

Proyecto de Fin de Carrera  
**Ingeniero Industrial**

Diseño de una grúa automontable  
de 8.000 N y 22 m de flecha

**MEMORIA**

**Autor:** Joaquín COSTA CENTENA  
**Director:** Jacint BIGORDÀ PEIRO  
**Convocatoria:** Febrero 2004



**Escola Tècnica Superior  
d'Enginyeria Industrial de Barcelona**



## RESUMEN

El objetivo del presente proyecto es el diseño de una grúa destinada a la construcción de edificios de hasta cinco plantas. Tiene como característica principal su capacidad para montarse por si misma en un corto espacio de tiempo. Con una altura útil de 20m y una longitud de pluma de 22m su carga máxima en el extremo es de 8.000N. No obstante, esta capacidad de carga llega hasta los 16.000N si no se sobrepasa la mitad de la pluma.

La metodología utilizada para el dimensionamiento de la grúa distingue dos partes. Por un lado el dimensionamiento y cálculo de la estructura de la grúa con todas las hipótesis de carga necesarias y los coeficientes de seguridad que indica la normativa. Por otro lado el diseño de todos los accionamientos y elementos que permiten a la grúa darle la función de aparato de elevación.

Si bien se han explicado y justificado prácticamente todos los elementos de la grúa, se ha puesto especial hincapié en el diseño de los puentes que forman parte de la estructura además de varios de los accionamientos principales como el rodamiento principal de giro, los tres motoreductores y el sistema de poleas para realizar el montaje de la grúa.

Con el fin de realizar un diseño correcto se han utilizado distintas herramientas CAD para dimensionar la grúa y sus elementos. Toda la grúa está realizada en SolidWorks® 2001 y los planos de la misma en AutoCAD® 2002.

El resultado del proyecto es una grúa automontable, comparable en prestaciones a las fabricadas por las principales empresas del sector y que cumple las especificaciones que se habían planteado desde un principio además de la normativa vigente.





## SUMARIO

RESUMEN .....	1
SUMARIO.....	3
1. GLOSARIO.....	11
2. PREFACIO.....	19
2.1. Origen del proyecto.....	19
2.2. Motivación.....	19
3. INTRODUCCIÓN .....	21
3.1. Objetivos del proyecto .....	21
3.2. Metodología empleada .....	21
4. CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DE LA GRÚA .....	23
4.1. Descripción de los distintos tipos de grúas de construcción.....	24
4.1.1. Grúas torre .....	24
4.1.2. Grúas telescópicas .....	24
4.1.3. Grúas automontables .....	25
4.2. Descripción general de la grúa automontable .....	26
4.2.1. Descripción general de los conjuntos de la grúa .....	26
4.2.2. Dimensiones principales de la grúa .....	28
4.2.3. Radios de funcionamiento .....	29
4.2.4. Transporte de la grúa .....	29
4.2.5. Materiales empleados en la grúa .....	30
4.2.6. Funcionamiento con viento .....	30
4.3. Prestaciones de la grúa .....	31
4.3.1. Vida esperada de la grúa.....	31
4.3.2. Capacidad de carga.....	31
4.3.3. Movimientos de la grúa .....	32
4.3.4. Resumen de las características técnicas.....	34
4.3.5. Normativa aplicable.....	34
5. ESTUDIO DE MERCADO .....	35
5.1. Estado de la construcción en España .....	35
5.2. Parque de grúas en España .....	36
6. CONJUNTOS DE LA GRÚA .....	37
6.1. Zócalo y estabilizadores .....	37
6.2. Chasis .....	38
6.2.1. Estructura del chasis .....	38
6.2.2. Elementos del chasis.....	39
6.3. Mástil exterior .....	42
6.3.1. Descripción de la estructura .....	42
6.3.2. Elementos del mástil exterior .....	43



6.4. Mástil interior .....	45
6.4.1. Descripción de la estructura.....	45
6.4.2. Elementos del mástil interior .....	46
6.5. Puentes.....	47
6.6. Pluma trasera .....	49
6.6.1. Descripción de la estructura.....	49
6.6.2. Elementos de la pluma trasera .....	49
6.7. Pluma delantera .....	50
6.7.1. Descripción de la estructura.....	50
6.7.2. Elementos de la pluma delantera .....	50
6.8. Carro de traslación.....	51
6.8.1. Descripción de la estructura.....	51
6.8.2. Elementos del carro.....	51
6.9. Gancho.....	52
<b>7. DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES DE LA GRÚA .....</b>	<b>53</b>
7.1. Rodamiento de giro de la grúa .....	53
7.1.1. Descripción y montaje .....	53
7.1.2. Características del engrane corona-piñón .....	54
7.2. Conjuntos motoredutores.....	55
7.2.1. Consideraciones previas.....	55
7.2.2. Motoreductor de elevación de la carga .....	55
7.2.3. Motoreductor de giro de la grúa.....	56
7.2.4. Motoreductor de traslación del carro .....	57
7.3. Elemento de suspensión .....	58
7.3.1. Generalidades.....	58
7.3.2. Dimensiones de ganchos según normativa .....	58
7.4. Cables y eslingas .....	59
7.4.1. Generalidades.....	59
7.4.2. Sistema de trenzado .....	60
7.4.3. Composición del cable.....	61
7.4.4. Elección de la estructura del cable.....	61
7.4.5. Resumen de los cables y de las eslingas empleados en la grúa .....	62
7.4.6. Ojales y terminales para eslingas .....	62
7.5. Sistemas de cables .....	63
7.5.1. Sistema de elevación.....	63
7.5.2. Sistema de traslación.....	64
7.5.3. Sistema de montaje .....	64
7.6. Poleas y rodamientos.....	66
7.6.1. Generalidades de las poleas .....	66
7.6.2. Tamaño global de la polea .....	66
7.6.3. Perfil de la garganta de las poleas.....	66
7.6.4. Situación de las poleas en la grúa .....	68
7.6.5. Tabla de las poleas empleadas en la grúa .....	69
7.6.6. Rodamientos empleados en la grúa.....	70
7.6.7. Montaje del conjunto polea-rodamiento-eje .....	71



7.7. Tambores .....	72
7.7.1. Generalidades .....	72
7.7.2. Características de los tambores de la grúa.....	73
7.7.3. Perfil de garganta.....	73
7.7.4. Distancia entre tambor y polea .....	74
7.7.5. Sentido de arrollamiento del cable .....	75
7.7.6. Fijación del cable.....	76
7.7.7. Tabla resumen de los tambores de la grúa.....	76
7.7.8. Ruedas dentadas entre tambores.....	76
7.8. Ruedas de traslación del carro.....	77
8. OPERACIONES DE MONTAJE Y DESMONTAJE.....	79
8.1. Montaje de la grúa.....	80
8.1.1. Preparación del terreno y transporte de la grúa .....	80
8.1.2. Operaciones previas.....	80
8.1.3. Colocación del cable del carro.....	82
8.1.4. Colocación del cable de elevación (1ª parte).....	83
8.1.5. Elevación del mástil .....	84
8.1.6. Llenado de contrapesos .....	88
8.1.7. Levantamiento del mástil interior y de la flecha .....	88
8.1.8. Colocación del cable de elevación (2ª parte).....	92
8.1.9. Regulación de los mecanismos de seguridad .....	92
8.2. Desmontaje de la grúa.....	93
8.2.1. Operaciones previas.....	93
8.2.2. Descenso del mástil interior .....	93
9. SISTEMAS DE SEGURIDAD .....	95
9.1. Accidentes de grúas de construcción .....	95
9.2. En caso de viento.....	96
9.3. Detectores de final de carrera.....	96
9.4. Limitadores de carga y de palanca .....	97
9.4.1. Limitador de carga.....	97
9.4.2. Limitador de palanca .....	97
9.5. Frenos .....	99
10. MANTENIMIENTO Y CUIDADO DE LA GRÚA .....	99
10.1. Consideraciones generales .....	99
10.2. Corriente eléctrica .....	99
10.3. Mantenimiento de los motores .....	100
10.4. Mantenimiento del gran rodamiento de giro.....	100
10.5. Mantenimiento de los cables .....	101
10.5.1. Limitador de carga.....	101
10.5.2. Limitador de palanca .....	101
10.6. Operaciones de engrase .....	102
11. CONSIDERACIONES MEDIOAMBIENTALES.....	103
11.1. Normativa aplicable .....	103



11.2. Recursos e infraestructuras.....	103
11.3. Contaminación del aire y del agua .....	103
11.4. Aspectos sociales.....	103
11.5. Fase de desmantelamiento.....	104
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>105</b>
<b>AGRADECIMIENTOS.....</b>	<b>107</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>109</b>

**ANEXOS** (Las páginas corresponden al Volumen de Anexos)

## **ANEXO A. DIMENSIONADO DE LA ESTRUCTURA DE LA GRÚA ... 15**

A.1. INTRODUCCIÓN Y GENERALIDADES .....	15
A.2. TIPO DE SERVICIO DEL APARATO DE ELEVACIÓN .....	17
A.2.1. Vida del mecanismo .....	17
A.2.2. Estado de carga.....	17
A.2.3. Clasificación del aparato .....	18
A.3. DESCRIPCIÓN Y EVALUACIÓN DE LAS SOLICITACIONES.....	19
A.3.1. Solicitación principales .....	19
A.3.1.1. Solicitación debida a la carga de servicio .....	19
A.3.1.2. Solicitación debida al peso propio de los elementos.....	20
A.3.2. Solicitaciones debidas a movimientos verticales .....	20
A.3.2.1. Solicitación debida al levantamiento de la carga de servicio.....	21
A.3.2.2. Solicitación debida a la aceleración o deceleración de la carga...22	
A.3.2.3. Solicitación debida a la rodadura del carro sobre las vías .....	22
A.3.3. Solicitaciones debidas a movimientos horizontales .....	22
A.3.3.1. Efectos horizontales debidos a movimientos de traslación.....	22
A.3.3.2. Efectos horizontales debidos a movimientos de giro.....	23
A.3.3.3. Efectos de la fuerza centrífuga.....	23
A.3.3.4. Reacciones transversales debidas a la rodadura.....	24
A.3.3.5. Efectos de choque de topes .....	24
A.3.4. Solicitaciones debidas a efectos climáticos.....	25
A.3.4.1. Solicitaciones debidas al viento .....	25
A.3.4.2. Solicitaciones debidas a la nieve.....	31
A.3.4.3. Solicitaciones debidas a las dilataciones.....	31
A.3.5. Solicitaciones diversas.....	31



A.4. CASOS DE SOLICITACIONES .....	33
A.4.1. Elección del coeficiente de seguridad .....	33
A.4.2. Fórmula general de cálculo .....	33
A.4.3. Aparato en servicio sin viento .....	34
A.4.4. Aparato en servicio con viento .....	34
A.4.5. Aparato fuera de servicio con viento máximo .....	34
A.4.6. Aparato sometido a solicitaciones excepcionales .....	35
A.4.6.1. Solicitación por choque con los topes fin de carrera .....	35
A.4.6.2. Ensayo estático .....	35
A.4.6.3. Ensayo dinámico .....	36
A.5. ESFUERZOS SOBRE LOS CONJUNTOS PRINCIPALES .....	37
A.5.1. Esfuerzos sobre los puentes y tirantes correspondientes .....	37
A.5.1.1. Cálculo de $T_3$ .....	40
A.5.1.2. Cálculo de $T_c$ y $T_2$ .....	44
A.5.1.3. Cálculo de las reacciones en E .....	48
A.5.1.4. Cálculo de $T_1$ y de las reacciones en D .....	50
A.5.1.5. Cálculo de $T_b$ .....	52
A.5.1.6. Distancia $d_{t,m}$ .....	54
A.5.1.7. Cálculo de $T_a$ .....	55
A.5.1.8. Resumen de ecuaciones y resultados numéricos .....	57
A.5.2. Fuerzas y momentos sobre el mástil .....	59
A.5.2.1. Momento en la parte superior del mástil .....	59
A.5.2.2. Fuerza vertical en la parte superior del mástil .....	60
A.5.2.3. Momento de torsión en la parte superior del mástil .....	60
A.5.2.4. Fuerza en la base del mástil .....	61
A.5.2.5. Momento flector transversal en la base del mástil .....	62
A.5.3. Cálculo del contrapeso necesario .....	63
A.5.4. Estabilidad de la grúa .....	67
A.5.4.1. Momento resultante .....	67
A.5.4.2. Momento de estabilización .....	68
A.5.4.3. Carga máxima sobre las patas .....	70
A.6. DIMENSIONAMIENTO DE LOS CONJUNTOS .....	71
A.6.1. Dimensionamiento de los tirantes y puentes .....	71
A.6.1.1. Tirantes .....	71
A.6.1.1. Puentes .....	72
A.6.1.3. Pasadores en las articulaciones D y E .....	75
A.6.2. Dimensionamiento de la pluma .....	77
A.6.2.1. Diagrama de esfuerzos y sección crítica .....	77
A.6.2.2. Elección de perfiles .....	80
A.6.3. Dimensionamiento del mástil .....	86
A.7.3.1. Esfuerzos en el mástil .....	86
A.7.3.2. Cálculo del pandeo .....	87
A.7.3.3. Cálculo del pasador inferior .....	91
A.6.4. Dimensionamiento del zócalo y estabilizadores .....	92





A.6.4.1. Diagrama de esfuerzos de la viga principal del zócalo .....	92
A.6.4.2. Dimensionamiento .....	94
A.6.4.3. Soldaduras principales .....	95

## **ANEXO B. DISEÑO DE LOS ELEMENTOS Y ACCIONAMIENTOS ... 97**

B.1. INTRODUCCIÓN .....	97
B.2. ELECCIÓN DEL RODAMIENTO DE GIRO DE LA GRÚA .....	98
B.2.1. Introducción .....	98
B.2.2. Fuerzas y momentos sobre el rodamiento de giro .....	99
B.2.3. Elección del rodamiento de giro .....	103
B.2.4. Cálculo del dentado de la corona y piñón acoplado .....	108
B.2.4.1. Momento torsor sobre la corona.....	108
B.2.4.2. Características del engranaje .....	109
B.2.4.3. Comprobación a fatiga en el pie del diente .....	109
B.2.4.4. Comprobación fatiga superficial .....	114
B.2.5. Tornillos de fijación del rodamiento de giro .....	117
B.3. CONJUNTOS MOTOREDUCTORES .....	119
B.3.1. Sistema de elevación de la carga .....	119
B.3.1.1. Requisitos del motor.....	119
B.3.1.2. Par nominal y potencia necesarios .....	120
B.3.1.3. Elección del reductor.....	121
B.3.2. Sistema de rotación de la grúa.....	122
B.3.2.1. Requisitos del motor.....	122
B.3.2.2. Elección del reductor.....	122
B.3.3. Sistema de translación del carro .....	124
B.3.3.1. Requisitos del motor.....	124
B.3.3.2. Elección del reductor.....	125
B.3.4. Resumen de las especificaciones de los motoreductores .....	128
B.4. SISTEMA DE MONTAJE DE LA GRÚA .....	129
B.4.1. Introducción .....	129
B.4.2. Despliegue del mástil interior y levantamiento de la pluma ...	129
B.4.3. Posicionamiento vertical del mástil .....	134
B.5 CABLES .....	137
B.5.1. Diámetro y sección metálica.....	137
B.5.2. Dimensionamiento del cable.....	137
B.5.3. Método de cálculo.....	137
B.5.4. Cable de elevación de la carga.....	139
B.5.5. Cable de montaje de la grúa.....	140
B.5.6. Cable de translación del carro.....	140



B.6. DIMENSIONAMIENTO DE LAS POLEAS .....	141
B.7. DIMENSIONAMIENTO DE LOS RODAMIENTOS .....	144
B.7.1. Rodamiento del gancho .....	144
B.7.1.1. Cargas sobre el rodamiento.....	144
B.7.1.2. Elección del rodamiento .....	144
B.7.2. Rodamiento del tambor de elevación .....	146
B.8. DIMENSIONAMIENTO DE LOS TAMBORES .....	147
B.8.1. Espesor de la pared .....	147
B.8.2. Distancia mínima de la polea .....	148
B.8.3. Cálculo del cable que pueden enrollar.....	149
<b>ANEXO C. ESTUDIO ECONOMICO .....</b>	<b>151</b>
C.1. INTRODUCCIÓN.....	151
C.2. PRESUPUESTO DE LA ESTRUCTURA .....	151
C.2.1. Precio de la materia prima .....	151
C.2.2. Precio de cada subconjunto .....	152
C.3. PRESUPUESTO DE LAS PIEZAS QUE SE FABRICAN.....	152
C.4. PRESUPUESTO DE LAS PIEZAS QUE SE COMPRAN .....	153
C.5. PRESUPUESTO GLOBAL DE LA GRÚA .....	154
<b>ANEXO D. CATÁLOGOS EMPLEADOS .....</b>	<b>.....</b>
D.1. RODAMIENTO HOESCH ROTHE ERDE	
D.2. MOTOREDUCTORES PUJOL Y MUNTALÀ	
D.3. CABLES Y ESLINGAS TYCSA	
D.4. RODAMIENTOS SKF	



**ANEXO E. PLANOS DE LA GRÚA.....****00 Plano de Conjunto Grúa****01 Plano de conjunto Zócalo – Estabilizador**

- 01-01 Estructura Zócalo
- 01-02 Apoyos estabilizadores
- 01-03 Estabilizador
- 01-04 Husillo estabilizador
- 01-05 Pasador

**02 Plano de conjunto Chasis**

- 02-01 Estructura Chasis
- 02-02 Cofre lateral derecho
- 02-03 Cofre central
- 02-04 Eje elevación
- 02-05 Tambor elevación
- 02-06 Rueda dentada elevación
- 02-07 Rueda dentada montaje

**03 Plano de conjunto Mástil exterior / inferior**

- 03-01 Estructura Mástil exterior / inferior
- 03-02 Trinquetes

**04 Plano de conjunto Mástil interior / superior**

- 04-01 Estructura Mástil interior / superior

**05 Plano de conjunto puentes a b**

- 05-01 Estructura puentes a b

**05' Plano de conjunto puentes c****06 Plano de conjunto Flecha trasera**

- 06-01 Estructura Flecha trasera

**07 Plano de conjunto Flecha delantera**

- 07-01 Estructura Flecha delantera

**08 Plano de conjunto Carro**

- 08-01 Chasis carro
- 08-02 Eje polea elevación
- 08-03 Polea elevación
- 08-04 Eje rueda carro
- 08-05 Rueda carro

**09 Plano de conjunto Gancho**

- 09-01 Soporte del gancho



## 1. GLOSARIO

a	Espesor del cordón de soldadura (mm)
A	Superficie expuesta al viento sin la aplicación de ningún coeficiente reductor
$A_C$	Área de la sección total de los cordones del mástil superior ( $\text{cm}^2$ )
$A_D$	Área de la sección de una diagonal del mástil superior ( $\text{cm}^2$ )
b	Anchura del diente de una rueda dentada (mm)
B	Diámetro del taladro del rodamiento de giro (mm)
C	Coeficiente aerodinámico que contempla las sobrepresiones y depresiones sobre las diferentes superficies de la grúa
$C_d$	Coeficiente dinámico para considerar las aceleraciones y deceleraciones de la carga
$C_s$	Coeficiente de seguridad en la evaluación total de las solicitaciones
$d'$	Diámetro primitivo de una rueda dentada (mm)
$d_c$	Distancia del centro de masas del contrapeso al eje vertical de la corona (m)
$d_D$	Diámetro del pasador de la articulación D (mm)
$d_E$	Diámetro del pasador de la articulación E (mm)
$d_m$	Distancia del eje vertical de la corona al eje vertical del mástil (m)
$d_{m,c}$	Diámetro del pasador entre el mástil y el chasis (mm)
$d_{mon1}$	Distancia desde la articulación del mástil con el chasis y su proyección sobre los cables del aparejo (cable entre polea a y b) (m)
$d_{mon2}$	Distancia del c.d.g. de los puentes hasta la articulación con el chasis (m)
$d_{mon3}$	Distancia del c.d.g. del mástil hasta la articulación con el chasis (m)
$d_{p,m}$	Distancia entre articulaciones en la parte superior del mástil (m)
$d_{t,c}$	Diámetro del tambor de traslación de la carga (mm)
$d_{t,e}$	Diámetro del tambor de elevación de la carga (mm)
$d_{t,m}$	Distancia del cable vertical al extremo opuesto del mástil (m)
$d_z$	Distancia entre apoyos del zócalo (batalla) (m)
D	Reacción total de la articulación D del mástil (N)
$D_a$	Diámetro exterior del rodamiento de giro (mm)
$D_i$	Diámetro interior del rodamiento de giro (mm)
$D_x$	Reacción horizontal en la articulación D del mástil (N)
$D_y$	Reacción vertical en la articulación D del mástil (N)



$D_y'$	Reacción vertical en la articulación D del mástil sin carga (N)
$D_L$	Diámetro de rodadura de las bolas del rodamiento de giro (mm)
E	Reacción total de la articulación E del mástil (N)
$E_x$	Reacción horizontal en la articulación E del mástil sobre la pluma (N)
$E_y$	Reacción vertical en la articulación E del mástil sobre la pluma y el puente c (N)
$E_y'$	Reacción vertical en la articulación E del mástil únicamente sobre la pluma (N)
$E_y''$	Reacción vertical en la articulación E del mástil sin carga (N)
$f_{stat}$	Coefficiente de seguridad estática para la corona de orientación
$f_L$	Coefficiente para una carga máxima de servicio sobre la corona de orientación
$F_b'$	Peso de los puentes afectados por el coeficiente de seguridad $\gamma$ (N)
$F_c$	Peso del contrapeso de la grúa (N)
$F_{cz}$	Peso del chasis y del zócalo (N)
$F_{c,m1}$	Tensión del cable durante el montaje (levantamiento del mástil y de la pluma) (N)
$F_{c,m2}$	Tensión del cable durante el montaje (posicionamiento del mástil en vertical) (N)
$F_g$	Peso propio de la estructura que comprende el mástil y la pluma (N)
$F_h$	Fuerzas horizontales (N)
$F_k$	Fuerza axial vertical en la corona de orientación (N)
$F_{k0}$	Fuerza axial vertical máxima permisible en la corona de orientación (N)
$F_m$	Peso propio del mástil (N)
$F_m'$	Peso propio del mástil afectado por el coeficiente de seguridad $\gamma$ y $C_s$ (N)
$F_{ms}'$	Peso propio del mástil superior afectado por el coeficiente de seguridad $\gamma$ y $C_s$ (N)
$F_{mi}'$	Peso propio del mástil inferior afectado por el coeficiente de seguridad $\gamma$ y $C_s$ (N)
$F_{mon1}$	Fuerza necesaria para elevar el mástil interior y la pluma (N)
$F_{mon2}$	Fuerza necesaria para situar el mástil en posición vertical (N)
$F_{m1}$	Fuerza vertical en lo alto del mástil (N)
$F_{m2}$	Fuerza vertical en la parte inferior del mástil (N)
$F_p$	Peso propio de la pluma (N)
$F_p'$	Peso propio de la pluma afectado por el coeficiente de seguridad $\gamma$ y $C_s$ (N)
$F_s$	Peso de la carga de servicio, más el gancho, los cables y otros accesorios (N)
$F_s'$	Peso $F_s$ afectado por el coeficiente de seguridad $\gamma$ y $C_s$ (N)
$F_t$	Fuerza tangencia sobre el diente en la corona de giro (N)
$F_v$	Acción del viento (N)



$F_{v,c,A}$	Acción del viento sobre la carga con grúa en servicio (N)
$F_{v,c,B}$	Acción del viento sobre la carga con grúa fuera de servicio (N)
$F_{v,m,A}$	Acción del viento sobre el mástil con grúa en servicio (N)
$F_{v,m,B}$	Acción del viento sobre el mástil con grúa fuera de servicio (N)
$F_{v,p,A}$	Acción del viento sobre la pluma con grúa en servicio (N)
$F_{v,p,B}$	Acción del viento sobre la pluma con grúa fuera de servicio (N)
$F_z$	Fuerza total de la grúa y de la carga sobre el zócalo (N)
G	Vida útil de la corona de giro (giros)
h	Altura del diente de una rueda dentada (mm)
$h_a$	Altura de la cabeza de una rueda dentada (mm)
$h_f$	Altura del pie de una rueda dentada (mm)
$h_p$	Altura de la sección transversal de la pluma (mm)
$h_s$	Longitud del cordón de soldadura del estabilizador (mm)
H	Altura total del rodamiento de giro (mm)
$H_1$	Altura del aro exterior del rodamiento de giro (mm)
$H_2$	Altura del aro interior del rodamiento de giro (mm)
$H_o$	Separación arriba aros exterior/interior del rodamiento de giro (mm)
$H_u$	Separación abajo aros exterior/interior del rodamiento de giro (mm)
i	Relación de transmisión de un engranaje
$i_e$	Relación de transmisión del reductor de elevación
$i_m$	Radio de giro de una sección del mástil superior (cm)
$i_o$	Relación de transmisión del sistema de giro de la grúa
$i_{o1}$	Relación de transmisión del engranaje de giro de la grúa
$i_{o2}$	Relación de transmisión del reductor del sistema de giro de la grúa
$I_m$	Momento de inercia de la sección del mástil superior (cm <sup>4</sup> )
$I_x$	Momento de inercia de la sección de la pluma respecto el eje horizontal (cm <sup>4</sup> )
$I_y$	Momento de inercia de la sección de la pluma respecto el eje vertical (cm <sup>4</sup> )
$k_c$	Factor de fiabilidad de la resistencia a fatiga de un engranaje
$K_A$	Factor de servicio de un engranaje
$K_{bl}$	Factor de duración de un engranaje
$K_M$	Factor de distribución de carga de un engranaje
$K_v$	Factor de velocidad de un engranaje



$l_1$	Longitud de la eslinga 1 (desde el contrapeso hasta el puente) (m)
$l_2$	Longitud de la eslinga 2 (entre los puentes b y c) (m)
$l_3$	Longitud de la eslinga 3 (desde el puente vertical hasta la mita de la flecha) (m)
$l_a$	Longitud del puente a (m)
$l_b$	Longitud del puente b (m)
$l_c$	Longitud del puente c (m)
$l_{c3}$	Distancia desde la articulación del mástil con la pluma hasta su proyección ortogonal sobre la eslinga 3 (m)
$l_D$	Longitud de la diagonal del mástil superior (mm)
$l_{luz}$	Máxima luz parcial del cordón del mástil superior (mm)
$l_m$	Longitud del mástil (exterior más interior) (m)
$l_p$	Longitud de la pluma (trasera más puntera) (m)
$l_{pandeo}$	Longitud de pandeo del puente c (m)
$l_s$	Distancia desde el cordón de soldadura hasta la aplicación de la fuerza (mm)
$L_a$	Diámetro del círculo de taladros exterior del rodamiento de giro (mm)
$L_i$	Diámetro del círculo de taladros interior del rodamiento de giro (mm)
$m'$	Módulo de una rueda dentada (mm)
$m_c$	Masa del rodamiento de giro (kg)
$M$	Métrica del tornillo del rodamiento de giro (mm)
$M_{c1}$	Momento provocado por la carga, el peso propio y el viento sobre el zócalo (Nm)
$M_{c2}$	Momento provocado por el contrapeso sobre el zócalo (Nm)
$M_f$	Momento flector en la base del mástil (Nm)
$M_{f1}$	Momento flector en la base del mástil provocado $F_{v,p,A}$ (Nm)
$M_{f2}$	Momento flector en la base del mástil provocado $F_{v,m,A}$ (Nm)
$M_{f3}$	Momento flector en la base del mástil provocado $F_{v,c,A}$ (Nm)
$M_{f,c}$	Momento flector en la corona (Nm)
$M_{f,c0}$	Momento flector máximo permisible en la corona (Nm)
$M_{giro}$	Momento torsor total a transmitir por la corona del rodamiento de giro (Nm)
$M_r$	Momento de rozamiento en el rodamiento de giro (Nm)
$M_R$	Momento resultante sobre el zócalo (Nm)
$M_S$	Momento de estabilización de la grúa (Nm)
$M_t$	Momento torsor en el mástil provocado por la acción del viento (Nm)



$M_{vm}$	Momento en la parte superior del mástil (Nm)
$N$	Cantidad de taladros por círculo en el rodamiento de giro
$O$	Diámetro del aro exterior del rodamiento de giro (mm)
$P_{m,c}$	Potencia necesaria total para desplazar el carro de traslación (kW)
$P_{m,c1}$	Potencia necesaria para vencer los rozamiento en el carro de traslación (kW)
$P_{m,c2}$	Potencia necesaria para vencer el viento en la traslación del carro (kW)
$P_{m,e}$	Potencia necesaria para el motor de elevación (kW)
$P'_{m,e}$	Potencia necesaria para el motor de elevación tras aplicarle el rendimiento (kW)
$P_{m,o}$	Potencia necesaria para el motor de giro (kW)
$P_{r,e}$	Potencia del reductor de elevación (kW)
$q$	Presión aerodinámica (daN/m <sup>2</sup> )
$s$	Distancia entre ejes de dos perfiles simples consecutivos del mástil superior (mm)
$S_1$	Área del perfil tubular superior de la pluma (cm <sup>2</sup> )
$S_2$	Área del perfil tubular cuadrado inferior de la pluma (cm <sup>2</sup> )
$S_3$	Área del perfil tubular cuadrado inferior de la pluma (cm <sup>2</sup> )
$S_N$	Coefficiente de seguridad para las soldaduras
$T_1$	Tensión de la eslinga vertical que llega hasta el contrapeso(N)
$T_2$	Tensión de la eslinga entre el puente b y c (N)
$T_3$	Tensión de la eslinga que va del puente a la mitad de la pluma (N)
$T_a$	Tensión soportada por el puente a (N)
$T_b$	Tensión soportada por el puente b (N)
$T_{cable}$	Tensión soportada por la eslinga 2 tras aplicarle el coeficiente de seguridad (N)
$T_c$	Tensión soportada por el puente c (N)
$T_{c'}$	Tensión de compresión de cada barra del puente c (N)
$U$	Diámetro del aro interior del rodamiento de giro (mm)
$V_{c,e}$	Velocidad del cable de elevación (m/s)
$V_C$	Velocidad de traslación del carro (m/s)
$V_L$	Velocidad de elevación de la carga de servicio (m/s)
$V_w$	Velocidad del viento (m/s)
$W$	Momento resistente de la sección (cm <sup>3</sup> )
$x_G$	Posición del centro de gravedad de la sección (m)
$y_G$	Posición del centro de gravedad de la sección (m)





$y_1$	Distancia del perfil superior de la pluma al perfil inferior (m)
$Y_F$	Factor de forma del diente de una rueda dentada
$Y_s$	Factor de concentración de tensiones
$Y_\beta$	Inclinación de las líneas de contacto de un engranaje
$Y_\varepsilon$	Coefficiente de recubrimiento de un engranaje
$z$	Número de dientes de una rueda dentada
$z_C$	Factor geométrico de una rueda dentada
$z_E$	Factor de material de una rueda dentada
$z_\beta$	Factor de recubrimiento de un engranaje
$\alpha$	Ángulo entre el puente c y la eslinga 3 (grados)
$\alpha_c$	Ángulo entre cada barra del puente c y el eje de simetría (grados)
$\alpha'$	Ángulo primitivo de una rueda dentada (grados)
$\beta$	Ángulo entre el puente c y la eslinga 2 (grados)
$\beta_1$	Ángulo DCE (grados)
$\beta_2$	Ángulo BCD (grados)
$\gamma$	Ángulo entre el puente b y la eslinga 2 (grados)
$\gamma_s$	Coefficiente a utilizar según la clasificación del aparato de elevación
$\delta$	Ángulo entre la horizontal y el puente b (grados)
$\varepsilon$	Ángulo entre el puente b y el cable 1 (grados)
$\mu_g$	Coefficiente de rozamiento
$\mu_k$	Coefficiente de rozamiento
$\mu_{rod}$	Coefficiente de rozamiento de rodadura del carro de traslación
$v$	Coefficiente para el cálculo del cordón de soldadura que tiene en cuenta el tipo de sollicitación
$v_2$	Coefficiente que tiene en cuenta la calidad de la soldadura
$\xi$	Coefficiente experimental (igual a 0,3 para el caso de esta grúa) necesario para calcular el coeficiente dinámico
$\rho_1$	Ángulo entre la eslinga 1 y la vertical
$\rho_2$	Ángulo entre la vertical y la resultante de las tensiones en la eslinga 1 en nudo A
$\rho_3$	Ángulo entre la resultante de las tensiones en la eslinga 1 en nudo A y el puente a



$\sigma_e$	Límite elástico del material empleado (MPa)
$\sigma_{adm}$	Límite elástico tras aplicarle el coeficiente de seguridad (MPa)
$\sigma_{bi}$	Solicitación en el pie del diente (MPa)
$\sigma_{b\ lim}$	Resistencia a la fatiga en el pie del diente de una rueda dentada (MPa)
$\sigma_H$	Tensión de Hertz en la superficie del diente de un engranaje (MPa)
$\sigma_{H\ lim}$	Tensión superficial límite del material (MPa)
$\Gamma_{m,e}$	Par del cable sobre el eje de salida del motoreductor de elevación (Nm)
$\varphi$	Ángulo entre los puentes a y b (grados)
$\Psi$	Coficiente dinámico que multiplica a la carga de servicio
$\omega_o$	Velocidad angular de giro de la grúa (rad/s)
$\omega_{c,t}$	Velocidad angular del tambor de elevación (rad/s)
$\omega_{m,c}$	Velocidad angular a la salida del motor de traslación (rad/s)
$\omega_{m,e}$	Velocidad angular a la salida del motor de elevación (rad/s)





## 2. PREFACIO

### 2.1. Origen del proyecto

El proyecto tiene su origen en la posibilidad de tener acceso a un taller de fabricación de grúas. Partiendo de una grúa ya existente y tras identificar todos sus conjuntos y componentes se ha procedido a un dimensionamiento mejorado de sus principales elementos estructurales así como de sus accionamientos.

Esta posibilidad de observar de cerca tanto la fabricación como las distintas operaciones de montaje de una grúa ha sido motivo suficiente como para intentar mejorar las principales características y prestaciones de la grúa.

### 2.2. Motivación

La principal motivación para realizar este proyecto, a parte de la razón antes mencionada, es la posibilidad de diseñar una máquina en la que intervienen los conceptos y metodologías fundamentales de la ingeniería mecánica como son los pertenecientes a la mecánica fundamental, resistencia de materiales, estructuras, tecnología de fabricación y más específicamente los de cálculo y diseño de máquinas.

El proyecto ha tenido que emplear toda la metodología necesaria para diseñar una máquina, desde las hipótesis de cargas hasta el dimensionamiento de sus distintos componentes. Además, en el diseño de maquinaria no tan solo hay que resolver un problema sino que la mayoría de las veces también hay que plantearlo, cosa que resulta más difícil.

Por último, ha sido relevante para elegir este proyecto la importancia de los aparatos de elevación en la sociedad actual donde la gran mayoría de edificaciones utilizan una grúa para agilizar los trabajos de construcción.





### 3. INTRODUCCIÓN

#### 3.1. Objetivos del proyecto

El objetivo del presente proyecto es diseñar una grúa automontable. Partiendo de una grúa ya existente se ha procedido a un diseño mejorado de sus principales elementos tanto en lo referente a la estructura como a los accionamientos. Además de la optimización de estos elementos, se han introducido varias mejoras en las características principales de la grúa, como la capacidad de carga y las distintas velocidades de posicionamiento de la carga.

Sin pretender diseñar detalladamente todos y cada uno de los elementos de la grúa, si se ha hecho especial hincapié en aquellos cuya mejora podía resultar más beneficiosa para la grúa. Elementos como el zócalo o el mástil se han ido optimizando a lo largo de muchos años y prueba de ello es que la gran mayoría de fabricantes han adoptado soluciones muy similares. Sin embargo otros conjuntos como los puentes y sobretodo los accionamientos de la grúa, como los motoredutores, las poleas y los rodamientos han sido estudiados con mucho detenimiento en este proyecto para obtener unos resultados óptimos.

#### 3.2. Metodología empleada

Se ha pretendido a lo largo del proyecto explicar y justificar todas las decisiones tomadas. Prueba de ello son la utilización de más de ciento cincuenta figuras y tablas junto con las cerca de doscientas ecuaciones planteadas en los anexos. Sin olvidar el carácter práctico que ha de tener el diseño de una grúa, se ha indagado también en muchos aspectos teóricos al constituir este proyecto no tan sólo el diseño de una máquina sino el trabajo que pretender dar fin a una carrera.

Así mismo se han empleado las últimas herramientas CAD existentes para facilitar el diseño de la grúa. Toda ella está construida en 3D mediante SolidWorks® 2001 y los correspondientes planos en AutoCad® 2002





#### 4. CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DE LA GRÚA

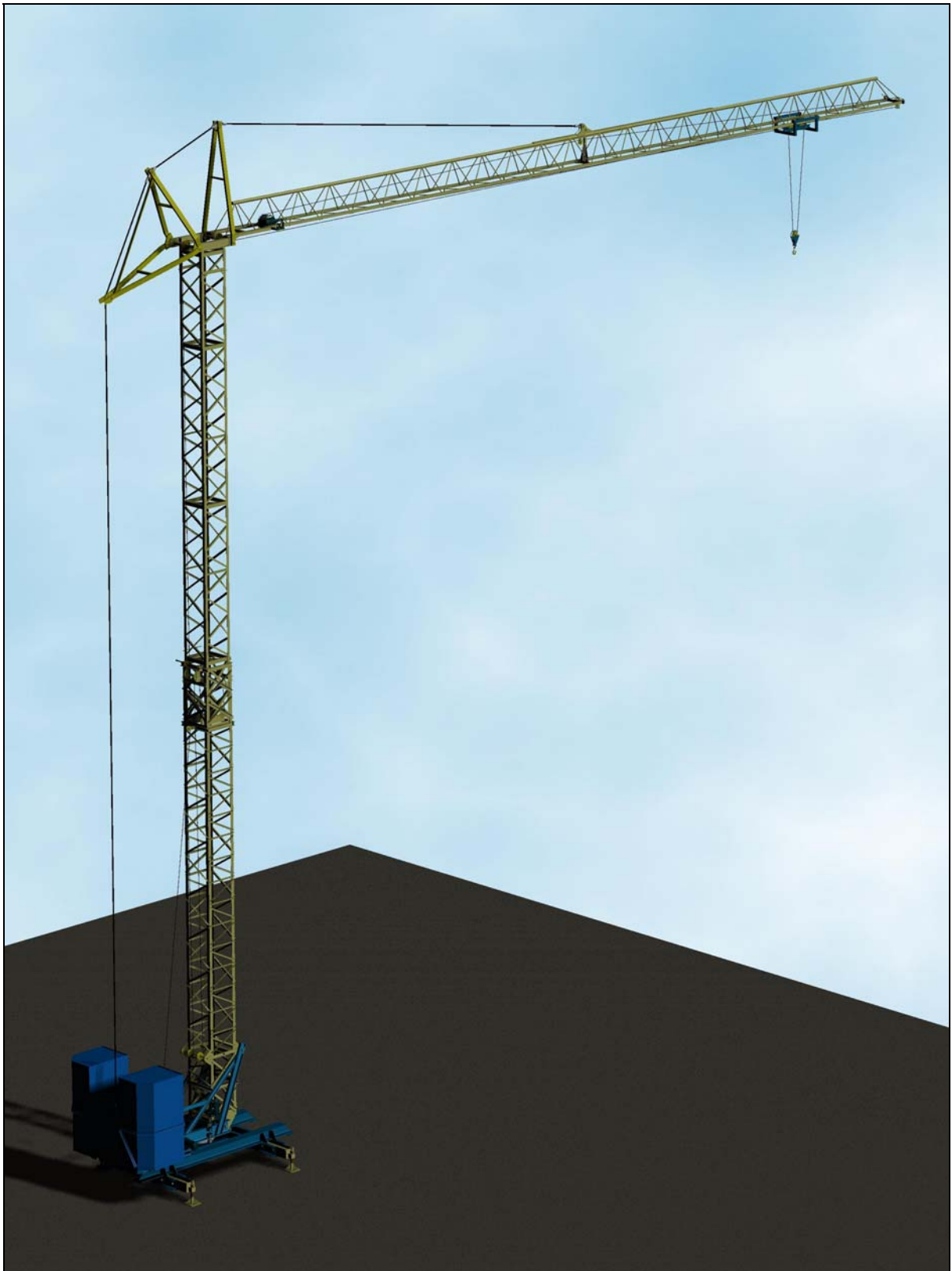


Figura 4.1. Vista general de la grúa automontable





## 4.1. Descripción de los distintos tipos de grúas

De todos los tipos de grúas (puente grúa, grúa pórtico, grúa consola, grúas giratorias de columna o de plataforma, grúas porta-contenedores,) se describirán brevemente aquellas utilizadas para la edificación. Se pueden clasificar en tres tipos.

### 4.1.1. Grúas torre

Las grúas torre (figura 4.2.) son las más habituales en la edificación ya que permiten una gran altura de trabajo así como una gran capacidad de carga. Otra ventaja importante es el poco espacio que requieren en la base, ya que el contrapeso está situado en la contraflecha y el mástil es fijo. Su principal inconveniente es el montaje largo y complicado, que obliga la mayoría de las veces a utilizar la ayuda de una grúa telescópica.



Figura 4.2. Grúas torre

### 4.1.2. Grúas telescópicas



Figura 4.3. Grúa telescópica

Las grúas telescópicas (figura 4.3.) son utilizadas cuando se precisa un aparato de elevación para un corto espacio de tiempo. Suelen ir siempre montadas sobre un vehículo por lo que también reciben el nombre de grúas automóviles. Su desplazamiento es pues muy rápido. El tiempo de montaje es muy corto ya que basta con desplegar la pluma telescópica. Su principal inconveniente es el espacio de giro

que ocupa al trabajar la pluma en una posición inclinada. Se usa principalmente para montar naves industriales.



### 4.1.3. Grúas automontables



Figura 4.4. Grúa automontable con mástil de viga

Es el tipo al que pertenece la grúa diseñada en el presente proyecto. Su principal característica es la facilidad para su montaje. A diferencia de las grúas torre, el contrapeso está situado en la base ya que el giro se efectúa desde ésta. La altura y el radio de alcance son inferiores a los de la grúa torre.

La gama de grúas automontables existentes en el mercado es muy extensa. Las tres características principales son la altura útil bajo el gancho, la longitud de la pluma y la capacidad de carga. De entre los

líderes mundiales de fabricación de grúas automontables como Potain o Liebherr estos valores varían entre 16m y 34m; 20m y 50m; 600kg y 1.400kg respectivamente.

Constructivamente son dos tipos de estructura los que predominan. Por un lado existen las grúas con un mástil de viga-cajón. En este caso las grúas son de un tamaño muy reducido y el montaje se realiza mediante un pistón hidráulico que eleva el mástil y la pluma (figura 4.4.). Las más comunes y que permiten alturas mayores tienen el mástil fabricado con



Figura 4.5. Grúa automontable con mástil en celosía

una celosía y la elevación del mismo se realiza con un sistema de cables y poleas (figura 4.5.).

La grúa del presente proyecto pertenece a este último grupo.



## 4.2. Descripción general de la grúa automontable

### 4.2.1. Descripción general de los conjuntos de la grúa

La grúa automontable es un tipo de aparato de elevación cuya característica principal es la facilidad para su montaje. Para ello se compone de distintos conjuntos comunes a todos los tipos de grúas automontables. Estos conjuntos, tal y como se ve en la figura 4.6. de la página siguiente, son:

- **Zócalo y estabilizador:** Es la estructura de la grúa en contacto con el suelo. Sirve de base para el resto de conjuntos de la grúa.
- **Chasis:** Estructura apoyada en el zócalo mediante un gran rodamiento. Aquí van montados los principales elementos de la grúa, tales como los contrapesos, motoredutores o los tambores de enrollamiento. El mástil se coloca en un extremo del chasis mediante dos pasadores.
- **Mástil exterior:** Estructura en celosía de sección cuadrada, que adopta una posición vertical una vez montada la grúa. Es la parte inferior del mástil completo.
- **Mástil interior:** Es la parte superior del mástil que se aloja en el interior del mástil exterior cuando la grúa está desmontada. Por ellos sus dimensiones externas son las adecuadas para tener un mástil “telescópico”.
- **Puentes:** Estructura montada sobre el mástil superior para “conducir” los esfuerzos de la pluma hasta el chasis de la grúa.
- **Pluma trasera:** Estructura en celosía de sección triangular, que adopta una posición horizontal. Es la parte de la pluma más próxima al mástil.
- **Pluma delantera:** Parte extrema de la pluma, de idénticas dimensiones a la pluma trasera. Va unida a ella mediante un pasador.
- **Carro:** Elemento que permite desplazar la carga a lo largo de la pluma, con un sistema de poleas para que la altura del gancho permanezca constante.
- **Gancho:** Elemento que permite, mediante una polea, elevar y descender la carga.

Cada conjunto se describirá en detalle en los apartados 6, en donde se explicarán y justificaran las soluciones constructivas finalmente adoptadas.



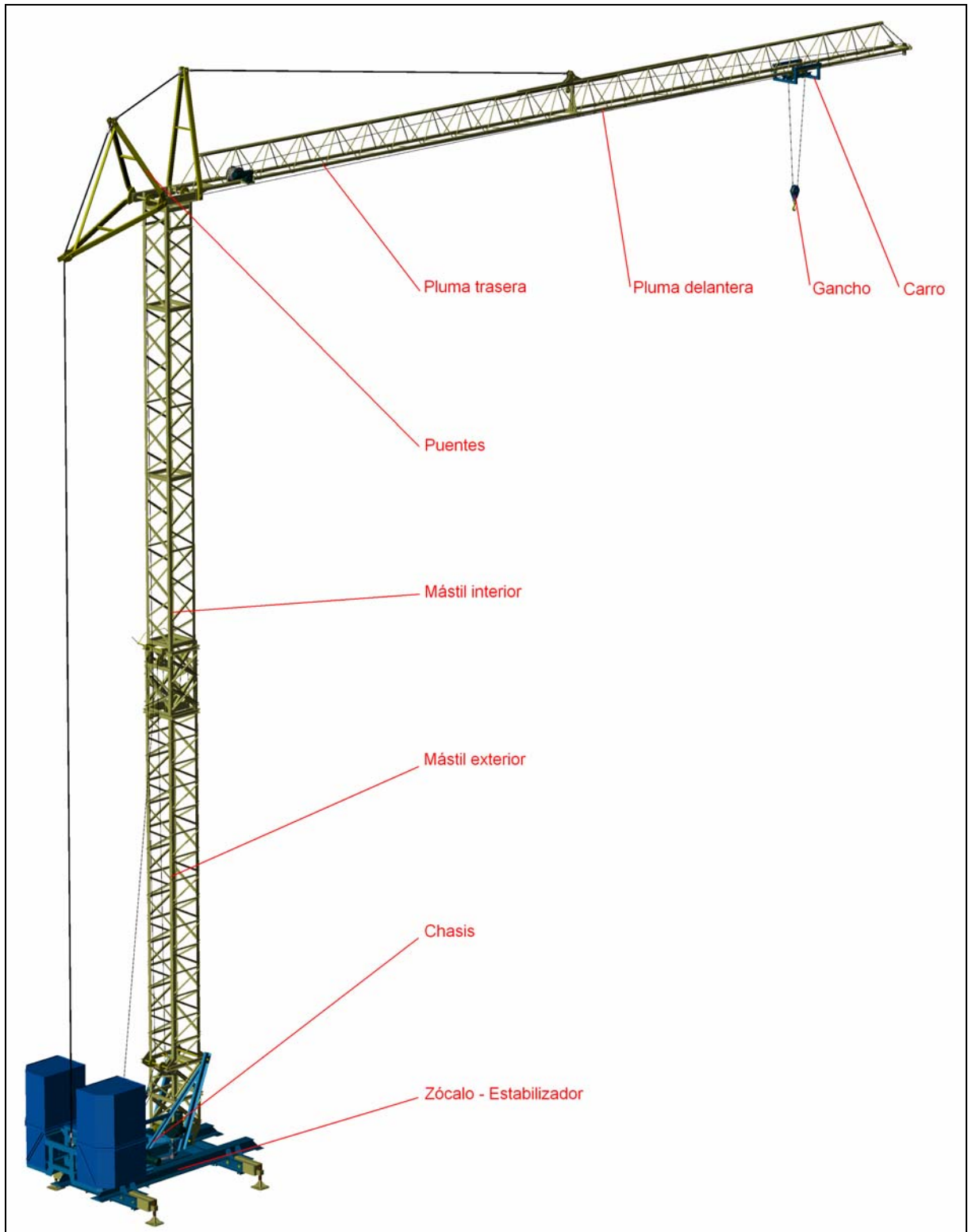


Figura 4.6. Conjuntos de la grúa



#### 4.2.2. Dimensiones principales de la grúa

Las dimensiones de la grúa se escogen estudiando por un lado el mercado de grúas existente y por otro las necesidades a las que se quiere adaptar la grúa. Si se pretende poder cubrir la altura de un edificio de cinco plantas y poder elevar las cargas más frecuentemente utilizados en la construcción, las dimensiones han de ser las de la figura 4.7. Se ha optado por razones estéticas dar a la grúa una longitud de pluma similar a la altura del mástil. En la figura, las cotas horizontales van referidas al eje de giro de la grúa, situado en el rodamiento que une el zócalo con el chasis (ver parte inferior de la figura). La variación de la capacidad de carga a lo largo de la pluma se explica con detenimiento en el apartado 4.3.2.

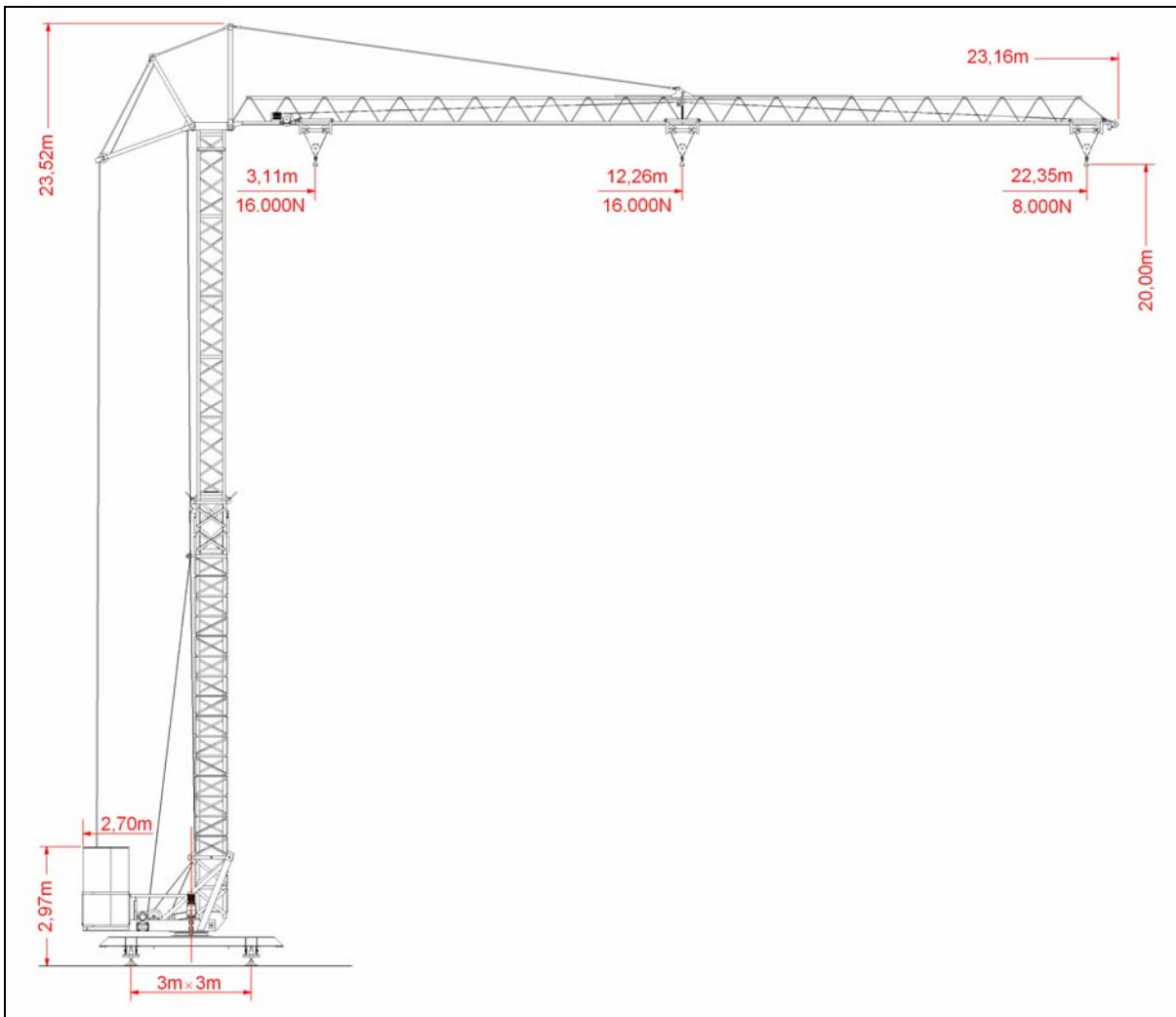


Figura 4.7. Cotas generales de la grúa y capacidad de carga



### 4.2.3. Radios de funcionamiento

Tal y como se ve en la figura 4.7 anterior, la grúa precisa de un cierto espacio libre en la base para poder efectuar los giros sin ningún impedimento. Este espacio dependerá del tamaño y altura de los depósitos de los contrapesos dimensionados según el contrapeso necesario (ver anexo A). El espacio ocupado por éstos es un radio de 3m y una altura de 3,5m. De la misma manera es importante vigilar que en el lugar de trabajo de la grúa no existan cables ni tendidos eléctricos que pueden colisionar con la pluma.

### 4.2.4. Transporte de la grúa

La grúa se pliega para su transporte, y la geometría resultante es la de la figura 4.8. Nótese que varios elementos de la grúa se desmontan, como los cables, la pluma delantera o los puentes. Esto obedece a razones de comodidad en el transporte y no restan versatilidad a la grúa ya que estos elementos se pueden fijar sobre la misma.

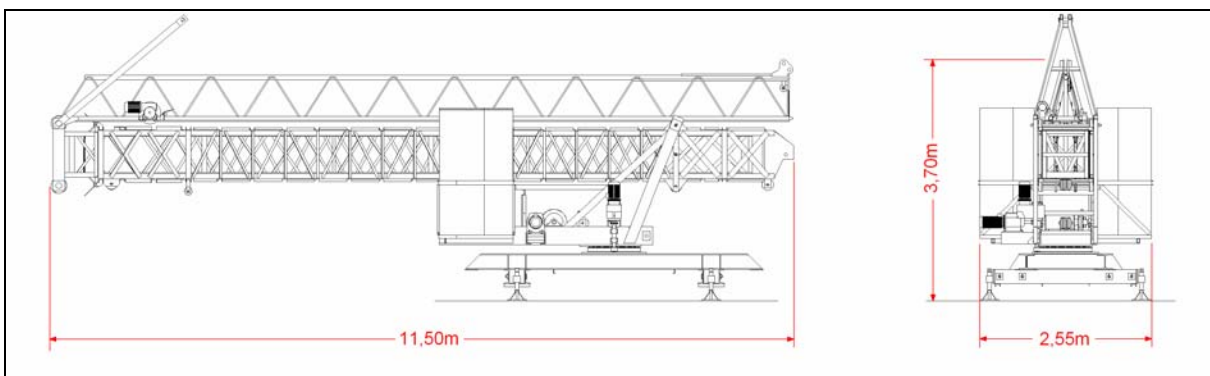


Figura 4.8. Dimensiones de la grúa desmontada

Las dimensiones han tenido en cuenta la necesidad de transportar la grúa por carretera, por lo que todas las longitudes están dentro de los límites permitidos. El transporte de la grúa se puede realizar tanto situando el aparato de elevación en un camión góndola como remolcándolo. Es necesario para esta segunda opción montar bajo el zócalo, en el lugar previsto para ello, dos trenes de ruedas adaptados a la grúa.



#### 4.2.5. Materiales empleados en la grúa

Los materiales empleados en la grúa han sido elegidos siguiendo las recomendaciones del libro de Carles Riba sobre selección de materiales (Riba, 1997, p. 77-89, 104-105, 108). La grúa está construida utilizando principalmente perfiles normalizados de acero. Se han utilizado los aceros normales de construcción, en particular el St-42 cuyo límite elástico es de 260MPa. Tanto los pasadores empleados en las articulaciones de la grúa como las poleas se han fabricado en el mismo tipo de acero, ya que giran a muy baja velocidad.

Los elementos que han necesitado de un tipo de acero especial son los ejes de los motoreductores y las ruedas dentadas. En el primer caso se ha utilizado acero para ejes del tipo 2C25 UNE 36.051 (anteriormente el F-1120), un acero bonificado. Las ruedas dentadas se han fabricado en acero de cementación F-1560, cuyo límite elástico de 880MPa permite resistir las sollicitaciones a las que se ve sometido (ver los cálculos en el anexo B apartado B.2.4. página 108)

#### 4.2.6. Funcionamiento con viento

La normativa sobre aparatos de elevación y transporte contempla las sollicitaciones provocadas por el viento. Se distinguen dos velocidades límite:

- **Grúa en servicio:** La grúa puede seguir utilizándose siempre que el viento no supere los 72km/h. En caso contrario habrá que poner la grúa en posición de veleta.
- **Grúa fuera de servicio:** Los cálculos correspondientes a la estructura de la grúa aseguran que ésta resiste vientos de hasta 130km/h. En caso de superar esta velocidad habría que desmontar la grúa o asegurarla con cables.

En los casos en que el viento supere los 72km/h así como al final de la jornada laboral habrá que poner la grúa en posición de veleta. Esto significa desembragar el motor de giro de la grúa para que ésta se sitúe según el viento.



### 4.3. Prestaciones de la grúa

#### 4.3.1. Vida esperada para la grúa

Tanto para clasificar correctamente el aparato de elevación según la normativa vigente, como para justificar los cálculos a fatiga de distintos elementos, es preciso una estimación de la vida de la grúa.

Para ellos se partirá de una duración de 10 años, contando una utilización anual de 200 días y 6 horas por día. Esta estimación tiene en cuenta que no todos los días laborables son días de trabajo para la grúa ya que está no estará permanentemente en una misma obra sino que se irá desplazando. Además, durante un día de trabajo la grúa no se emplea permanentemente, por lo que se ha reducido ligeramente la jornada de 8 a 6 horas. De todo ello resulta una vida de 12.000 horas.

#### 4.3.2. Capacidad de carga

Las cargas que habitualmente se elevan mediante la grúa son las correspondientes a la construcción de edificios, como pueden ser ladrillos, grava, cemento o las distintas herramientas empleadas. Por lo tanto la capacidad de carga que se le exige a la grúa no es muy elevada. Sin embargo cuanto mayor sea ésta, menos “viajes” tendrá que realizar la grúa con el consecuente ahorro de tiempo y coste.

Se decide que la grúa pueda manipular cargas de hasta 16.000N siempre que no se trasladen más allá de la mitad de la pluma. A partir de este punto medio, la carga máxima disminuirá hasta llegar a los 8.000N en la punta de la pluma. Ver los anexos A y B para más detalles sobre como interviene esta variación en los cálculos. El diagrama de cargas es el del gráfico 4.1.





El diagrama de cargas de la siguiente gráfica muestra la capacidad de carga de la grúa a lo largo de la pluma.

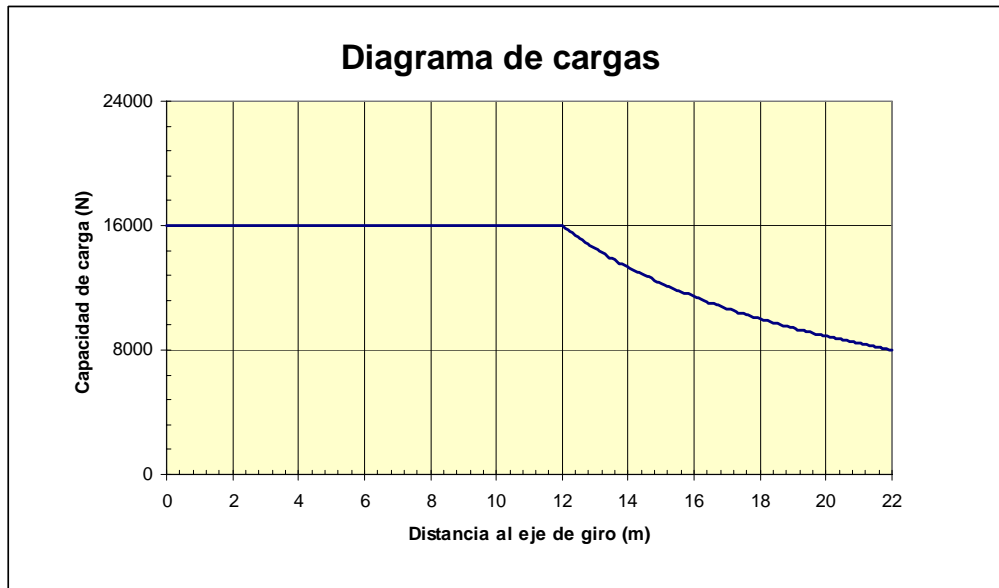


Gráfico 4.1. Diagrama de cargas

### 4.3.3. Movimientos de la grúa

Los movimientos de este aparato de elevación son los mismos que en las grúas torre y las grúas automontables (ver figura 4.9. de la página siguiente). Son los grados de libertad necesarios para situar la carga en el lugar apropiado:

- **Movimiento de elevación.** La carga colgada del gancho desciende o asciende.
- **Movimiento de giro.** Giro del chasis, mástil y pluma.
- **Movimiento de traslación.** Es el carro que se desplaza a lo largo de la pluma.

Cada movimiento es accionado por un motoreductor. Basándose en las grúas ya existentes se decide escoger el motor y su reductor correspondiente para que las velocidades de elevación y traslación sean del orden de 0,5m/s y la de rotación de 1,5rpm. De esta manera, para llevar una carga de una posición dada hasta la más alejada, el tiempo será de poco menos de un minuto. El tiempo habitual será no obstante inferior al medio minuto (giro de un cuarto de vuelta, elevación hasta arriba de la pluma pero traslación hasta la mitad de la pluma), tiempo despreciable teniendo en cuenta las maniobras de carga y descarga.



Las velocidades y las potencias de los motores empleados son (ver anexo B para los detalles de los cálculos):

Movimiento	Velocidad	Potencia motores
Elevación	25 y 50m/min	7,5kW
Giro	Regulable de 0 a 1,5 r.p.m.	4kW
Traslación	30m/min	0,37kW

Tabla 4.1. Mecanismos de la grúa

La siguiente figura muestra los tres movimientos de la grúa.

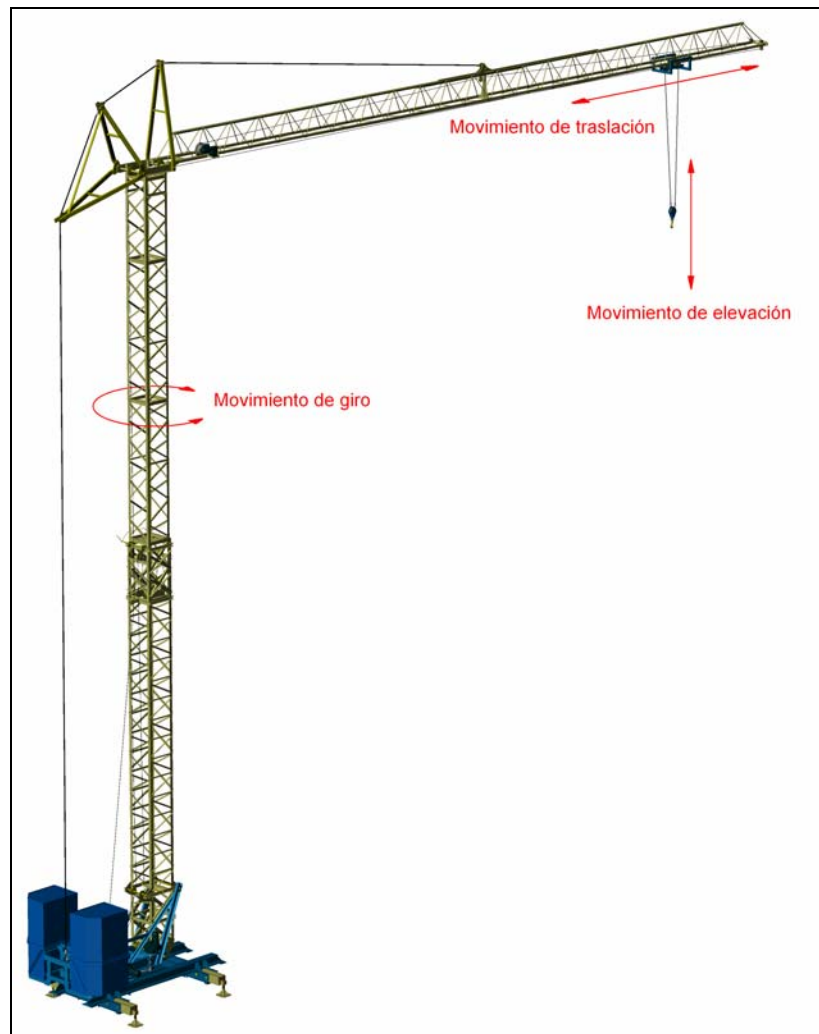


Figura 4.9. Movimientos de la grúa



#### 4.3.4. Resumen de las características técnicas

La siguiente tabla resume las características técnicas principales de la grúa automontable:

<b>Características técnicas principales</b>	
Máxima capacidad de carga	16.000 N
Capacidad de carga para el alcance máximo	8.000 N
Altura bajo gancho máxima	20m
Alcance máximo de la flecha	22,35m
Alcance mínimo de la flecha	3,11m
Soporte de base	3,0m × 3,0m
Radio de giro de la base	2,7m
Velocidad de elevación	25 y 50m/min
Velocidad de giro	0 a 1,5 r.p.m.
Velocidad de traslación	30m/min
Peso de la grúa sin contrapeso	61.710 N
Peso de la grúa con contrapeso	171.710 N
Peso de la grúa con carga máxima	187.710 N
Corriente eléctrica	380 V y 50Hz

Tabla 4.2. Características técnicas principales

#### 4.5.5. Normativa aplicable

El diseño de la grúa, tanto en lo que se refiere a los cálculos estructurales como a los distintos elementos y dispositivos de seguridad cumple las especificaciones de las distintas normas UNE referentes a las grúas (consultar las normas empleadas en la bibliografía), así como la parte correspondiente a aparatos de elevación de la normativa de la Federación Europea de la Manutención.



## 5. ESTUDIO DE MERCADO

### 5.1. Estado de la construcción en España

En España se construyen alrededor de 500.000 nuevas viviendas al año. El número de edificios es el mostrado en la siguiente tabla. En ella se presenta el número de edificios de nueva planta para uso residencial construidos durante los años 1994 a 1999. Se han tabulado los datos para mostrar el número de edificios en función del número de plantas (tabla 5.1.).

Nº de plantas	0 y 1	2	3	4 y 5	Edificios de hasta 5 plantas	Total Edificios
Andalucía	10.992	77.514	12.996	4.393	105.895	17.138
Aragón	1.099	6.887	3.850	974	12.810	13.268
Asturias	1.565	3.359	630	735	6.290	7.010
Baleares	4.230	9.170	1.522	820	15.742	15.932
Canarias	5.599	22.442	4.024	1.199	33.264	33.505
Cantabria	1.484	5.885	978	534	8.881	9.022
Castilla la Mancha	11.841	38.229	5.551	1.230	56.851	57.229
Castilla y León	4.285	18.185	4.516	1.955	28.941	29.944
<b>Cataluña</b>	<b>15.231</b>	<b>43.539</b>	<b>24.251</b>	<b>9.839</b>	<b>92.860</b>	<b>95.251</b>
Com. Valenciana	11.030	29.912	11.605	5.150	57.697	60.441
Extremadura	1.632	7.675	1.843	472	11.623	11.812
Galicia	7.871	15.039	3.452	3.038	29.399	31.123
Madrid	8.220	43.967	12.543	3.820	68.550	70.743
Murcia	7.277	21.584	3.621	1.611	34.093	34.490
Navarra	496	5.806	3.288	526	10.116	10.353
País Vasco	606	4.632	1.629	927	7.794	8.805
La Rioja	111	1.227	795	369	2.505	2.717
<b>España</b>	<b>93.146</b>	<b>351953</b>	<b>95.993</b>	<b>36.998</b>	<b>578.090</b>	<b>592.913</b>

Tabla 5.1. Edificios para uso residencial construidos en España durante los años 1994-1999 [Fuente Estadística de edificación y vivienda. DGPE. MFOM]

El hecho de que se decida diseñar una grúa con unas dimensiones aptas para edificios de hasta cinco plantas reside en el hecho de que en España constituyen el 97,5% de edificios para uso residencial (datos de 1999). En Cataluña este porcentaje es idéntico.



## 5.2. Parque de grúas en España

De la anterior tabla se desprende que en Cataluña se construyen una media de 16.000 inmuebles cada año y en España prácticamente 100.000. Hay que tener en cuenta no obstante, que raramente se emplean grúas para la construcción de los inmuebles de menos de dos plantas.

Para conocer las posibilidades de mercado existentes también hay que evaluar la vida de una grúa, que se estimará en aproximadamente 10 años. Hay que tener en cuenta que muchos constructores venden sus grúas mucho antes de agotar su vida útil, creándose en España un importante mercado de grúas de segunda mano. Además son numerosas las empresas dedicadas exclusivamente al alquiler de grúas (especialmente las grúas telescópicas automóviles).

Es importante decir que tan sólo en territorio catalán hay actualmente casi 4.000 grúas, lo que supone un ritmo anual de ventas, suponiendo un periodo de utilización de 10 años, de 400 grúas anuales. Extrapolando este dato al conjunto del territorio español supone un mercado total de más de 23.000 grúas, a un ritmo de ventas anuales de más de 2.000 unidades. Evidentemente el mercado es ampliable si se decide exportar las grúas a otros países.



## 6. CONJUNTOS DE LA GRÚA

Tras explicar brevemente en el apartado 4, las características principales de la grúa, aquí se pretende, además de justificar las soluciones constructivas empleadas, describir con detalle cada uno de los conjuntos de la grúa. Se explicará también los distintos elementos que se montan en cada conjunto, como pueden ser los motores o las poleas. Para ello se utilizarán dibujos renderizados de cada una de las partes. Se describirán las siguientes partes de la grúa (ver figura 4.6. de la página 27 para una visión de conjunto):

- Zócalo - Estabilizador
- Chasis
- Mástil exterior
- Mástil interior
- Puentes
- Pluma trasera
- Pluma delantera
- Carro
- Gancho

### 6.1. Zócalo y estabilizadores

Los estabilizadores son los elementos de la grúa que están directamente en contacto con la base del suelo (piezas de color amarillo pálido de la figura 6.1.). Están contruidos a partir de perfiles normalizados de acero y permiten nivelar la grúa mediante un husillo en cada estabilizador (pieza marrón de la figura 6.1). Los estabilizadores van montados en el zócalo de manera que pueden deslizarse hacia su interior para que éste ocupe menos espacio durante el desplazamiento de la grúa. Para ello basta con quitar los pasadores que se ven en la figura e introducir el estabilizador hacia dentro. Algunas grúas utilizan un sistema similar que permite al estabilizador rotar alrededor de un eje. Esta alternativa se ha descartado al tener que reforzar mucho más la unión entre el zócalo y el estabilizador. Una vez la grúa instalada, estos dos pasadores permiten una buena unión entre los estabilizadores y el zócalo.



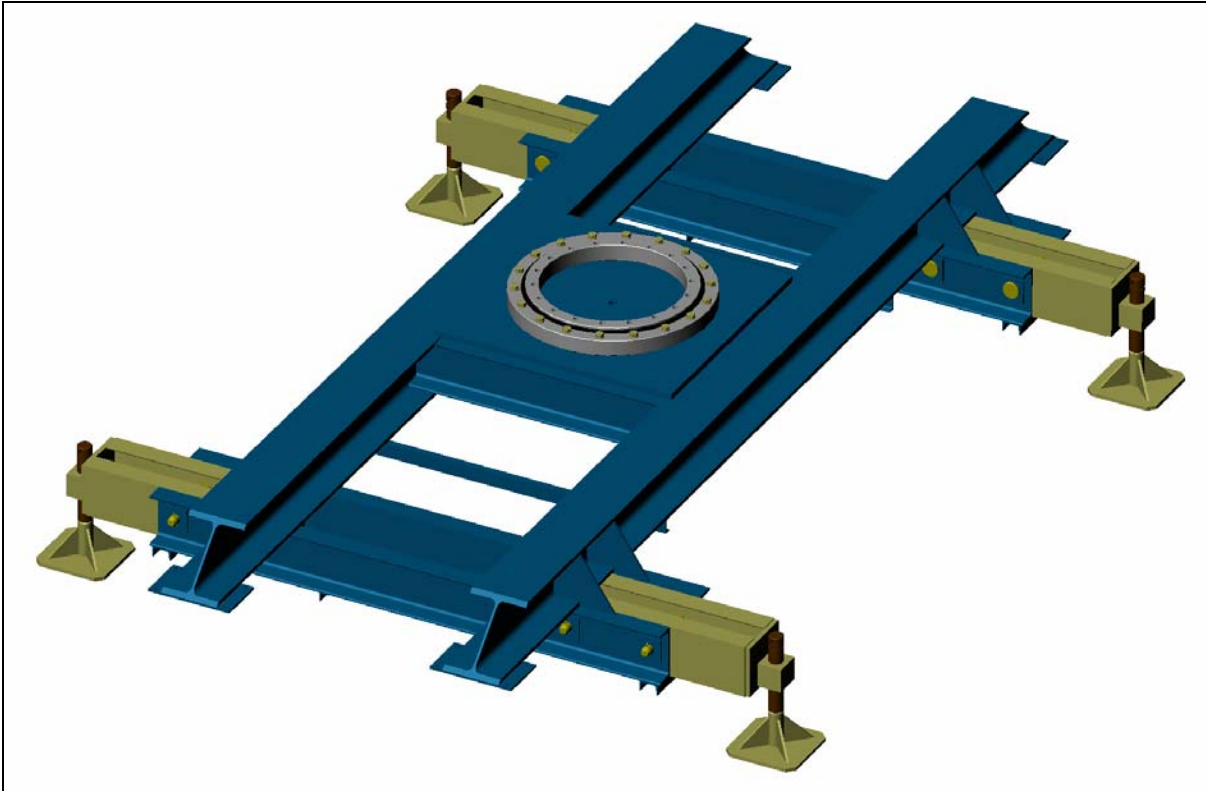


Figura 6.1. Conjunto Zócalo y Estabilizadores

El zócalo es la base de la grúa. Su peso, junto con los estabilizadores es de 17.950N. Es el único elemento, junto con los estabilizadores, que permanece siempre estático (los demás pueden girar). Por esta razón tiene montado en su centro geométrico la corona de giro. Sobre esta corona ira montado el chasis y así sucesivamente el resto de los conjuntos.

## 6.2. Chasis

Tal y como se ha dicho en el apartado anterior, el chasis va montado encima del rodamiento de giro del zócalo. En el chasis se encuentran varios de los elementos principales de la grúa, tales como los contrapesos, los tambores y dos de los tres motoreductores.

### 6.2.1. Estructura del chasis

La estructura del chasis se compone de dos vigas principales sobre las que se soldarán los restantes perfiles. Su peso es de 15.070N. En la figura 6.2 se observa como el chasis está



dividido en tres zonas. Empezando por la izquierda, la zona de los contrapesos con los soportes necesarios. En el centro la ubicación necesaria para el motor de elevación y los tambores. La parte derecha es la que reposa sobre el rodamiento de giro. En ella tenemos tanto el motor de rotación (con su correspondiente eje y piñón) y las dos vigas que forman un triángulo para fijar el mástil correctamente. Esta disposición de elementos es la empleada mayoritariamente en las grúas automontables.

### 6.2.2. Elementos del chasis

#### *Mecanismo de elevación*

Los elementos principales del mecanismo de elevación situados en el chasis son el motoreductor y el tambor de enrollamiento. El motoreductor consta de un eje en posición horizontal para poder accionar el motor de enrollamiento, que almacena el cable de elevación. Se justificará más detalladamente en el apartado dedicado a los motoreductores (apartado 7.2.2. página 55).

#### *Mecanismo de giro*

El mecanismo de giro consta de un motoreductor montado en posición vertical con un piñón solidario al eje de salida que ataca la corona del rodamiento. Este accionamiento permite que sea el chasis el que gire (aunque el motor este montado en el chasis, ya que es el zócalo el que se apoya en el suelo).

#### *Cofres contrapeso*

Los cofres contienen el contrapeso en forma de grava que permite dar estabilidad a la grúa. Se disponen dos cofres laterales y uno central de una altura más reducida para permitir apoyar el mástil cuando la grúa se encuentra desmontada. En total tiene que sumar un volumen de  $4,15\text{m}^3$ , para que den un contrapeso de 11.000kg, sabiendo que la densidad aparente de la grava es de  $2.500\text{kg/m}^3$ . Los cálculos del contrapeso están en el anexo B.





### *Tambor del cable de montaje*

El tambor que almacena el cable del montaje es de características similares al de almacenamiento. Su dimensionamiento está justificado más adelante, en el apartado dedicado a los tambores. Está situado en paralelo y muy próximo al tambor de elevación (ver figura 6.2.), ya que un engranaje desembragable entre ambos permite realizar el montaje de la grúa utilizando el motor de elevación. De esta manera, como ambas operaciones nunca se realizan al mismo tiempo, se ahorra un motor.

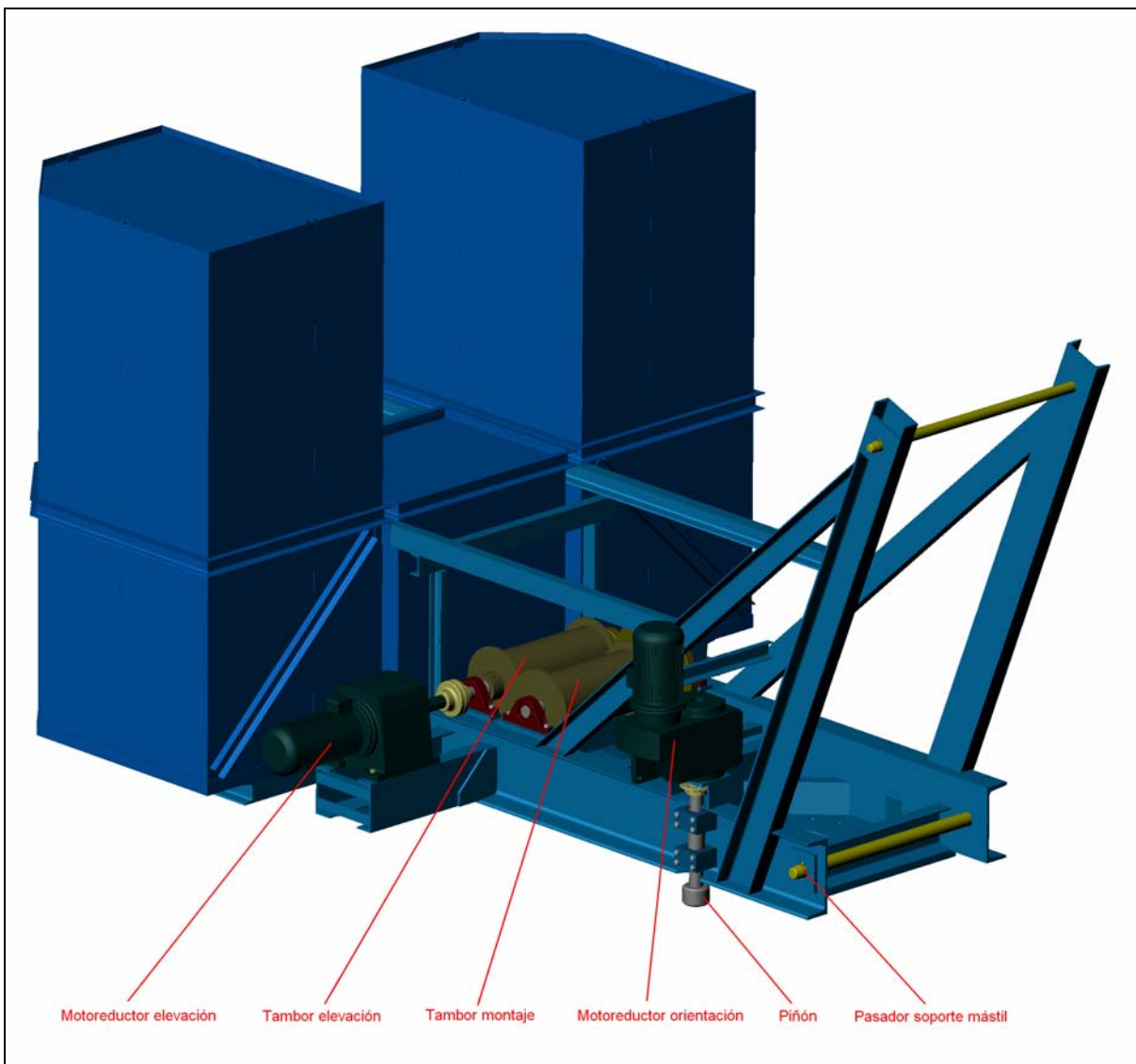


Figura 6.2. Vista del chasis



### *Poleas montaje*

Las cinco poleas que se ven en la figura 6.3 pertenecen al grupo de poleas *a*. (Ver apartado 7.6.4. página 68). Únicamente se utilizan durante el montaje y forman parte del aparejo que junto con las poleas del mástil exterior permiten reducir las tensiones necesarias durante el montaje de la grúa.

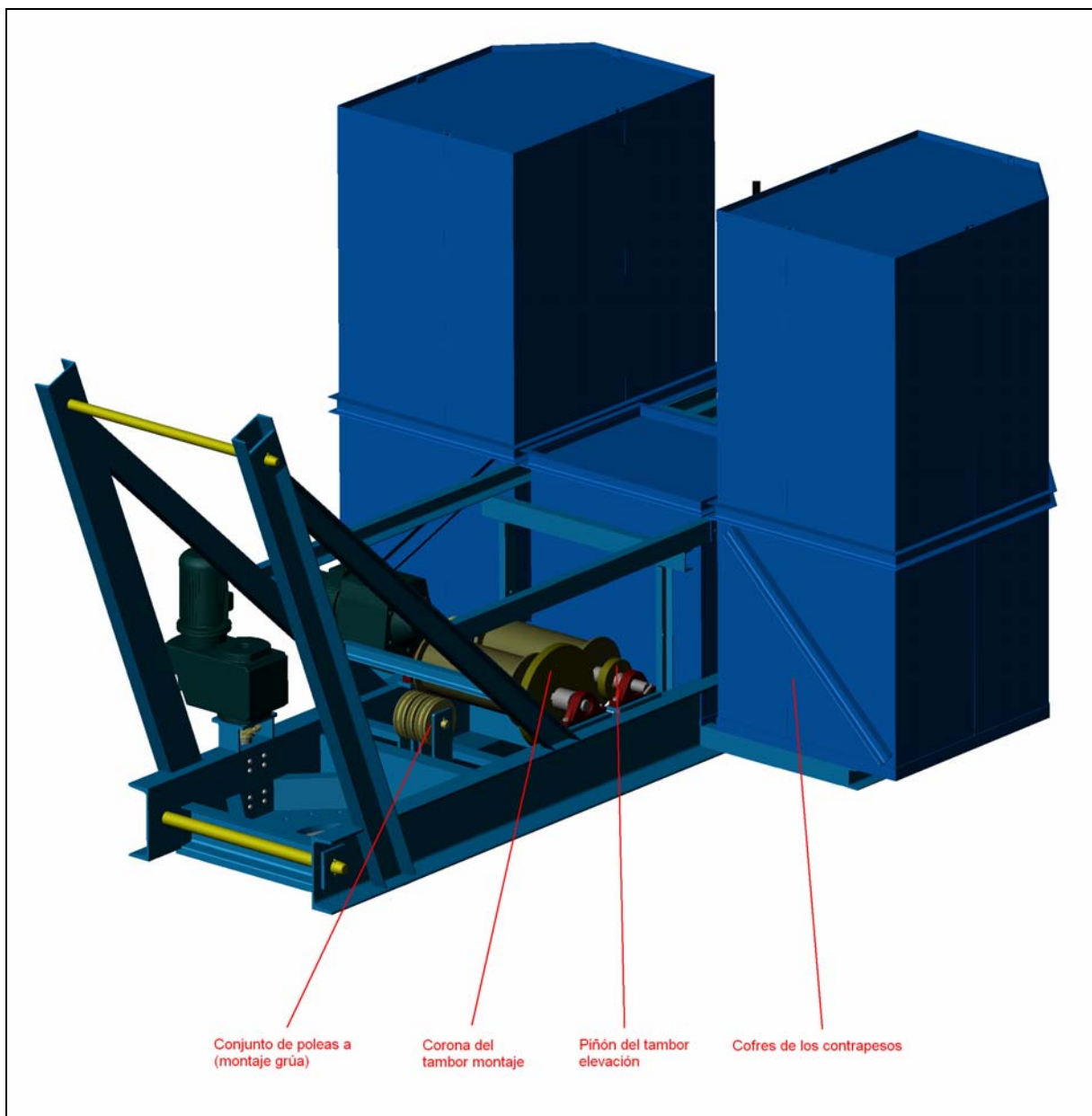
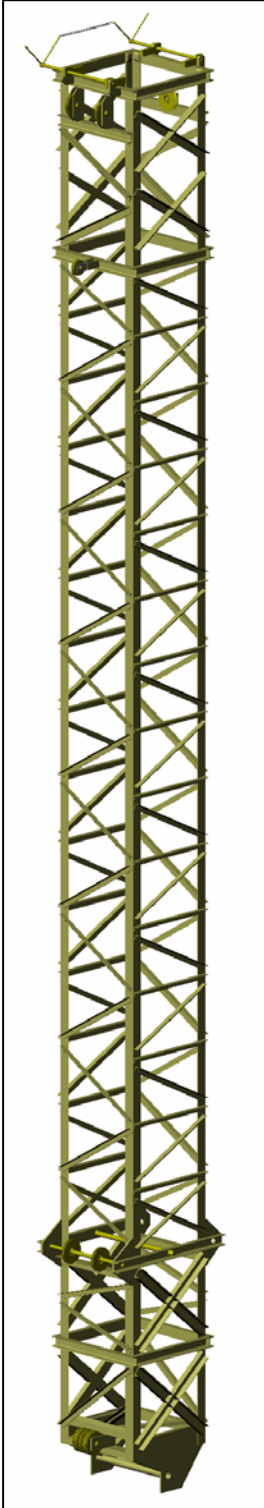


Figura 6.3. Vista del chasis



## 6.3. Mástil exterior

### 6.3.1. Estructura del mástil exterior



La gran mayoría de grúas para la construcción están construidas mediante una estructura en celosía. Las ventajas de este tipo de estructura son un gran aligeramiento de peso (el mástil pesa 9.650N), aunque el coste de la mano de obra es elevado debido a la cantidad de soldaduras a efectuar. La alternativa a la celosía es utilizar un perfil rectangular único parecido al que emplean las grúas telescópicas (ver figura 4.3. de la página 24). Sin embargo esta solución se emplea actualmente únicamente para las grúas más pequeñas.

El mástil mide 10,74m de altura y los lados 840mm por la parte exterior y 750mm por la interior, de manera que pueda encajar dentro el mástil interior cuando la grúa está plegada. Un aspecto muy importante a tener en cuenta en el dimensionamiento es la necesidad de dejar el espacio interior completamente vacío con tal de alojar el mástil interior cuando la grúa está desmontada. Esto impide reforzar el mástil exterior mediante travesaños interiores, inconveniente que deberá tenerse en cuenta a la hora de elegir los perfiles exteriores, descritos a continuación.

El mástil de la grúa, tal y como se explica en el anexo A (ver apartado A.5.2. pág. 59 y A.6.3. pág. 86), está solicitado a flexión, a torsión y a compresión. Se ha decidido emplear para la estructura en celosía perfiles del tipo L, ampliamente utilizados para construir los mástiles. Los perfiles principales que constituyen las esquinas son L80×8 mientras que los que van formando las diagonales son L40×4. Evidentemente tanto la parte superior como inferior del mástil, que es donde se apoyan los demás conjuntos de la grúa, están

Figura 6.4. Mástil exterior convenientemente reforzados mediante perfiles adicionales.



### 6.3.2. Elementos del mástil exterior

Los elementos que van montados sobre el mástil exterior son principalmente varios conjuntos de poleas. Estos elementos están situados tanto en la parte superior como en la inferior del mástil. En la parte superior se observa la polea *e* (ver figura 6.5.). Su función es la de recoger el cable de elevación para situarlo próximo al mástil (ver el esquema del cable de elevación de la figura 7.10. de la página 64). Las poleas *d* y *d'* corresponden al circuito que sigue el cable de montaje. La figura 7.12. de la página 65 muestra claramente su función.

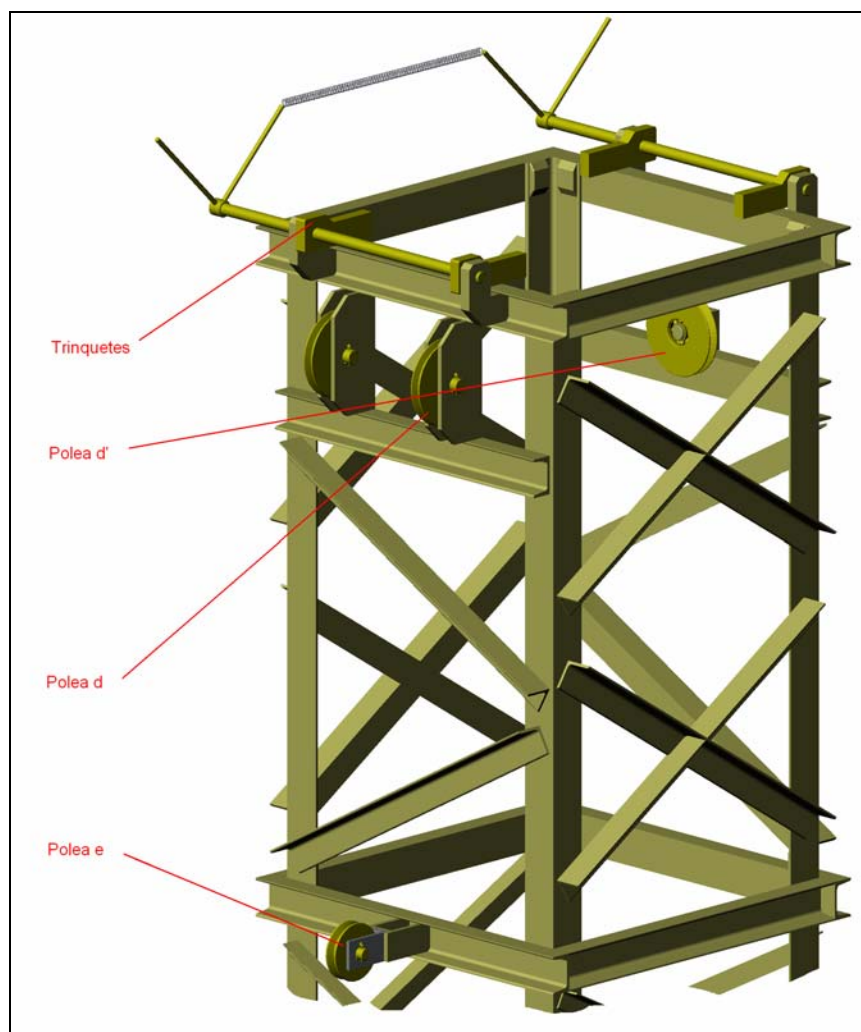


Figura 6.5. Detalle de la parte superior del mástil exterior

En la parte superior están los trinquetes que permiten aguantar el mástil interior una vez éste se ha desplegado y está en la posición de trabajo. Al estar la articulación del trinquete en la parte exterior del mástil, se puede desplazarse hacia arriba (lo que permite que



el mástil interior salga). Para poder plegar el mástil interior (introducir el mástil interior dentro del exterior) hay que accionar las varillas en V que se ven en la parte superior de la figura 6.5. El funcionamiento de los trinquetes se explica con más detenimiento en el apartado 8.10. de la página 89.

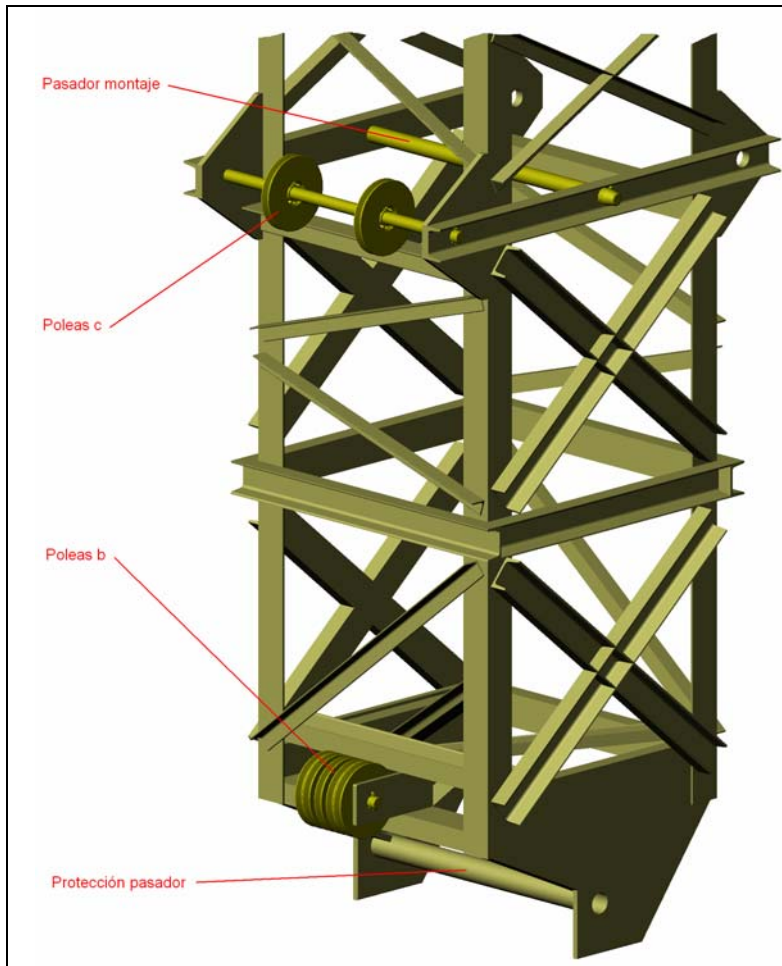


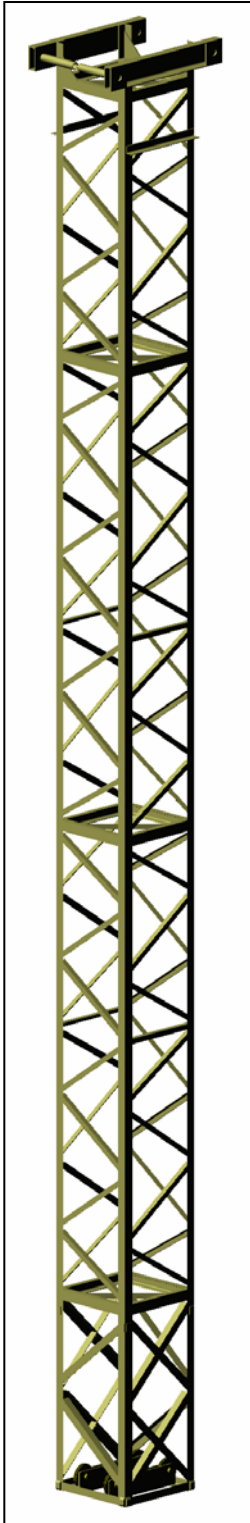
Figura 6.6. Detalle de la parte inferior del mástil exterior

En la parte inferior del mástil se encuentra el conjunto de poleas *b* y *c* que forman parte del sistema de cable para realizar el montaje de la grúa. El conjunto de poleas *b* forma junto con las poleas *a* del chasis, un aparejo que permite levantar el mástil en el montaje de la grúa (ver apartado 8.1.5. de la página 84). El pasador de montaje indicado en la figura 6.6. tiene como función impedir que el mástil interior salga del exterior tanto durante el transporte de la grúa como durante la primera fase del montaje, donde únicamente se pretende posicionar de manera vertical el mástil.



## 6.4. Mástil interior

### 6.4.1. Estructura del mástil interior



Tal y como se ha explicado en las características principales de la grúa, ésta se compone de dos mástiles “telescópicos” ya que uno encaja perfectamente dentro del otro. De esta manera, la grúa desmontada ocupa mucho menos espacio y permite ser transportada con mayor facilidad.

El mástil interior tiene una estructura muy parecida al mástil exterior. Los perfiles son sin embargo más pequeños ya que el peso propio a soportar es menor. Además, este mástil se puede reforzar mediante travesaños interiores, como finalmente se ha hecho. En la figura 6.7. se observa, como a parte de los refuerzos en los extremos del mástil, hay tres zonas de éste con un refuerzo adicional.

El mástil interior se apoya en los trinquetes a la altura del refuerzo situado en la parte inferior. De esta manera queda aproximadamente 1,5m de mástil interior dentro del mástil exterior para asegurar de esta manera un momento resistente adecuado, una vez todo el mástil desplegado.

La altura total de este mástil es de 10,8m mientras que el ancho es de 700mm, lo que le permite alojarse dentro del mástil exterior. Los perfiles utilizados son L70×7 para las esquinas y L40×4 para la mayoría de las diagonales.

Figura 6.7. Mástil interior



### 6.4.2. Elementos del mástil interior

El mástil interior tiene montadas únicamente cuatro poleas que pertenecen al grupo *f*. El cable de montaje pasa por debajo y permite ir elevando el mástil durante la operación de montaje. Su función se ve claramente en el esquema del cable de montaje de la figura 7.12 de la página 65.

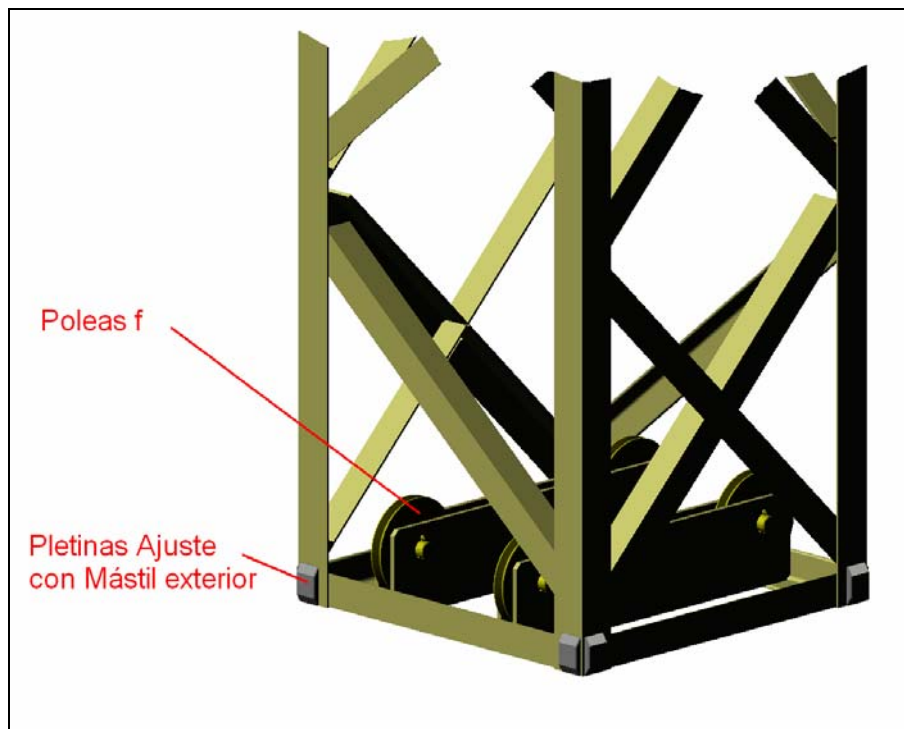


Figura 6.8. Detalle de la parte inferior del mástil interior

En la figura 6.8. se identifican además una pletinas que sirven para ajustar el mástil interior con el exterior. Como se ha mencionado antes, el espacio que deja libre el mástil exterior es de 750mm mientras que el espacio ocupado por el mástil interior es de 700mm. Este juego, necesario para realizar el montaje con comodidad, es demasiado grande cuando la grúa está en posición de trabajo. Por este motivo se colocan unas pletinas, tanto en el mástil interior como en el exterior y en la zona de “intersección” de ambos, de manera que estén en contacto entre si cuando la grúa alcance la altura de trabajo. Estas pletinas se sitúan en todas las esquinas a dos alturas distintas para que ambos mástiles se ajusten perfectamente.



## 6.5. Puentes

Los puentes de la grúa son uno de sus elementos principales. Por este motivo se han estudiado con mucho detenimiento para encontrar las dimensiones más adecuadas. Fruto de ello son los cálculos y gráficas del apartado A.5.1. página 37 del volumen de anexos. A continuación se explican los resultados obtenidos.

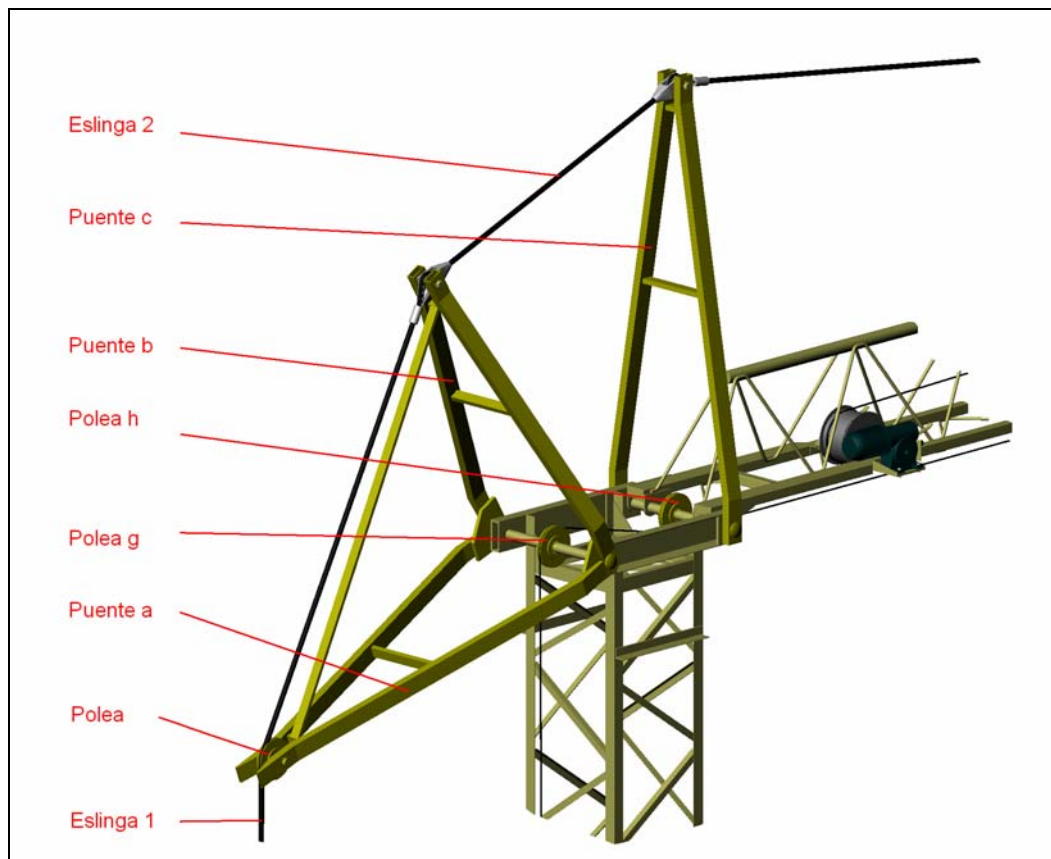


Figura 6.9. Puentes

La función de los puentes es soportar tanto la pluma como la carga que cuelga de ella a través del gancho y el carro. Mediante las eslingas que se ven en la figura 6.9. se transmiten las cargas aplicadas en la pluma hasta el chasis, en la zona en que están situados los contrapesos. El “arco” que forman las eslingas depende directamente del tamaño de los puentes y del ángulo que estos forman entre si.





La utilidad de los puentes se comprueba fácilmente al imaginar como tendría que dimensionarse la grúa sin ellos. Es evidente que el momento creado por el peso de la pluma y de la carga tendría que aguantarse en la articulación con el mástil, por lo que la parte superior de éste tendría que estar mucho más reforzada. Además, la flecha en la punta de la pluma sería también más grande.

Tal y como se ve en la figura 6.9. los puentes están compuestos por tres elementos principales. Los puentes *a* y *b*, unidos entre si de manera que forman un ángulo fijo y el puente *c*, situado en la articulación del mástil con la pluma y colocado en posición vertical. La eslinga 1, fijada al puente *b*, pasa por la polea del puente *a* hasta llegar al chasis. El empleo de la polea, facilita el montaje de la grúa, explicado en el apartado 8 de la página 79. No obstante ello obliga a que estos dos puentes estén unidos entre sí, ya que si no nada impediría que el puente *a* se plegará sobre el mástil.

Los puentes tienen que diseñarse como una solución de compromiso. Interesa principalmente que la eslinga 1 esté lo más alejada posible del mástil, ya que entonces ejerciendo el mismo momento el cable está sometido a una tensión menor. Por lo tanto interesa que los puentes sean lo más alto posibles, para de esta manera disminuir las tensiones en los cables. Pero esto tiene el inconveniente, además de aumentar las posibilidades de pandeo, de restar prestaciones a la grúa ya que ocupa más espacio de trabajo. En la práctica esto supone un problema si por ejemplo está grúa trabaja junto a otras ligeramente más grandes. Finalmente se opta una solución de compromiso entre ambos factores, de manera que la geometría de los puentes es la de la figura anterior.

Las posibles alternativas a la solución encontrada no pasan por emplear o no los puentes, ya que la totalidad de las grúas automontables los utilizan, sino en decidir cuantos se utilizan. Las grúas automontables de dimensiones más reducidas emplean a menudo un único puente, aunque esto presenta el inconveniente de tener que ser mucho más largo para mantener la misma distancia de separación entre la eslinga 1 y el mástil. Esto aumenta sus posibilidades de pandeo por lo que tendría que estar mucho más reforzado. Emplear únicamente dos puentes presenta un problema similar al anterior.



## 6.6. Pluma trasera

### 6.6.1. Descripción de la estructura

La pluma de la grúa está compuesta por dos partes, la parte trasera y la parte delantera. De esta manera se facilita el transporte de la grúa una vez está plegada. La parte trasera tiene una longitud total de poco más de 11m y pesa 4.490N.

En todas las grúas, tanto las grúas torre como las automontables, la estructura de la pluma es del tipo celosía. En este caso se ha optado por una celosía triangular que permita resistir los esfuerzos de flexión debidos a la carga. Cabe señalar que la mayoría de grúas utilizan este tipo de estructura. Los perfiles que permiten a la pluma resistir los esfuerzos son el tubo de  $\varnothing 75 \times 5$ mm en la parte superior y los tubos cuadrados de  $60 \times 4$ mm en la parte inferior. Los dos perfiles inferiores tienen que ser forzosamente cuadrados debido a que sirven también de carriles al carro de traslación. Los redondos laterales de  $\varnothing 20$ mm dan rigidez al conjunto.

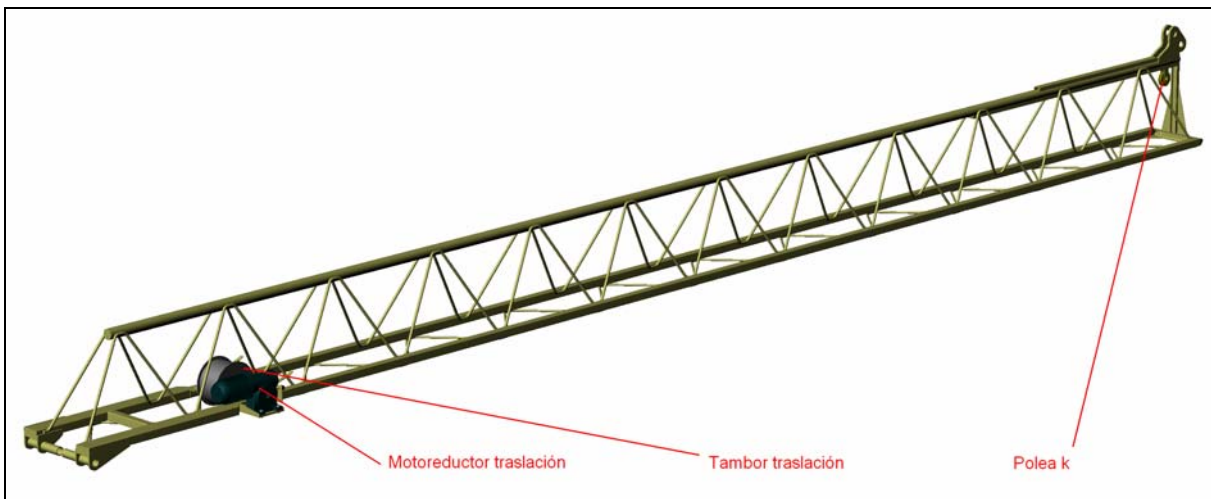


Figura 6.10. Pluma trasera

### 6.6.2. Elementos de la pluma trasera

Tal y como se ve en la figura 6.10., la parte trasera de la pluma sostiene tanto el motorreductor de traslación como el tambor. La polea  $k$  tensa el cable de traslación que pasa por la parte superior de la pluma.



## 6.7. Pluma delantera

### 6.7.1. Descripción de la estructura

La estructura de la pluma delantera es exactamente la misma que la trasera, aunque su peso de 3.860N es algo menor debido a que no requiere tantos refuerzos en los extremos. Sin embargo sí se ha reforzado la zona de unión con la otra parte de la pluma debido a que es en esta zona donde los esfuerzos son mayores (ver anexo A, apartado A.6.2. de la página 77). La unión con la pluma trasera se realiza mediante un pasador que atraviesa la pieza soldada en el extremo de la pluma (parte izquierda en la figura 6.11).

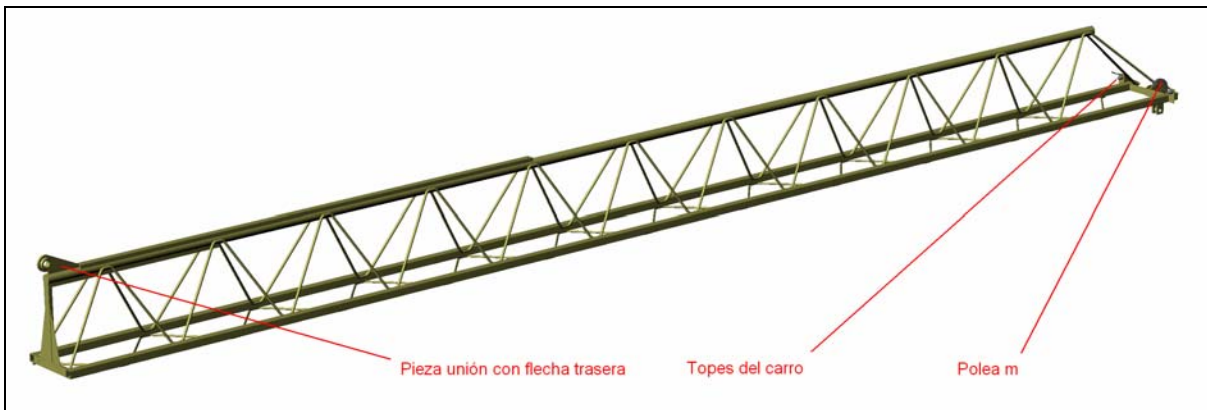


Figura 6.11. Pluma delantera

### 6.7.2. Elementos de la pluma delantera

La pluma tiene en su extremo la polea  $m$  de reenvío del cable proveniente del tambor de traslación. Este cable finalmente se fijará a la parte delantera del carro. También se pueden observar los topes de caucho, situados en el extremo de la pluma. Estos topes tan solo sirven para frenar y detener el carro en caso de que los detectores de final de carrera del carro fallaran.



## 6.8. Carro de traslación

### 6.8.1. Descripción de la estructura

El carro es el elemento de la grúa que permite trasladar la carga a lo largo de la pluma. El sistema de cables es tal que su desplazamiento no implica una elevación o descenso de la carga. El carro es soportado por la parte de arriba para dar mayor estabilidad al conjunto. Es importante destacar que interesa que sea lo más ligero posible (pesa únicamente 630N), para no restar carga útil a la grúa. Es por esta razón que el motor de elevación no va montado sobre el propio carro, sino en el chasis de la grúa.

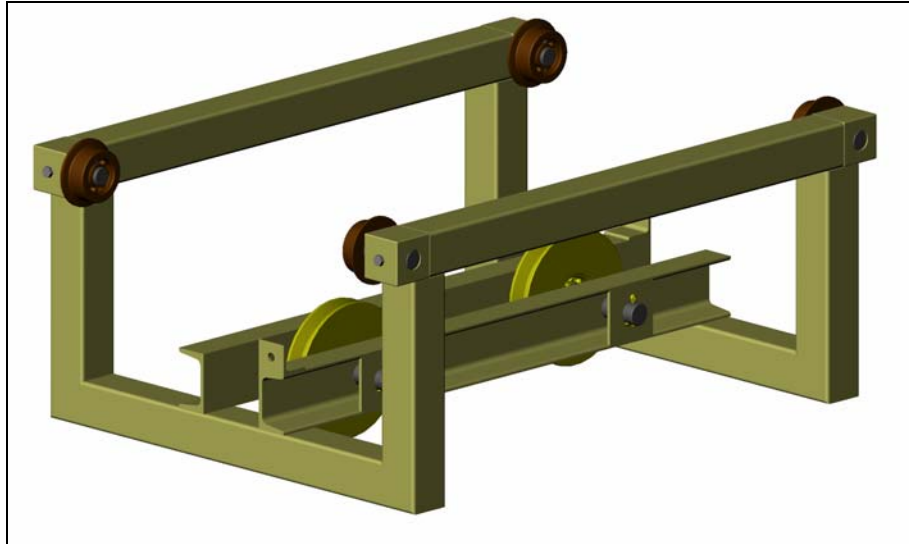


Figura 6.12. Vista del carro de traslación

### 6.8.2. Elementos del carro

Las dos poleas que se ven en la figura 6.12. son las que conducen el cable de elevación hasta el gancho. Las ruedas de desplazamiento son todas libres y con muy poco rozamiento debido al rodamiento entre ésta y el eje. La tracción se realiza mediante dos cables que aseguran el movimiento en ambos sentidos (ver apartado 7.5.2. de la página 64 para más detalles).



## 6.9. Gancho

El conjunto gancho está constituido en primer lugar por el gancho propiamente dicho. De entre todos los tipos posibles que establece la norma DIN 15401 y 15402 se escoge el tipo 2.5, que cumple los requisitos de carga previstos para la grúa. En el apartado 6.3. de la memoria se justifica su elección.

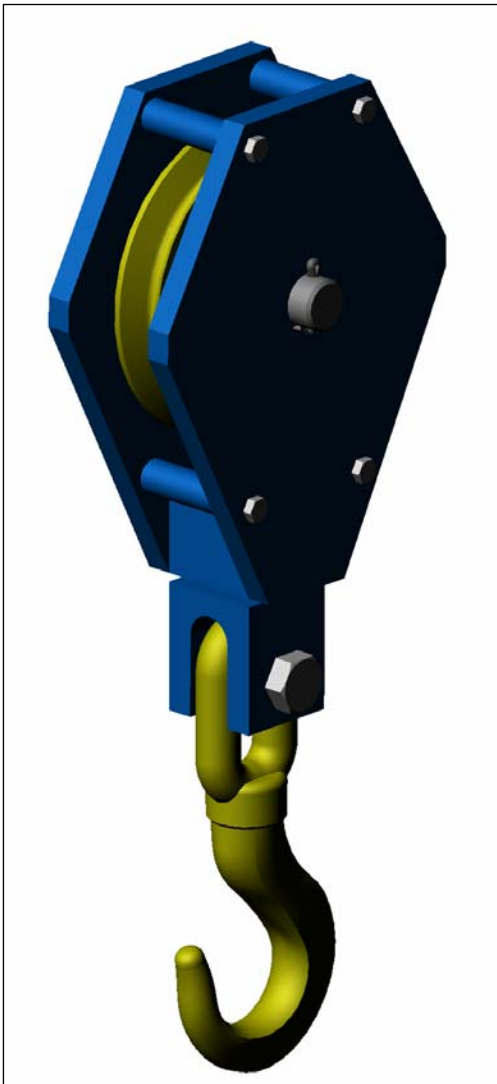


Figura 6.13. Gancho

El conjunto gancho se eleva y desciende mediante el cable de elevación que pasa por la polea del gancho (ver figura 6.13). Los accesorios de la polea son los empleados para todas las poleas de la grúa e incluyen un rodamiento con su correspondiente circlip para fijarlo en el interior de la polea, y el eje con sus dos pasadores de aletas (ver figura 6.13). El gancho puede balancear para facilitar las operaciones de carga y descarga. Además el soporte inferior está montado sobre un rodamiento axial de bolas que permite al gancho el giro sobre el eje vertical.

Estos elementos se montan en una estructura (piezas azules de la figura 6.13) formada por placas y tubos que permiten dar rigidez al conjunto, con un peso mínimo (en total el conjunto no pesa más de 110N). Esta solución para el gancho es la adoptada por la mayoría de fabricantes para las grúas de similares capacidades de carga



## 7. DESCRIPCIÓN DE LOS COMPONENTES DE LA GRÚA

### 7.1. Rodamiento de giro de la grúa

#### 7.1.1. Descripción del rodamiento

El giro de la grúa se realiza mediante un gran rodamiento de HOESCH ROTHE ERDE (ver figura 7.1.). Es un elemento de máquina que forma por si mismo una unidad completa, previsto para la transmisión simultánea de esfuerzos axiales, radiales y de los pares de vuelco resultantes. Este rodamiento tiene pues una doble función. Por un lado ha de permitir un giro suave del chasis, el mástil y la pluma para situar convenientemente la carga. Por otro tiene que soportar todo el peso del chasis, el mástil, la pluma y la carga además de transmitir el momento de vuelco al zócalo.

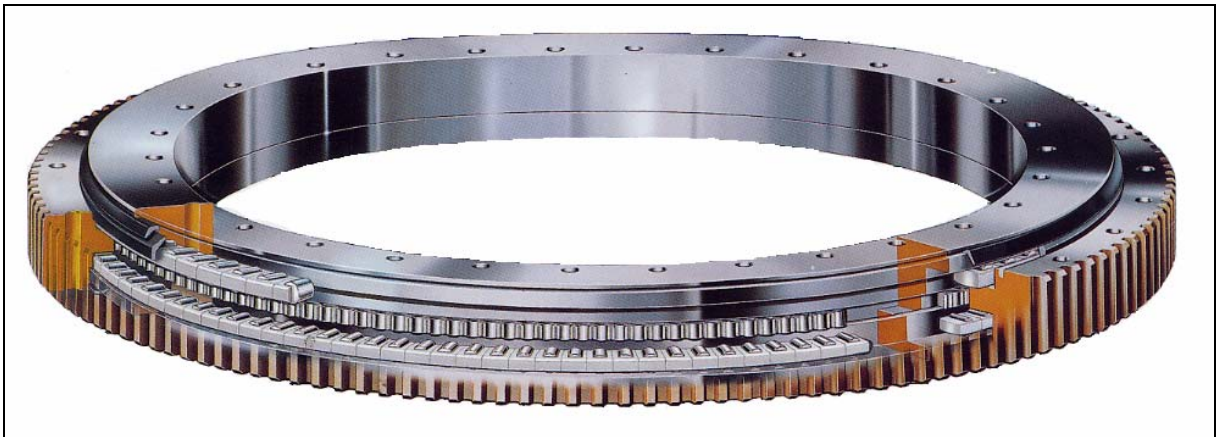


Figura 7.1. Ejemplo de gran rodamiento [Fuente: Catálogo HOESCH, pág. Portada]

La fijación del rodamiento a la grúa se realiza mediante tornillos. La parte exterior del rodamiento se asienta sobre el zócalo de la grúa y se asegura mediante 18 tornillos. Entonces se sitúa encima el chasis para atornillar la parte interior del rodamiento.

El rodamiento escogido (ver anexo B para el estudio detallado de los cálculos) es de la serie KD600 formado por una hilera de bolas (figura 7.2. de la página siguiente). La transmisión de carga se realiza en este caso por cuatro puntos de contacto. El número de serie



es 061.30.0675---11 y las dimensiones aproximadas del rodamiento son un diámetro exterior de 815mm, un diámetro interior de 570mm y una altura de 90mm.

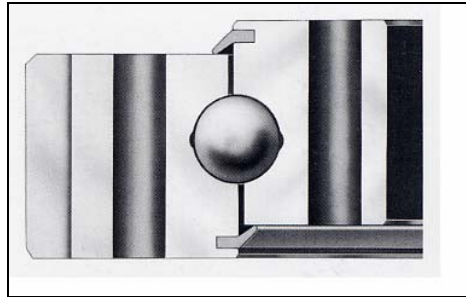


Figura 7.2. Serie KD 600. Sección transversal del rodamiento empleado  
[Fuente: HOESCH, pág. 4]

### 7.1.2. Características del engrane corona-piñón

La rotación de la grúa se realiza mediante un engranaje constituido por un piñón directamente acoplado al motoreductor que acciona la corona exterior del rodamiento de giro. Las características del engranaje son las de la tabla 7.1. La comprobación del engranaje está en el anexo B, apartado B.2.4. página 108.

Características	Símbolo	Piñón	Corona
Módulo (mm)	$m'$	6	
Número de dientes	$z$	16	132
Diámetro primitivo (mm)	$d'$	96	792
Anchura de los dientes (mm)	$b$	65	
Ángulo primitivo (deg)	$\alpha'$	20°	
Altura de la cabeza (mm)	$h_a$	6	
Altura del pie (mm)	$h_f$	7,5	
Altura del diente (mm)	$h$	13,5	
Diámetro de cabeza (mm)	$d_a$	108	804
Diámetro de pie (mm)	$d_f$	81	777
Corrección del diente	$x \cdot m$	3,00	6,60
Calidad del diente		DIN 10	

Tabla 7.1. Características del engranaje de orientación



## 7.2. Conjunto motoreductores

### 7.2.1. Consideraciones previas

Los motoreductores de la grúa tienen como función por un lado montar y desmontar la grúa y por otro situar la carga en el lugar adecuado. Se emplean motores eléctricos trifásicos, que son los mayoritariamente empleados en el accionamiento de máquinas de elevación. Las ventajas de los motores eléctricos son su elevado rendimiento, su limpieza y su flexibilidad, es decir la amplia gama de tamaños y potencias que existen en el mercado. Por esta razón se podrá elegir el motor más adecuado para satisfacer tanto las necesidades de carga de la grúa como las velocidades de los distintos movimientos.

Un elemento importante de los motores empleados en la grúa es el freno. Este dispositivo de seguridad, que actúa aunque falle el suministro eléctrico, permite tener un control total sobre la carga. Los tres motores empleados, acoplados a sus correspondientes motoreductores, han de satisfacer las velocidades especificadas para esta grúa, tal y como se ve en la tabla 7.2. Los cálculos necesarios para elegir tanto el motor como su correspondiente reductor están en los anexos, apartado B.3. de la página 119.

	Velocidad	Velocidad S.I.
Elevación	25 y 50 m/min	0,42 y 0,83m/s
Orientación	De 0 a 1,5 r.p.m.	De 0 a 0,16 rad/s
Translación	30 m/min	0,5m/s

Tabla 7.2. Grados de libertad de la grúa

### 7.2.2. Motoreductor de elevación de la carga

El motor principal de la grúa es el motor de elevación de la carga. De los tres motores instalados es el que requiere mayor potencia. Su eje de salida acciona directamente el tambor de enrollamiento del cable. Por esta razón hay que montar el conjunto motoreductor en el chasis y a continuación del tambor, en posición horizontal (ver Anexo E, plano 02). Este motoreductor, solidario al chasis, tiene dos velocidades. Cuando la carga no supera los 8.000N se puede accionar la velocidad rápida (0,83m/s), mientras que si la carga supera este





valor (hasta los 16.000N), tan sólo se permite accionar la velocidad lenta (0,42m/s). De esta manera, y al tener la grúa una altura útil de 20m, la carga se sitúa desde el suelo hasta la posición más elevada en 24 segundos.

El reductor empleado es coaxial para que tanto el motor como el reductor y el tambor de elevación estén en un mismo eje. Se consigue así un conjunto más compacto y con un rendimiento superior al no haber cambios de dirección en los ejes. Las características técnicas del motor están tabuladas a continuación.



### Motoreductor de elevación de dos velocidades

Reductor coaxial de engranajes helicoidales

Serie SPCMF SPC 195/132M-4/76

Potencia nominal	7,5 kW
Par de salida	909 / 455 Nm
Velocidad de entrada	1.451 / 2.903 min <sup>-1</sup>
Velocidad de salida	76 / 152 min <sup>-1</sup>
Relación de transmisión	19,1

Figura 7.3. Motor de elevación de la carga [Fuente: Catálogo PUJOL Y MUNTALÀ, pág. 1.1.54]

### 7.2.3. Motoreductor de giro de la grúa

Este es el motor que permite girar la grúa (figura 7.4. de la página siguiente). Al igual que el motoreductor de elevación, va montado sobre el chasis, pero a diferencia de éste, en posición vertical. De esta manera, el piñón acoplado al final del eje de salida del motoreductor puede atacar directamente la corona, sin cambios de dirección adicionales. La corona es justamente la pista exterior del gran rodamiento de giro, fija al zócalo. Este motor se controla mediante un variador de frecuencia que permite unos arranques y frenadas suaves que evitan sobreesfuerzos debido a la inercia de la parte móvil de la estructura.

El reductor es pendular para adaptarse mejor a la geometría de la grúa. Tal y como se ve en la figura 6.2 de la página 40, la estructura del chasis impide montar un reductor de las características funcionales del de elevación.





### Motoreductor de giro

Reductor pendular de engranajes helicoidales

Serie DXCMF DXC 603/112M-4/12

Potencia nominal	4 kW
Par de salida	3.050 Nm
Velocidad de entrada	1.437 min <sup>-1</sup>
Velocidad de salida	12 min <sup>-1</sup>
Relación de transmisión	119,76

Figura 7.4. Motor de rotación de la grúa [Fuente: Catálogo PUJOL Y MUNTALÀ, pág. 3.1.23]

### 7.2.4. Motoreductor de traslación del carro

Finalmente, la traslación del carro se realiza mediante un motor considerablemente más pequeño a los demás ya que solo tiene que vencer las fuerzas de rozamiento y las provocadas por el viento. Este motor va montado en la pluma trasera (ver figura 6.10.) y tiene la peculiaridad de utilizar un reductor de tornillo sin fin. De esta manera, al ser el reductor irreversible, se evita tener que ponerle freno al motor, ya que el carro se para por sí sólo al desconectar la alimentación del motor. Esta elección del reductor está explicada y justificada con más detenimiento en el anexo B, apartado B.3.3. página 124.



### Motoreductor de traslación

Reductor de tornillo sin fin

Serie LPCM LPC 49/71N-4/34

Potencia nominal	0,37 kW
Par de salida	66 Nm
Velocidad de entrada	1.360 min <sup>-1</sup>
Velocidad de salida	34 min <sup>-1</sup>
Relación de transmisión	40

Figura 7.5. Motor de traslación del carro [Fuente: Catálogo PUJOL Y MUNTALÀ, pág. 5.1.10]



### 7.3. Elemento de suspensión

#### 7.3.1. Generalidades

Los elementos de suspensión de las grúas tienen como misión fundamental enclavar la carga a elevar con el aparato de elevación. En el caso de la grúa, se utiliza como elemento de suspensión un gancho. Actualmente existe una normativa que define completamente su diseño, por lo que a continuación se explica los criterios seguidos para su elección.

De entre los diferentes tipos de ganchos (gancho simple, doble, de hojas o de seguridad), se utiliza el gancho simple, que es el adecuado para grúas de capacidad de carga media o baja. Se realiza en acero pobre en carbono mediante una operación de forja o estampación.

#### 7.3.2. Dimensiones de ganchos según normativa

Los ganchos corresponden a las normas DIN 15401 y 15402 y se construyen en acero forjado de calidad A ST-52. Todos los ganchos están dotados con pestillo de seguridad para impedir la salida del cable que soporta la carga. La siguiente figura muestra la forma del gancho así como sus dimensiones principales.

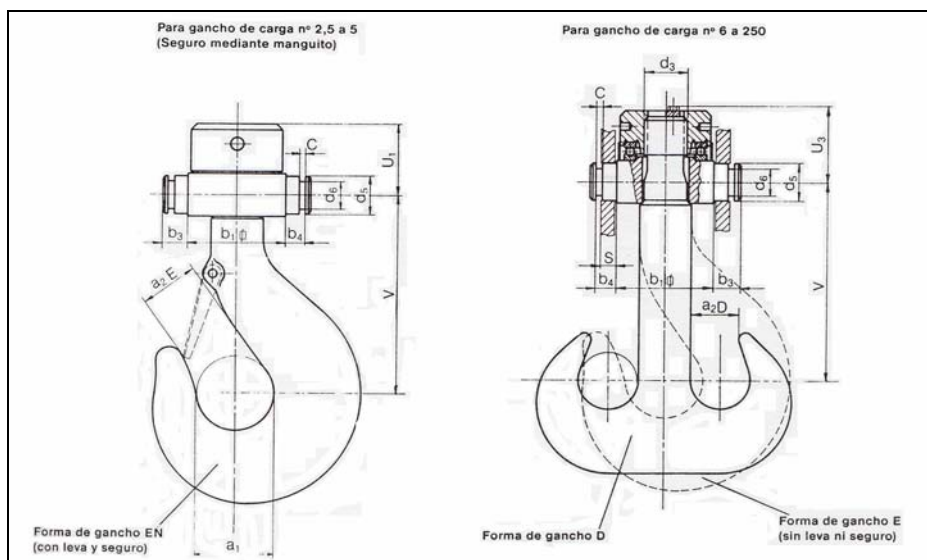


Figura 7.6. Gancho simple y gancho doble [Fuente: Larrodé, Miravete, 1996, pág. 23]



Las dimensiones de los ganchos simples de forja según la norma DIN 15401 y 15402 están reflejadas en la siguiente tabla.

Gancho N°	a <sub>1</sub>	a <sub>2</sub> E	a <sub>2</sub> D	b <sub>1</sub>	b <sub>3</sub>	b <sub>4</sub>	c	d <sub>3</sub>	d <sub>5</sub>	d <sub>6</sub>	s	v	Rodam.	Peso	Referencia
2,5	63	50	40	80	22,5	17	8	M36	30	19	10	170	51108	9	001.2,5
4	71	56	45	90	25	19	8	M42	35	23	12	190	51110	14	001.4
5	80	63	50	100	27,5	22	8	M45	40	27	15	210	51112	20	001.5
6	90	71	56	125	30	24	10	M50	45	32	15	240	51214	29	001.6
7	100	80	63	140	35	29	10	M56	50	36	20	265	51216	40	001.8
10	112	90	71	160	35	29	10	M64	55	40	20	280	51218	57	001.10
12	125	100	80	180	42,5	34	10	M72	60	42	25	315	51220	85	001.12
16	140	112	90	190	42,5	36	12	M80	70	50	25	370	51222	110	001.16
20	160	125	100	200	47,5	41	12	M90	80	56	30	415	51224	160	001.20
52	180	140	112	220	49	41	12	M100	90	64	30	460	51226	228	001.25
32	200	160	125	160	59	51	12	M110	100	72	40	500	51232	312	001.32
40	224	180	140	285	65	58	14	M125	110	80	45	565	51236	445	001.40
50	250	200	160	335	65	58	14	M140	125	92	45	620	51244	612	001.50
63	280	224	180	380	71	63	14	M160	140	104	50	700	51248	870	001.63
80	315	250	200	420	72,5	63	14	M180	160	120	50	800	51256	1230	001.80
100	355	280	224	470	87,5	77	18	M200	180	136	60	885	51260	1750	001.100

Tabla 7.3. Dimensiones de ganchos simple de forja según norma DIN 15401 y 15402

Se elige el gancho n° 2,5 cuya referencia es 001.2,5, ya que aún siendo el más pequeño aguanta perfectamente las sollicitaciones requeridas.

## 7.4. Cables y eslingas

### 7.4.1. Generalidades

Los cables constituyen un elemento principal en la grúa ya que permiten tanto su montaje como la traslación y elevación de la carga. Se emplean preferentemente los cables metálicos constituidos por alambres agrupados formando cordones, que a su vez se enrollan sobre un alma formando un conjunto apto para resistir esfuerzos de extensión (ver figura 7.6).

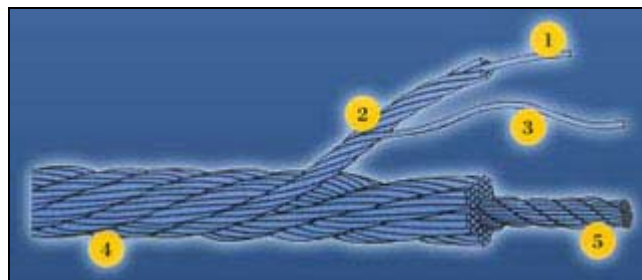


Figura 7.7. Constitución de un cable (1: alambre central, 2: cordón, 3: alambre, 4: cable, 5: alma)



### 7.4.2. Sistema de trenzado

El sistema de trenzado determina en gran parte las características y el comportamiento del cable. Si el sentido de torcido se hace siguiendo la dirección de las agujas del reloj, se obtendrá torsión derecha y torsión izquierda si es en sentido contrario. Según el sentido de torsión de los alambres en los cordones y el de los cordones en los cables se tendrá:

- **Z/s Cruzado derecha:** Los cordones se arrollan a derechas y los alambres de cada cordón a izquierdas.
- **Z/z Lang derecha:** Los cordones se arrollan a derechas y los alambres de cada cordón a derechas.
- **S/z Cruzado izquierda:** Los cordones se arrollan a izquierdas y los alambres de cada cordón a derechas.
- **S/s Lang izquierda:** Los cordones se arrollan a izquierdas y los alambres de cada cordón a izquierdas.

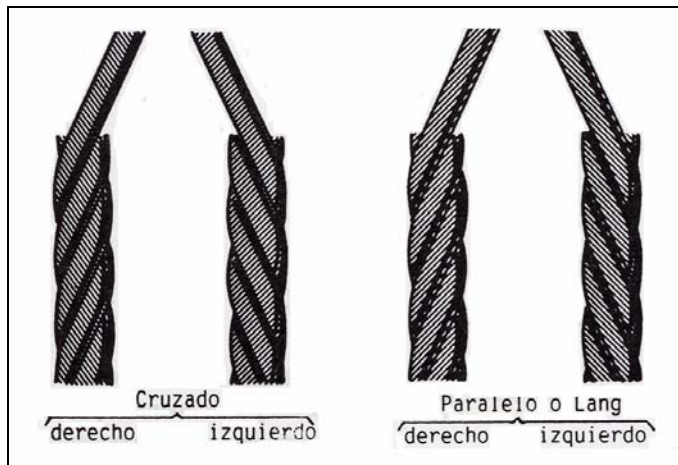


Figura 7.8. Los dos tipos de trenzado [Fuente: Larrodé, Miravete, 1996, pág. 68]

El trenzado cruzado es el más utilizado por su menor tendencia a destorcerse y por tener una mayor resistencia estructural. Sin embargo, en muchos casos es preferible utilizar el torcido Lang por su mayor flexibilidad y mayor superficie de apoyo, tener la superficie exterior más lisa y un mejor llenado del área de la sección transversal.



### 7.4.3. Composición del cable

La composición de un cable se designa por el número de sus cordones, la composición de éstos y el tipo de alma. La notación está constituida por tres cifras (nº de cordones del cable, nº de alambres de los cordones, nº de almas del cable), las dos primeras separadas por el signo “x” y las dos últimas por el signo “+”.

### 7.4.4. Elección de la estructura del cable

Al dimensionar un cable primero hay que seleccionar la estructura más adecuada. Se utilizan las recomendaciones del libro de Larrodé, Miravete (1996, pág. 86), que aconseja una determinada composición para los diferentes diámetros de cables (tabla 7.4.)

Diámetro del cable	Composición
5 a 25 mm	$6 \times 19 + 1$
10 a 30 mm	$6 \times 37 + 1$
10 a 30mm	$6 \times 36 \text{ WS} + 1$

Tabla 7.4. Estructura del cable aconsejada para la grúa automontable [Fuente: Larrodé, Miravete, 1996, pág. 86]

Para el cable de elevación es necesario escoger un cable antigiratorio (las capas de cordones se cablean en sentido contrario) cuya estructura según el catalogo de TYCSA es  $19 \times 7 + 0$ . El cable antigiratorio se caracteriza por tener un par de giro prácticamente nulo. Para el cable de translación se escoge un cable normal  $6 \times 19 + 1$ , ya que los cálculos dan como necesario un cable de diámetro 6mm. Para el cable utilizado en el montaje será un cable normal  $6 \times 19 + 1$ .

Las eslingas son los cables fijos (no se enrollan en ningún tambor) que transmiten los esfuerzos desde la mitad de la pluma hasta el contrapeso, pasando por los puentes. Se utilizará un cable normal  $6 \times 37 + 1$  ya que aquí los cálculos dan un diámetro necesario de 30mm. La diferencia de la eslinga con los cables anteriores es que estos tendrán sus guardacabos en cada extremo para poderlos fijar correctamente.



### 7.4.5. Resumen de los cables y de las eslingas empleados en la grúa

Cable	Tipo de cable	$\varnothing_{\text{cable}}$ (mm)	$\varnothing_{\text{alambre}}$ (mm)	Sección cable (mm <sup>2</sup> )	Peso kg/km	Carga de rotura (200kg/mm <sup>2</sup> )	Longitud (m)
Elevación	19×7 + 0 ANTIGIR.	10	0,62	42,9	366	6.527	70
Translación	6×19 + F.C. NORMAL	6	0,39	13,7	122	2.362	30
Montaje	6×19 + F.C. NORMAL	10	0,64	37,0	328	6.373	70
Eslinga 1	6×37 + F.C. NORMAL	30	1,36	325,7	2917	53.739	11
Eslinga 2	6×37 + F.C. NORMAL	30	1,36	325,7	2917	53.739	2,1
Eslinga 3	6×37 + F.C. NORMAL	30	1,36	325,7	2917	53.739	22

Tabla 7.5. Resumen de los cables y eslingas utilizados en la grúa [Fuente: Catálogo TYCSA, pág. 32,33,50]

### 7.4.6. Ojales y terminales para las eslingas

Las eslingas son los cables con sus correspondientes terminales en ambos extremos. De entre las distintas posibilidades (ver figura 7.9.) se escogen los guardacabos con casquillo y el terminal abierto alternativamente para que haya suficiente espacio en los puentes de la grúa (figura 7.9.). De esta manera se tiene:

- Eslinga 1 con doble guardacabos para aguantar la pluma desde el puente.
- Eslinga 2 con doble terminal abierto entre puentes.
- Eslinga 3 con doble guardacabos entre puente y chasis.

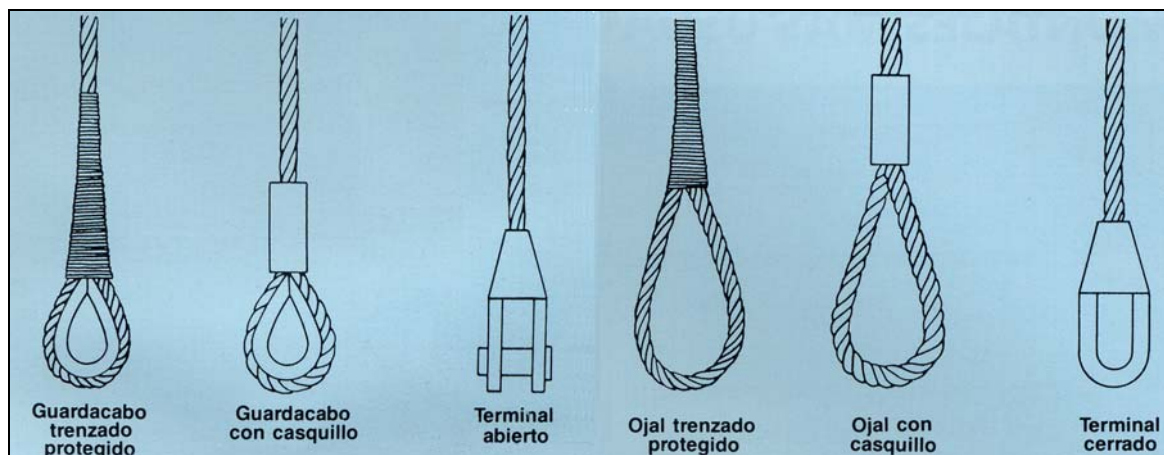


Figura 7.9 Distintos ojales y terminales [Fuente: Catálogo TYCSA, pág. 8]



## 7.5. Sistemas de cables

### 7.5.1. Sistema de elevación

El sistema del cable de elevación consiste en un cable fijado en el tambor de elevación en un extremo y el otro en la punta de la pluma delantera. Tal y como se ve en la figura 7.10. el cable atraviesa diversas poleas.

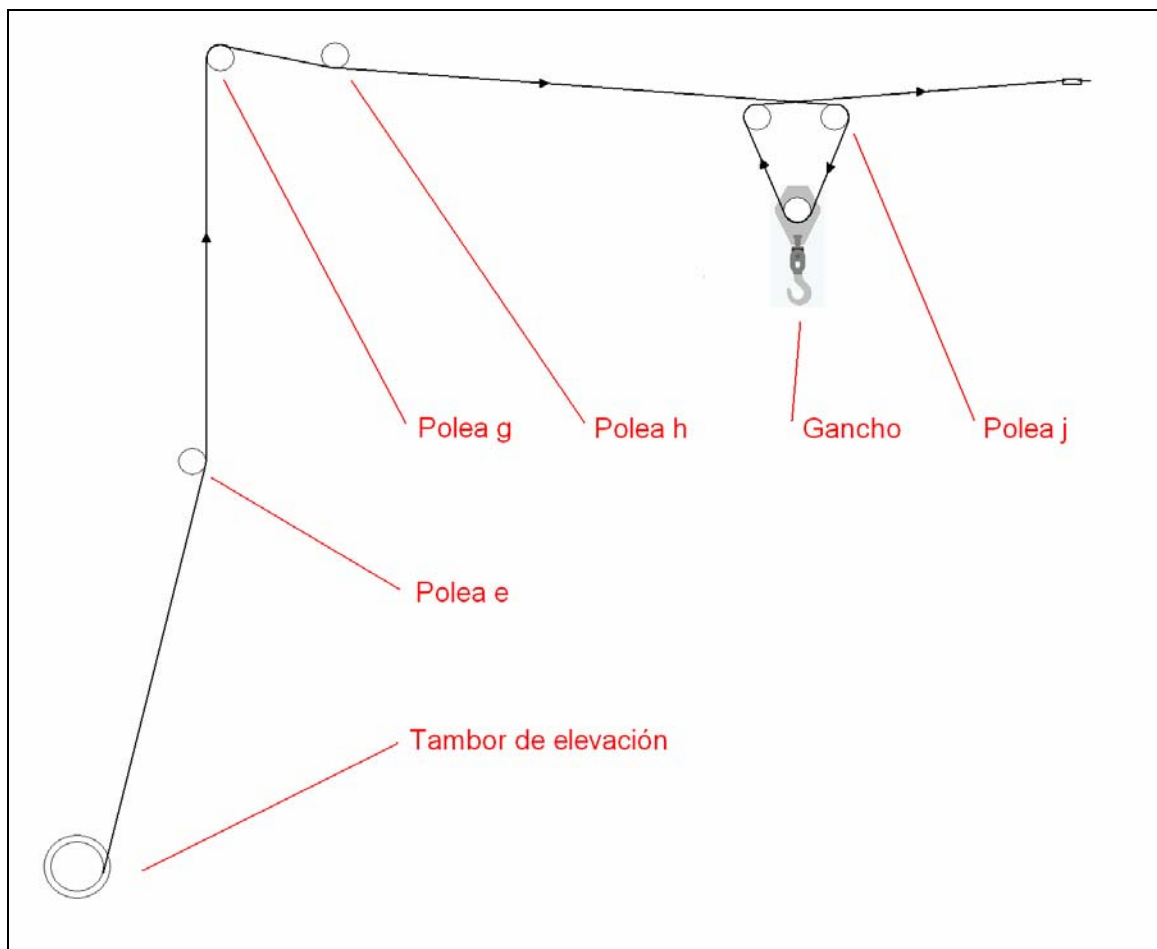


Figura 7.10. Sistema de cables de elevación

Una de las principales ventajas de este sistema es que el desplazamiento del carro (poleas *j*) no cambia la altura del gancho.





### 7.5.2. Sistema de traslación

Este es el sistema de cables que permite trasladar el carro a lo largo de la pluma (figura 7.11). El sistema consiste en dos cables que se fijan por un lado al tambor y por el otro a ambos lados del carro. De esta manera se puede mover el carro en ambos sentidos.

El cable 1 se enrolla en un extremo del tambor (lado izquierdo por ejemplo) y el cable 2 al otro extremo (lado derecho) y en sentido contrario, de manera que al girar el tambor, mientras que un cable se desenrolla, el otro se enrolla y mueve el carro).

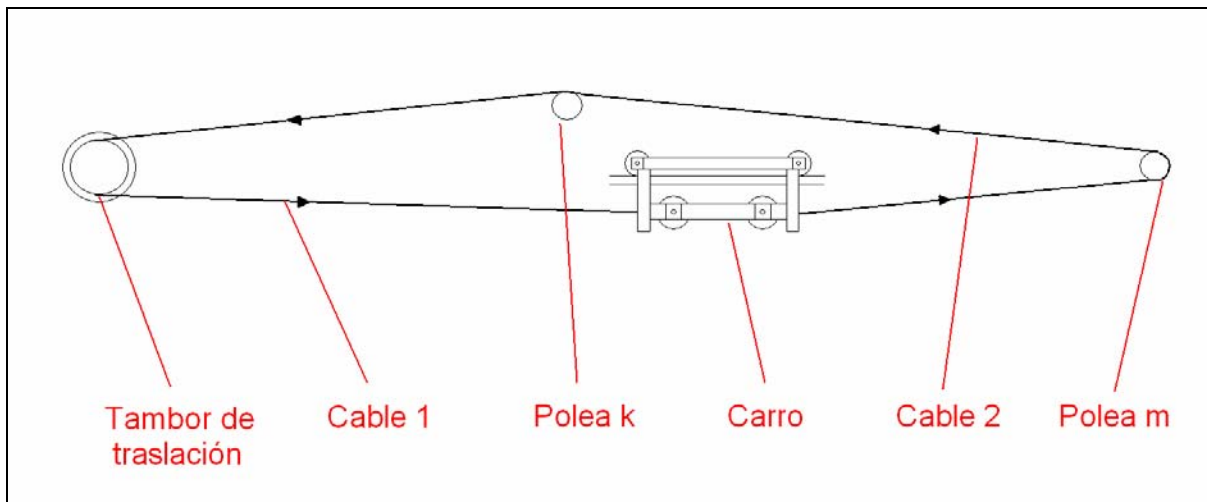


Figura 7.11. Sistema de cable de traslación

### 7.5.3. Sistema de montaje

Este es el sistema de cable que permite el montaje de la grúa. Se realizan dos operaciones con un único cable y motor. Se trata por un lado de situar el mástil en posición vertical y por otro de desplegar el mástil interior. En el capítulo 8 se explica más detenimiento el montaje de la grúa.

Si se fija el mástil interior al exterior (poleas  $d$ ,  $d'$ ,  $f$ ,  $c$  y  $b$  unidas entre si), se acercan las poleas  $a$  y  $b$  con lo que se acerca el mástil exterior al chasis. Si se fija el mástil exterior al chasis (poleas  $a$  y  $b$  unidas), lo que ocurre es que las poleas  $f$  del mástil interior se elevan, elevan el mástil interior.



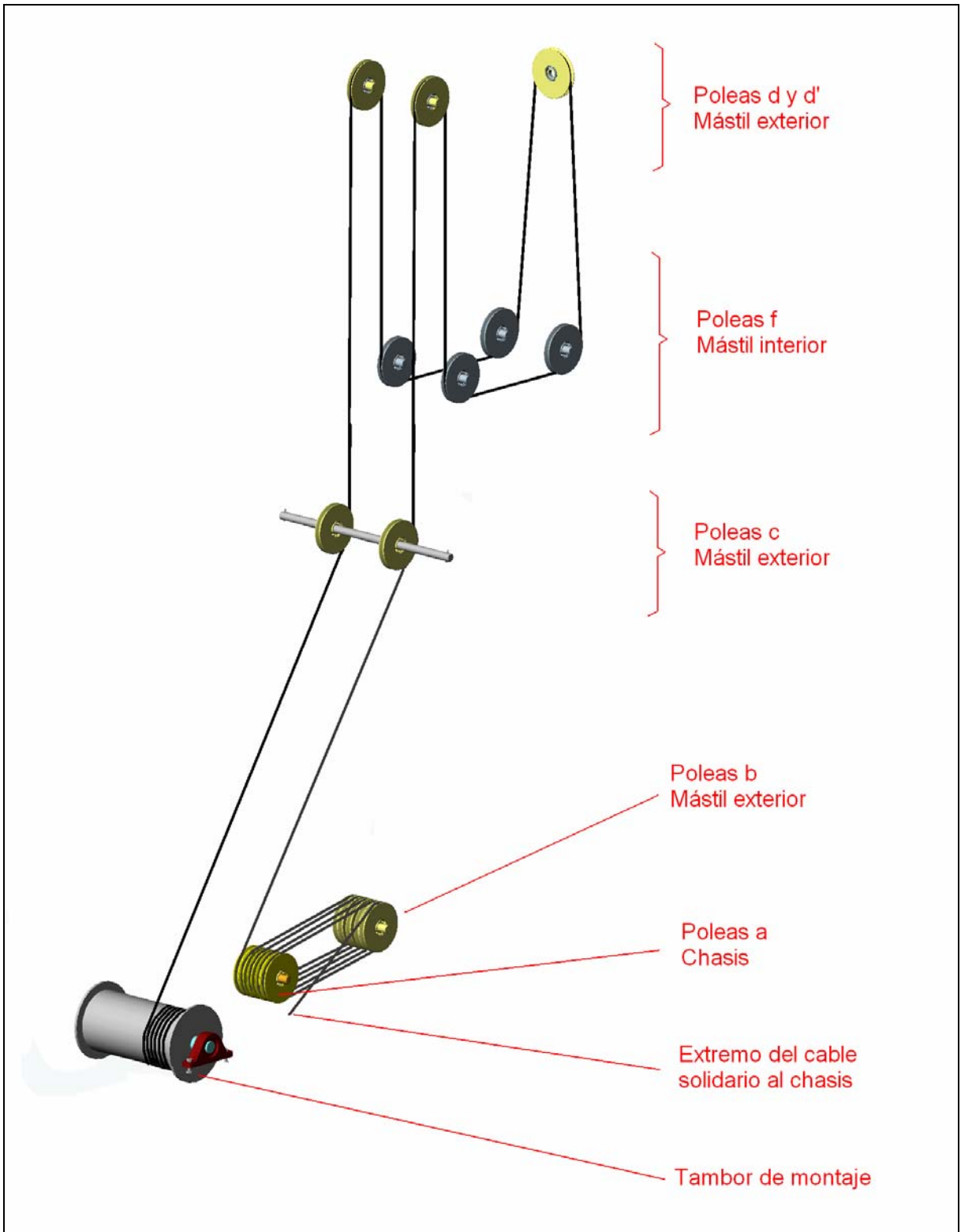


Figura 7.12. Sistema de cable de montaje



## 7.6. Poleas y rodamientos

### 7.6.1. Generalidades de las poleas

La polea es un elemento de la grúa cuya función es la de cambiar la dirección del cable o servir de elemento de acoplamiento entre grúa y carga (véase el gancho). Existen dos tipos de poleas, las de radios o las de alma central. Las utilizadas en la presente grúa son todas de alma central debido a que se obtienen a partir de un redondo de acero del diámetro suficiente.

El acoplamiento entre la polea y el eje se puede realizar mediante casquillos de bronce (cojinetes) o rodamientos, siendo esta última opción la que se utilizará en todas las poleas de la grúa, por las mejores prestaciones que ofrece.

### 7.6.2. Tamaño global de la polea

El tamaño de la polea aconsejado dependerá tanto del diámetro del cable como del uso del apartado de elevación y de la polea en concreto. Cuanto más pequeño sea el diámetro de la polea respecto del aconsejado, menor será la vida del cable (por las sollicitaciones antes mencionadas de flexión,...). Los cálculos necesarios para determinar el diámetro primitivo mínimo de la polea (aquel por donde pasará el cable) están en el Anexo B apartado B.6.

### 7.6.3. Perfil de la garganta de las poleas

El perfil de la garganta está normalizado según la DIN 15061. La garganta es de gran importancia para la vida de los cables. El cable ha de ajustarse en las gargantas de forma que no quede ni muy prieto por problemas de acuñamiento, ni muy holgado por problemas de aplastamiento.

Normalmente se da a las gargantas el perfil formado por un arco de circunferencia de  $135^\circ$  y diámetro ligeramente superior al del cable. Dos rectas convergentes a  $45^\circ$ , hasta una altura total de 1,5 a 2 veces el diámetro del cable. Esta construcción puede verse en la figura 7.13. Los datos de la normativa están recogidos en la tabla 7.6. que sigue a la figura.



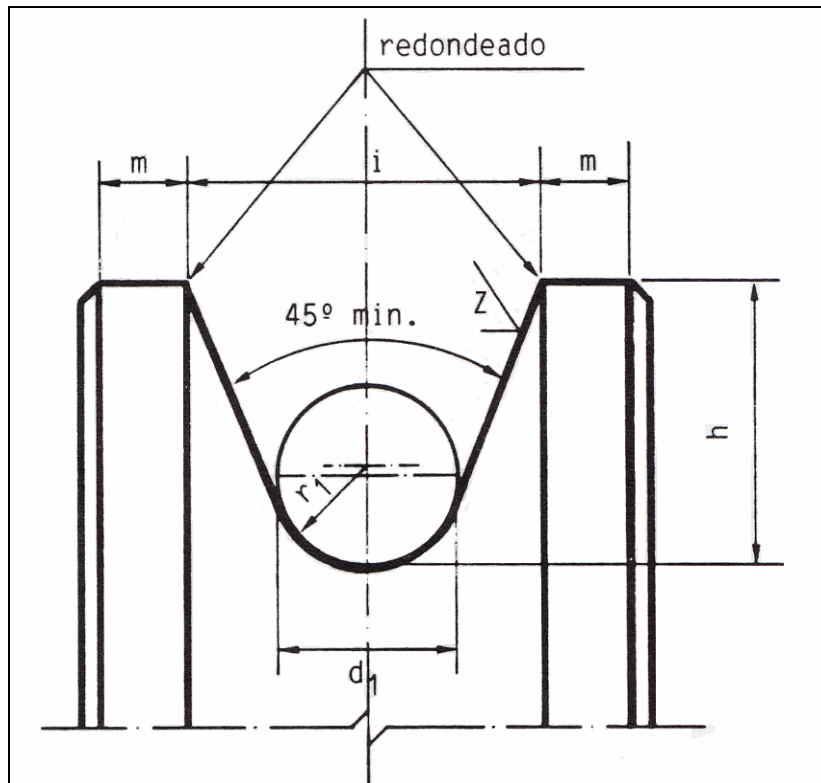


Figura 7.13. Garganta de la polea [Fuente: Larrodé, Miravete, 1996, pág. 110]

La tabla es:

Radio de garganta		h	i	m	Ø <sub>nominal</sub> del cable
r <sub>1</sub>	Diferencia adm. para precisión				d <sub>1</sub>
1,6	+0,2	8	9	2	3
2,2		10	11	2	4
2,7		12,5	14	2	5
3,2		12,5	15	3	6
3,7		15	17	4	7
4,2		15	18	4	8
4,8		17,5	21	4,5	9
5,3	+0,3	17,5	22	4,5	10
6		20	25	5	11
6,5		20	25	5	12
7		22,5	28	5	13
7,5		25	31	6	14
8	+0,4	25	31	6	15
8,5		27,5	34	6	16
9		30	37	6	17
9,5		30	38	6	18
10		32,5	40	7	19

Tabla 7.6. Definición de perfiles de garganta de poleas según DIN 15061



#### 7.6.4. Situación de las poleas en la grúa

En la grúa se requieren todas las poleas mostradas en la siguiente figura de la grúa. Para mas detalles de su colocación consultar tanto los apartados dedicados a cada conjunto como los planos correspondientes.

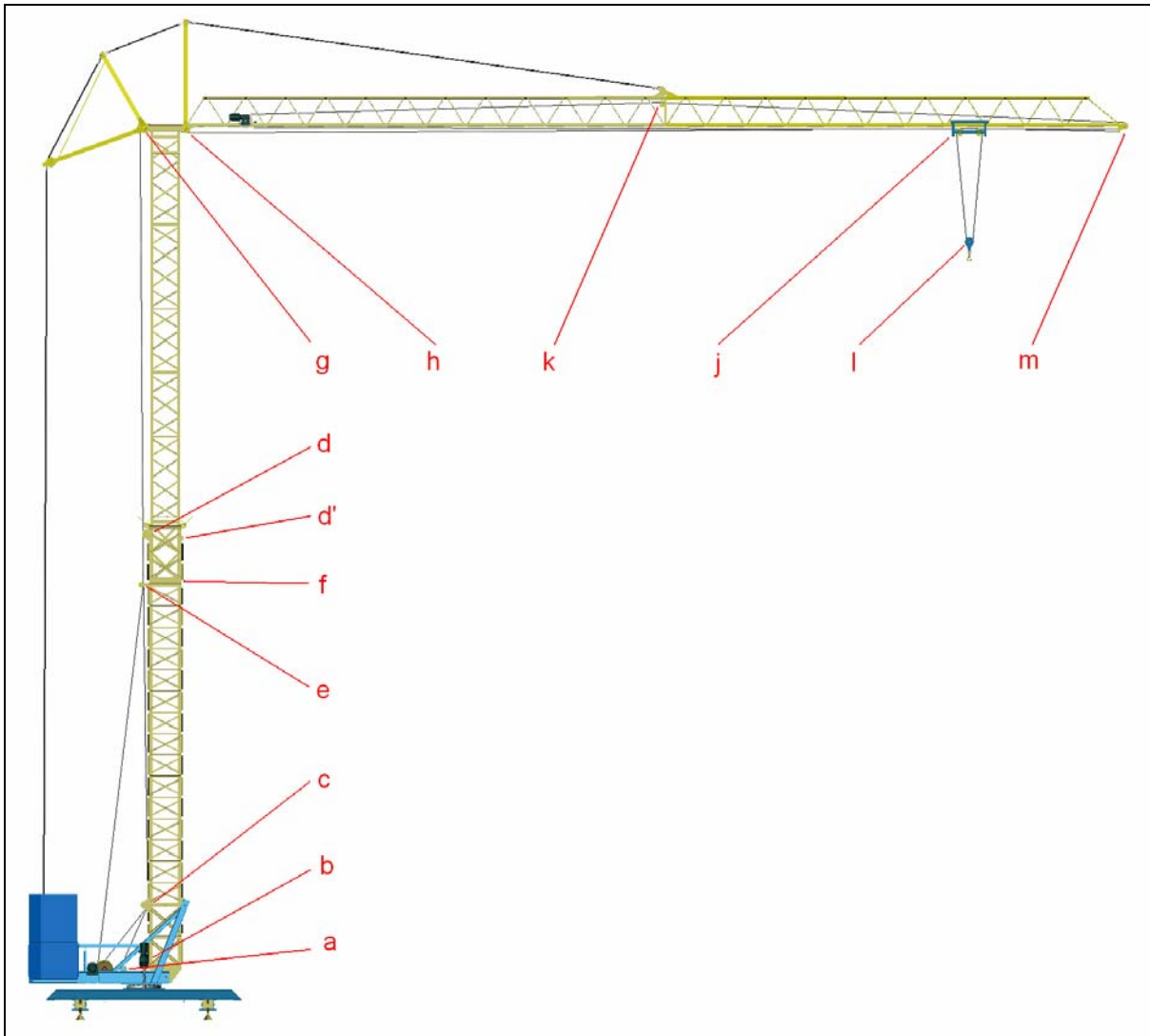


Figura 7.14. Grupos de poleas de la grúa

Cada conjunto de poleas tiene una función:

- *a*: Conjunto de cinco poleas en paralelo fijadas al chasis que junto con el conjunto de poleas *b* permiten reducir la tensión necesaria para levantar el mástil de la posición horizontal a la posición vertical (operación de montaje).



- *b*: Conjunto de cinco poleas en paralelo fijadas al mástil exterior descritas en el párrafo anterior.
- *c*: Conjunto de dos poleas que conducen el cable de montaje desde lo alto del mástil exterior hasta el tambor de montaje y una de las poleas del conjunto *a*.
- *d*: Conjunto de dos poleas fijadas al mástil exterior que cambian la dirección del cable de montaje para introducirlo hacia el mástil interior.
- *d'*: Polea que coge el cable de montaje desde una polea del conjunto *f* para volverla a enviar a otra polea del conjunto *f*.
- *e*: Polea por la que pasa el cable de elevación.
- *f*: Conjunto de cuatro poleas fijadas en la base del mástil interior por las que pasa el cable de montaje que permite levantar el mástil interior del exterior.
- *g*: Polea que guía el cable de elevación hacia el gancho.
- *h*: Polea que guía el cable de elevación hacia el gancho.
- *j*: Conjunto de dos poleas por las que el cable de elevación se dirige hasta el gancho.
- *k*: Polea que guía el cable de traslación hacia la polea *m*
- *l*: Polea correspondiente al gancho
- *m*: Polea de reenvío del cable de traslación hacia el carro.

### 7.6.5. Tabla de las poleas empleadas en la grúa

La siguiente tabla 7.7. es una tabla recapitulativa de las dimensiones de las poleas.

Grupo	Cantidad	Función	$\varnothing$ cable	$\varnothing$ enrollamiento	$\varnothing$ exterior	$\varnothing$ interior	$\varnothing$ eje	Ancho
a	5	Montaje	10	158	180	62	30	24
b	5	Montaje	10	158	180	62	30	24
c	2	Montaje	10	158	180	62	30	24
d	2	Montaje	10	158	180	62	30	24
d'	1	Montaje	10	158	180	62	30	24
e	1	Elevación	10	98	120	52	25	28
f	4	Montaje	10	158	180	62	30	24
g	1	Elevación	10	215,6	240	80	50	32
h	1	Elevación	10	215,6	240	80	50	32
j	2	Elevación	10	155,6	180	62	30	32
k	1	Traslación	6	98	120	52	25	28
l	1	Elevación	10	155,6	180	62	30	32
m	1	Traslación	6	158	180	62	30	24

Tabla 7.7. Poleas empleadas en la grúa (unidades en mm)



### 7.6.6. Rodamientos empleados en la grúa

Según el catalogo de SKF el tipo de rodamiento se escoge en función del espacio disponible, de las cargas, de los posibles errores de alineamiento entre ejes, de la precisión, de la velocidad de rotación, del silencio de funcionamiento, de la rigidez del conjunto y de sus posibles montajes-desmontajes.

En la mayoría de las poleas, la carga es prácticamente toda radial con lo que el rodamiento rígido de bolas será el más adecuado (variando el tamaño según las cargas y el diámetro de eje requerido).

Los rodamientos correspondientes a las poleas *j* y *l* (las del carro y el gancho) serán de dos hileras de bolas con contacto angular ya que estos si permiten resistir una carga axial considerable. Al menos dan mayor estabilidad al rodamiento al tener mayor base de apoyo.

El rodamiento que permite girar al gancho sobre su eje tendrá que ser un rodamiento axial de bolas al ser la fuerza totalmente axial.

La siguiente tabla 7.8. muestra los rodamientos finalmente escogidos (ver anexo B para más detalles sobre los cálculos realizados).

Rodamiento (SKF)	Grupo	Designación ISO R 300	Dimensiones			Capacidad de carga		Masa kg
			d	D	B	C	C <sub>0</sub>	
6205-RS1	e,k	25 BC 02 XE	25	52	15	14.000	7.800	0,13
6206-RS1	a,b,c,d',f,m	30 BC 02 XE	30	62	16	19.500	11.200	0,20
6209-2RS1	Tambores	45 BC 02 XE	45	85	19	33.200	21.600	0,41
6010-RS1	g,h	50 BC 10 XE	50	80	16	21.600	16.000	0,26
3206-2RS1	j,l	30 BE 32 XEE	30	62	23,8	28.100	20.000	0,29
51105	Gancho	25 TA 11 X	25	42	11	18.200	39.000	0,06

Tabla 7.8. Rodamientos empleados en la grúa (Dimensiones en mm y cargas en N)



Los tipos de rodamientos utilizados son los recogidos en la siguiente figura.

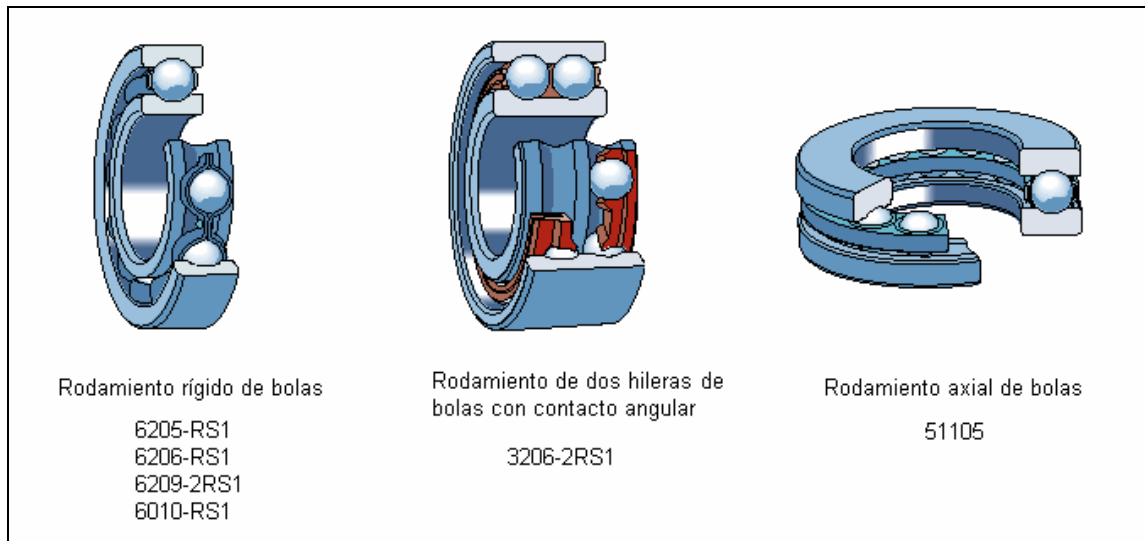


Figura 7.15. Rodamientos empleados en la grúa [Fuente: www.skf.com]

### 7.6.7. Montaje del conjunto polea-rodamiento-eje

El conjunto de la figura 7.16. está formado, a parte de la polea, el rodamiento y el eje, por dos arandelas elásticas para fijar correctamente el conjunto. Son arandelas normalizadas tipo circlips (NF E 22-163).

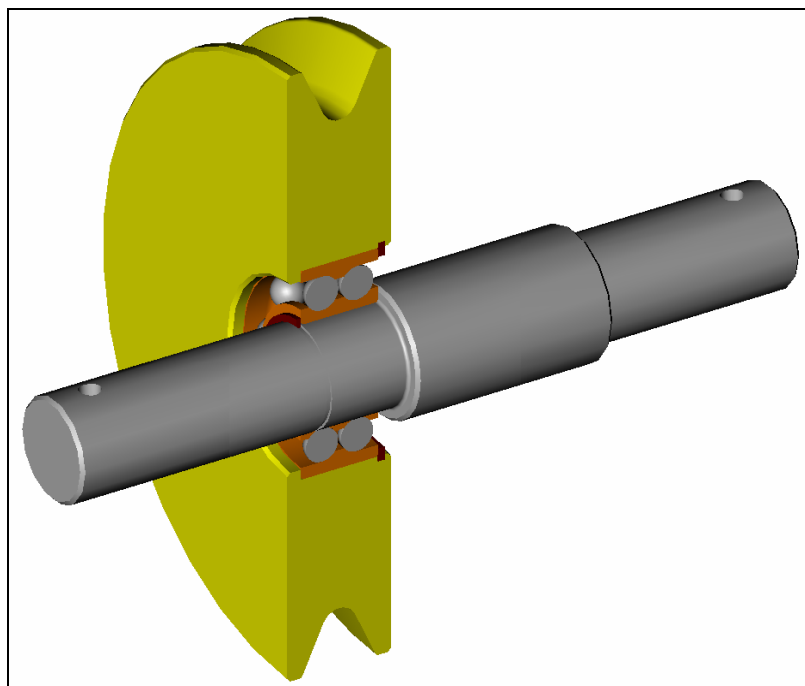


Figura 7.16. Sección del conjunto polea-eje j (situadas en el carro de la grúa)





## 7.7. Tambores

### 7.7.1. Generalidades

La función de los tambores de cables es la de ir almacenando el cable sobrante al producirse los distintos movimientos de la grúa (montaje de la grúa, elevación y traslación de la carga). Se pueden clasificar los tambores utilizados en la grúa en dos grupos:

- De una capa: El cable se enrolla en una sola capa como en el tambor de traslación.
- De varias capas de cable: El cable se enrolla en capas sucesivas. Es el caso del tambor de elevación y el de montaje (figura 7.17.).



Figura 7.17. Tambor de montaje

Los tambores se suelen fabricar bien en fundición de hierro, de acero fundido, o en construcción de chapa de acero soldada, siendo esta última opción la utilizada para los tambores de la grúa, debido a las pequeñas series que de ésta se fabrican.

En el caso de la presente grúa tanto el tambor de elevación como el de traslación se accionan directamente por un motoreductor, mientras que el tambor de montaje es accionado a través de un engranaje desde el eje que atraviesa el tambor de elevación.

La longitud del tambor de elevación debe ser tal que en la posición inferior del gancho queden entre dos y tres espiras muertas, para reforzar la fijación del cable e impedir que la carga quede colgando de ésta.



### 7.7.2. Características de los tambores de la grúa

Los tres tambores montados en la grúa tienen una garganta para un mejor guiado y apoyo del cable. Tanto el tambor de elevación como el de montaje son de almacenamiento de cable. Su función es la de proporcionar cable o irlo recogiendo cuando los distintos movimientos lo exijan (en este caso para elevar la carga y para montar la grúa respectivamente).

En el tambor de traslación el que el cable sólo se apoya en una capa (no se va enrollando encima de sí mismo) ya que éste se enrolla por ambos lados. Dicho de otra manera, cuando el tambor gira, el cable en un extremo del tambor se desenrolla mientras que en el otro extremo se enrolla. La operación se invierte al cambiar el sentido de giro del tambor. De esta manera se puede mover el carro de traslación en ambos sentidos, ya que de otra forma no sería posible al actuar los cables sólo a tracción. El resultado es equivalente a poner una polea, salvo que entonces el cable resbalaría.

### 7.7.3. Perfil de garganta

La siguiente figura y tabla muestran las dimensiones que ha de tener el perfil de la garganta del tambor, según la DIN 15601.

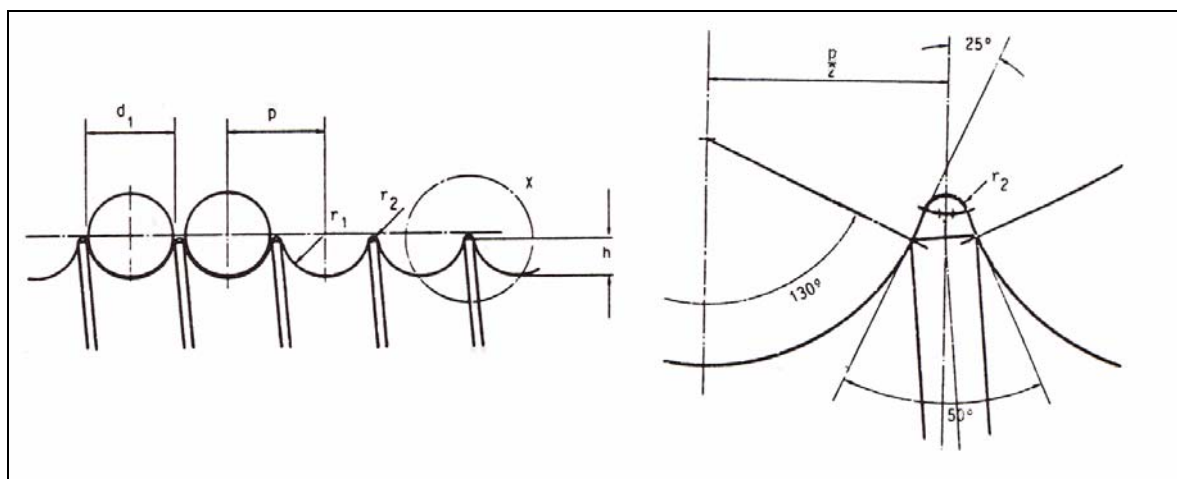


Figura 7.18. Notación para el perfil de garganta del tambor según DIN 15601



La tabla que hace referencia a la anterior figura es la siguiente:

Radio de garganta		p	h	r <sub>2</sub>	Diámetro nominal del cable
r <sub>1</sub>	dif. adm..				d <sub>1</sub>
1,6	+0,1	4	1,2	0,5	3
2,2		5	1,5	0,5	4
2,7		6	1,9	0,5	5
<b>3,2</b>		<b>7</b>	<b>2,3</b>	<b>0,5</b>	<b>6</b>
3,7		8	2,7	0,5	7
4,2		9,5	3,0	0,5	8
4,8		10,5	3,5	0,5	9
<b>5,3</b>	+0,2	<b>11,5</b>	<b>4</b>	<b>0,8</b>	<b>10</b>
6		13	4,5	0,8	11
6,5		14	4,5	0,8	12
7		15	5	0,8	13
7,5		16	5,5	0,8	14
8		17	6	0,8	15
8,5		18	6	0,8	16
9		19	6,5	0,8	17
9,5		20	7	0,8	18
10		21	7,5	0,8	19
10,5	22	7,5	0,8	20	

Tabla 7.9. Dimensiones del perfil de garganta (Unidades en mm) [Fuente: Larrodé, Miravete, 1996, pág. 164]

Luego para los diámetros de cable que se utilizan en la grúa (6mm y 10mm) la designación de los perfiles de garganta para tambores es:

Cable 6mm: Perfil de garganta DIN 15061 – 3,2 × 7

Cable 10mm: Perfil de garganta DIN 15061 – 5,3 × 11,5

#### 7.7.4. Distancia entre tambor y polea

Para alargar la vida del cable y que éste trabaje en buenas condiciones conviene asegurarse de que los ramales de cable que van desde las poleas a los tambores no formen con el plano longitudinal de la polea un ángulo demasiado grande. Para el caso de los tambores acanalados, este ángulo máximo se toma de 6°, con lo que conociendo el ancho del tambor, se puede calcular la distancia mínima a la que puede estar la polea (ver anexo B apartado B.8.2.).



### 7.7.5. Sentido de arrollamiento del cable

Es importante seguir el sentido oportuno de enrollamiento de los cables en los tambores. Es fácil recordarlo mediante las siguientes reglas que pueden seguirse en la figura 7.19.

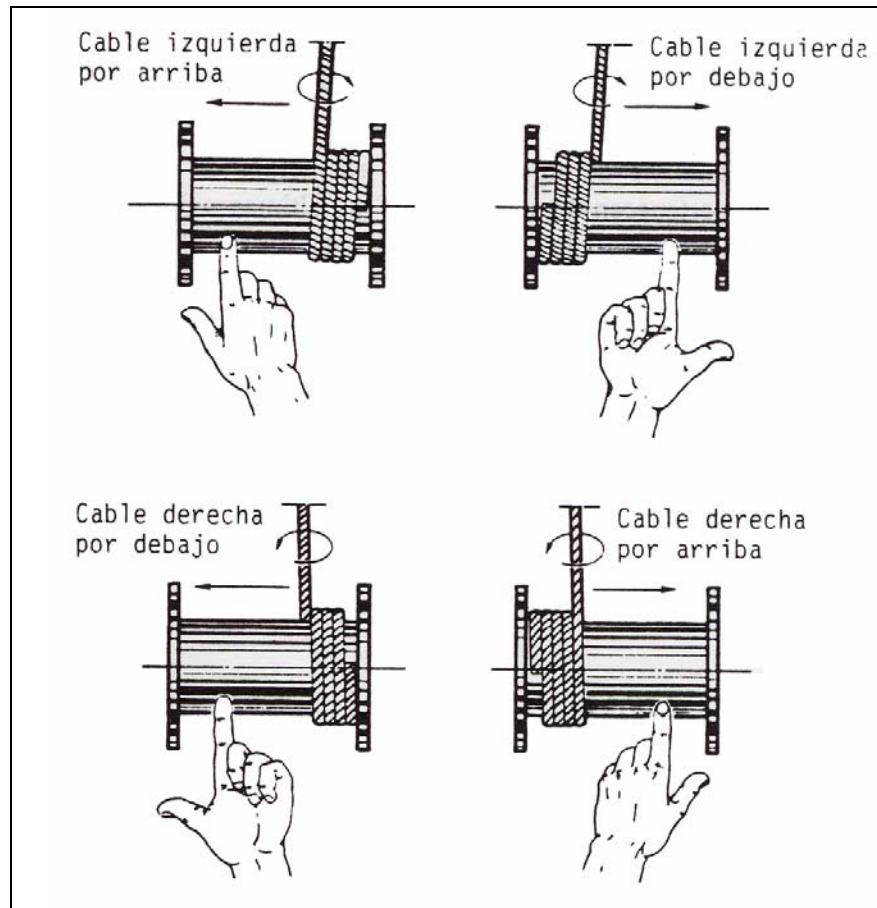


Figura 7.19. Sentido del arrollamiento [Fuente: Larrodé, Miravete, 1996, pág. 97]

Para los cables con cableado a la derecha se emplea la mano izquierda, y para los cableados a la izquierda la mano derecha. Ambas manos se colocan con la palma hacia abajo si el cable se enrolla o desenrolla por arriba del tambor, y con la palma hacia arriba si el cable se enrolla o desenrolla por debajo.



### 7.7.6. Fijación del cable

Cada tambor tiene previsto un pequeño agujero en la valona a la altura de la garganta. Para fijar el cable en el tambor, hay que pasar este por el agujero hasta la cara exterior de la valona. Entonces se envuelve a través de una pieza llamada corazón, tal y como se ve en la figura 7.20. El corazón va entre el cable y una pieza de chapa metálica soldada a la valona. Una vez cogido el cable, éste se enrolla en las gargantas del tambor.

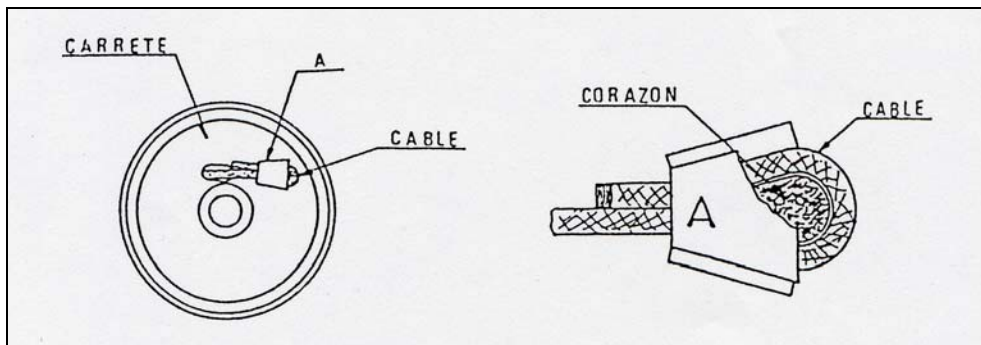


Figura 7.20. Fijación del cable al tambor

### 7.7.7. Tabla resumen de los tambores de la grúa

Tambor	$\varnothing_{\text{cable}}$	$\varnothing_{\text{tambor}}$	Longitud útil	Espesor pared	Radio garganta	Paso	Longitud de cable que puede enrollar
Elevación	10	220	450	6	5,3	11,5	86
Traslación	6	300	180	6	3,2	7	-
Montaje	10	220	430	6	5,3	11,5	82

Tabla 7.10. Resumen de las características de los tambores (unidades en mm)

### 7.7.8. Ruedas dentadas entre tambores

Para accionar el tambor de montaje usando el motoreductor de elevación se instala un engranaje entre ambos ejes. El piñón es la rueda dentada acoplada al eje del tambor de elevación. La corona es la rueda dentada acoplada al eje del tambor de montaje. La tracción entre los ejes y sus respectivas ruedas dentadas se asegura mediante chavetas.



Las características de este engranaje son las de la tabla 7.11.

Características	Símbolo	Piñón	Corona
Módulo (mm)	$m'$	5	
Número de dientes	$z$	32	80
Diámetro primitivo (mm)	$d'$	160	400
Anchura de los dientes (mm)	$b$	35	
Ángulo primitivo (deg)	$\alpha'$	20°	
Altura de la cabeza (mm)	$h_a$	5	
Altura del pie (mm)	$h_f$	6,25	
Altura del diente (mm)	$h$	11,25	
Diámetro de cabeza (mm)	$d_a$	170	410
Diámetro de pie (mm)	$d_f$	147,50	387,5

Tabla 7.11. Características del engranaje de montaje

## 7.8. Ruedas de traslación del carro

Las ruedas en la grúa de este proyecto, sólo se utilizan en el desplazamiento del carro a lo largo de la pluma. En el caso de las ruedas del carro, estas son todas libres, ya que el carro se mueve mediante los correspondientes cables. Los perfiles de rodadura del carro son los perfiles cuadrados de la pluma.

De los distintos tipos de perfiles de rueda de la figura 7.21., se escoge el b), que es la rueda cilíndrica de una pestaña, para que el carro no descarrile. Esta es la rueda que se recomienda en el Miravete para los carros de traslación.

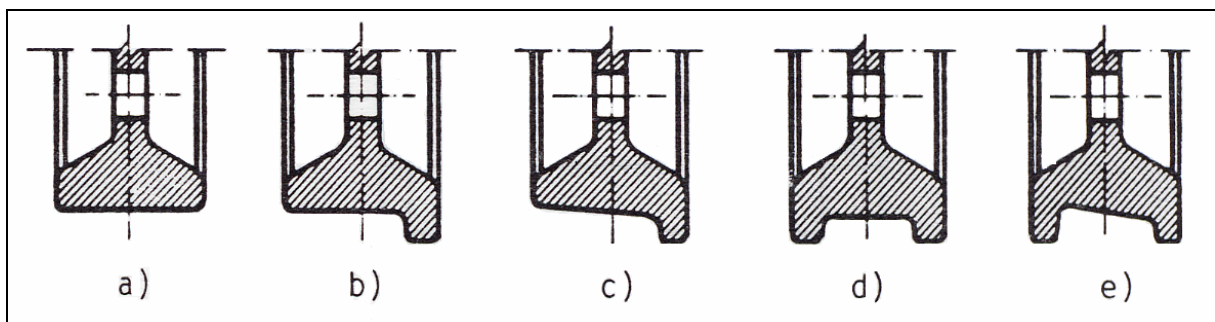


Figura 7.21. Tipos de perfiles de rodadura [Fuente: Larrodé, Miravete, 1996, pág. 203]





## 8. MONTAJE DE LA GRÚA

Una de las principales ventajas de esta grúa es su facilidad para montarse y desmontarse, respecto de las demás grúas torre, que o bien necesitan otra grúa para su montaje, o éste es muy lento. En este capítulo se explica detalladamente todos los pasos que comprende el montaje y desmontaje de la grúa, ya que si bien éste es muy rápido, no deja de ser complicado, sobre todo el funcionamiento del sistema de cables que permiten colocar el mástil en posición vertical y levantar el mástil interior. Todo ello se consigue mediante un sistema de cables y poleas explicado en este apartado.

La grúa, desmontada y lista para su transporte, es la que se ve en la figura 8.1. Se observa que faltan la pluma delantera, el carro y el gancho. Esto es debido a que se desmontan durante el transporte para que el conjunto ocupe menos espacio y tener así una mayor comodidad en el desplazamiento. También se quitan los cables y las eslingas para así poder plegar los puentes.

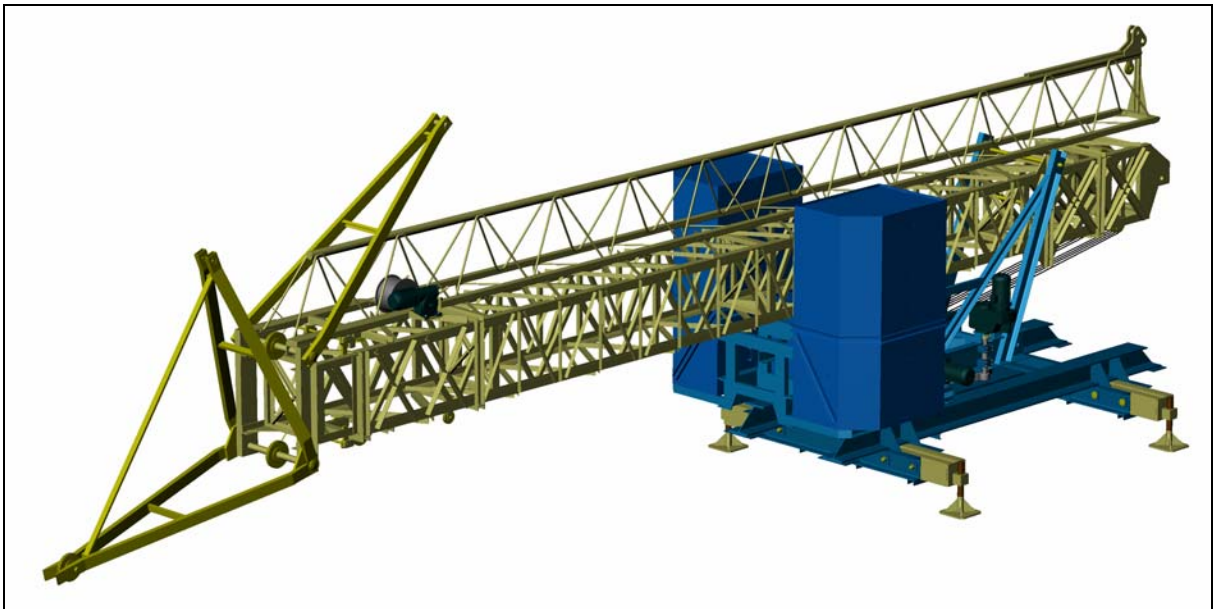


Figura 8.1. Grúa desmontada





## 8.1. Montaje de la grúa

### 8.1.1. Preparación del terreno y transporte de la grúa

Es muy importante que el terreno sobre el que ha de instalarse la grúa sea firme y resistente. Además de construir una cimentación de base, hay que verificar que una vez instalada la grúa, ésta no pueda colisionar con ningún obstáculo como los tendidos eléctricos, telefónicos, árboles o inmuebles colindantes cuando efectúe los movimientos de elevación y rotación.

Es importante mantener una distancia desde el centro de la cimentación (eje de rotación de la grúa) hasta el primer obstáculo (fachadas, salientes, andamios) de 2,80m en toda la altura de la grúa y de 3m en la base (zona del contrapeso).

La grúa se transporta en un camión góndola o remolcándola (tras instalarle un tren de ruedas en el zócalo). De todas formas esta segunda opción sirve sólo para distancias cortas ya que la normativa impide circular a más de 25km/h debido a que las medidas de la grúa plegada son de 11,5m de longitud, 2,55m de ancho y 3,70m de altura. Este tren de ruedas se desmonta al instalarse la grúa en su lugar de trabajo.

### 8.1.2. Operaciones previas

Antes de proceder al montaje de la grúa propiamente dicho hay que realizar una serie de operaciones previas:

- Situar la grúa en su posición sobre la base preparada a tal efecto.
- Situar en su posición extendida los estabilizadores. Desmontar el tren de ruedas. Nivelar el zócalo para que la zona de la corona de orientación quede horizontal.
- Quitar los pasadores utilizados durante el transporte para inmovilizar los distintos subconjuntos de la grúa.
- Conectar la alimentación eléctrica y la botonera.
- Verificar que las eslingas 2 y 3 así como el cable de montaje estén bien colocado en el tambor y en todas las poleas.



Tras estos pasos, la grúa se presenta tal y como se ve en la siguiente figura 8.2.:

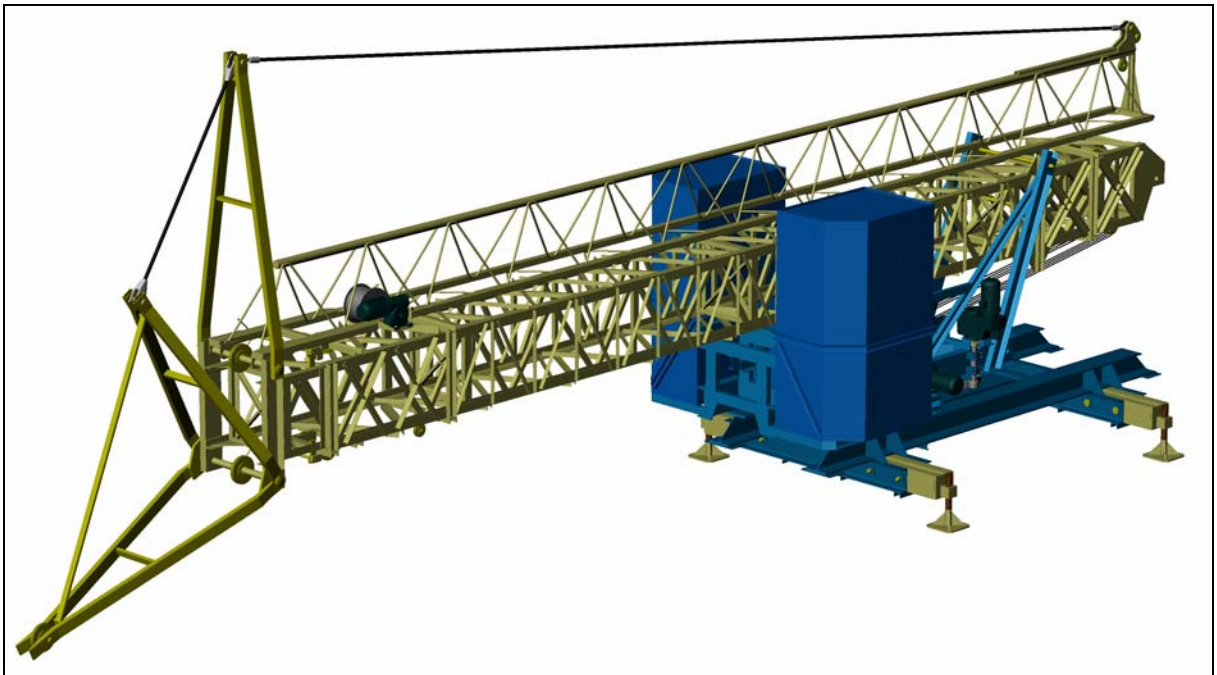


Figura 8.2. Vista de la grúa con las eslingas 2 y 3 montadas

Después se procede a fijar la pluma delantera a la trasera mediante el pasador correspondiente (ver apartado 6.7. para una vista más detallada) con lo que la grúa presenta el aspecto de la figura 8.3. Aunque el propio peso mantiene la posición adecuada (el pasador está en la parte superior de la pluma), la unión se asegura con dos tornillos en la parte inferior.



Figura 8.3. Vista de la grúa con la pluma delantera montada



### 8.1.3. Colocación del cable del carro

Tras situar el carro en la pluma (asegurando que se desplaza correctamente a lo largo de su superficie de rodadura), se colocan los dos cables que permitirán moverlo a lo largo de ésta. Se fija en primer lugar el cable 1 (ver figura 8.4) en el carro y se lleva el otro extremo hasta la polea de reenvío del extremo de la pluma (polea  $m$ ). A continuación se conduce el cable por el interior de la celosía de la pluma hasta hacerlo pasar por encima de la polea  $k$ . Finalmente se dirige hasta el tambor donde se le dan varias vueltas (dependerá de donde esté situado el carro) antes de fijarlo en la valona mediante la pieza correspondiente.

El segundo cable (cable 2 en la figura 8.4), tras fijarlo en el otro lado del tambor y darle varias vueltas alrededor de éste, se lleva por debajo de la pluma hasta fijarlo en el carro.

A modo de indicación, si el carro se encuentra lo más cerca del mástil, el cable 1 que pasa por las poleas  $m$  y  $k$  (es decir el que pasa por en medio de la pluma), tan solo tiene que enrollarse tres vueltas (lo mínimo para asegurar un rozamiento y de esta manera asegurar la tracción). Mientras que el otro cable se enrolla en casi todo el tambor, ya que este es el que va a desenrollarse cuando el carro se desplaza desde el mástil hasta el extremo opuesto de la pluma.

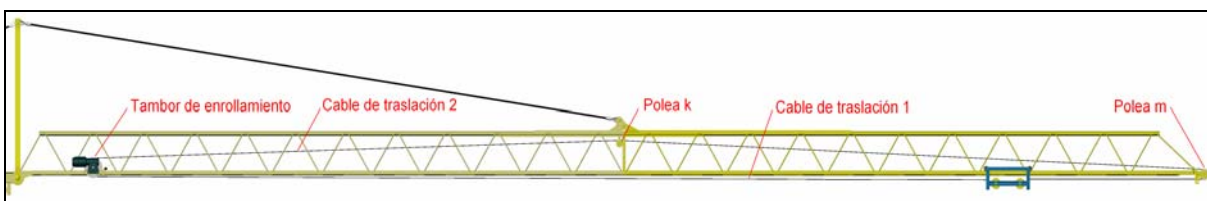


Figura 8.4. Cable de tracción del carro



#### 8.1.4. Colocación del cable de elevación (1ª parte)

El cable de elevación es el que permite elevar la carga. Este cable se acciona desde el chasis donde está colocado el motoreductor de elevación. En un primer momento, al estar la grúa plegada no se fijará el extremo del mástil en el tambor de elevación. Se hará pasar el cable por encima de la polea  $g$  y acto seguido por debajo de la polea  $h$  (figura 8.5.) A continuación se llevará hasta la polea  $j_2$  del carro, la polea  $l$  del gancho y de vuelta al carro pero esta vez por la polea  $j_1$ . Finalmente se fijará el cable en el extremo de la pluma a través de un mosquetón.

El resto del cable se dejará momentáneamente (el que tiene que fijarse al tambor de elevación) y se continuará con el levantamiento de la grúa. Después se procederá a la colocación del resto del cable, tal y como se explica en el apartado 8.1.8.).

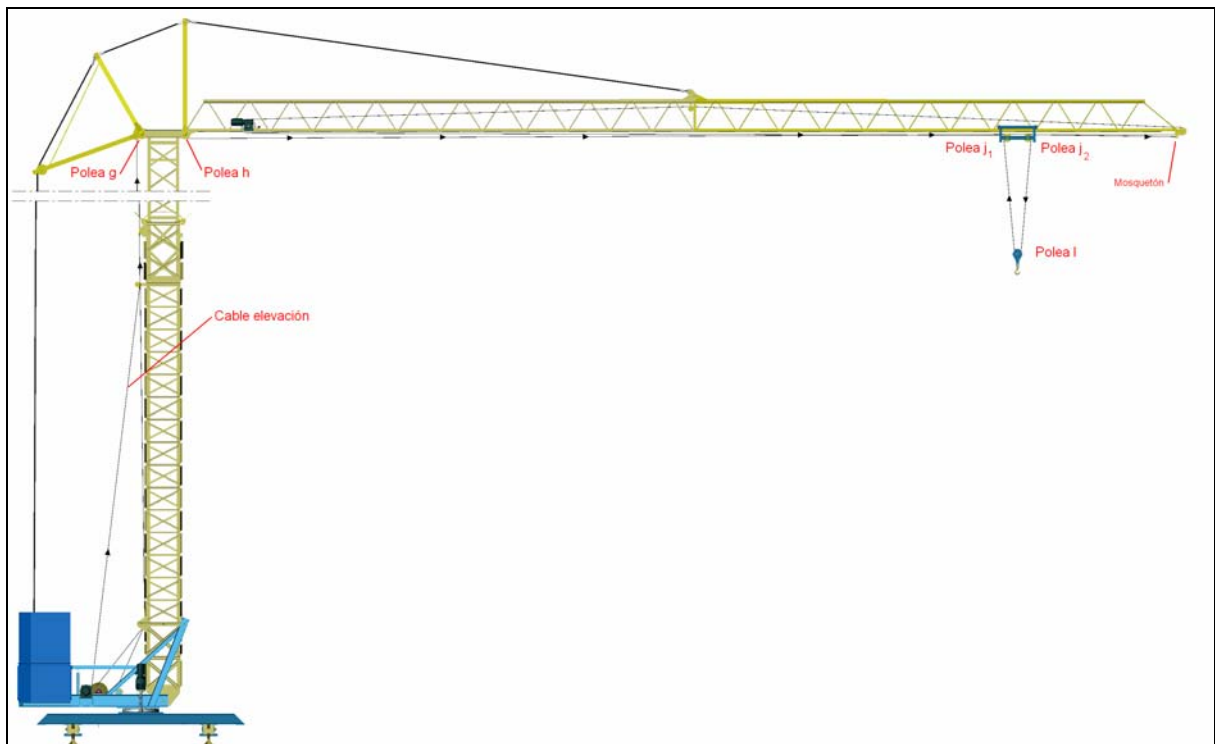


Figura 8.5. Colocación cable elevación



### 8.1.5. Elevación del mástil

Llegados a este punto se procederá a la elevación del mástil (de la posición horizontal a la posición vertical). Se recuerda que la grúa está tal y como se ve en la figura 8.3. salvo que ahora se han colocado los cables de traslación del carro y de elevación de la carga.

Es importante señalar aquí que es el mismo sistema de cables y poleas el que permitirá en un principio situar el mástil en posición vertical para después desplegar el mástil interior del exterior. Al realizarse las dos operaciones descritas con un mismo recorrido del cable, habrá que impedir una de las dos para realizar la otra. En la práctica esto se consigue, cuando se pretende elevar el mástil, colocando un pasador situado en el mástil exterior que bloqueará la salida del mástil interior (ver figura 8.7.). Más adelante se explicará como conseguir la operación inversa.

El sistema de cables de montaje ya está montado (no se ha requerido desmontarlo para su transporte), por lo que bastará con accionar el motor de elevación (que es el que acciona el tambor de montaje), para elevar progresivamente el mástil. Tal y como se ve en la figura 8.6. de la página siguiente, el mástil gira alrededor de la articulación en la parte superior del chasis (parte superior de la figura). Al accionar el motor, el cable va recogiendo y enrollándose en el tambor, con lo que se acercan los dos grupos de poleas *a* y *b*, uno perteneciente al chasis y el otro al mástil. Para un esquema más detallado del circuito de cables de montaje ver el apartado 7.12. de la página 65 dedicado exclusivamente a los sistemas de cables.

Cuando el mástil llega a la posición vertical (figura 8.9.) se tiene que introducir el pasador inferior que une el chasis con el mástil para asegurar que el mástil quede en la posición vertical (figura 8.7.). De esta manera, el mástil queda unido al chasis con dos pasadores.



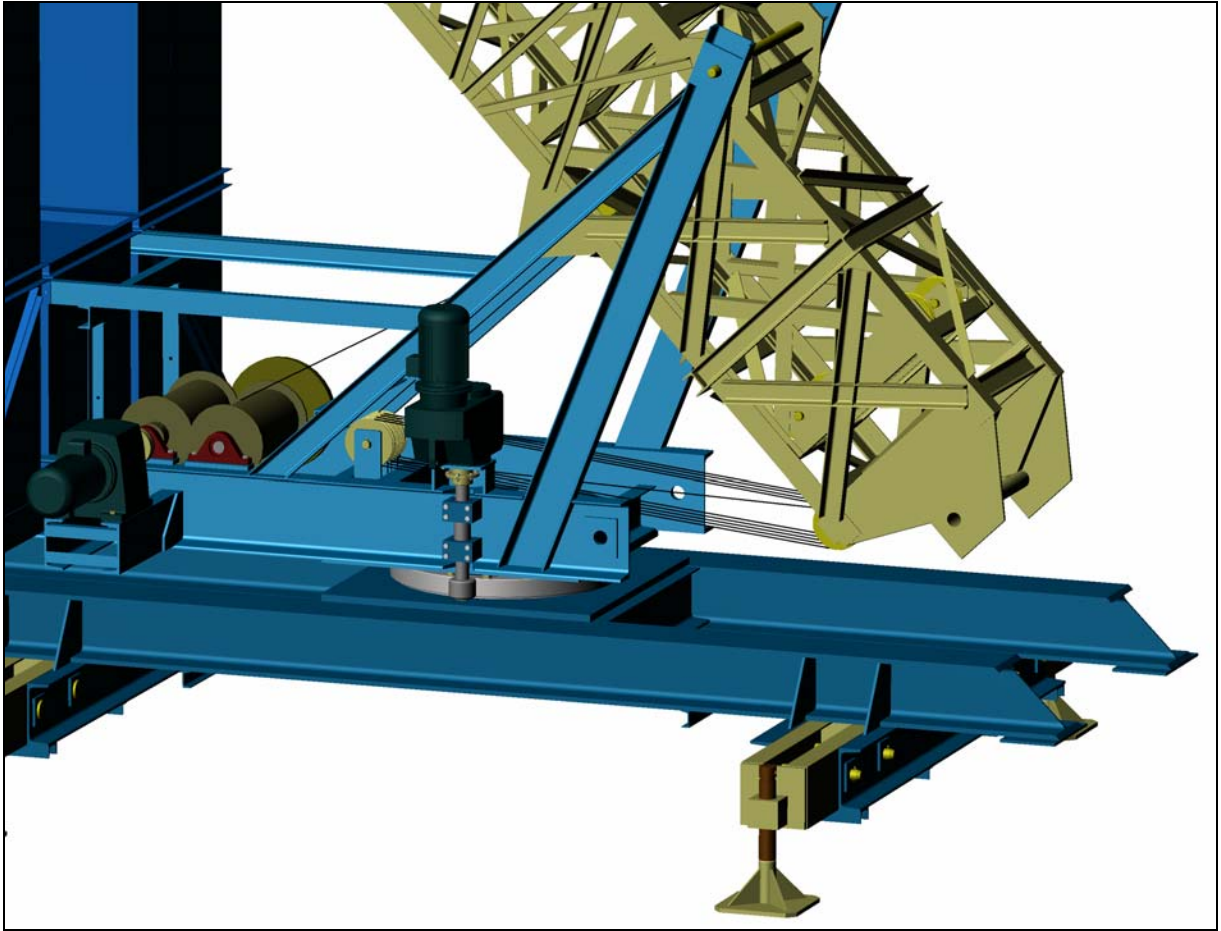


Figura 8.6. Detalle de la elevación del mástil

Una vez asegurada la posición vertical, se acciona el motor de elevación en sentido contrario para destensar los cables de montaje. Finalmente se asegura el pasador del mástil-chasis mediante pasadores de aletas.

Es importante señalar que durante la operación de elevación del mástil, el extremo de la pluma lo que hace es deslizarse por el suelo de manera que una vez el mástil en posición vertical, el extremo de la pluma está apoyado en el suelo tal y como se ve en la figura 8.9.

También hay que explicar que la eslinga 1 no se tensa aún, tal y como se ve en la figura 8.8, debido a que el mástil interior no se ha desplegado del exterior, por lo que los puentes están a una altura inferior a la de la grúa montada.



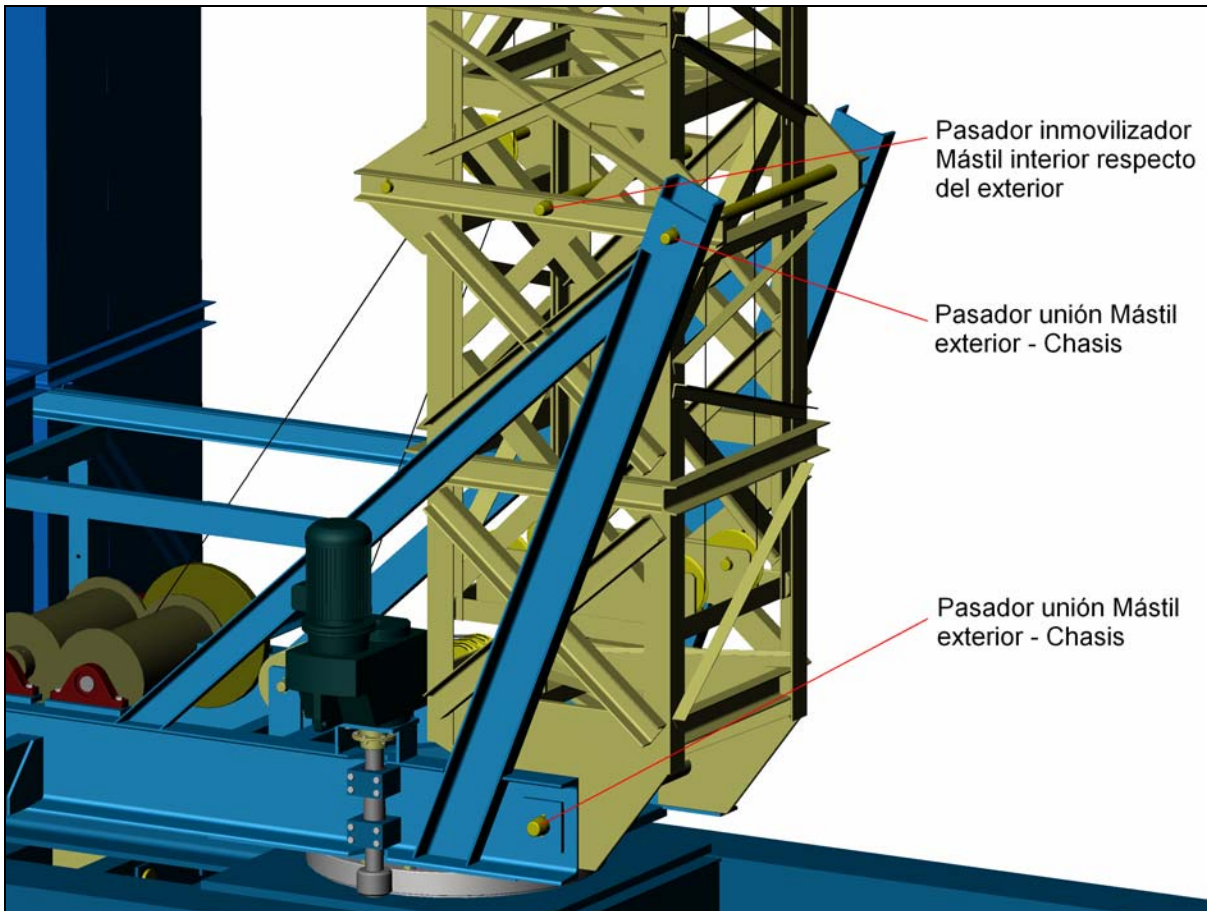


Figura 8.7. Pasador que inmoviliza el mástil exterior

En la página siguiente se muestran dos vistas generales de la grúa en el momento en que se levanta el mástil. En la primera (figura 8.8.) el mástil está a medio recorrido. A medida que el mástil se levanta, la pluma se aleja del chasis desplazándose por el suelo.

En la figura 8.9. el mástil está completamente vertical y asegurado mediante los correspondientes pasadores. Son finalmente dos pasadores los que unen el mástil exterior con el chasis.





Figura 8.8. Levantamiento del mástil



Figura 8.9. Mástil en posición vertical (Nótese que la punta de la pluma se ha alejado)





### 8.1.6. Llenado de los cofres para el contrapeso

Tal y como se ha dicho en el apartado dedicado a los contrapesos, éstos suponen un masa total de 11.000kg. Se llenarán con grava. Hay que recordar que poner más contrapeso del necesario también es perjudicial para el rodamiento principal de la grúa.

Se tiene que verificar que se ha quitado el pasador que impide al mástil interior salir del mástil exterior (figura 8.7.), para proceder al siguiente apartado.

### 8.1.7. Levantamiento del mástil interior y de la flecha

Ahora se levantara el mástil interior, que hasta esta operación estaba encajado dentro del mástil exterior. Hay que verificar que la eslinga 1 está bien colocada en su fijación, ya que es en esta operación cuando empezará a tensarse.

Se acciona el motor de elevación que es el mismo que en la operación de levantamiento del mástil hasta la posición horizontal. El mástil interior empieza a desplegarse debido ha que se ha quitado el pasador que antes lo impedía. Además los grupos de poleas a y b ya no pueden acercarse más como lo hacían en el levantamiento del mástil ya que el mástil exterior se ha inmovilizado respecto del chasis con dos pasadores.

El recorrido que realiza el cable es el de la figura 7.12. del apartado 7.5. Al accionar el motor de elevación, el cable va recogiénose de manera que el mástil interior se eleva debido a que está sostenido por los cables en su base.

A medida que el mástil interior se va desplegando, éste va pasando por unos trinquetes (ver figura 8.10). Los trinquetes están articulados a una pieza soldada al perfil UPN que hace de cinturón alrededor del mástil exterior (ver figura 8.10). De esta manera, como la articulación está en al exterior del mástil, los trinquetes sólo se pueden mover hacia arriba, ya que en sentido contrario se encuentran con el perfil UPN del mástil exterior. Con este sistema, cuando el mástil interior se eleva, empuja el trinquete hacia arriba y le permite pasar. Pero en sentido contrario, el trinquete sirve de apoyo al mástil interior.



Llega un momento en que se tensa la eslinga 1 con lo que entonces empieza a levantarse la pluma. Esto ocurre cuando ya prácticamente se ha desplegado todo el mástil.

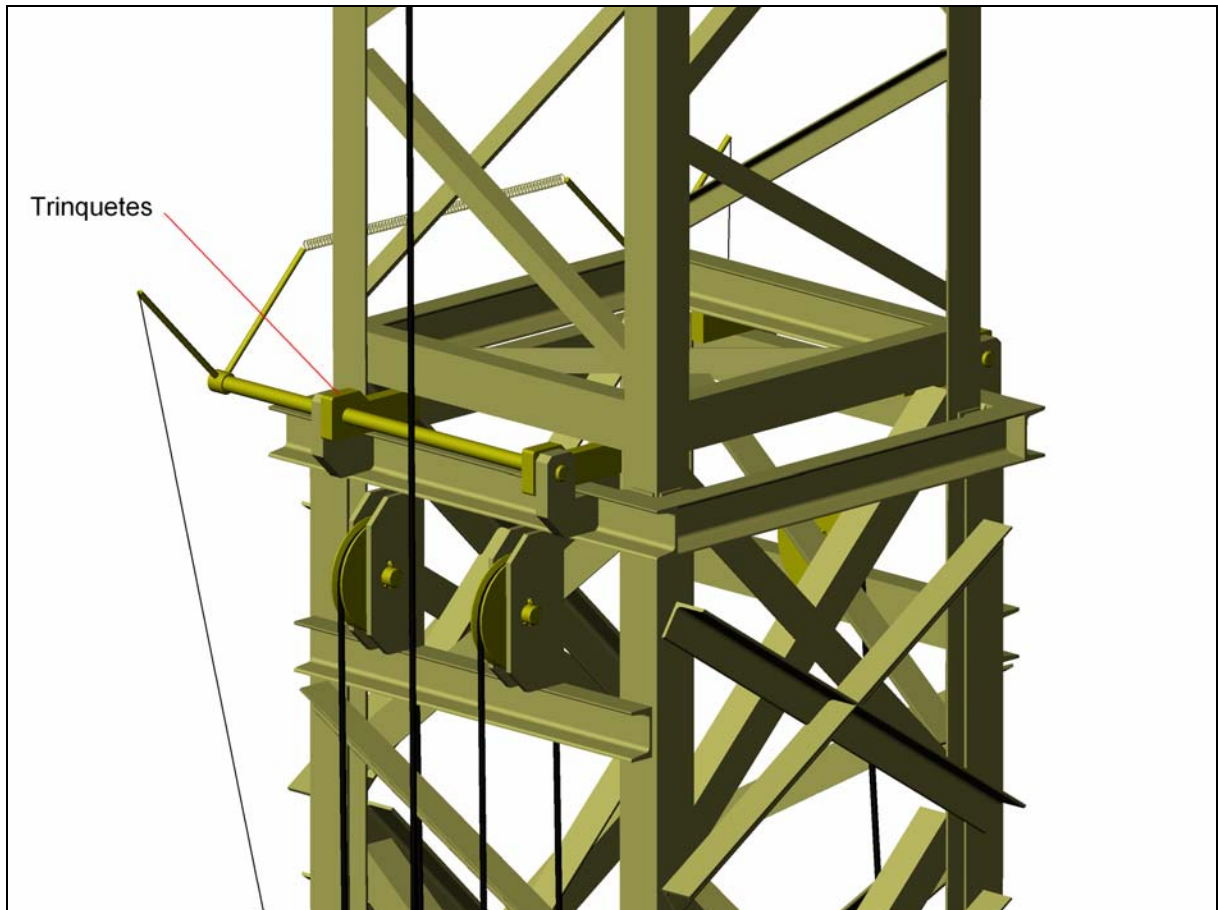


Figura 8.10. Vista del soporte del mástil interior

La figura 8.11. de la página siguiente muestra la importancia de los puentes en el momento en que la eslinga se tensa y empieza a levantar la pluma. El tercer puente permite que haya cierta distancia entre la eslinga 1 y el mástil, con lo que se consigue reducir los esfuerzos necesarios para levantar la pluma.



La siguiente figura 8.11. muestra el momento en que al desplegar el mástil interior, la eslinga se tensa, con lo que a partir de esta posición, también se ira levantado la pluma hasta quedar tal y como se ve en la figura 8.12.



Figura 8.11. Despliegue del mástil interior



La figura 8.12. muestra la grúa completamente montada. Tan solo queda fijar el cable de elevación al tambor y regular los mecanismos de seguridad, operaciones explicadas en los dos siguientes apartados.



Figura 8.12. Grúa montada



### 8.1.8. Colocación del cable de elevación (2ª parte)

El extremo del cable de elevación ha de acercarse al tambor de elevación y tras darle varias vueltas fijarlo tal y como se explica en el apartado 7.7.6. de la página 76.

### 8.1.9. Regulación y verificación de los mecanismos de seguridad

#### *Final de carrera de la altura de elevación del gancho.*

En primer lugar hay que calibrar el final de carrera de la altura de elevación del gancho para evitar que éste suba más allá del carro (ha de estar como mínimo a 50cm del carro). Indirectamente esto se consigue limitando el número de vueltas del tambor de enrollamiento de elevación. Elevando el carro hasta su altura máxima se regula el tornillo para accione el interruptor que permite la desconexión eléctrica.

#### *Limitación de la palanca*

Para proteger la grúa de esfuerzos excesivos que pueden dañar los mecanismos y provocar el vuelco de la grúa, nunca hay que sobrepasar la carga límite por lo que es necesario una correcta regulación del limitador de carga máxima. Este está situado en la eslinga 1, junto al chasis, que es el que recibe el esfuerzo provocado por la carga. Para verificar su correcto funcionamiento, se debe colgar una carga máxima de 8.000N en la punta de la flecha. Después hay que repetirlo con una carga un 5% superior, con la carga en el suelo, a punto de levantarse. El limitador tendría que desconectar el motor de elevación justo en el momento de intentar elevar la carga.

#### *Limitación de la carga máxima*

Este limitador se encuentra en la polea  $k$  en lo alto del mástil exterior. Se regula de la misma manera que el limitador anterior, pero con una carga de 16.000N a mitad de la pluma, que es la máxima que la grúa puede levantar.



## 8.2. Desmontaje de la grúa

### 8.2.1 Operaciones previas

Las operaciones a realizar son las mismas que para el montaje pero en sentido inverso salvo la operación de descenso del mástil interior, que por las razones explicadas en el apartado 8.1.7. está impedida por los trinquetes.

### 8.2.2. Descenso del mástil interior

Para descender el mástil interior, primero hay que elevarlo unos 15cm. Entonces mediante unos cables, se levantan los trinquetes (figura 8.10.). Hay que mantenerlos levantados durante toda la operación de descenso (se puede fijar el cable). Entonces se acciona el motor de elevación en sentido contrario para hacer descender el mástil interior.

Cuando el mástil interior ya está dentro del mástil exterior, hay que colocar el pasador para poder hacer bajar el mástil.





## 9. SISTEMAS DE SEGURIDAD

### 9.1. Accidentes de grúas de construcción

Los accidentes de grúas suelen ser debidos a la acumulación de diversas causas que por si solas no tendrían mayores consecuencias. Por un lado el gruista puede manipular de manera incorrecta las cargas o elevar más peso del permitido por la grúa. Un viento excesivo puede llegar a provocar el vuelco de la grúa. También pueden romperse cables, pasadores o tirantes.

Sin embargo las causas anteriores no tendrían que causar ningún desperfecto en la grúa si los mecanismos de seguridad descritos en los apartados siguientes funcionaran correctamente. Es pues cuando fallan ambas cosas cuando se puede producir un accidente como el de la figura 9.1. En esta figura se puede observar el resultado de la caída de una grúa torre de grandes dimensiones (ver el tamaño del mástil), en este caso debido al fuerte temporal.



Figura 9.1. Accidente de grúa





## 9.2. En caso de viento

Una de las causas más importantes de los accidentes de grúas es el viento. Para ello está previsto que la grúa tenga una posición llamada de “veleta” en la el motor de giro queda desembragado y la parte giratoria de la grúa se posiciona de manera que ofrece al viento la mínima resistencia. La grúa ha de estar en posición de veleta fuera de la jornada de trabajo y siempre que el viento supere los 72km/h.

Cuando por un descuido del operario o por un fallo en el freno motor se impide que éste esté desembragado, la grúa no estará en posición de veleta y un viento excesivo provocará su vuelco.

Si el viento sobrepasa los 130km/h que es el viento máxima con la grúa fuera de servicio habrá que proceder a desmontar la grúa o fijarla con cables.

## 9.3. Detectores de final de carrera

La grúa tiene instalados varios detectores de final de carrera tanto para su utilización normal como para el montaje.

El detector de final de carrera del gancho está instalado en un extremo del tambor de elevación, y tras su calibración desconecta la alimentación del motor cuando el gancho se aproxima a medio metro del carro. Su funcionamiento consiste en contar las vueltas que efectúa el tambor de enrollamiento.

El detector de final de carrera del carro desconecta el motor de traslación cuando el carro sobrepasa el límite establecido en ambos extremos de la pluma.



## 9.4. Limitadores de carga y de palanca

### 9.4.1. Limitador de carga

La carga se mide indirectamente a través de la tensión provocada en el cable de elevación. En la fijación de la polea  $k$ , se instala el microcontacto limitador de la figura siguiente. Lo más rápido y fiable para su regulación es directamente sobre la grúa con una carga que sobrepase ligeramente los 16.000N, tal y como se explica en el apartado dedicado al montaje de la grúa..

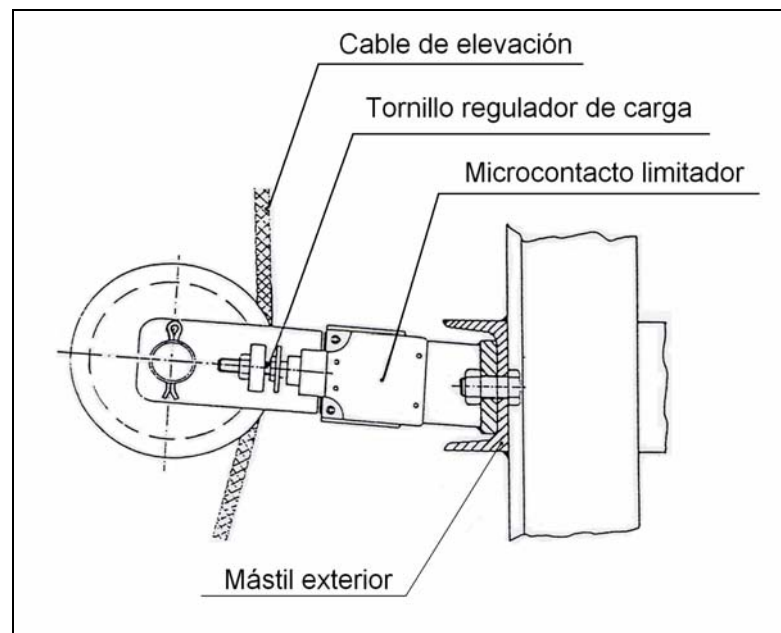


Figura 9.2. Limitador de carga

### 9.4.2. Limitador de palanca

El limitador de palanca funciona de la misma manera que el limitador de carga salvo que éste está colocado entre la eslinga 1 y el chasis. Mediante unos muelles de platillos se consigue un desplazamiento de la eslinga proporcional a la tensión. Si ésta supera un cierto valor, un interruptor desconecta la alimentación del motor de elevación.



## 9.5. Frenos

Tanto el motor de elevación como el de giro llevan acoplados a su estator un freno electromagnético que actúa cuando falla la alimentación eléctrica. Su funcionamiento es atraer el disco de frenado, cuando el electroimán funciona, lo que permite al motor girar. Cuando no se alimenta el electroimán, ya sea porque se deja de pulsar el accionamiento o por un fallo en el suministro eléctrico, el disco actúa como freno.

Es importante regular correctamente el freno para que el par de frenado permita que el movimiento finalice sin brusquedad. Esto se realiza con la tuerca de regulación del freno, que actúa directamente sobre los muelles de compresión del disco de frenado. Es importante una revisión periódica del freno, tal y como se explica en el apartado siguiente sobre el mantenimiento de la grúa.



## 10. MANTENIMIENTO DE LA GRÚA

### 10.1. Consideraciones generales

Es importante seguir una serie de normas y precauciones que aparte de evitar accidentes como el vuelco de la grúa, garantizarán un buen funcionamiento de la grúa durante toda su vida útil. Estas consideraciones son comunes a las grúas en general:

- No se deben arrancar con la grúa objetos fijados al suelo o arrastrar cargas. Tampoco se deben levantar cargas con el cable no vertical.
- Está prohibido transportar o levantar personas con la grúa.
- No se debe cambiar el sentido de la marcha de forma súbita (contramarcha), siendo siempre necesario que el movimiento se pare antes de dar la marcha contraria.

Tras la primera semana de instalación de la grúa hay que realizar unas verificaciones generales como:

- Verificar la horizontalidad del zócalo debido a que el terreno puede haber asentado y regular el nivel de la grúa en caso necesario.
- Verificar la tensión del cable del carro y tensarlo si es necesario.
- Verificar los frenos de los motores.
- Verificar el correcto funcionamiento de los limitadores de par.
- Proceder a un engrasado general de la grúa.

### 10.2. Corriente eléctrica

La corriente eléctrica tendrá que ser trifásica de 380V y 50Hz. Hay que prever también una toma de tierra que habrá que verificar periódicamente. La grúa necesita un máximo de 30A, ya que aparte de los motores, está todo el cuadro eléctrico correspondiente a los detectores de final de carrera y los limitadores de carga. Es importante operar con una tensión constante ya que operando con una tensión defectuosa se corre el riesgo de quemar las bobinas de los motores.



### 10.3. Mantenimiento de los motoreductores

La protección de los motores es de la clase IP-55 lo que significa que la protección contra depósitos de polvo perjudiciales está garantizada. También implica la protección completa contra contacto y la protección contra chorro de agua, procedente de un inyector, que vaya dirigido desde todas las direcciones contra la máquina; no debe tener efecto perjudicial.

Es necesario cambiar el lubricante tras las primeras 500 horas de funcionamiento. Una vez efectuado el periodo de rodaje, habrá que controlar el estado del lubricante tras 12.000 horas de trabajo.

Los reglajes de los frenos de los motores se han de verificar cada semana. Cada mes habrá que controlar el desgaste de los frenos, verificando que no contienen partículas extrañas y cambiándolos cuando el desgaste sea total.

### 10.4. Mantenimiento del gran rodamiento de giro

En el mantenimiento del rodamiento de giro el engrase es la operación principal. El primer reengrase del sistema de rodadura y el engrase del dentado deberán efectuarse inmediatamente después del montaje del rodamiento. El objetivo de rellenar de grasa no es otro que disminuir el rozamiento además de hermetizar y proteger el rodamiento contra fenómenos de corrosión. Los periodos de reengrase se efectuaran cada 100 horas de funcionamiento.

Para compensar los efectos de fenómenos de asentamiento, es necesario reapretar los tornillos aplicando el par de apriete requerido. Se realizará este control después de las primeras 100 horas de funcionamiento y a partir de entonces cada 600 horas de servicio. En caso de detectar un par de apriete inadecuado habrá que proceder a cambiar el tornillo.



El rodamiento presenta unos valores de holgura que garantizan unas buenas características de funcionamiento y de rodadura. Es necesario controlar estas holguras en períodos de tiempo regulares.

## 10.5. Mantenimiento de los cables

### 10.5.1. Consideraciones generales

Los cables, debido a su importancia, han de estar siempre en perfectas condiciones. Nunca se debe trabajar con un cable que tenga un hilo roto, ni dejar caer cemento, arena o piedras sobre el cable, debido al riesgo de rotura. Para almacenar un cable, primero hay que desenrollarlo sobre el suelo.

### 10.5.2. Cable antigiratorio

El cable antigiratorio precisa de unos cuidados especiales. Se ha de procurar que en ningún caso descansa sobre el suelo para que no se destense y se muerda a sí mismo en el tambor. Tampoco se puede arrastrar por el suelo debido a que la grasa que lo envuelve arrastraría consigo la arena o pequeñas piedras que son grandes abrasivos par el cable así como de los sitios por donde el cable pasa (gargantas de las poleas, tambores). En caso de que el cable llegara a ensuciarse habría que proceder a su limpieza y reengrase.

Durante los primeros días de uso, el cable antigiratorio experimenta siempre una relajación, por lo que es recomendable no someterlo a la carga máxima admisible por la grúa hasta después de varias horas de uso. También hay que procurar que al final de la jornada de trabajo quede siempre colgando del gancho una pequeña carga de unos 50kg.



## 10.6. Operaciones de engrase

A parte de engrasar correctamente el rodamiento de giro tal y como se ha explicado anteriormente, hay que engrasar toda periódicamente varios de los elementos de la grúa. En todos los montajes y desmontajes se procederá a engrasar tanto la articulación entre el mástil y la pluma como los ejes de las poleas que intervienen en el montaje. También se engrasará antes de proceder al montaje, los raíles de la pluma, que es cuando está más accesible. Finalmente cada semana habrá que engrasar las poleas restantes, el piñón de giro, su corona correspondiente y los husillos de los estabilizadores.



## 11. CONSIDERACIONES MEDIOAMBIENTALES

### 11.1. Normativa aplicable

La Directiva 97/11/CE de Evaluación de Impacto Ambiental regula la obligación de someter los proyectos públicos y privados a una evaluación de sus efectos sobre el medio ambiente. La directiva explica los aspectos medioambientales a tener en cuenta en los proyectos de máquinas, que son los que se explican a continuación.

### 11.2. Recursos e infraestructuras

Los recursos e infraestructuras utilizados durante la fase de construcción de la grúa son las propias de un taller metalúrgico. Durante la fase de uso, la grúa utiliza como fuente de energía únicamente la energía eléctrica.

### 11.3. Contaminación del aire y del agua

La grúa, al funcionar con energía eléctrica no emite ni gases contaminantes a la atmósfera ni genera aguas residuales.

### 11.4. Aspectos sociales

La directiva indica tener en cuenta la influencia del proyecto sobre la población y su calidad de vida. En este caso, la grúa sólo afecta temporalmente a la población que se encuentra a su alrededor por el ruido que puede generar, que es el propio de toda construcción de edificios. Sin embargo hay que tener en cuenta que es una contaminación que sólo afecta a la zona durante la construcción del edificio, por lo que la recuperación paisajística del entorno después del desmontaje de la grúa es completa. No deberían existir riesgos sobre la población debido a la grúa si ésta cumple todas las normas de seguridad. Desgraciadamente los accidentes de vuelco provocados especialmente debido a fuertes vientos suceden a menudo. Estos son debidos al incumplimiento de las medidas de seguridad de la grúa.





### 11.5. Fase de desmantelamiento

La grúa, al final de su vida útil se convierte en chatarra, por lo que se aprovecha y recicla toda su estructura. No tiene elementos químicos contaminantes por lo que su desmantelamiento no causa problemas medioambientales.



## CONCLUSIONES

En la realización de este proyecto se han adquirido muchos conocimientos nuevos además de la aplicación práctica de los conceptos aprendidos durante la carrera. Se han utilizado también muchas de las metodologías de cálculo y diseño propias de las asignaturas de ingeniería mecánica.

En cuanto al proyecto, su resultado es una grúa automontable, de la que se ha estudiado en profundidad la mayor parte de sus elementos. Se ha puesto especial hincapié en el diseño de los puentes y en el de los accionamientos que permiten su funcionamiento. Los resultados obtenidos permiten comparar las características de esta grúa con las fabricadas por las principales empresas del sector.

Mediante el planteamiento de ecuaciones y el estudio de gráficos resultantes, además del uso de herramientas CAD, se han optimizado varios de los elementos ya existentes en la grúa. Así mismo se han conseguido mejorar las prestaciones establecidas en un principio. No hay que olvidar además que todos los cálculos se han realizado según la normativa vigente y que los resultados se encuadran perfectamente dentro de ésta.

Por último señalar que la tendencia actual en el mundo de las grúas es por un lado reducir los costes automatizando el proceso de fabricación y por otro reducir el tiempo de montaje así como las personas necesarias para el mismo. Aunque de momento sólo se aplica a grúas de pequeñas dimensiones, ya existen mástiles formados por vigas-cajón en vez de una celosía, con la ventaja de que son más económicos. En cuanto al montaje, ya hay grúas que substituyen el sistema de poleas y aparejos por un pistón hidráulico, con la evidente simplificación de elementos y las ventajas que esto conlleva.





## AGRADECIMIENTOS

Estos últimos cinco años han sido sin duda los más enriquecedores de mi vida tanto en el aspecto académico como en el personal. Esto se lo debo a todas las personas con las que he compartido estos años, en especial mi familia, mis compañeros de promoción y mis compañeros del Colegio Mayor La Salle.

En lo que al proyecto se refiere, agradezco en particular:

A Jacint Bigordà Peiro, director del proyecto, por su ayuda y disposición para resolver las dudas que han ido surgiendo a lo largo del éste. Su disponibilidad, criterio y acertada dirección han sido claves para concluir eficazmente el proyecto.

A José Costa Casellas, director general de COMEGA S.A., por proporcionarme abundante información de la grúa en la que se ha inspirado el presente proyecto. La posibilidad de examinar y conocer de cerca la grúa y su fabricación me ha permitido una mejor comprensión de su funcionamiento y una concienciación acerca de la importancia de conocer el proceso de fabricación de una máquina para su correcto diseño.





## BIBLIOGRAFÍA

### Libros sobre resistencia de materiales y diseño de máquinas

ARGÜELLES, R. et altres. *Estructuras de Acero. Cálculo, Norma Básica y Eurocódigo*. Editorial Bellisco, 1999.

CHEVALIER, A. *Dibujo Industrial*. Editorial Noriega, México, 2001.

FENALLOSA CORAL, J. *Unions Cargolades*, Edicions UPC, Barcelona, 2000.

FENALLOSA CORAL, J. *Quaderns de Disseny de Maquinès I*, Barcelona, 2002.

FERNÁNDEZ L. CORZOS, J.A. *Comentarios a las Normas UNE de Dibujo*. Departament d'Expressió Gràfica a l'Enginyeria, Barcelona, 1999.

LARBURU, N. *Máquinas, Prontuario. Técnicas, Máquinas, Herramientas*. Editorial Paraninfo, Madrid, 1990.

NIEMANN, G. *Elementos de Máquinas. Tomo I*. Labor, Barcelona, 1987.

NIEMANN, G. *Elementos de Máquinas. Tomo II*. Labor, Barcelona, 1987.

ORTIZ BERROCAL, L. *Resistencia de Materiales*. McGraw-Hill, Madrid, 1991.

PARDO DÍAZ, A., SANZA CALABÍA, L.A. *Metrología y Verificación, Primera parte*. Publicacions d'Abast, Barcelona, 1999.

RIBA ROMEVA, C. *Disseny de maquines IV. Selecció de materials I*, Edicions UPC, Barcelona, 1997.

RIBA ROMEVA, C. *Construcció Soldada*, Publicacions d'Abast, Barcelona 1998.

RIBA ROMEVA, C. *Mecanismes i maquines I El frec en les màquines*, Edicions UPC, Barcelona 1999.

RIBA ROMEVA, C. *Mecanismes i maquines II Transmissions d'engranatges*, Edicions UPC, Barcelona 1999.



RIBA ROMEVA, C. *Selecció de Motors i Transmissions en el Projecte Mecànic*, Publicacions d'Abast, Barcelona, 1999.

BOIX, O. et altres. *Tecnología Eléctrica*, Publicacions d'Abast, Barcelona, 2002.

### **Libros sobre grúas**

ERNST, H. *Aparatos de Elevación y Transporte. Tomo 1*, Editorial Blume, Barcelona, 1961.

ERNST, H. *Aparatos de Elevación y Transporte. Tomo 2 Tornos y grúas*, Editorial Blume, Barcelona, 1961.

ERNST, H. *Aparatos de Elevación y Transporte. Tomo 3 Ejecuciones especiales*, Editorial Blume, Barcelona, 1961.

MIRAVETE, A. *Aparatos de Elevación y Transporte*. Antonio Miravete, Zaragoza, 1994.

LARRODE, E., MIRAVETE, A. *Grúas*. Servicio de Publicaciones. Universidad de Zaragoza, Zaragoza, 1996.

### **Catálogos de fabricantes**

AMES, *Coixinets Autolubricats Sinteritzats i Filtres Silenciadors*. Barcelona, 2000.

HOESCH ROTHE ERDE AG. *Grandes Rodamientos*. Dortmund, 1992 .

POTAIN, *The Crane Range*. Ecully, 1995.

SKF. *Rodamientos*. Catálogo general.

PUJOL I MONTALA, *Reductores y moto-reductores*. Manresa, 2002.

TYCSA, *Cable Industrial*, . Barbera del Vallès, 2000.



**Normativa sobre aparatos de elevación**

UNE 58-101-92 Parte 1	Aparatos pesados de elevación. <i>Condiciones de resistencia y seguridad en las grúas torre desmontables para obra. Parte1: Condiciones de diseño y fabricación</i>
UNE 58-101-92 Parte 2	Aparatos pesados de elevación. <i>Condiciones de resistencia y seguridad en las grúas torre desmontables para obra. Parte2: Condiciones de instalación y utilización</i>
UNE 58-101-92 Parte 3	Aparatos pesados de elevación. <i>Condiciones de resistencia y seguridad en las grúas torre desmontables para obra. Parte3: Documentación</i>
UNE 58-101-92 Parte 4	Aparatos pesados de elevación. <i>Condiciones de resistencia y seguridad en las grúas torre desmontables para obra. Parte4: Vida de la grúa</i>
UNE 58-102-74	Aparatos pesados de elevación. <i>Reglas para el cálculo de las estructuras</i>
UNE 58-105-76	Aparatos pesados de elevación. <i>Normas de Seguridad</i>
UNE 58-111-81	Aparatos pesados de elevación. <i>Criterios de examen y sustitución de cables</i>
UNE 58-118-84	Aparatos de elevación. <i>Código y métodos de ensayo</i>
UNE 58-120-84	Aparatos pesados de elevación. <i>Selección de cables</i>
UNE 58-121-86	Aparatos pesados de elevación. <i>Estabilidad de grúas (Excepto grúas móviles y flotantes)</i>
UNE 58-135-89	Aparatos pesados de elevación. <i>Características técnicas y documentos de aceptación</i>
DIN 15018	<i>Krane. Grundsätze für Stahltrawerke, Berechnung</i>





## **Páginas Web**

*Estadísticas del Ministerio de Fomento*

[<http://www.mfom.es/estadisticas/estadisticas.html>, 28 de enero de 2004]

*Grúas Jaso*

[<http://www.jaso.com/default.asp>, 28 de enero de 2004]

*Grúas Liebherr*

[<http://www.liebherr.com>, 28 de enero de 2004]

*Grúas Manitowoc Crane Group*

[<http://www.manitowoccrane.com>, 28 de enero de 2004]

*Grúas Potain*

[<http://www.potain.fr/index.cfm>, 28 de enero de 2004]

*Grúas Sáez*

[<http://www.forzasl.com/gruassaez/empresa.htm>, 28 de enero de 2004]

*ICICT Grupo TÜV Rheinland*

[[http://www.icictsa.com/esp/empres/h\\_empres.htm](http://www.icictsa.com/esp/empres/h_empres.htm), 28 de enero de 2004]

*Mechanical Equipment. Machinery Directive*

[[http://europa.eu.int/comm/enterprise/mechan\\_equipment](http://europa.eu.int/comm/enterprise/mechan_equipment), 28 de enero de 2004]

*Normativa para la construcción. Aparatos elevadores*

[<http://www.arquitectura.com/tecnica/legal/legalespana/aparatoselevadores.asp>, 28 de enero de 2004 ]

*Reglamentos técnicos de aparatos de elevación*

[[http://www.coitiab.es/reglamentos/elevadores/i\\_elevadores.htm](http://www.coitiab.es/reglamentos/elevadores/i_elevadores.htm), 28 de enero de 2004]





