	¿CUMPLE?
<b>Diagonal comprimida</b>	-188,28	272,44	0,691	SI
<b>Cruz plano horizontal</b>	-37,95	46,83	0,810	SI
<b>Montante plano horizontal</b>	-28,30	85,06	0,333	SI
<b>Montante extremo</b>	-866,60	994,69	0,871	SI

Diagonal viga-soporte	-873,57	1531,27	0,570	SI
CSA plano vertical	-206,91	241,53	0,857	SI
CSA plano horizontal	-129,67	214,27	0,605	SI
Cordón interior	-1002,10	1426,38	0,703	SI
Cordón exterior	-556,96	881,53	0,632	SI
Cordón lateral	-800,81	1414,15	0,566	SI
Triángulo superior	-371,77	662,23	0,561	SI
Triángulo medio	-0,11	100,53	0,001	SI

### Elementos sometidos a compresión y flexión

Los elementos sometidos a compresión y flexión combinadas, como es el caso del cordón superior, se comprueban según lo indicado en el Artículo 6.6.3 [A] (Ecuación 6.61):

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1,0$$

donde  $k_{yy}$  y  $k_{yz}$  son los coeficientes de interacción calculados según el Anexo B [A]. En este caso,  $k_{yy} = 0,424$  y  $k_{yz} = 0,453$ .

Por su parte,  $\chi_y$  y  $\chi_{LT}$  son coeficientes de reducción por pandeo a compresión y pandeo lateral respectivamente. Como se trata de un elemento no susceptible a la deformación por torsión,  $\chi_{LT} = 1$ .

BARRA	$N_{cr}$ (kN)	$\bar{\lambda}_y$	$\alpha$	$\Phi$	$\chi_y$
Cordón sup.	21472,31	0,472	0,210	0,640	0,933

El perfil SHS 350X350X10 es de clase 3, con lo que, según la Tabla 6.7 [A]:

$$N_{Rk} = f_y \cdot A$$

$$M_{y,Rk} = f_y \cdot W_{el,y}$$

$$M_{z,Rk} = f_y \cdot W_{el,z}$$

Aplicando la condición propuesta al inicio de este apartado:

BARRA	$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot \frac{N_{Rk}}{\gamma_{M1}}}$	$k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}}$	$k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}}$	RATIO	¿CUMPLE?
Cordón superior	0,195	0,326	0,009	0,530	SI

Al cumplirse todos los requisitos, se puede asegurar que el diseño con perfiles tubulares tipo SHS en celosía tridimensional es totalmente válido para la ejecución de la grúa.

## 11.5 Conclusiones finales

En este capítulo se ha mostrado el proceso de dimensionado de la estructura de una grúa pórtico de gran luz. Tras ello se concluye que:

- Se ha conseguido dimensionar la estructura de una grúa pórtico de gran luz de manera exitosa, habiendo seleccionado previamente una de las alternativas propuestas y siguiendo las reglas marcadas por la normativa vigente. Por tanto, el objetivo de este estudio queda cubierto.
- El proceso de cálculo de una celosía tridimensional es laborioso y, en cierta manera, complicado. La estructura contiene un gran número de elementos y de la configuración de cada uno de ellos depende la respuesta del resto.
- La normativa aplicable para el cálculo de las acciones de este tipo de aparatos es ciertamente difícil de interpretar, además de estar diseminada en diversas normas. Sería muy conveniente la revisión y unificación de estas normas en un único documento.
- En estructuras con una separación entre soportes tan grande como es el caso de esta grúa, el factor determinante de diseño es la limitación de la flecha máxima. En este caso ha sido llevada al extremo de  $L/1000$ , cuando los edificios industriales se mueven en límites de  $L/250$  o  $L/300$ . Debido a esto, los diversos elementos suelen estar sobredimensionados en cuanto a resistencia se refiere, pero esto es necesario para asegurar una rigidez suficiente a flexión de todo el conjunto estructural.

# ANEXO. DATOS ADICIONALES

## A1. Esfuerzos dimensionantes

La Tabla A1 contiene los esfuerzos máximos por tipo de elemento. La Figura A1 muestra la posición de cada tipo de elemento dentro de la estructura de la grúa.

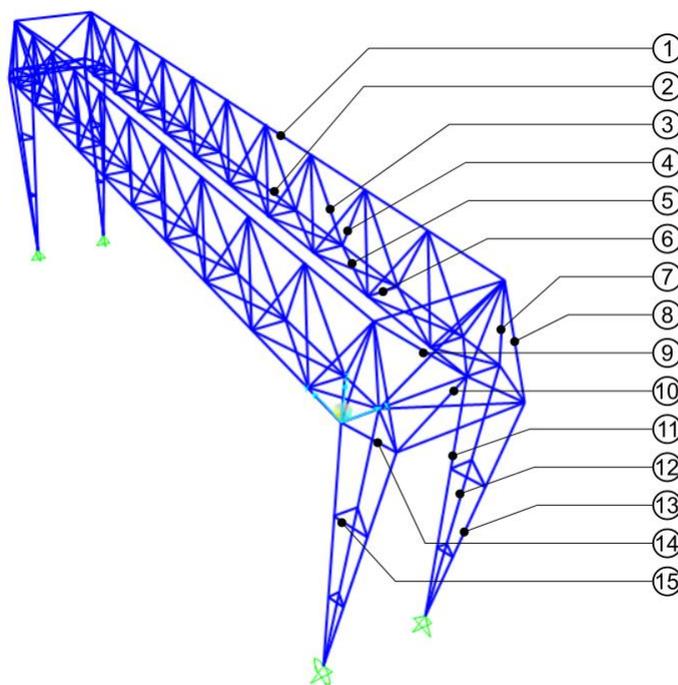


Figura A-1. Tipos de barra

Nº	BARRA	SECCIÓN	N <sub>Ed</sub> (kN)	V <sub>Ed</sub> (kN)	M <sub>Ed</sub> (kN·m)
1	Cordón superior	SHS 350X350X10	-934,16	94,11	171,38
2	Cordón inferior	SHS 250X250X8	468,88	1,31	3,57
3	Diagonal comprimida	SHS 120X120X5	-188,28	0,24	0,34
4	Diagonal traccionada	SHS 120X120X5	187,74	0,24	0,34
5	Cruz plano horizontal	SHS 60X60X8	-37,95	0,37	0,49
6	Montante plano horiz.	SHS 50X50X3	-28,30	0,05	0,02

7	Montante extremo	SHS 200X200X5	-866,60	0,38	0,482
8	Diagonal viga-soporte	SHS 200X200X8	-873,57	0,86	1,20
9	CSA plano vertical	SHS 140X140X5	-206,91	0,68	1,34
10	CSA plano horizontal	SHS 120X120X5	-129,67	0,63	1,02
11	Cordón interior	SHS 200X200X8	-1002,10	-0,59	-2,88
12	Cordón exterior	SHS 200X200X5	-556,96	0,15	-2,13
13	Cordón lateral	SHS 200X200X8	-800,81	0,47	-3,00
14	Triángulo superior	SHS 120X120X5	-371,77	0,26	0,18
15	Triángulo medio	SHS 50X50X3	-0,11	0,04	0,02

Tabla A-1. Esfuerzos dimensionantes por tipo de elemento

## A2. Aprovechamiento de los perfiles

La Figura A-2 muestra el grado de aprovechamiento de los perfiles de la estructura.

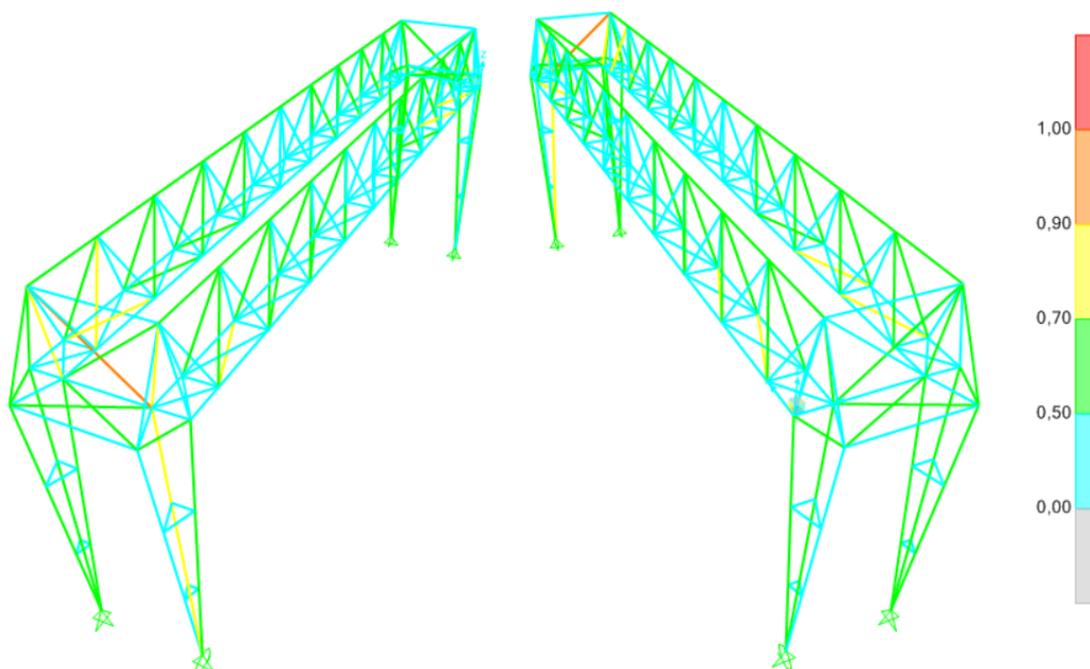


Figura A-2. Grado de aprovechamiento de los perfiles

### A3. Reacciones de la estructura

En la Tabla A-2 aparecen las reacciones máximas en los apoyos de la estructura de la grúa. Éstas pueden ser de interés para el diseño de los bogies o para el cálculo de la cimentación del camino de rodadura de la grúa.

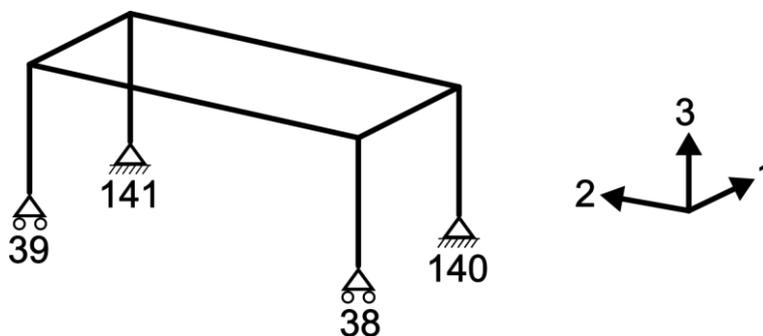


Figura A-3. Nudos correspondientes a los apoyos de la estructura

NUDO	R <sub>1</sub> (kN)	R <sub>2</sub> (kN)	R <sub>3</sub> (kN)
38	29,40	0	571,31
39	42,59	0	696,54
140	27,65	-111,80	571,31
141	34,53	111,34	590,68

Tabla A-2. Reacciones máximas en apoyos



# DOCUMENTO II

# PLIEGO DE CONDICIONES



## ÍNDICE DEL PLIEGO DE CONDICIONES

<b>1</b>	<b>PLIEGO DE CLÁUSULAS ADMINISTRATIVAS</b>	<b>91</b>
	<b>1.1 Disposiciones Generales</b>	<b>91</b>
	1.1.1 Disposiciones de carácter general	91
	1.1.2 Disposiciones relativas a trabajos, materiales y medios auxiliares	95
	1.1.3 Disposiciones de las recepciones de edificios y obras anejas	100
	<b>1.2 Disposiciones Facultativas</b>	<b>104</b>
	1.2.1 Definición, atribuciones y obligaciones de los agentes de la edificación	104
	1.2.2 La Dirección Facultativa	106
	1.2.3 Visitas facultativas	106
	1.2.4 Obligaciones de los agentes intervinientes	107
	<b>1.3 Disposiciones Económicas</b>	<b>107</b>
	1.3.1 Definición	107
	1.3.2 Contrato de obra	107
	1.3.3 Criterio General	108
	1.3.4 Fianzas	108
	1.3.5 De los precios	109
	1.3.6 Obras por administración	112
	1.3.7 Valoración y abono de los trabajos	113
	1.3.8 Indemnizaciones Mutuas	115
	1.3.9 Retenciones en concepto de garantía	117
<b>2</b>	<b>PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS PARTICULARES</b>	<b>119</b>
	<b>2.1 Prescripciones sobre los materiales</b>	<b>119</b>
	2.1.1 Garantías de calidad (Marcado CE)	120
	2.1.2 Aceros para estructuras metálicas	122
	<b>2.2 Prescripciones en cuanto a la Ejecución por Unidad de Obra</b>	<b>123</b>
	2.2.1 Estructuras	126
	2.2.2 Revestimientos	128
	2.2.3 Control de calidad y ensayos	129
	<b>2.3 Prescripciones sobre verificaciones en el edificio terminado</b>	<b>131</b>
	2.3.1 Estructuras	131
	<b>2.4 Prescripciones en relación con el almacenamiento, manejo, separación y otras operaciones de gestión de los residuos de construcción y demolición</b>	<b>131</b>



# 1 PLIEGO DE CLÁUSULAS ADMINISTRATIVAS

## 1.1 Disposiciones Generales

### 1.1.1 Disposiciones de carácter general

#### 1.1.1.1 Objeto del Pliego de Condiciones

La finalidad de este Pliego es la de fijar los criterios de la relación que se establece entre los agentes que intervienen en las obras definidas en el presente proyecto y servir de base para la realización del contrato de obra entre el Promotor y el Contratista.

#### 1.1.1.2 Contrato de obra

Se recomienda la contratación de la ejecución de las obras por unidades de obra, con arreglo a los documentos del proyecto y en cifras fijas. A tal fin, el Director de Obra ofrece la documentación necesaria para la realización del contrato de obra.

#### 1.1.1.3 Documentación del contrato de obra

Integran el contrato de obra los siguientes documentos, relacionados por orden de prelación atendiendo al valor de sus especificaciones, en el caso de posibles interpretaciones, omisiones o contradicciones:

- Las condiciones fijadas en el contrato de obra.
- El presente Pliego de Condiciones.
- La documentación gráfica y escrita del Proyecto: planos generales y de detalle, memorias, anejos, mediciones y presupuestos.

En el caso de interpretación, prevalecen las especificaciones literales sobre las gráficas y las cotas sobre las medidas a escala tomadas de los planos.

#### 1.1.1.4 Reglamentación urbanística

La obra a construir se ajustará a todas las limitaciones del proyecto aprobado por los organismos competentes, especialmente las que se refieren al volumen, alturas, emplazamiento y ocupación del solar, así como a todas las condiciones

de reforma del proyecto que pueda exigir la Administración para ajustarlo a las Ordenanzas, a las Normas y al Planeamiento Vigente.

#### **1.1.1.5 Formalización del Contrato de Obra**

Los Contratos se formalizarán, en general, mediante documento privado, que podrá elevarse a escritura pública a petición de cualquiera de las partes.

El cuerpo de estos documentos contendrá:

- La comunicación de la adjudicación.
- La copia del recibo de depósito de la fianza (en caso de que se haya exigido).
- La cláusula en la que se exprese, de forma categórica, que el Contratista se obliga al cumplimiento estricto del contrato de obra, conforme a lo previsto en este Pliego de Condiciones, junto con la Memoria y sus Anejos, el Estado de Mediciones, Presupuestos, Planos y todos los documentos que han de servir de base para la realización de las obras definidas en el presente Proyecto.

El Contratista, antes de la formalización del contrato de obra, dará también su conformidad con la firma al pie del Pliego de Condiciones, los Planos, Cuadro de Precios y Presupuesto General.

Serán a cuenta del adjudicatario todos los gastos que ocasione la extensión del documento en que se consigne el Contratista.

#### **1.1.1.6 Jurisdicción competente**

En el caso de no llegar a un acuerdo cuando surjan diferencias entre las partes, ambas quedan obligadas a someter la discusión de todas las cuestiones derivadas de su contrato a las Autoridades y Tribunales Administrativos con arreglo a la legislación vigente, renunciando al derecho común y al fuero de su domicilio, siendo competente la jurisdicción donde estuviese ubicada la obra.

#### **1.1.1.7 Responsabilidad del Contratista**

El Contratista es responsable de la ejecución de las obras en las condiciones establecidas en el contrato y en los documentos que componen el Proyecto.

En consecuencia, quedará obligado a la demolición y reconstrucción de todas las unidades de obra con deficiencias o mal ejecutadas, sin que pueda servir de excusa el hecho de que la Dirección Facultativa haya examinado y

reconocido la construcción durante sus visitas de obra, ni que hayan sido abonadas en liquidaciones parciales.

#### **1.1.1.8 Accidentes de trabajo**

Es de obligado cumplimiento el Real Decreto 1627/1997, de 24 de Octubre, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción y demás legislación vigente que, tanto directa como indirectamente, inciden sobre la planificación de la seguridad y salud en el trabajo de la construcción, conservación y mantenimiento de edificios.

Es responsabilidad del Coordinador de Seguridad y Salud, en virtud del Real Decreto 1627/97, el control y el seguimiento, durante toda la ejecución de la obra, del Plan de Seguridad y Salud redactado por el Contratista.

#### **1.1.1.9 Daños y perjuicios a terceros**

El Contratista será responsable de todos los accidentes que, por inexperiencia o descuido, sobrevinieran tanto en la edificación donde se efectúen las obras como en las colindantes o contiguas. Será por tanto de su cuenta el abono de las indemnizaciones a quien corresponda y cuando a ello hubiere lugar, y de todos los daños y perjuicios que puedan ocasionarse o causarse en las operaciones de la ejecución de las obras.

Asimismo, será responsable de los daños y perjuicios directos o indirectos que se puedan ocasionar frente a terceros como consecuencia de la obra, tanto en ella como en sus alrededores, incluso los que se produzcan por omisión o negligencia del personal a su cargo, así como los que se deriven de los subcontratistas e industriales que intervengan en la obra.

Es de su responsabilidad mantener vigente durante la ejecución de los trabajos una póliza de seguros frente a terceros, en la modalidad de "Todo riesgo al derribo y la construcción", suscrita por una compañía aseguradora con la suficiente solvencia para la cobertura de los trabajos contratados. Dicha póliza será aportada y ratificada por el Promotor o Propiedad, no pudiendo ser cancelada mientras no se firme el Acta de Recepción Provisional de la obra.

#### **1.1.1.10 Copia de documentos**

El Contratista, a su costa, tiene derecho a sacar copias de los documentos integrantes del Proyecto.

#### **1.1.1.11 Suministro de materiales**

Se especificará en el Contrato la responsabilidad que pueda caber al Contratista por retraso en el plazo de terminación o en plazos parciales, como consecuencia de deficiencias o faltas en los suministros.

#### **1.1.1.12 Causas de rescisión del contrato de obra**

Se considerarán causas suficientes de rescisión de contrato:

- La muerte o incapacitación del Contratista.
- La quiebra del Contratista.
- Las alteraciones del contrato por las causas siguientes:
  - La modificación del proyecto en forma tal que represente alteraciones fundamentales del mismo a juicio del Director de Obra y, en cualquier caso, siempre que la variación del Presupuesto de Ejecución Material, como consecuencia de estas modificaciones, represente una desviación mayor del 20%.
  - Las modificaciones de unidades de obra, siempre que representen variaciones en más o en menos del 40% del proyecto original, o más de un 50% de unidades de obra del proyecto reformado.
- La suspensión de obra comenzada, siempre que el plazo de suspensión haya excedido de un año y, en todo caso, siempre que por causas ajenas al Contratista no se dé comienzo a la obra adjudicada dentro del plazo de tres meses a partir de la adjudicación. En este caso, la devolución de la fianza será automática.
- Que el Contratista no comience los trabajos dentro del plazo señalado en el contrato.
- El incumplimiento de las condiciones del Contrato cuando implique descuido o mala fe, con perjuicio de los intereses de las obras.
- El vencimiento del plazo de ejecución de la obra.
- El abandono de la obra sin causas justificadas.
- La mala fe en la ejecución de la obra.

#### **1.1.1.13 Omisiones: Buena fe**

Las relaciones entre el Promotor y el Contratista, reguladas por el presente Pliego de Condiciones y la documentación complementaria, presentan la prestación de un servicio al Promotor por parte del Contratista mediante la ejecución de una obra, basándose en la BUENA FE mutua de ambas partes,

que pretenden beneficiarse de esta colaboración sin ningún tipo de perjuicio. Por este motivo, las relaciones entre ambas partes y las omisiones que puedan existir en este Pliego y la documentación complementaria del proyecto y de la obra, se entenderán siempre suplidas por la BUENA FE de las partes, que las subsanarán debidamente con el fin de conseguir una adecuada CALIDAD FINAL de la obra.

### **1.1.2 Disposiciones relativas a trabajos, materiales y medios auxiliares**

Se describen las disposiciones básicas a considerar en la ejecución de las obras, relativas a los trabajos, materiales y medios auxiliares, así como a las recepciones de los edificios objeto del presente proyecto y sus obras anejas.

#### **1.1.2.1 Accesos y vallados**

El Contratista dispondrá, por su cuenta, los accesos a la obra, el cerramiento o el vallado de ésta y su mantenimiento durante la ejecución de la obra, pudiendo exigir el Director de Ejecución de la Obra su modificación o mejora.

#### **1.1.2.2 Replanteo**

El Contratista iniciará "in situ" el replanteo de las obras, señalando las referencias principales que mantendrá como base de posteriores replanteos parciales. Dichos trabajos se considerarán a cargo del Contratista e incluidos en su oferta económica.

Asimismo, someterá el replanteo a la aprobación del Director de Ejecución de la Obra y, una vez éste haya dado su conformidad, preparará el Acta de Inicio y Replanteo de la Obra acompañada de un plano de replanteo definitivo, que deberá ser aprobado por el Director de Obra. Será responsabilidad del Contratista la deficiencia o la omisión de este trámite.

#### **1.1.2.3 Inicio de la obra y ritmo de ejecución de los trabajos**

El Contratista dará comienzo a las obras en el plazo especificado en el respectivo contrato, desarrollándose de manera adecuada para que dentro de los períodos parciales señalados se realicen los trabajos, de modo que la ejecución total se lleve a cabo dentro del plazo establecido en el contrato.

Será obligación del Contratista comunicar a la Dirección Facultativa el inicio de las obras, de forma fehaciente y preferiblemente por escrito, al menos con tres días de antelación.

El Director de Obra redactará el acta de comienzo de la obra y la suscribirán en la misma obra junto con él, el día de comienzo de los trabajos, el Director de la Ejecución de la Obra, el Promotor y el Contratista.

Para la formalización del acta de comienzo de la obra, el Director de la Obra comprobará que en la obra existe copia de los siguientes documentos:

- Proyecto de Ejecución, Anejos y modificaciones.
- Plan de Seguridad y Salud en el Trabajo y su acta de aprobación por parte del Coordinador de Seguridad y Salud durante la ejecución de los trabajos.
- Licencia de Obra otorgada por el Ayuntamiento.
- Comunicación de apertura de centro de trabajo efectuada por el Contratista.
- Otras autorizaciones, permisos y licencias que sean preceptivas por otras administraciones.
- Libro de Órdenes y Asistencias.
- Libro de Incidencias.

La fecha del acta de comienzo de la obra marca el inicio de los plazos parciales y total de la ejecución de la obra.

#### **1.1.2.4 Orden de los trabajos**

La determinación del orden de los trabajos es, generalmente, facultad del Contratista, salvo en aquellos casos en que, por circunstancias de naturaleza técnica, se estime conveniente su variación por parte de la Dirección Facultativa.

#### **1.1.2.5 Ampliación del proyecto por causas imprevistas o de fuerza mayor**

Cuando se precise ampliar el Proyecto, por motivo imprevisto o por cualquier incidencia, no se interrumpirán los trabajos, continuándose según las instrucciones de la Dirección Facultativa en tanto se formula o se tramita el Proyecto Reformado.

El Contratista está obligado a realizar, con su personal y sus medios materiales, cuanto la Dirección de Ejecución de la Obra disponga para apeos,

apuntalamientos, derribos, recalces o cualquier obra de carácter urgente, anticipando de momento este servicio, cuyo importe le será consignado en un presupuesto adicional o abonado directamente, de acuerdo con lo que se convenga.

#### **1.1.2.6 Interpretaciones, aclaraciones y modificaciones del proyecto**

El Contratista podrá requerir del Director de Obra o del Director de Ejecución de la Obra, según sus respectivos cometidos y atribuciones, las instrucciones o aclaraciones que se precisen para la correcta interpretación y ejecución de la obra proyectada.

Cuando se trate de interpretar, aclarar o modificar preceptos de los Pliegos de Condiciones o indicaciones de los planos, croquis, órdenes e instrucciones correspondientes, se comunicarán necesariamente por escrito al Contratista, estando éste a su vez obligado a devolver los originales o las copias, suscribiendo con su firma el enterado, que figurará al pie de todas las órdenes, avisos e instrucciones que reciba tanto del Director de Ejecución de la Obra, como del Director de Obra.

Cualquier reclamación que crea oportuno hacer el Contratista en contra de las disposiciones tomadas por la Dirección Facultativa, habrá de dirigirla, dentro del plazo de tres días, a quien la hubiera dictado, el cual le dará el correspondiente recibo, si éste lo solicitase.

#### **1.1.2.7 Prórroga por causa de fuerza mayor**

Si, por causa de fuerza mayor o independientemente de la voluntad del Contratista, éste no pudiese comenzar las obras, tuviese que suspenderlas o no le fuera posible terminarlas en los plazos prefijados, se le otorgará una prórroga proporcionada para su cumplimiento, previo informe favorable del Director de Obra. Para ello, el Contratista expondrá, en escrito dirigido al Director de Obra, la causa que impide la ejecución o la marcha de los trabajos y el retraso que por ello se originaría en los plazos acordados, razonando debidamente la prórroga que por dicha causa solicita.

#### **1.1.2.8 Responsabilidad de la dirección facultativa en el retraso de la obra**

El Contratista no podrá excusarse de no haber cumplido los plazos de obras estipulados, alegando como causa la carencia de planos u órdenes de la

Dirección Facultativa, a excepción del caso en que habiéndolo solicitado por escrito, no se le hubiese proporcionado.

#### **1.1.2.9 Trabajos defectuosos**

El Contratista debe emplear los materiales que cumplan las condiciones exigidas en el proyecto, y realizará todos y cada uno de los trabajos contratados de acuerdo con lo estipulado.

Por ello, y hasta que tenga lugar la recepción definitiva del edificio, el Contratista es responsable de la ejecución de los trabajos que ha contratado y de las faltas y defectos que puedan existir por su mala ejecución, no siendo un eximente el que la Dirección Facultativa lo haya examinado o reconocido con anterioridad, ni tampoco el hecho de que estos trabajos hayan sido valorados en las Certificaciones Parciales de obra, que siempre se entenderán extendidas y abonadas a buena cuenta.

Como consecuencia de lo anteriormente expresado, cuando el Director de Ejecución de la Obra advierta vicios o defectos en los trabajos ejecutados, o que los materiales empleados o los aparatos y equipos colocados no reúnen las condiciones preceptuadas, ya sea en el curso de la ejecución de los trabajos o una vez finalizados con anterioridad a la recepción definitiva de la obra, podrá disponer que las partes defectuosas sean sustituidas o demolidas y reconstruidas de acuerdo con lo contratado a expensas del Contratista. Si ésta no estimase justa la decisión y se negase a la sustitución, demolición y reconstrucción ordenadas, se planteará la cuestión ante el Director de Obra, quien mediará para resolverla.

#### **1.1.2.10 Vicios ocultos**

El Contratista es el único responsable de los vicios ocultos y de los defectos de la construcción, durante la ejecución de las obras y el periodo de garantía, hasta los plazos prescritos después de la terminación de las obras en la vigente L.O.E., aparte de otras responsabilidades legales o de cualquier índole que puedan derivarse.

Si el Director de Ejecución de la Obra tuviese fundadas razones para creer en la existencia de vicios ocultos de construcción en las obras ejecutadas, ordenará, cuando estime oportuno, realizar antes de la recepción definitiva los ensayos, destructivos o no, que considere necesarios para reconocer o diagnosticar los trabajos que suponga defectuosos, dando cuenta de la circunstancia al Director de Obra.

El Contratista demolerá, y reconstruirá posteriormente a su cargo, todas las unidades de obra mal ejecutadas, sus consecuencias, daños y perjuicios, no pudiendo eludir su responsabilidad por el hecho de que el Director de Obra y/o el Director de Ejecución de Obra lo hayan examinado o reconocido con anterioridad, o que haya sido conformada o abonada una parte o la totalidad de las obras mal ejecutadas.

#### **1.1.2.11 Procedencia de materiales, aparatos y equipos**

El Contratista tiene libertad de proveerse de los materiales, aparatos y equipos de todas clases donde considere oportuno y conveniente para sus intereses, excepto en aquellos casos en los se preceptúe una procedencia y características específicas en el proyecto.

Obligatoriamente, y antes de proceder a su empleo, acopio y puesta en obra, el Contratista deberá presentar al Director de Ejecución de la Obra una lista completa de los materiales, aparatos y equipos que vaya a utilizar, en la que se especifiquen todas las indicaciones sobre sus características técnicas, marcas, calidades, procedencia e idoneidad de cada uno de ellos.

#### **1.1.2.12 Presentación de muestras**

A petición del Director de Obra, el Contratista presentará las muestras de los materiales, aparatos y equipos, siempre con la antelación prevista en el calendario de obra.

#### **1.1.2.13 Materiales, aparatos y equipos defectuosos**

Cuando los materiales, aparatos, equipos y elementos de instalaciones no fuesen de la calidad y características técnicas prescritas en el proyecto, no tuvieran la preparación en él exigida o cuando, a falta de prescripciones formales, se reconociera o demostrara que no son los adecuados para su fin, el Director de Obra, a instancias del Director de Ejecución de la Obra, dará la orden al Contratista de sustituirlos por otros que satisfagan las condiciones o sean los adecuados al fin al que se destinen.

Si, a los 15 días de recibir el Contratista orden de que retire los materiales que no estén en condiciones, ésta no ha sido cumplida, podrá hacerlo el Promotor o Propiedad a cuenta de Contratista.

En el caso de que los materiales, aparatos, equipos o elementos de instalaciones fueran defectuosos, pero aceptables a juicio del Director de Obra,

se recibirán con la rebaja del precio que aquél determine, a no ser que el Contratista prefiera sustituirlos por otros en condiciones.

#### **1.1.2.14 Gastos ocasionados por pruebas y ensayos**

Todos los gastos originados por las pruebas y ensayos de materiales o elementos que intervengan en la ejecución de las obras correrán a cargo y cuenta del Contratista.

Todo ensayo que no resulte satisfactorio, no se realice por omisión del Contratista, o que no ofrezca las suficientes garantías, podrá comenzarse nuevamente o realizarse nuevos ensayos o pruebas especificadas en el proyecto, a cargo y cuenta del Contratista y con la penalización correspondiente, así como todas las obras complementarias a que pudieran dar lugar cualquiera de los supuestos anteriormente citados y que el Director de Obra considere necesarios.

#### **1.1.2.1 Limpieza de las obras**

Es obligación del Contratista mantener limpias las obras y sus alrededores tanto de escombros como de materiales sobrantes, retirar las instalaciones provisionales que no sean necesarias, así como ejecutar todos los trabajos y adoptar las medidas que sean apropiadas para que la obra presente buen aspecto.

#### **1.1.2.2 Obras sin prescripciones explícitas**

En la ejecución de trabajos que pertenecen a la construcción de las obras, y para los cuales no existan prescripciones consignadas explícitamente en este Pliego ni en la restante documentación del proyecto, el Contratista se atenderá, en primer término, a las instrucciones que dicte la Dirección Facultativa de las obras y, en segundo lugar, a las normas y prácticas de la buena construcción.

### **1.1.3 Disposiciones de las recepciones de edificios y obras anejas**

#### **1.1.3.1 Consideraciones de carácter general**

La recepción de la obra es el acto por el cual el Contratista, una vez concluida la obra, hace entrega de la misma al Promotor y es aceptada por éste. Podrá

realizarse con o sin reservas y deberá abarcar la totalidad de la obra o fases completas y terminadas de la misma, cuando así se acuerde por las partes.

La recepción deberá consignarse en un acta firmada, al menos, por el Promotor y el Contratista, haciendo constar:

- Las partes que intervienen.
- La fecha del certificado final de la totalidad de la obra o de la fase completa y terminada de la misma.
- El coste final de la ejecución material de la obra.
- La declaración de la recepción de la obra con o sin reservas, especificando, en su caso, éstas de manera objetiva, y el plazo en que deberán quedar subsanados los defectos observados. Una vez subsanados los mismos, se hará constar en un acta aparte, suscrita por los firmantes de la recepción.
- Las garantías que, en su caso, se exijan al Contratista para asegurar sus responsabilidades.

Asimismo, se adjuntará el certificado final de obra suscrito por el Director de Obra y el Director de la Ejecución de la Obra.

El Promotor podrá rechazar la recepción de la obra por considerar que la misma no está terminada o que no se adecúa a las condiciones contractuales.

En todo caso, el rechazo deberá ser motivado por escrito en el acta, en la que se fijará el nuevo plazo para efectuar la recepción.

Salvo pacto expreso en contrario, la recepción de la obra tendrá lugar dentro de los treinta días siguientes a la fecha de su terminación, acreditada en el certificado final de obra, plazo que se contará a partir de la notificación efectuada por escrito al promotor. La recepción se entenderá tácitamente producida si transcurridos treinta días desde la fecha indicada el promotor no hubiera puesto de manifiesto reservas o rechazo motivado por escrito.

El cómputo de los plazos de responsabilidad y garantía será el establecidos en la L.O.E., y se iniciará a partir de la fecha en que se suscriba el acta de recepción, o cuando se entienda ésta tácitamente producida según lo previsto en el apartado anterior.

### **1.1.3.2 Recepción provisional**

Treinta días antes de dar por finalizadas las obras, comunicará el Director de Ejecución de la Obra al Promotor o Propiedad la proximidad de su terminación a fin de convenir el acto de la Recepción Provisional.

Ésta se realizará con la intervención de la Propiedad, del Contratista, del Director de Obra y del Director de Ejecución de la Obra. Se convocará también a los restantes técnicos que, en su caso, hubiesen intervenido en la dirección con función propia en aspectos parciales o unidades especializadas.

Practicado un detenido reconocimiento de las obras, se extenderá un acta con tantos ejemplares como intervinientes y firmados por todos ellos. Desde esta fecha empezará a correr el plazo de garantía, si las obras se hallasen en estado de ser admitidas. Seguidamente, los Técnicos de la Dirección extenderán el correspondiente Certificado de Final de Obra.

Cuando las obras no se hallen en estado de ser recibidas, se hará constar expresamente en el Acta y se darán al Contratista las oportunas instrucciones para subsanar los defectos observados, fijando un plazo para subsanarlos, expirado el cual se efectuará un nuevo reconocimiento a fin de proceder a la recepción provisional de la obra.

Si el Contratista no hubiese cumplido, podrá declararse resuelto el contrato con la pérdida de la fianza.

#### **1.1.3.3 Documentación final de la obra**

El Director de Ejecución de la Obra, asistido por el Contratista y los técnicos que hubieren intervenido en la obra, redactará la documentación final de las obras, que se facilitará al Promotor, con las especificaciones y contenidos dispuestos por la legislación vigente.

#### **1.1.3.4 Medición definitiva y liquidación provisional de la obra**

Recibidas provisionalmente las obras, se procederá inmediatamente por el Director de Ejecución de la Obra a su medición definitiva, con precisa asistencia del Contratista o de su representante. Se extenderá la oportuna certificación por triplicado que, aprobada por el Director de Obra con su firma, servirá para el abono por el Promotor del saldo resultante menos la cantidad retenida en concepto de fianza.

#### **1.1.3.5 Plazo de garantía**

El plazo de garantía deberá estipularse en el contrato privado y, en cualquier caso, nunca deberá ser inferior a seis meses

### **1.1.3.6 Conservación de las obras recibidas provisionalmente**

Los gastos de conservación durante el plazo de garantía comprendido entre las recepciones provisional y definitiva, correrán a cargo y cuenta del Contratista.

Si el edificio fuese ocupado o utilizado antes de la recepción definitiva, la guardería, limpieza y reparaciones ocasionadas por el uso correrán a cargo de la Propiedad y las reparaciones por vicios de obra o por defectos en las instalaciones, serán a cargo del Contratista.

### **1.1.3.7 Recepción definitiva**

La recepción definitiva se realizará después de transcurrido el plazo de garantía, en igual modo y con las mismas formalidades que la provisional. A partir de esa fecha cesará la obligación del Contratista de reparar a su cargo aquellos desperfectos inherentes a la normal conservación de los edificios, y quedarán sólo subsistentes todas las responsabilidades que pudieran derivar de los vicios de construcción.

### **1.1.3.8 Prórroga del plazo de garantía**

Si, al proceder al reconocimiento para la recepción definitiva de la obra, no se encontrase ésta en las condiciones debidas, se aplazará dicha recepción definitiva y el Director de Obra indicará al Contratista los plazos y formas en que deberán realizarse las obras necesarias. De no efectuarse dentro de aquellos, podrá resolverse el contrato con la pérdida de la fianza.

### **1.1.3.9 Recepciones de trabajos cuya contrata haya sido rescindida**

En caso de resolución del contrato, el Contratista vendrá obligado a retirar, en el plazo fijado, la maquinaria, instalaciones y medios auxiliares, a resolver los subcontratos que tuviese concertados y a dejar la obra en condiciones de ser reanudada por otra empresa sin problema alguno.

Las obras y trabajos terminados por completo se recibirán provisionalmente con los trámites establecidos anteriormente. Transcurrido el plazo de garantía, se recibirán definitivamente según lo dispuesto anteriormente.

Para las obras y trabajos no determinados, pero aceptables a juicio del Director de Obra, se efectuará una sola y definitiva recepción.

## **1.2 Disposiciones Facultativas**

### **1.2.1 Definición, atribuciones y obligaciones de los agentes de la edificación**

Las atribuciones de los distintos agentes intervinientes en la edificación son las reguladas por la Ley 38/99 de Ordenación de la Edificación (L.O.E.).

Se definen agentes de la edificación todas las personas, físicas o jurídicas, que intervienen en el proceso de la edificación. Sus obligaciones quedan determinadas por lo dispuesto en la L.O.E. y demás disposiciones que sean de aplicación y por el contrato que origina su intervención.

Las definiciones y funciones de los agentes que intervienen en la edificación quedan recogidas en el capítulo III "Agentes de la edificación", considerándose:

#### **1.2.1.1 El Promotor**

Es la persona física o jurídica, pública o privada, que individual o colectivamente decide, impulsa, programa y financia con recursos propios o ajenos, las obras de edificación para sí o para su posterior enajenación, entrega o cesión a terceros bajo cualquier título.

Asume la iniciativa de todo el proceso de la edificación, impulsando la gestión necesaria para llevar a cabo la obra inicialmente proyectada, y se hace cargo de todos los costes necesarios.

Según la legislación vigente, a la figura del promotor se equiparan también las de gestor de sociedades cooperativas, comunidades de propietarios, u otras análogas que asumen la gestión económica de la edificación.

Cuando las Administraciones públicas y los organismos sujetos a la legislación de contratos de las Administraciones públicas actúen como promotores, se regirán por la legislación de contratos de las Administraciones públicas y, en lo no contemplado en la misma, por las disposiciones de la L.O.E.

#### **1.2.1.2 El Projectista**

Es el agente que, por encargo del promotor y con sujeción a la normativa técnica y urbanística correspondiente, redacta el proyecto.

Podrán redactar proyectos parciales del proyecto, o partes que lo complementen, otros técnicos, de forma coordinada con el autor de éste.

Cuando el proyecto se desarrolle o complete mediante proyectos parciales u otros documentos técnicos según lo previsto en el apartado 2 del artículo 4 de la L.O.E., cada proyectista asumirá la titularidad de su proyecto.

### **1.2.1.3 El Constructor o Contratista**

Es el agente que asume, contractualmente ante el Promotor, el compromiso de ejecutar con medios humanos y materiales, propios o ajenos, las obras o parte de las mismas con sujeción al Proyecto y al Contrato de obra.

CABE EFECTUAR ESPECIAL MENCIÓN DE QUE LA LEY SEÑALA COMO RESPONSABLE EXPLÍCITO DE LOS VICIOS O DEFECTOS CONSTRUCTIVOS AL CONTRATISTA GENERAL DE LA OBRA, SIN PERJUICIO DEL DERECHO DE REPETICIÓN DE ÉSTE HACIA LOS SUBCONTRATISTAS.

### **1.2.1.4 El Director de Obra**

Es el agente que, formando parte de la dirección facultativa, dirige el desarrollo de la obra en los aspectos técnicos, estéticos, urbanísticos y medioambientales, de conformidad con el proyecto que la define, la licencia de edificación y demás autorizaciones preceptivas, y las condiciones del contrato, con el objeto de asegurar su adecuación al fin propuesto.

Podrán dirigir las obras de los proyectos parciales otros técnicos, bajo la coordinación del Director de Obra.

### **1.2.1.5 El Director de la Ejecución de la Obra**

Es el agente que, formando parte de la Dirección Facultativa, asume la función técnica de dirigir la Ejecución Material de la Obra y de controlar cualitativa y cuantitativamente la construcción y calidad de lo edificado. Para ello es requisito indispensable el estudio y análisis previo del proyecto de ejecución una vez redactado por el Arquitecto, procediendo a solicitarle, con antelación al inicio de las obras, todas aquellas aclaraciones, subsanaciones o documentos complementarios que, dentro de su competencia y atribuciones legales, estimare necesarios para poder dirigir de manera solvente la ejecución de las mismas.

### **1.2.1.6 Las entidades y los laboratorios de control de calidad de la edificación**

Son entidades de control de calidad de la edificación aquéllas capacitadas para prestar asistencia técnica en la verificación de la calidad del proyecto, de los materiales y de la ejecución de la obra y sus instalaciones de acuerdo con el proyecto y la normativa aplicable.

Son laboratorios de ensayos para el control de calidad de la edificación los capacitados para prestar asistencia técnica, mediante la realización de ensayos o pruebas de servicio de los materiales, sistemas o instalaciones de una obra de edificación.

### **1.2.1.7 Los suministradores de productos**

Se consideran suministradores de productos los fabricantes, almacenistas, importadores o vendedores de productos de construcción.

Se entiende por producto de construcción aquel que se fabrica para su incorporación permanente en una obra, incluyendo materiales, elementos semielaborados, componentes y obras o parte de las mismas, tanto terminadas como en proceso de ejecución.

## **1.2.2 La Dirección Facultativa**

En correspondencia con la L.O.E., la Dirección Facultativa está compuesta por la Dirección de Obra y la Dirección de Ejecución de la Obra. A la Dirección Facultativa se integrará el Coordinador en materia de Seguridad y Salud en fase de ejecución de la obra, en el caso de que se haya adjudicado dicha misión a facultativo distinto de los anteriores.

Representa técnicamente los intereses del promotor durante la ejecución de la obra, dirigiendo el proceso de construcción en función de las atribuciones profesionales de cada técnico participante.

## **1.2.3 Visitas facultativas**

Son las realizadas a la obra de manera conjunta o individual por cualquiera de los miembros que componen la Dirección Facultativa. La intensidad y número de visitas dependerá de los cometidos que a cada agente le son propios, pudiendo variar en función de los requerimientos específicos y de la mayor o menor exigencia presencial requerible al técnico al efecto en cada caso y

según cada una de las fases de la obra. Deberán adaptarse al proceso lógico de construcción, pudiendo los agentes ser o no coincidentes en la obra en función de la fase concreta que se esté desarrollando en cada momento y del cometido exigible a cada cual.

### **1.2.4 Obligaciones de los agentes intervinientes**

Las obligaciones de los agentes que intervienen en la edificación son las contenidas en los artículos 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15 y 16, del capítulo III de la L.O.E. y demás legislación aplicable.

## **1.3 Disposiciones Económicas**

### **1.3.1 Definición**

Las condiciones económicas fijan el marco de relaciones económicas para el abono y recepción de la obra. Tienen un carácter subsidiario respecto al contrato de obra, establecido entre las partes que intervienen, Promotor y Contratista, que es en definitiva el que tiene validez.

### **1.3.2 Contrato de obra**

Se aconseja que se firme el contrato de obra, entre el Promotor y el Contratista, antes de iniciarse las obras, evitando en lo posible la realización de la obra por administración. A la Dirección Facultativa (Director de Obra y Director de Ejecución de la Obra) se le facilitará una copia del contrato de obra, para poder certificar en los términos pactados.

Sólo se aconseja contratar por administración aquellas partidas de obra irrelevantes y de difícil cuantificación, o cuando se desee un acabado muy esmerado.

El contrato de obra deberá prever las posibles interpretaciones y discrepancias que pudieran surgir entre las partes, así como garantizar que la Dirección Facultativa pueda, de hecho, COORDINAR, DIRIGIR y CONTROLAR la obra, por lo que es conveniente que se especifiquen y determinen con claridad, como mínimo, los siguientes puntos:

- Documentos a aportar por el Contratista.
- Condiciones de ocupación del solar e inicio de las obras.
- Determinación de los gastos de enganches y consumos.

- Responsabilidades y obligaciones del Contratista: Legislación laboral.
- Responsabilidades y obligaciones del Promotor.
- Presupuesto del Contratista.
- Revisión de precios (en su caso).
- Forma de pago: Certificaciones.
- Retenciones en concepto de garantía (nunca menos del 5%).
- Plazos de ejecución: Planning.
- Retraso de la obra: Penalizaciones.
- Recepción de la obra: Provisional y definitiva.
- Litigio entre las partes.

Dado que este Pliego de Condiciones Económicas es complemento del contrato de obra, en caso de que no exista contrato de obra alguno entre las partes se le comunicará a la Dirección Facultativa, que pondrá a disposición de las partes el presente Pliego de Condiciones Económicas que podrá ser usado como base para la redacción del correspondiente contrato de obra.

### **1.3.3 Criterio General**

Todos los agentes que intervienen en el proceso de la construcción, definidos en la Ley 38/1999 de Ordenación de la Edificación (L.O.E.), tienen derecho a percibir puntualmente las cantidades devengadas por su correcta actuación con arreglo a las condiciones contractualmente establecidas, pudiendo exigirse recíprocamente las garantías suficientes para el cumplimiento diligente de sus obligaciones de pago.

### **1.3.4 Fianzas**

El Contratista presentará una fianza con arreglo al procedimiento que se estipule en el contrato de obra:

#### **1.3.4.1 Ejecución de trabajos con cargo a la fianza**

Si el contratista se negase a hacer por su cuenta los trabajos precisos para ultimar la obra en las condiciones contratadas, el Director de Obra, en nombre y representación del Promotor, los ordenará ejecutar a un tercero, o podrá realizarlos directamente por administración, abonando su importe con la fianza depositada, sin perjuicio de las acciones a que tenga derecho el Promotor, en el caso de que el importe de la fianza no bastase para cubrir el importe de los gastos efectuados en las unidades de obra que no fuesen de recibo.

#### **1.3.4.2 Devolución de las fianzas**

La fianza recibida será devuelta al Contratista en un plazo establecido en el contrato de obra, una vez firmada el Acta de Recepción Definitiva de la obra. El Promotor podrá exigir que el Contratista le acredite la liquidación y finiquito de sus deudas causadas por la ejecución de la obra, tales como salarios, suministros y subcontratos.

#### **1.3.4.3 Devolución de la fianza en el caso de efectuarse recepciones parciales**

Si el Promotor, con la conformidad del Director de Obra, accediera a hacer recepciones parciales, tendrá derecho el Contratista a que se le devuelva la parte proporcional de la fianza.

#### **1.3.5 De los precios**

El objetivo principal de la elaboración del presupuesto es anticipar el coste del proceso de construir la obra. Descompondremos el presupuesto en unidades de obra, componente menor que se contrata y certifica por separado, y basándonos en esos precios, calcularemos el presupuesto.

##### **1.3.5.1 Precio básico**

Es el precio por unidad (ud, m, kg, etc.) de un material dispuesto a pie de obra, (incluido su transporte a obra, descarga en obra, embalajes, etc.) o el precio por hora de la maquinaria y de la mano de obra.

##### **1.3.5.2 Precio unitario**

Es el precio de una unidad de obra que obtendremos como suma de los siguientes costes:

- Costes directos: calculados como suma de los productos "precio básico x cantidad" de la mano de obra, maquinaria y materiales que intervienen en la ejecución de la unidad de obra.
- Medios auxiliares: Costes directos complementarios, calculados en forma porcentual como porcentaje de otros componentes, debido a que representan los costes directos que intervienen en la ejecución de la unidad de obra y que son de difícil cuantificación. Son diferentes para cada unidad de obra.

- Costes indirectos: aplicados como un porcentaje de la suma de los costes directos y medios auxiliares, igual para cada unidad de obra debido a que representan los costes de los factores necesarios para la ejecución de la obra que no se corresponden a ninguna unidad de obra en concreto.

En relación a la composición de los precios, el vigente Reglamento general de la Ley de Contratos de las Administraciones Públicas (Real Decreto 1098/2001, de 12 de octubre) establece que la composición y el cálculo de los precios de las distintas unidades de obra se base en la determinación de los costes directos e indirectos precisos para su ejecución, sin incorporar, en ningún caso, el importe del Impuesto sobre el Valor Añadido que pueda gravar las entregas de bienes o prestaciones de servicios realizados.

Considera costes directos:

- La mano de obra que interviene directamente en la ejecución de la unidad de obra.
- Los materiales, a los precios resultantes a pie de obra, que quedan integrados en la unidad de que se trate o que sean necesarios para su ejecución.
- Los gastos de personal, combustible, energía, etc., que tengan lugar por el accionamiento o funcionamiento de la maquinaria e instalaciones utilizadas en la ejecución de la unidad de obra.
- Los gastos de amortización y conservación de la maquinaria e instalaciones anteriormente citadas.

Deben incluirse como costes indirectos:

Los gastos de instalación de oficinas a pie de obra, comunicaciones, edificación de almacenes, talleres, pabellones temporales para obreros, laboratorio, etc., los del personal técnico y administrativo adscrito exclusivamente a la obra y los imprevistos. Todos estos gastos, excepto aquéllos que se reflejen en el presupuesto valorados en unidades de obra o en partidas alzadas, se cifrarán en un porcentaje de los costes directos, igual para todas las unidades de obra, que adoptará, en cada caso, el autor del proyecto a la vista de la naturaleza de la obra proyectada, de la importancia de su presupuesto y de su previsible plazo de ejecución.

Las características técnicas de cada unidad de obra, en las que se incluyen todas las especificaciones necesarias para su correcta ejecución, se encuentran en el apartado de 'Prescripciones en cuanto a la Ejecución por

Unidad de Obra', junto a la descripción del proceso de ejecución de la unidad de obra.

Si en la descripción del proceso de ejecución de la unidad de obra no figurase alguna operación necesaria para su correcta ejecución, se entiende que está incluida en el precio de la unidad de obra, por lo que no supondrá cargo adicional o aumento de precio de la unidad de obra contratada.

### **1.3.5.3 Presupuesto de Ejecución Material (PEM)**

Es el resultado de la suma de los precios unitarios de las diferentes unidades de obra que la componen.

Se denomina Presupuesto de Ejecución Material al resultado obtenido por la suma de los productos del número de cada unidad de obra por su precio unitario y de las partidas alzadas. Es decir, el coste de la obra sin incluir los gastos generales, el beneficio industrial y el impuesto sobre el valor añadido.

### **1.3.5.4 Precios contradictorios**

Sólo se producirán precios contradictorios cuando el Promotor, por medio del Director de Obra, decida introducir unidades o cambios de calidad en alguna de las previstas, o cuando sea necesario afrontar alguna circunstancia imprevista.

El Contratista siempre estará obligado a efectuar los cambios indicados.

A falta de acuerdo, el precio se resolverá contradictoriamente entre el Director de Obra y el Contratista antes de comenzar la ejecución de los trabajos y en el plazo que determine el contrato de obra o, en su defecto, antes de quince días hábiles desde que se le comunique fehacientemente al Director de Obra. 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 hubiese se referirán siempre a los precios unitarios de la fecha del contrato de obra. Nunca se tomará para la valoración de los correspondientes precios contradictorios la fecha de la ejecución de la unidad de obra en cuestión.

### **1.3.5.5 Reclamación de aumento de precios**

Si el Contratista, antes de la firma del contrato de obra, no hubiese 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.

#### **1.3.5.6 Formas tradicionales de medir o de aplicar los precios**

En ningún caso podrá alegar el Contratista los usos y costumbres locales respecto de la aplicación de los precios o de la forma de medir las unidades de obra ejecutadas. Se estará a lo previsto en el Presupuesto y en el criterio de medición en obra recogido en el Pliego.

#### **1.3.5.7 De la revisión de los precios contratados**

El presupuesto presentado por el Contratista se entiende que es cerrado, por lo que no se aplicará revisión de precios.

Sólo se procederá a efectuar revisión de precios cuando haya quedado explícitamente determinado en el contrato de obra entre el Promotor y el Contratista.

#### **1.3.5.8 Acopio de materiales**

El Contratista queda obligado a ejecutar los acopios de materiales o aparatos de obra que el Promotor ordene por escrito.

Los materiales acopiados, una vez abonados por el propietario, son de la exclusiva propiedad de éste, siendo el Contratista responsable de su guarda y conservación.

### **1.3.6 Obras por administración**

Se denominan "Obras por administración" aquellas en las que las gestiones que se precisan para su realización las lleva directamente el Promotor, bien por sí mismo, por un representante suyo o por mediación de un Contratista.

Las obras por administración se clasifican en dos modalidades:

- Obras por administración directa.
- Obras por administración delegada o indirecta.

Según la modalidad de contratación, en el contrato de obra se regulará:

- Su liquidación.
- El abono al Contratista de las cuentas de administración delegada.
- Las normas para la adquisición de los materiales y aparatos.

- Responsabilidades del Contratista en la contratación por administración en general y, en particular, la debida al bajo rendimiento de los obreros.

### **1.3.7 Valoración y abono de los trabajos**

#### **1.3.7.1 Forma y plazos de abono de las obras**

Se realizará por certificaciones de obra y se recogerán las condiciones en el contrato de obra establecido entre las partes que intervienen (Promotor y Contratista) que, en definitiva, es el que tiene validez.

Los pagos se efectuarán por la propiedad en los plazos previamente establecidos en el contrato de obra, y su importe corresponderá precisamente al de las certificaciones de la obra conformadas por el Director de Ejecución de la Obra, en virtud de las cuáles se verifican aquéllos.

El Director de Ejecución de la Obra realizará, en la forma y condiciones que establezca el criterio de medición en obra incorporado en las Prescripciones en cuanto a la Ejecución por Unidad de Obra, la medición de las unidades de obra ejecutadas durante el período de tiempo anterior, pudiendo el Contratista presenciar la realización de tales mediciones.

Para las obras o partes de obra que, por sus dimensiones y características, hayan de quedar posterior y definitivamente ocultas, el contratista está obligado a avisar al Director de Ejecución de la Obra con la suficiente antelación, a fin de que éste pueda realizar las correspondientes mediciones y toma de datos, levantando los planos que las definan, cuya conformidad suscribirá el Contratista.

A falta de aviso anticipado, cuya existencia corresponde probar al Contratista, queda éste obligado a aceptar las decisiones del Promotor sobre el particular.

#### **1.3.7.2 Relaciones valoradas y certificaciones**

En los plazos fijados en el contrato de obra entre el Promotor y el Contratista, éste último formulará una relación valorada de las obras ejecutadas durante las fechas previstas, según la medición practicada por el Director de Ejecución de la Obra.

Las certificaciones de obra serán el resultado de aplicar, a la cantidad de obra realmente ejecutada, los precios contratados de las unidades de obra. Sin embargo, los excesos de obra realizada en unidades, tales como excavaciones

y hormigones, que sean imputables al Contratista, no serán objeto de certificación alguna.

Los pagos se efectuarán por el Promotor en los plazos previamente establecidos, y su importe corresponderá al de las certificaciones de obra, conformadas por la Dirección Facultativa. Tendrán el carácter de documento y entregas a buena cuenta, sujetas a las rectificaciones y variaciones que se deriven de la Liquidación Final, no suponiendo tampoco dichas certificaciones parciales la aceptación, la aprobación, ni la recepción de las obras que comprenden.

Las relaciones valoradas contendrán solamente la obra ejecutada en el plazo a que la valoración se refiere. Si la Dirección Facultativa lo exigiera, las certificaciones se extenderán a origen.

#### **1.3.7.3 Mejora de obras libremente ejecutadas**

Cuando el Contratista, incluso con la autorización del Director de Obra, emplease materiales de más esmerada preparación o de mayor tamaño que el señalado en el proyecto o sustituyese una clase de fábrica por otra que tuviese asignado mayor precio, o ejecutase con mayores dimensiones cualquier parte de la obra, o, en general, introdujese en ésta y sin solicitársela, cualquier otra modificación que sea beneficiosa a juicio de la Dirección Facultativa, no tendrá derecho más que al abono de lo que pudiera corresponderle en el caso de que hubiese construido la obra con estricta sujeción a la proyectada y contratada o adjudicada.

#### **1.3.7.4 Abono de trabajos presupuestados con partida alzada**

El abono de los trabajos presupuestados en partida alzada se efectuará previa justificación por parte del Contratista. Para ello, el Director de Obra indicará al Contratista, con anterioridad a su ejecución, el procedimiento que ha de seguirse para llevar dicha cuenta.

#### **1.3.7.5 Abono de trabajos especiales no contratados**

Cuando fuese preciso efectuar cualquier tipo de trabajo de índole especial u ordinaria que, por no estar contratado, no sea de cuenta del Contratista, y si no se contratasen con tercera persona, tendrá el Contratista la obligación de realizarlos y de satisfacer los gastos de toda clase que ocasionen, los cuales le serán abonados por la Propiedad por separado y en las condiciones que se estipulen en el contrato de obra.

### **1.3.7.6 Abono de trabajos ejecutados durante el plazo de garantía**

Efectuada la recepción provisional, y si durante el plazo de garantía se hubieran ejecutado trabajos cualesquiera, para su abono se procederá así:

- Si los trabajos que se realicen estuvieran especificados en el Proyecto, y sin causa justificada no se hubieran realizado por el Contratista a su debido tiempo, y el Director de obra exigiera su realización durante el plazo de garantía, serán valorados a los precios que figuren en el Presupuesto y abonados de acuerdo con lo establecido en el presente Pliego de Condiciones, sin estar sujetos a revisión de precios.
- Si se han ejecutado trabajos precisos para la reparación de desperfectos ocasionados por el uso del edificio, por haber sido éste utilizado durante dicho plazo por el Promotor, se valorarán y abonarán a los precios del día, previamente acordados.
- Si se han ejecutado trabajos para la reparación de desperfectos ocasionados por deficiencia de la construcción o de la calidad de los materiales, nada se abonará por ellos al Contratista.

### **1.3.8 Indemnizaciones Mutuas**

#### **1.3.8.1 Indemnización por retraso del plazo de terminación de las obras**

Si, por causas imputables al Contratista, las obras sufrieran un retraso en su finalización con relación al plazo de ejecución previsto, el Promotor podrá imponer al Contratista, con cargo a la última certificación, las penalizaciones establecidas en el contrato, que nunca serán inferiores al perjuicio que pudiera causar el retraso de la obra.

#### **1.3.8.2 Demora de los pagos por parte del Promotor**

Se regulará en el contrato de obra las condiciones a cumplir por parte de ambos.

#### **1.3.8.3 Mejoras, aumentos y/o reducciones de obra**

Sólo se admitirán mejoras de obra, en el caso que el Director de Obra haya ordenado por escrito la ejecución de los trabajos nuevos o que mejoren la calidad de los contratados, así como de los materiales y maquinaria previstos en el contrato.

Sólo se admitirán aumentos de obra en las unidades contratadas, en el caso que el Director de Obra haya ordenado por escrito la ampliación de las contratadas como consecuencia de observar errores en las mediciones de proyecto.

En ambos casos será condición indispensable que ambas partes contratantes, antes de su ejecución o empleo, convengan por escrito los importes totales de las unidades mejoradas, los precios de los nuevos materiales o maquinaria ordenados emplear y los aumentos que todas estas mejoras o aumentos de obra supongan sobre el importe de las unidades contratadas.

Se seguirán el mismo criterio y procedimiento, cuando el Director de Obra introduzca innovaciones que supongan una reducción en los importes de las unidades de obra contratadas.

#### **1.3.8.4 Unidades de obra defectuosas**

Las obras defectuosas no se valorarán.

#### **1.3.8.5 Seguro de las obras**

El Contratista está obligado a asegurar la obra contratada durante todo el tiempo que dure su ejecución, hasta la recepción definitiva.

#### **1.3.8.6 Conservación de la obra**

El Contratista está obligado a conservar la obra contratada durante todo el tiempo que dure su ejecución, hasta la recepción definitiva.

#### **1.3.8.7 Uso por el Contratista de edificio o bienes del Promotor**

No podrá el Contratista hacer uso de edificio o bienes del Promotor durante la ejecución de las obras sin el consentimiento del mismo.

Al abandonar el Contratista el edificio, tanto por buena terminación de las obras, como por resolución del contrato, está obligado a dejarlo desocupado y limpio en el plazo que se estipule en el contrato de obra.

#### **1.3.8.8 Pago de arbitrios**

El pago de impuestos y arbitrios en general, municipales o de otro origen, sobre vallas, alumbrado, etc., cuyo abono debe hacerse durante el tiempo de ejecución de las obras y por conceptos inherentes a los propios trabajos que se

realizan, correrán a cargo del Contratista, siempre que en el contrato de obra no se estipule lo contrario.

### **1.3.9 Retenciones en concepto de garantía**

Del importe total de las certificaciones se descontará un porcentaje, que se retendrá en concepto de garantía. Este valor no deberá ser nunca menor del cinco por cien (5%) y responderá de los trabajos mal ejecutados y de los perjuicios que puedan ocasionarle al Promotor.

Esta retención en concepto de garantía quedará en poder del Promotor durante el tiempo designado como PERIODO DE GARANTÍA, pudiendo ser dicha retención, "en metálico" o mediante un aval bancario que garantice el importe total de la retención.

Si el Contratista se negase a hacer por su cuenta los trabajos precisos para ultimar la obra en las condiciones contratadas, el Director de Obra, en representación del Promotor, los ordenará ejecutar a un tercero, o podrá realizarlos directamente por administración, abonando su importe con la fianza depositada, sin perjuicio de las acciones a que tenga derecho el Promotor, en el caso de que el importe de la fianza no bastase para cubrir el importe de los gastos efectuados en las unidades de obra que no fuesen de recibo.

La fianza retenida en concepto de garantía será devuelta al Contratista en el plazo estipulado en el contrato, una vez firmada el Acta de Recepción Definitiva de la obra. El promotor podrá exigir que el Contratista le acredite la liquidación y finiquito de sus deudas atribuibles a la ejecución de la obra, tales como salarios, suministros o subcontratos.

#### **1.3.9.1 Plazos de ejecución: Planning de obra**

En el contrato de obra deberán figurar los plazos de ejecución y entregas, tanto totales como parciales. Además, será conveniente adjuntar al respectivo contrato un Planning de la ejecución de la obra donde figuren de forma gráfica y detallada la duración de las distintas partidas de obra que deberán conformar las partes contratantes.

#### **1.3.9.2 Liquidación económica de las obras**

Simultáneamente al libramiento de la última certificación, se procederá al otorgamiento del Acta de Liquidación Económica de las obras, que deberán firmar el Promotor y el Contratista. En este acto se dará por terminada la obra y

se entregarán, en su caso, las llaves, los correspondientes boletines debidamente cumplimentados de acuerdo a la Normativa Vigente, así como los proyectos Técnicos y permisos de las instalaciones contratadas.

Dicha Acta de Liquidación Económica servirá de Acta de Recepción Provisional de las obras, para lo cual será conformada por el Promotor, el Contratista, el Director de Obra y el Director de Ejecución de la Obra, quedando desde dicho momento la conservación y custodia de las mismas a cargo del Promotor.

La citada recepción de las obras, provisional y definitiva, queda regulada según se describe en las Disposiciones Generales del presente Pliego.

### **1.3.9.3 Liquidación final de la obra**

Entre el Promotor y Contratista, la liquidación de la obra deberá hacerse de acuerdo con las certificaciones conformadas por la Dirección de Obra. Si la liquidación se realizara sin el visto bueno de la Dirección de Obra, ésta sólo mediará, en caso de desavenencia o desacuerdo, en el recurso ante los Tribunales.

## **2 PLIEGO DE CONDICIONES TÉCNICAS PARTICULARES**

### **2.1 Prescripciones sobre los materiales**

En el presente proyecto se especifican las características técnicas que deberán cumplir los productos, equipos y sistemas suministrados.

Los productos, equipos y sistemas suministrados deberán cumplir las condiciones que sobre ellos se especifican en los distintos documentos que componen el Proyecto. Asimismo, sus calidades serán acordes con las distintas normas que sobre ellos estén publicadas y que tendrán un carácter de complementariedad a este apartado del Pliego. Tendrán preferencia en cuanto a su aceptabilidad aquellos materiales que estén en posesión de Documento de Idoneidad Técnica que avale sus cualidades, emitido por Organismos Técnicos reconocidos.

Este control de recepción en obra de productos, equipos y sistemas comprenderá según el artículo 7.2. del CTE:

- El control de la documentación de los suministros, realizado de acuerdo con el artículo 7.2.1.
- El control mediante distintivos de calidad o evaluaciones técnicas de idoneidad, según el artículo 7.2.2.
- El control mediante ensayos, conforme al artículo 7.2.3.

Por parte del Constructor o Contratista debe existir obligación de comunicar a los suministradores de productos las cualidades que se exigen para los distintos materiales, aconsejándose que previamente al empleo de los mismos se solicite la aprobación del Director de Ejecución de la Obra y de las entidades y laboratorios encargados del control de calidad de la obra.

El Contratista será responsable de que los materiales empleados cumplan con las condiciones exigidas, independientemente del nivel de control de calidad que se establezca para la aceptación de los mismos.

El Contratista notificará al Director de Ejecución de la Obra, con suficiente antelación, la procedencia de los materiales que se proponga utilizar, aportando, cuando así lo solicite el Director de Ejecución de la Obra, las muestras y datos necesarios para decidir acerca de su aceptación.

Estos materiales serán reconocidos por el Director de Ejecución de la Obra antes de su empleo en obra, sin cuya aprobación no podrán ser acopiados en obra ni se podrá proceder a su colocación. Así mismo, aún después de colocados en obra, aquellos materiales que presenten defectos no percibidos en el primer reconocimiento, siempre que vaya en perjuicio del buen acabado de la obra, serán retirados de la obra. Todos los gastos que ello ocasionase serán a cargo del Contratista.

El hecho de que el Contratista subcontrate cualquier partida de obra no le exime de su responsabilidad.

La simple inspección o examen por parte de los Técnicos no supone la recepción absoluta de los mismos, siendo los oportunos ensayos los que determinen su idoneidad, no extinguiéndose la responsabilidad contractual del Contratista a estos efectos hasta la recepción definitiva de la obra.

### **2.1.1 Garantías de calidad (Marcado CE)**

El término producto de construcción queda definido como cualquier producto fabricado para su incorporación, con carácter permanente, a las obras de edificación e ingeniería civil que tengan incidencia sobre los siguientes requisitos esenciales:

- Resistencia mecánica y estabilidad.
- Seguridad en caso de incendio.
- Higiene, salud y medio ambiente.
- Seguridad de utilización.
- Protección contra el ruido.
- Ahorro de energía y aislamiento térmico.

El marcado CE de un producto de construcción indica:

Que éste cumple con unas determinadas especificaciones técnicas relacionadas con los requisitos esenciales contenidos en las Normas Armonizadas (EN) y en las Guías DITE (Guías para el Documento de Idoneidad Técnica Europeo).

Que se ha cumplido el sistema de evaluación y verificación de la constancia de las prestaciones indicado en los mandatos relativos a las normas armonizadas y en las especificaciones técnicas armonizadas.

Siendo el fabricante el responsable de su fijación y la Administración competente en materia de industria la que vele por la correcta utilización del marcado CE.

Es obligación del Director de la Ejecución de la Obra verificar si los productos que entran en la obra están afectados por el cumplimiento del sistema del marcado CE y, en caso de ser así, si se cumplen las condiciones establecidas en el Real Decreto 1630/1992 por el que se transpone a nuestro ordenamiento legal la Directiva de Productos de Construcción 89/106/CEE.

El marcado CE se materializa mediante el símbolo "CE" acompañado de una información complementaria.

El fabricante debe cuidar de que el marcado CE figure, por orden de preferencia:

- En el producto propiamente dicho.
- En una etiqueta adherida al mismo.
- En su envase o embalaje.
- En la documentación comercial que le acompaña.

Las letras del símbolo CE deben tener una dimensión vertical no inferior a 5 mm.

Además del símbolo CE deben estar situadas en una de las cuatro posibles localizaciones una serie de inscripciones complementarias, cuyo contenido específico se determina en las normas armonizadas y Guías DITE para cada familia de productos, entre las que se incluyen:

- el número de identificación del organismo notificado (cuando proceda)
- el nombre comercial o la marca distintiva del fabricante
- la dirección del fabricante
- el nombre comercial o la marca distintiva de la fábrica
- las dos últimas cifras del año en el que se ha estampado el marcado en el producto
- el número del certificado CE de conformidad (cuando proceda)
- el número de la norma armonizada y en caso de verse afectada por varias los números de todas ellas
- la designación del producto, su uso previsto y su designación normalizada
- información adicional que permita identificar las características del producto atendiendo a sus especificaciones técnicas

Las inscripciones complementarias del marcado CE no tienen por qué tener un formato, tipo de letra, color o composición especial, debiendo cumplir únicamente las características reseñadas anteriormente para el símbolo.

Dentro de las características del producto podemos encontrar que alguna de ellas presente la mención "Prestación no determinada" (PND).

La opción PND es una clase que puede ser considerada si al menos un estado miembro no tiene requisitos legales para una determinada característica y el fabricante no desea facilitar el valor de esa característica.

## **2.1.2 Aceros para estructuras metálicas**

### **2.1.2.1 Aceros en perfiles laminados**

#### Condiciones de suministro

- Los aceros se deben transportar de una manera segura, de forma que no se produzcan deformaciones permanentes y los daños superficiales sean mínimos. Los componentes deben estar protegidos contra posibles daños en los puntos de eslingado (por donde se sujetan para izarlos).
- Los componentes prefabricados que se almacenan antes del transporte o del montaje deben estar apilados por encima del terreno y sin contacto directo con éste. Debe evitarse cualquier acumulación de agua. Los componentes deben mantenerse limpios y colocados de forma que se eviten las deformaciones permanentes.

#### Recepción y control

Para los productos planos:

- Salvo acuerdo en contrario, el estado de suministro de los productos planos de los tipos S235, S275 y S355 de grado JR queda a elección del fabricante.
- Si en el pedido se solicita inspección y ensayo, se deberá indicar:
- Tipo de inspección y ensayos (específicos o no específicos).
- El tipo de documento de la inspección.
- Para los productos largos:
- Salvo acuerdo en contrario, el estado de suministro de los productos largos de los tipos S235, S275 y S355 de grado JR queda a elección del fabricante.

#### Conservación, almacenamiento y manipulación

Si los materiales han estado almacenados durante un largo periodo de tiempo, o de una manera tal que pudieran haber sufrido un deterioro importante, deberán ser comprobados antes de ser utilizados, para asegurarse de que

siguen cumpliendo con la norma de producto correspondiente. Los productos de acero resistentes a la corrosión atmosférica pueden requerir un chorreo ligero antes de su empleo para proporcionarles una base uniforme para la exposición a la intemperie.

El material deberá almacenarse en condiciones que cumplan las instrucciones de su fabricante, cuando se disponga de éstas.

#### Recomendaciones para su uso en obra

El material no deberá emplearse si se ha superado la vida útil en almacén especificada por su fabricante.

## **2.2 Prescripciones en cuanto a la Ejecución por Unidad de Obra**

Las prescripciones para la ejecución de cada una de las diferentes unidades de obra se organizan en los siguientes apartados:

#### Medidas para asegurar la compatibilidad entre los diferentes productos, elementos y sistemas constructivos que componen la unidad de obra

Se especifican, en caso de que existan, las posibles incompatibilidades, tanto físicas como químicas, entre los diversos componentes que componen la unidad de obra, o entre el soporte y los componentes.

#### Características técnicas

Se describe la unidad de obra, detallando de manera pormenorizada los elementos que la componen, con la nomenclatura específica correcta de cada uno de ellos, de acuerdo a los criterios que marca la propia normativa.

#### Normativa de aplicación

Se especifican las normas que afectan a la realización de la unidad de obra.

#### Criterio de medición en proyecto

Indica cómo se ha medido la unidad de obra en la fase de redacción del proyecto, medición que luego será comprobada en obra.

#### Condiciones previas que han de cumplirse antes de la ejecución de las unidades de obra

Antes de iniciarse los trabajos de ejecución de cada una de las unidades de obra, el Director de la Ejecución de la Obra habrá recepcionado los materiales y los certificados acreditativos exigibles, en base a lo establecido en la

documentación pertinente por el técnico redactor del proyecto. Será preceptiva la aceptación previa por parte del Director de la Ejecución de la Obra de todos los materiales que constituyen la unidad de obra.

Así mismo, se realizarán una serie de comprobaciones previas sobre las condiciones del soporte, las condiciones ambientales del entorno, y la cualificación de la mano de obra, en su caso.

#### Del soporte

Se establecen una serie de requisitos previos sobre el estado de las unidades de obra realizadas previamente, que pueden servir de soporte a la nueva unidad de obra.

#### Ambientales

En determinadas condiciones climáticas (viento, lluvia, humedad, etc.) no podrán iniciarse los trabajos de ejecución de la unidad de obra, deberán interrumpirse o será necesario adoptar una serie de medidas protectoras.

#### Del contratista

En algunos casos, será necesaria la presentación al Director de la Ejecución de la Obra de una serie de documentos por parte del Contratista, que acrediten su cualificación, o la de la empresa por él subcontratada, para realizar cierto tipo de trabajos. Por ejemplo la puesta en obra de sistemas constructivos en posesión de un Documento de Idoneidad Técnica (DIT), deberán ser realizados por la propia empresa propietaria del DIT, o por empresas especializadas y cualificadas, reconocidas por ésta y bajo su control técnico.

#### Proceso de ejecución

En este apartado se desarrolla el proceso de ejecución de cada unidad de obra, asegurando en cada momento las condiciones que permitan conseguir el nivel de calidad previsto para cada elemento constructivo en particular.

#### Fases de ejecución

Se enumeran, por orden de ejecución, las fases de las que consta el proceso de ejecución de la unidad de obra.

#### Condiciones de terminación

En algunas unidades de obra se hace referencia a las condiciones en las que debe finalizarse una determinada unidad de obra, para que no interfiera negativamente en el proceso de ejecución del resto de unidades.

Una vez terminados los trabajos correspondientes a la ejecución de cada unidad de obra, el Contratista retirará los medios auxiliares y procederá a la limpieza del elemento realizado y de las zonas de trabajo, recogiendo los restos de materiales y demás residuos originados por las operaciones realizadas para ejecutar la unidad de obra, siendo todos ellos clasificados, cargados y transportados a centro de reciclaje, vertedero específico o centro de acogida o transferencia.

#### Pruebas de servicio

En aquellas unidades de obra que sea necesario, se indican las pruebas de servicio a realizar por el propio Contratista o empresa instaladora, cuyo coste se encuentra incluido en el propio precio de la unidad de obra.

Aquellas otras pruebas de servicio o ensayos que no están incluidos en el precio de la unidad de obra, y que es obligatoria su realización por medio de laboratorios acreditados se encuentran detalladas y presupuestadas, en el correspondiente capítulo X de Control de Calidad y Ensayos, del Presupuesto de Ejecución Material (PEM).

Por ejemplo, esto es lo que ocurre en la unidad de obra ADP010, donde se indica que no está incluido en el precio de la unidad de obra el coste del ensayo de densidad y humedad "in situ".

#### Conservación y mantenimiento

En algunas unidades de obra se establecen las condiciones en que deben protegerse para la correcta conservación y mantenimiento en obra, hasta su recepción final.

#### Criterio de medición en obra y condiciones de abono

Indica cómo se comprobarán en obra las mediciones de Proyecto, una vez superados todos los controles de calidad y obtenida la aceptación final por parte del Director de Ejecución de la Obra.

La medición del número de unidades de obra que ha de abonarse se realizará, en su caso, de acuerdo con las normas que establece este capítulo, tendrá lugar en presencia y con intervención del Contratista, entendiéndose que éste renuncia a tal derecho si, avisado oportunamente, no compareciese a tiempo. En tal caso, será válido el resultado que el Director de Ejecución de la Obra consigne.

Todas las unidades de obra se abonarán a los precios establecidos en el Presupuesto. Dichos precios se abonarán por las unidades terminadas y

ejecutadas con arreglo al presente Pliego de Condiciones Técnicas Particulares y Prescripciones en cuanto a la Ejecución por Unidad de Obra.

Estas unidades comprenden el suministro, cánones, transporte, manipulación y empleo de los materiales, maquinaria, medios auxiliares, mano de obra necesaria para su ejecución y costes indirectos derivados de estos conceptos, así como cuantas necesidades circunstanciales se requieran para la ejecución de la obra, tales como indemnizaciones por daños a terceros u ocupaciones temporales y costos de obtención de los permisos necesarios, así como de las operaciones necesarias para la reposición de servidumbres y servicios públicos o privados afectados tanto por el proceso de ejecución de las obras como por las instalaciones auxiliares.

Igualmente, aquellos conceptos que se especifican en la definición de cada unidad de obra, las operaciones descritas en el proceso de ejecución, los ensayos y pruebas de servicio y puesta en funcionamiento, inspecciones, permisos, boletines, licencias, tasas o similares.

No será de abono al Contratista mayor volumen de cualquier tipo de obra que el definido en los planos o en las modificaciones autorizadas por la Dirección Facultativa. Tampoco le será abonado, en su caso, el coste de la restitución de la obra a sus dimensiones correctas, ni la obra que hubiese tenido que realizar por orden de la Dirección Facultativa para subsanar cualquier defecto de ejecución.

#### Terminología aplicada en el criterio de medición.

A continuación, se detalla el significado de algunos de los términos utilizados en los diferentes capítulos de obra.

#### Estructuras metálicas

Peso nominal medido. Serán los kg que resulten de aplicar a los elementos estructurales metálicos los pesos nominales que, según dimensiones y tipo de acero, figuren en tablas.

### **2.2.1 Estructuras**

Unidad de obra EAV010: Acero S355JR en vigas, soportes y riostras, con piezas simples de perfiles huecos para construcción, acabados en caliente tipo SHS con uniones soldadas.

Medidas para asegurar la compatibilidad entre los diferentes productos, elementos y sistemas constructivos que componen la unidad de obra.

La zona de soldadura no se pintará.

No se pondrá en contacto directo el acero con otros metales ni con yesos.

#### Características técnicas

Suministro y montaje de acero laminado UNE-EN 10025 S355JR, en perfiles huecos acabados en caliente, piezas simples tipo SHS, para vigas, soportes y riostras, mediante uniones soldadas. Trabajado y montado en taller, con preparación de superficies en grado SA21/2 según UNE-EN ISO 8501-1 y aplicación posterior de dos manos de imprimación con un espesor mínimo de película seca de 30 micras por mano, excepto en la zona en que deban realizarse soldaduras en obra, en una distancia de 100 mm desde el borde de la soldadura. Incluso p/p de preparación de bordes, soldaduras, cortes, piezas especiales, despuntes y reparación en obra de cuantos desperfectos se originen por razones de transporte, manipulación o montaje, con el mismo grado de preparación de superficies e imprimación.

#### Normativa de aplicación

Ejecución:

- CTE. DB-SE-A Seguridad estructural: Acero.
- UNE-EN 1090-2. Ejecución de estructuras de acero y aluminio. Parte 2: Requisitos técnicos para la ejecución de estructuras de acero.
- NTE-EAV. Estructuras de acero: Vigas.

#### Criterio de medición en proyecto

Peso nominal medido según documentación gráfica de Proyecto.

#### Condiciones previas que han de cumplirse antes de la ejecución de las unidades de obra:

##### *Ambientales*

No se realizarán trabajos de soldadura cuando la temperatura sea inferior a 0°C.

##### *Del contratista*

Presentará para su aprobación, al Director de Ejecución de la obra, el programa de montaje de la estructura, basado en las indicaciones del Proyecto, así como la documentación que acredite que los soldadores que intervengan en su ejecución estén certificados por un organismo acreditado.

#### Proceso de ejecución

### *Fases de ejecución*

Limpieza y preparación del plano de apoyo. Replanteo y marcado de los ejes. Colocación y fijación provisional de la viga. Aplomado y nivelación. Ejecución de las uniones. Reparación de defectos superficiales.

### Condiciones de terminación

Las cargas se transmitirán correctamente a la estructura. El acabado superficial será el adecuado para el posterior tratamiento de protección.

### Criterio de medición en obra y condiciones de abono

Se determinará, a partir del peso obtenido en báscula oficial de las unidades llegadas a obra, el peso de las unidades realmente ejecutadas según especificaciones de Proyecto.

## **2.2.2 Revestimientos**

Unidad de obra RLC010: Tratamiento superficial de protección anticorrosiva para elementos de acero mediante imprimación anticorrosiva a base de resina epoxi y fosfato de zinc, aplicada en dos manos (100  $\mu$ ).

### Características técnicas

Formación de capa de protección contra la oxidación en elementos de acero, mediante imprimación anticorrosiva a base de resina epoxi y fosfato de zinc, aplicada con brocha, rodillo de pelo corto o pistola, en dos manos, hasta alcanzar un espesor total de 100  $\mu$ . Incluso p/p de limpieza de la superficie soporte.

### Normativa de aplicación

Ejecución:

- CTE. DB-SE-A Seguridad estructural: Acero.
- UNE-EN 1090-2. Ejecución de estructuras de acero y aluminio. Parte 2: Requisitos técnicos para la ejecución de estructuras de acero.

### Criterio de medición en proyecto

Superficie medida según documentación gráfica de Proyecto, con el mismo criterio que el soporte base.

### Condiciones previas que han de cumplirse antes de la ejecución de las unidades de obra

*Del soporte*

Se comprobará que el soporte está limpio, seco, exento de óxidos, polvo y grasas.

#### *Ambientales*

Se suspenderán los trabajos cuando la temperatura ambiente o la temperatura del soporte sea inferior a 5°C o superior a 30°C.

#### Proceso de ejecución

##### *Fases de ejecución*

Limpieza del soporte. Aplicación del producto.

#### Condiciones de terminación

Las capas aplicadas serán uniformes y tendrán adherencia entre ellas y con el soporte.

#### Conservación y mantenimiento

Se protegerá de la lluvia al menos durante las 3 horas siguientes a su aplicación.

#### Criterio de medición en obra y condiciones de abono

Se medirá la superficie realmente ejecutada según especificaciones de Proyecto, con el mismo criterio que el soporte base.

### **2.2.3 Control de calidad y ensayos**

Unidad de obra XMP020: Ensayo de aptitud al soldeo sobre una muestra soldada de perfil laminado, con determinación de: disminución de la carga total de rotura.

#### Características técnicas

Ensayos a realizar en laboratorio acreditado en el área técnica correspondiente, sobre una muestra soldada de perfil laminado para uso en estructura metálica, tomada en obra, para confirmar su aptitud al soldeo mediante la determinación de las siguientes características: disminución de la carga total de rotura. Incluso desplazamiento a obra e informe de resultados.

#### Criterio de medición en proyecto

Ensayo a realizar, según documentación del Plan de control de calidad.

#### Fases de ejecución

Desplazamiento a obra. Toma de muestras. Realización de ensayos. Redacción de informe de los resultados de los ensayos realizados.

Unidad de obra XMP030: Ensayo sobre una muestra de perfil laminado, con determinación del espesor del recubrimiento.

Características técnicas

Ensayos a realizar en laboratorio acreditado en el área técnica correspondiente, sobre una muestra de perfil laminado para uso en estructura metálica, tomada en obra, para la determinación del espesor del recubrimiento, según UNE-EN ISO 2808. Incluso desplazamiento a obra e informe de resultados.

Criterio de medición en proyecto

Ensayo a realizar, según documentación del Plan de control de calidad.

Fases de ejecución

Desplazamiento a obra. Toma de muestras. Realización de ensayos. Redacción de informe de los resultados de los ensayos realizados.

Unidad de obra XMS020: Ensayo no destructivo sobre una unión soldada, mediante partículas magnéticas.

Medidas para asegurar la compatibilidad entre los diferentes productos, elementos y sistemas constructivos que componen la unidad de obra.

El ensayo mediante partículas magnéticas se realizará únicamente en materiales ferromagnéticos.

Características técnicas

Ensayo no destructivo a realizar por laboratorio acreditado en el área técnica correspondiente, sobre una unión soldada en estructura metálica, mediante partículas magnéticas para la determinación de las imperfecciones superficiales de la unión, según UNE-EN ISO 17638. Incluso desplazamiento a obra e informe de resultados.

Criterio de medición en proyecto

Ensayo a realizar, según documentación del Plan de control de calidad.

Fases de ejecución

Desplazamiento a obra. Realización del ensayo. Redacción de informe del resultado del ensayo realizado.

Criterio de medición en obra y condiciones de abono

Se medirá el número de ensayos realizados por laboratorio acreditado según especificaciones de Proyecto.

## **2.3 Prescripciones sobre verificaciones en el edificio terminado**

### **2.3.1 Estructuras**

Una vez finalizada la ejecución de cada fase de la estructura, al entrar en carga se comprobará visualmente su eficaz comportamiento, verificando que no se producen deformaciones no previstas en el proyecto ni aparecen grietas en los elementos estructurales.

En caso contrario y cuando se aprecie algún problema, se deben realizar pruebas de carga, cuyo coste será a cargo de la empresa constructora, para evaluar la seguridad de la estructura, en su totalidad o de una parte de ella. Estas pruebas de carga se realizarán de acuerdo con un Plan de Ensayos que evalúe la viabilidad de las pruebas, por una organización con experiencia en este tipo de trabajos, dirigida por un técnico competente.

## **2.4 Prescripciones en relación con el almacenamiento, manejo, separación y otras operaciones de gestión de los residuos de construcción y demolición**

El correspondiente Estudio de Gestión de los Residuos de Construcción y Demolición, contendrá las siguientes prescripciones en relación con el almacenamiento, manejo, separación y otras operaciones de gestión de los residuos de la obra:

El depósito temporal de los escombros se realizará en contenedores metálicos con la ubicación y condiciones establecidas en las ordenanzas municipales, o bien en sacos industriales con un volumen inferior a un metro cúbico, quedando debidamente señalizados y segregados del resto de residuos.

Aquellos residuos valorizables, como maderas, plásticos, chatarra, etc., se depositarán en contenedores debidamente señalizados y segregados del resto de residuos, con el fin de facilitar su gestión.

El responsable de la obra a la que presta servicio el contenedor adoptará las medidas pertinentes para evitar que se depositen residuos ajenos a la misma. Los contenedores permanecerán cerrados o cubiertos fuera del horario de trabajo, con el fin de evitar el depósito de restos ajenos a la obra y el derramamiento de los residuos.

En el equipo de obra se deberán establecer los medios humanos, técnicos y procedimientos de separación que se dedicarán a cada tipo de RCD.

Se deberán cumplir las prescripciones establecidas en las ordenanzas municipales, los requisitos y condiciones de la licencia de obra, especialmente si obligan a la separación en origen de determinadas materias objeto de reciclaje o deposición, debiendo el constructor o el jefe de obra realizar una evaluación económica de las condiciones en las que es viable esta operación, considerando las posibilidades reales de llevarla a cabo, es decir, que la obra o construcción lo permita y que se disponga de plantas de reciclaje o gestores adecuados.

El constructor deberá efectuar un estricto control documental, de modo que los transportistas y gestores de RCD presenten los vales de cada retirada y entrega en destino final. En el caso de que los residuos se reutilicen en otras obras o proyectos de restauración, se deberá aportar evidencia documental del destino final.

Los restos derivados del lavado de las canaletas de las cubas de suministro de hormigón prefabricado serán considerados como residuos y gestionados como le corresponde (LER 17 01 01).

Se evitará la contaminación mediante productos tóxicos o peligrosos de los materiales plásticos, restos de madera, acopios o contenedores de escombros, con el fin de proceder a su adecuada segregación.

Las tierras superficiales que puedan destinarse a jardinería o a la recuperación de suelos degradados, serán cuidadosamente retiradas y almacenadas durante el menor tiempo posible, dispuestas en caballones de altura no superior a 2 metros, evitando la humedad excesiva, su manipulación y su contaminación.

# DOCUMENTO III

# ESTADO DE MEDICIONES



## ÍNDICE DEL ESTADO DE MEDICIONES

<i>CAPÍTULO 1. Estructura</i>	<hr/>	<b>137</b>
<i>CAPÍTULO 2. Ensayos</i>	<hr/>	<b>137</b>
<i>CAPÍTULO 3. Pinturas</i>	<hr/>	<b>137</b>



## CAPÍTULO 1. Estructura

Comentario	P.ig.	Largo	Ancho	Alto	Subtotal	Total	
<b>1.1 EAV010</b>	<b>kg</b>	<b>Acero S355JR en vigas, soportes y riostras, con piezas simples de perfiles huecos para construcción, acabados en caliente tipo SHS con uniones soldadas.</b>					
Perfiles SHS 350X350X10 [A]		10592,6			10.592,559		
Perfiles SHS 250X250X8 [A]		12052			12.051,988		
Perfiles SHS 200X200X8 [A]		7974,62			7.974,618		
Perfiles SHS 200X200X5 [A]		3428,34			3.428,338		
Perfiles SHS 140X140X5 [A]		654,536			654,536		
Perfiles SHS 120X120X5 [A]		9758			9.758,002		
Perfiles SHS 60X60X8 [A]		270,438			270,438		
Perfiles SHS 60X60X4 [A]		1365,14			1.365,138		
Perfiles SHS 50X50X3 [A]		302,243			302,243		
Total kg .....					46.397,860		

## CAPÍTULO 2. Ensayos

Comentario	P.ig.	Largo	Ancho	Alto	Subtotal	Total	
<b>2.1 XMP020</b>	<b>Ud</b>	<b>Ensayo de aptitud al soldeo sobre una muestra soldada de perfil laminado, con determinación de: disminución de la carga total de rotura.</b>					
Total Ud .....					5,000		
<b>2.2 XMS020</b>	<b>Ud</b>	<b>Ensayo no destructivo sobre una unión soldada, mediante partículas magnéticas.</b>					
Total Ud .....					30,000		

## CAPÍTULO 3. Pinturas

Comentario	P.ig.	Largo	Ancho	Alto	Subtotal	Total	
<b>3.1 RLC010</b>	<b>m²</b>	<b>Tratamiento superficial de protección anticorrosiva para elementos de acero mediante imprimación anticorrosiva a base de resina epoxi y fosfato de zinc, aplicada en dos manos (100 µ).</b>					
Perfiles SHS 350X350X10 [A*B*C]		4	100,000	0,350	140,000		
Perfiles SHS 250X250X8 [A*B*C]		4	200,000	0,250	200,000		
Perfiles SHS 200X200X8 [A*B*C]		4	167,163	0,200	133,730		
Perfiles SHS 200X200X5 [A*B*C]		4	112,903	0,200	90,322		
Perfiles SHS 140X140X5 [A*B*C]		4	31,241	0,140	17,495		
Perfiles SHS 120X120X5 [A*B*C]		4	547,853	0,120	262,969		
Perfiles SHS 60X60X8 [A*B*C]		4	21,541	0,060	5,170		
Perfiles SHS 60X60X4 [A*B*C]		4	197,938	0,060	47,505		
Perfiles SHS 50X50X3 [A*B*C]		4	69,541	0,050	13,908		
Total m² .....					911,099		



# DOCUMENTO IV

# PRESUPUESTO



## ÍNDICE DEL PRESUPUESTO

<i>CUADRO DE PRECIOS Nº1</i>	<i>143</i>
<i>CUADRO DE PRECIOS Nº2</i>	<i>143</i>
<i>CUADRO DE MANO DE OBRA</i>	<i>145</i>
<i>CUADRO DE MATERIALES</i>	<i>145</i>
<i>CUADRO DE MAQUINARIA</i>	<i>145</i>
<i>PRESUPUESTOS PARCIALES</i>	<i>146</i>
Capítulo 1. Estructura	146
Capítulo 2. Ensayos	146
Capítulo 3. Pinturas	146
<i>RESUMEN DEL PRESUPUESTO</i>	<i>146</i>



## CUADRO DE PRECIOS Nº1

Nº	Designación	Importe	
		En cifra (Euros)	En letra (Euros)
1.1	<b>1 ESTRUCTURA</b> kg Acero S355JR en vigas, soportes y riostras, con piezas simples de perfiles huecos para construcción, acabados en caliente tipo SHS con uniones soldadas.	2,09	DOS EUROS CON NUEVE CÉNTIMOS
2.1	<b>2 ENSAYOS</b> Ud Ensayo de aptitud al soldeo sobre una muestra soldada de perfil laminado, con determinación de: disminución de la carga total de rotura.	187,50	CIENTO OCHENTA Y SIETE EUROS CON CINCUENTA CÉNTIMOS
2.2	Ud Ensayo no destructivo sobre una unión soldada, mediante partículas magnéticas.	35,87	TREINTA Y CINCO EUROS CON OCHENTA Y SIETE CÉNTIMOS
3.1	<b>3 PINTURAS</b> m² Tratamiento superficial de protección anticorrosiva para elementos de acero mediante imprimación anticorrosiva a base de resina epoxi y fosfato de zinc, aplicada en dos manos (100 µ).	19,58	DIECINUEVE EUROS CON CINCUENTA Y OCHO CÉNTIMOS

## CUADRO DE PRECIOS Nº2

Nº	Designación	Importe	
		Parcial (Euros)	Total (Euros)
1.1	<b>1 ESTRUCTURA</b> kg Acero S355JR en vigas, soportes y riostras, con piezas simples de perfiles huecos para construcción, acabados en caliente tipo SHS con uniones soldadas.		
	(Mano de obra)		
	Oficial 1ª montador de estructura metálica. 0,021 h 16,700	0,35	
	Ayudante montador de estructura metálica. 0,021 h 15,370	0,32	
	(Maquinaria)		
	Equipo y elementos auxiliares para soldadura eléctrica. 0,016 h 3,000	0,05	
	(Materiales)		
	Acero laminado UNE-EN 10025 S355JR, en perfiles tubulares acabados en caliente según norma EN 10210, piezas simples, para aplicaciones estructurales. 1,050 kg 0,990	1,04	
	Imprimación de secado rápido, formulada con resinas alquídicas modificadas y fosfato de zinc. 0,050 l 4,630	0,23	
	(Resto obra)		0,04
	3% Costes indirectos		0,06
			2,09

<b>2 ENSAYOS</b>						
2.1	Ud Ensayo de aptitud al soldeo sobre una muestra soldada de perfil laminado, con determinación de: disminución de la carga total de rotura. (Materiales)					
	Informe de resultados del ensayo de aptitud al soldeo en obra sobre una muestra soldada de perfil laminado en estructura metálica.	1,000	Ud	92,670	92,67	
	Ensayo de tracción de una probeta de acero soldada para el cálculo de la disminución de la carga total de rotura.	1,000	Ud	54,200	54,20	
	Repercusión de desplazamiento a obra para la toma de muestras.	1,000	Ud	0,710	0,71	
	Toma en obra de muestras de perfil laminado en estructura metálica, cuyo peso no exceda de 50 kg.	1,000	Ud	30,890	30,89	
	(Resto obra)				3,57	
	3% Costes indirectos				5,46	
						187,50
2.2	Ud Ensayo no destructivo sobre una unión soldada, mediante partículas magnéticas. (Materiales)					
	Ensayo no destructivo sobre una unión soldada, mediante partículas magnéticas, según UNE-EN ISO 17638, incluso desplazamiento a obra e informe de resultados.	1,000	Ud	34,150	34,15	
	(Resto obra)				0,68	
	3% Costes indirectos				1,04	
						35,87
<b>3 PINTURAS</b>						
3.1	m <sup>2</sup> Tratamiento superficial de protección anticorrosiva para elementos de acero mediante imprimación anticorrosiva a base de resina epoxi y fosfato de zinc, aplicada en dos manos (100 µ). (Mano de obra)					
	Oficial 1ª pintor.	0,549	h	15,900	8,73	
	Ayudante pintor.	0,329	h	14,640	4,82	
	(Materiales)					
	Imprimación anticorrosiva a base de resina epoxi y fosfato de zinc.	0,300	kg	16,980	5,09	
	(Resto obra)				0,37	
	3% Costes indirectos				0,57	
						19,58

## CUADRO DE MANO DE OBRA

Num.	Código	Denominación de la mano de obra	Precio	Horas	Total
1	mo047	Oficial 1ª montador de estructura metálica.	16,700	974,355 h	16.271,73
2	mo038	Oficial 1ª pintor.	15,900	500,193 h	7.953,07
3	mo094	Ayudante montador de estructura metálica.	15,370	974,355 h	14.975,84
4	mo076	Ayudante pintor.	14,640	299,752 h	4.388,37
Total mano de obra:					43.589,01

## CUADRO DE MATERIALES

Num.	Código	Denominación del material	Precio	Cantidad	Total
1	mt49ars020	Informe de resultados del ensayo de aptitud al soldeo en obra sobre una muestra soldada de perfil laminado en estructura metálica.	92,670	5,000 Ud	463,35
2	mt49ars030	Ensayo de tracción de una probeta de acero soldada para el cálculo de la disminución de la carga total de rotura.	54,200	5,000 Ud	271,00
3	mt49sld050	Ensayo no destructivo sobre una unión soldada, mediante partículas magnéticas, según UNE-EN ISO 17638, incluso desplazamiento a obra e informe de resultados.	34,150	30,000 Ud	1.024,50
4	mt49pma020	Toma en obra de muestras de perfil laminado en estructura metálica, cuyo peso no exceda de 50 kg.	30,890	5,000 Ud	154,45
5	mt27ttm030	Imprimación anticorrosiva a base de resina epoxi y fosfato de zinc.	16,980	273,330 kg	4.641,14
6	mt27pfi010	Imprimación de secado rápido, formulada con resinas alquídicas modificadas y fosfato de zinc.	4,630	2.319,893 l	10.741,10
7	mt07ala010o	Acero laminado UNE-EN 10025 S355JR, en perfiles tubulares acabados en caliente según norma EN 10210, piezas simples, para aplicaciones estructurales.	0,990	48.717,753 kg	48.230,58
8	mt49des010	Repercusión de desplazamiento a obra para la toma de muestras.	0,710	5,000 Ud	3,55
Total materiales:					65.529,67

## CUADRO DE MAQUINARIA

Num.	Código	Denominación de la maquinaria	Precio	Cantidad	Total
1	mq08sol020	Equipo y elementos auxiliares para soldadura eléctrica.	3,000	742,366 h	2.227,10
Total maquinaria:					2.227,10

# PRESUPUESTOS PARCIALES

## Capítulo 1. Estructura

Num.	Ud	Descripción	Medición	Precio (€)	Importe (€)
1.1	kg	Acero S355JR en vigas, soportes y riostras, con piezas simples de perfiles huecos para construcción, acabados en caliente tipo SHS con uniones soldadas.	46.397,860	2,09	96.971,53
<b>Total presupuesto parcial nº 1 ESTRUCTURA:</b>					<b>96.971,53</b>

## Capítulo 2. Ensayos

Num.	Ud	Descripción	Medición	Precio (€)	Importe (€)
2.1	Ud	Ensayo de aptitud al soldeo sobre una muestra soldada de perfil laminado, con determinación de: disminución de la carga total de rotura.	5,000	187,50	937,50
2.2	Ud	Ensayo no destructivo sobre una unión soldada, mediante partículas magnéticas.	30,000	35,87	1.076,10
<b>Total presupuesto parcial nº 2 ENSAYOS:</b>					<b>2.013,60</b>

## Capítulo 3. Pinturas

Num.	Ud	Descripción	Medición	Precio (€)	Importe (€)
3.1	m <sup>2</sup>	Tratamiento superficial de protección anticorrosiva para elementos de acero mediante imprimación anticorrosiva a base de resina epoxi y fosfato de zinc, aplicada en dos manos (100 µ).	911,099	19,58	17.839,32
<b>Total presupuesto parcial nº 3 PINTURAS:</b>					<b>17.839,32</b>

# RESUMEN DEL PRESUPUESTO

Capítulo	Importe
<b>1 ESTRUCTURA .</b>	<b>96.971,53</b>
<b>2 ENSAYOS .</b>	<b>2.013,60</b>
<b>3 PINTURAS .</b>	<b>17.839,32</b>
<b>Presupuesto de ejecución material</b>	<b>116.824,45</b>
13% de gastos generales	15.187,18
6% de beneficio industrial	7.009,47
<b>Suma</b>	<b>139.021,10</b>
21% IVA	29.194,43
<b>Presupuesto de ejecución por contrata</b>	<b>168.215,53</b>

Asciende el presupuesto de ejecución por contrata a la expresada cantidad de CIENTO SESENTA Y OCHO MIL DOSCIENTOS QUINCE EUROS CON CINCUENTA Y TRES CÉNTIMOS.

# DOCUMENTO V

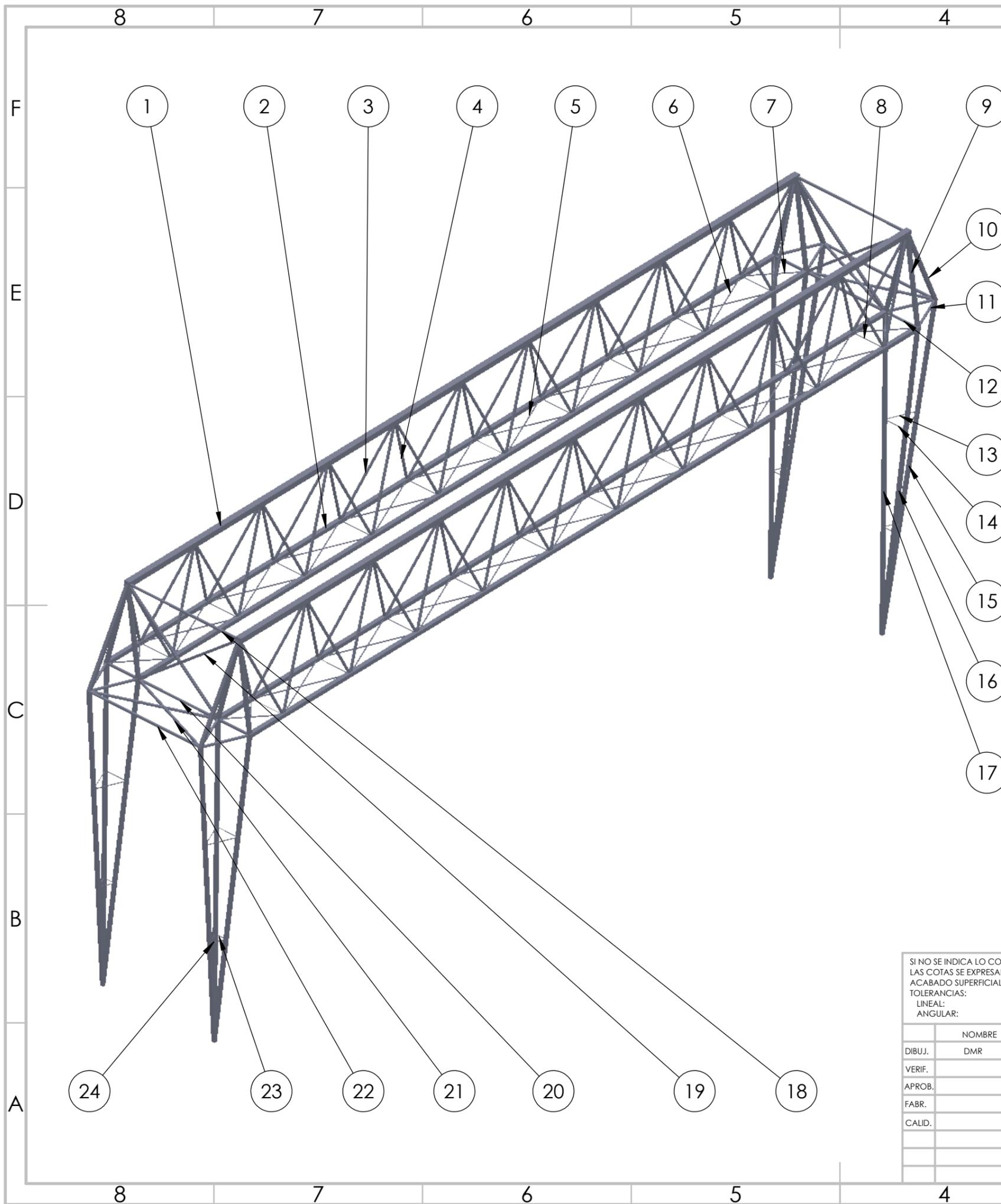
## PLANOS



## ÍNDICE DE PLANOS

<i>PLANO Nº1. TABLA DE PERFILES</i> _____	<b>151</b>
<i>PLANO Nº2. ALZADO, PLANTA Y VISTA LATERAL</i> _____	<b>153</b>
<i>PLANO Nº3. VISTAS DE DETALLE</i> _____	<b>155</b>



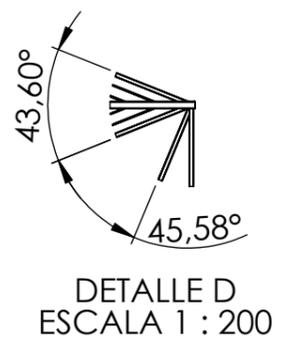
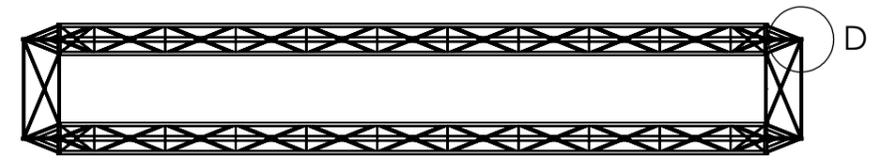
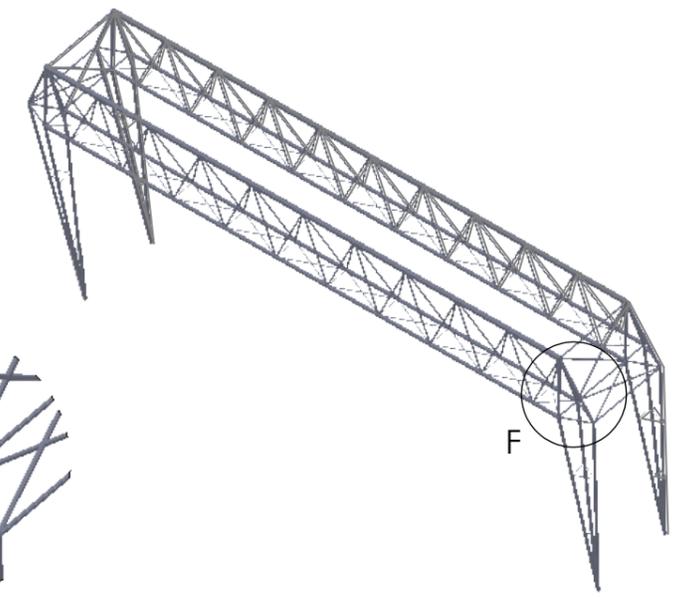
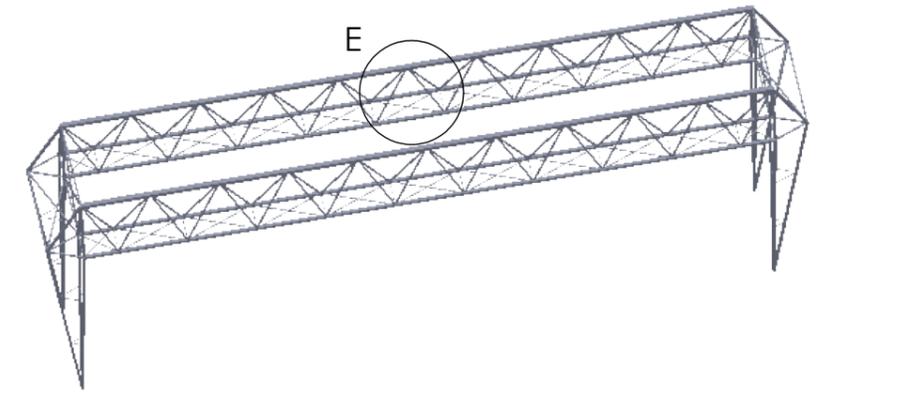
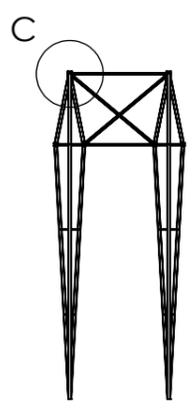
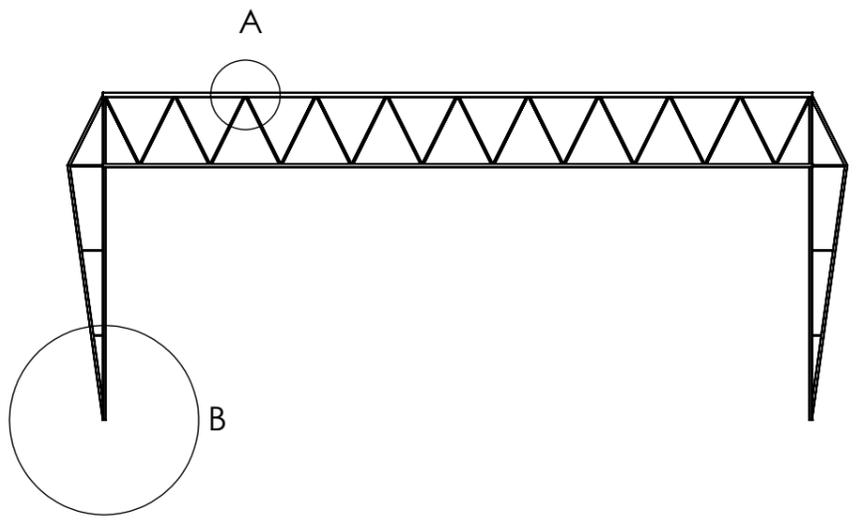
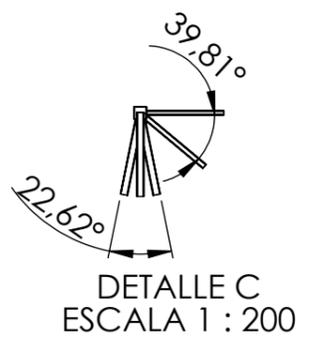
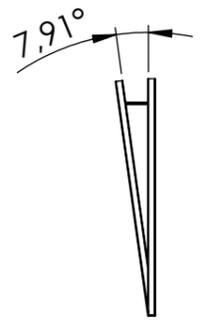


Nº	DESCRIPCIÓN	SECCIÓN	LONG (m)	Nº UDS.
1	Cordón superior	SHS 350X350X10	50,00	2
2	Cordón inferior	SHS 250X250X8	50,00	4
3	Diagonal compr.	SHS 120X120X5	5,68	40
4	Diagonal tracc.	SHS 120X120X5	5,68	40
5	Cruz plano horiz.	SHS 60X60X4	5,39	32
6	Cruz plano horiz.	SHS 60X60X8	5,39	4
7	Cruz plano horiz.	SHS 60X60X4	3,20	8
8	Montante horiz.	SHS 50X50X3	2,00	20
9	Montante extremo	SHS 200X200X5	5,10	8
10	Diag. viga-soporte	SHS 200X200X8	5,59	4
11	Triángulo superior	SHS 120X120X5	2,69	8
12	Triángulo superior	SHS 120X120X5	2,00	4
13	Triángulo medio	SHS 50X50X3	1,80	8
14	Triángulo medio	SHS 50X50X3	1,33	4
15	Cordón lateral	SHS 200X200X8	18,17	4
16	Cordón exterior	SHS 200X200X5	18,03	4
17	Cordón interior	SHS 200X200X8	18,03	4
18	CSA plano vertical	SHS 120X120X5	7,00	2
19	CSA plano vertical	SHS 140X140X5	7,81	4
20	CSA plano horiz.	SHS 120X120X5	5,00	2
21	CSA plano horiz.	SHS 120X120X5	6,50	4
22	CSA plano horiz.	SHS 120X120X5	7,00	2
23	Triángulo inferior	SHS 50X50X3	0,67	4
24	Triángulo inferior	SHS 50X50X3	0,90	8

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN M ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
						Universitat Jaume I			
						TÍTULO:			
						Estructura de una grúa pórtico			
						N.º DE DIBUJO		A3	
						Tabla de perfiles			
MATERIAL:		Acero S 355 JR		PESO:		ESCALA: 1:200		HOJA 1 DE 3	

	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	DMR		Junio 2016
VERIF.			
APROB.			
FABR.			
CALID.			





DETALLE F  
ESCALA 1 : 200

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN M ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
				Universitat Jaume I	
				TÍTULO: Estructura de una grúa pórtico	
DIBUJ. DMR		FIRMA	FECHA Junio 2016	N.º DE DIBUJO	
VERIF.				Vistas de detalle	
APROB.				A3	
FABR.				ESCALA: 1:500	
CALID.		MATERIAL: Acero S 355 JR		HOJA 3 DE 3	
		PESO:			



