



GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

TRABAJO FIN DE GRADO

2014 / 2015

*GRÚA PORTUARIA PARA ELEVACIÓN DE
EMBARCACIONES*

DOCUMENTO 2 . MEMORIA

DATOS DE LA ALUMNA O DEL ALUMNO

NOMBRE: ADRIANA

APELLIDOS: BARATO GONZÁLEZ

FDO.:

FECHA:

DATOS DEL DIRECTOR O DE LA DIRECTORA

NOMBRE: ERIK

APELLIDOS: MACHO MIER

DEPARTAMENTO: INGENIERÍA MECÁNICA

FDO.:

FECHA:

Anexo II

ÍNDICE MEMORIA

2.1. Objeto	12
2.2. Alcance	13
2.3. Antecedentes	14
2.3.1. Introducción a los transportes en la Ingeniería Industrial	14
<i>2.3.1.1. Introducción</i>	14
<i>2.3.1.2. Características y funciones de los transportes para el Ingeniero Industrial</i>	14
2.3.2. El transporte de cargas en la Industria	16
2.3.3. Evolución de la Ingeniería de Aparatos de Elevación y Transporte	16
<i>2.3.3.1. La Antigüedad</i>	17
<i>2.3.3.2. De la polea de cable a la rueda de grúa</i>	18
<i>2.3.3.3. Impulso de la mecánica</i>	20
<i>2.3.3.4. La Edad Media</i>	23
<i>2.3.3.5. El cambio en la tecnología y en la energía</i>	26
<i>2.3.3.6. El Congreso de París de 1889</i>	27
<i>2.3.3.7. La seguridad y el ruido</i>	28
<i>2.3.3.8. El aligeramiento como elemento de ahorro energético</i>	29
2.3.4. Ubicación del Proyecto	32
<i>2.3.4.1. Geografía</i>	32
<i>2.3.4.2. Orografía y clima</i>	33
<i>2.3.4.3. Historia</i>	33

2.3.4.4. <i>El Puerto de Bilbao</i>	34
<i>Ratio de distribución</i>	35
<i>Comunicación</i>	36
<i>Puerto Atlántico</i>	36
<i>Muelles y terminales</i>	37
<i>Servicios específicos</i>	38
<i>Historia</i>	39
2.4. Normas y referencias	41
2.4.1. Disposiciones legales y normas aplicadas	41
2.4.2. Bibliografía	44
2.4.2.1. <i>Libros</i>	44
2.4.2.2. <i>Catálogos comerciales</i>	46
2.4.2.3. <i>Páginas Web</i>	46
2.4.3. Programas de cálculo	48
2.5. Definiciones y abreviaturas	50
2.5.1. Definiciones	50
2.5.2. Abreviaturas	52
2.5.3. Símbolos y denominaciones	53
2.6. Requisitos de diseño	59
2.6.1. Descripción general de la grúa	59
2.6.1.1. <i>Descripción general de las partes de la grúa</i>	59
2.6.1.2. <i>Dimensiones principales de la grúa</i>	60

2.6.1.3. Zona de funcionamiento	63
2.6.1.4. Materiales empleados	63
2.6.1.5. Protección ambiental	64
2.6.1.6. Funcionamiento con viento	65
2.6.2. Prestaciones de la grúa.....	65
2.6.2.1. Vida útil de la grúa.....	65
2.6.2.2. Capacidad de carga	66
2.6.2.3. Movimientos de la grúa.....	66
2.7. Análisis de soluciones	69
2.7.1. Introducción a las grúas.....	69
2.7.2. Clasificación de las grúas.....	70
2.7.3. Grúas portuarias fijas	71
2.7.3.1. Pequeñas grúas	71
<i>Grúa de cuadrilátero articulado o pico pato</i>	72
<i>Grúas ligeras</i>	72
<i>Grúa cartela</i>	73
2.7.4. Sistemas marinos de elevación	74
2.7.4.1. Carretillas elevadoras.....	74
2.7.4.2. Pórticos automotores sobre neumáticos	75
2.7.4.3. Plataforma sincro-elevadora o sincroelevador	76
2.7.4.4. Carros autoportantes o de varado.....	77
2.7.5. Grúas giratorias de columna	78

2.7.5.1. Grúas giratorias de columna giratoria.....	78
2.7.5.2. Grúas giratorias de columna fija.....	79
2.7.6. Grúa sin contrapeso vs. grúa con contrapeso	80
2.7.7. Análisis general de la solución adoptada.....	80
2.7.8. Estudio de los tipos de barcos pesqueros.....	84
2.8. Resultados finales.....	93
2.8.1. Descripción de la estructura de la grúa.....	93
2.8.1.1. Pluma	98
2.8.1.2. Contrapeso	100
2.8.1.3. Columna	101
2.8.1.4. Cimentación y sistema de anclaje.....	105
Cimentación	105
Sistema de anclaje.....	106
2.8.2. Descripción de los elementos de la grúa	108
2.8.2.1. Mecanismo de giro	108
Rodamiento de giro	109
Tornillos de fijación del rodamiento de giro.....	111
Motor-reductor.....	111
Reductor.....	111
Motor.....	112
Acoplamiento flexible	113
Piñón de giro	114

2.8.2.2. Mecanismo de traslación y elevación	114
2.8.2.3. Accesorios	117
<i>Eslingas</i>	117
<i>Palonnier</i>	118
<i>Protección meteorológica</i>	118
2.8.3. Operaciones de instalación y montaje	119
2.8.3.1. Cimentación y fijación de la columna	119
2.8.3.2. Fijación de la pluma	121
2.8.3.3. Instalación del mecanismo de giro	122
<i>Instalación del rodamiento de giro</i>	123
2.8.3.4. Instalación del polipasto	124
2.8.3.5. Mandos e instalación eléctrica	124
2.8.4. Sistemas de seguridad	125
2.8.4.1. Sistemas de seguridad del polipasto	125
<i>Limitador de carga</i>	125
<i>Frenos de los accionamientos</i>	126
<i>Finales de carrera</i>	126
2.8.4.2. Sistemas de seguridad del motor-reductor	128
2.8.5. Mantenimiento y cuidado de la grúa	129
2.8.5.1. Mantenimiento de la estructura	129
2.8.5.2. Alimentación eléctrica	130
2.8.5.3. Mantenimiento del grupo motor-reductor	130

2.8.5.4. <i>Mantenimiento del rodamiento de giro</i>	130
2.8.5.5. <i>Mantenimiento del polipasto</i>	131
2.8.6. Consideraciones medioambientales	131
2.8.6.1. <i>Normativa aplicable</i>	131
2.8.6.2. <i>Recursos e infraestructuras</i>	132
2.8.6.3. <i>Consumo eléctrico</i>	132
2.8.6.4. <i>Contaminación del entorno</i>	133
2.8.6.5. <i>Aspectos sociales</i>	134
2.8.6.6. <i>Fase de desmantelamiento de la instalación</i>	135
2.9. Planificación	136
2.9.1. El proceso de diseño	136
2.9.1.1. <i>El diseño</i>	136
2.9.1.2. <i>Fases e interacciones del proceso de diseño</i>	136
2.10. Orden de Prioridad de Documentos	141

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Shadoof</i>	17
<i>Figura 2. Grúa egipcia</i>	18
<i>Figura 3. Rueda de grúa</i>	19
<i>Figura 4. Descenso de Apolo, Orestes</i>	19
<i>Figura 5. Arquímedes</i>	21
<i>Figura 6. Marco Vitruvio</i>	21

<i>Figura 7. Herón de Alejandría</i>	22
<i>Figura 8. Primera grúa móvil</i>	24
<i>Figura 9. Grúa Trier</i>	25
<i>Figura 10. Primera grúa de vapor</i>	27
<i>Figura 11. Puente grúa DEMAG</i>	31
<i>Figura 12. Emplazamiento grúa</i>	32
<i>Figura 13. Ubicación geográfica</i>	33
<i>Figura 14. Puerto pesquero de Santurce</i>	34
<i>Figura 15. Panorámica del Puerto de Bilbao</i>	35
<i>Figura 16. Hinterland</i>	35
<i>Figura 17. Puerto Atlántico</i>	36
<i>Figura 18. Muelle Santurtzi-Getxo</i>	37
<i>Figura 19. Ría de Bilbao</i>	40
<i>Figura 20. Partes principales de la grúa</i>	60
<i>Figura 21. Dimensiones principales de la grúa</i>	62
<i>Figura 22. Movimientos de la grúa</i>	67
<i>Figura 23. Grúa sobre camión</i>	70
<i>Figura 24. Grúa pico-pato</i>	72
<i>Figura 25. Grúa ligera</i>	73
<i>Figura 26. Grúa cartela</i>	73
<i>Figura 27. Carretilla elevadora</i>	74
<i>Figura 28. Pórtico automotor sobre neumáticos</i>	76

<i>Figura 29. Movimientos pórtico automotor sobre neumáticos</i>	76
<i>Figura 30. Plataforma sincro-elevadora</i>	77
<i>Figura 31. Movimientos sincroelevador</i>	77
<i>Figura 32. Carro autoportante o de varado</i>	78
<i>Figura 33. Partes grúa giratoria de columna giratoria</i>	78
<i>Figura 34. Partes grúa giratoria de columna fija</i>	79
<i>Figura 35. Efecto de vuelco en carretilla elevadora</i>	81
<i>Figura 36. Movimientos grúa giratoria de columna giratoria</i>	82
<i>Figura 37. Posibles soluciones</i>	83
<i>Figura 38. Movimientos grúa cartela</i>	84
<i>Figura 39. Dimensiones principales barco</i>	88
<i>Figura 40. Cerquero</i>	88
<i>Figura 41. Rastrero</i>	89
<i>Figura 42. Pesca con redes de enmalle</i>	89
<i>Figura 43. Pesca con trampas</i>	90
<i>Figura 44. Palangrero</i>	90
<i>Figura 45. Curricanero</i>	91
<i>Figura 46. Embarcación con cañas</i>	91
<i>Figura 47. Embarcación polivalente</i>	92
<i>Figura 48. Grúa portuaria para elevación de embarcaciones (isométrica)</i>	93
<i>Figura 49. Grúa portuaria para elevación de embarcaciones (planta)</i>	94
<i>Figura 50. Grúa portuaria para elevación de embarcaciones (alzado)</i>	95

<i>Figura 51. Grúa portuaria para elevación de embarcaciones (izquierda)</i>	96
<i>Figura 52. Subconjunto pluma</i>	96
<i>Figura 53. Subconjunto columna</i>	97
<i>Figura 54. Subconjunto cimentación</i>	98
<i>Figura 55. Perfil pluma</i>	99
<i>Figura 56. Pluma</i>	99
<i>Figura 57. Contrapeso</i>	100
<i>Figura 58. Montaje contrapeso (alzado)</i>	100
<i>Figura 59. Montaje contrapeso (dimétrica)</i>	101
<i>Figura 60. Cono contrapeso</i>	101
<i>Figura 61. Perfil columna</i>	102
<i>Figura 62. Unión pluma-columna</i>	103
<i>Figura 63. Medición superficie de apoyo rodamiento de gran diámetro</i>	104
<i>Figura 64. Cartela base columna</i>	104
<i>Figura 65. Columna</i>	105
<i>Figura 66. Placa de anclaje</i>	107
<i>Figura 67. Perno de anclaje</i>	107
<i>Figura 68. Sistema de anclaje</i>	108
<i>Figura 69. Subconjunto mecanismo de giro</i>	109
<i>Figura 70. Eje</i>	109
<i>Figura 71. Sección rodamiento de gran diámetro</i>	110
<i>Figura 72. Reductor epiciloidal, Bonfiglioli</i>	112

<i>Figura 73. Motor trifásico de anillos rozantes, Bonfiglioli</i>	113
<i>Figura 74. Acoplamiento flexible, Escogear</i>	113
<i>Figura 75. Piñón de giro</i>	114
<i>Figura 76. Carril de rodadura</i>	115
<i>Figura 77. Polipasto birrail de cable, DEMAG</i>	115
<i>Figura 78. Montaje mecanismo de traslación y elevación (derecha)</i>	116
<i>Figura 79. Montaje mecanismo de traslación y elevación (dimétrica)</i>	116
<i>Figura 80. Eslingas</i>	117
<i>Figura 81. Palonnier</i>	118
<i>Figura 82. Protector meteorológico</i>	119
<i>Figura 83. Cartela pluma</i>	121
<i>Figura 84. Montaje cartela pluma (planta)</i>	121
<i>Figura 85. Montaje cartela pluma (dimétrica)</i>	122
<i>Figura 86. Corte montaje mecanismo de giro</i>	123
<i>Figura 87. Limitador de carga</i>	125
<i>Figura 88. Tope final de carrera</i>	127
<i>Figura 89. Montaje topes finales de carrera</i>	127
<i>Figura 90. Fases de diseño</i>	137
<i>Figura 91. Fases de diseño grúa</i>	140

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. Símbolos y denominaciones</i>	<i>53</i>
<i>Tabla 2. Dimensiones y características principales de la grúa</i>	<i>61</i>
<i>Tabla 3. Materiales empleados</i>	<i>64</i>
<i>Tabla 4. Dimensiones y pesos embarcaciones pesqueras.</i>	<i>85</i>
<i>Tabla 5. Características y dimensiones principales pluma.....</i>	<i>99</i>
<i>Tabla 6. Características y dimensiones principales columna.....</i>	<i>102</i>
<i>Tabla 7. Características y dimensiones principales rodamiento de gran diámetro</i>	<i>110</i>

2.1. Objeto

El objeto principal del presente proyecto es el diseño y definición de una grúa portuaria ubicada en el Puerto de Bilbao, concretamente, en el puerto pesquero de Santurce, destinada a la manipulación y elevación de embarcaciones pesqueras desde la superficie de flotación hasta una tara máxima de 8 Tn, para realizar, básicamente, operaciones de conservación y reparación de las mismas.

El diseño y forma ha sido realizado y concebido según las diferentes grúas observadas para esta aplicación, obteniendo una estructura similar, pero diferente a su vez en algunos aspectos, a las que se pueden encontrar hoy en día en el mercado, realizando por tanto un diseño único y mejorado. Por consiguiente, el resultado de este proyecto es una grúa comparable a las existentes en el mercado, y que cumple con todas las exigencias de las normas actuales de mantenimiento de aparatos de elevación. También se ha considerado diseñar la grúa con el mayor número de perfiles y elementos normalizados, disminuyendo en la medida de lo posible su coste.

La elección del objeto de estudio del presente proyecto viene determinada por el requerimiento de hacer uso de conceptos tratados durante la etapa de formación en la carrera universitaria de Ingeniería Mecánica. El proyecto se centra en una grúa de columna fija y pluma giratoria de 360°, por lo tanto, será necesaria la aplicación de conocimientos de las disciplinas relativas a la mecánica, elasticidad y resistencia de materiales, teoría de estructuras y diseño de máquinas, entre otros.

Este tipo de grúa es muy utilizada en el ámbito pesquero; facilitando el transporte, aumentando así la productividad, mejorando a su vez la calidad de vida del trabajador y ahorrando de esta forma un gran trabajo a la hora de realizar las operaciones de izado para la preservación de los barcos pesqueros.

2.2. Alcance

El presente proyecto pretende cubrir todos los aspectos relacionados con el diseño de la estructura de la grúa, así como de los elementos que la componen.

La creación de este proyecto lleva a la necesidad de emplear unas determinadas metodologías de cálculo y diseño que permiten configurar una grúa con características similares a las que se pueden encontrar actualmente en el mercado.

En la medida de lo posible, se ha diseñado la grúa con el mayor número de elementos estándar, los cuales se pueden encontrar en diferentes catálogos y prontuarios de diversos fabricantes, simplificando de una forma considerable su costo, ya que no hay que fabricarlas exclusivamente para esta grúa.

El criterio de selección de los componentes o elementos y del diseño de la estructura se ha basado en seguir una línea de simplificación de problemas y sencillez de soluciones para facilitar la concepción, fabricación y montaje de los elementos de esta grúa de columna fija.

El dimensionamiento de la estructura y su cimentación se ha realizado por métodos clásicos de cálculo de estructuras y resistencia de materiales. Los diferentes elementos mecánicos de la grúa, polipasto, rodamiento, motor-reductor y acoplamiento flexible se han seleccionado de diferentes proveedores según las especificaciones necesarias o se han diseñado en base a cálculos pertinentes de diseño de máquinas.

Por último, se han incluido instrucciones y recomendaciones indicadas de instalación y montaje, sistemas de seguridad, mantenimiento y consideraciones medioambientales.

Quedarán definidos con todo detalle los cálculos, el diseño y los planos necesarios para el correcto funcionamiento de la grúa de modo que su alcance sea el de las especificaciones.

No serán objeto de definición ni estudio el cálculo de las partes y accionamientos eléctricos ni la alimentación del motor. No obstante, se hará una breve descripción de los elementos imprescindibles para poder entender sin ningún problema el proyecto en su totalidad.

2.3. Antecedentes

2.3.1. Introducción a los transportes en la Ingeniería Industrial

2.3.1.1. Introducción

Los transportes pueden ser analizados bajo tres puntos de vista:

- Sistema móvil
- Infraestructura
- Servicio

Los transportes en la Ingeniería Industrial están focalizados en el estudio de los sistemas móviles denominados genéricamente como Aparatos de Elevación y Transporte, así como en sus infraestructuras.

2.3.1.2. Características y funciones de los transportes para el Ingeniero Industrial

Normalmente, se parte de considerar el transporte como el desplazamiento de personas o bienes en el espacio utilizando medios especiales, o como compleja actividad económica que interviene de manera directa en el desarrollo del país facilitando la movilidad, o una manera de dotar la accesibilidad al territorio, etc.

El transporte realiza una función trascendente para la sociedad. Esta función se traduce en la práctica en funciones específicas de distinto significado político, económico y social, las cuales pueden agruparse en la forma siguiente:

- 1) Las que contribuyen a integrar el Estado y a mantener las relaciones físicas de los hombres que constituyen la sociedad.

- 2) Las que satisfacen a las necesidades de desplazamiento de personas y mercancías de los sectores productivos.
- 3) Las que colaboran en la mejora de la calidad de la vida como consumo final con cargo a los presupuestos familiares y públicos.

Funciones específicas podrían ser:

- Permitir la conexión de los sectores productivos entre sí y con los centros de consumo.
- Satisfacer las necesidades de desplazamiento de personas y mercancías.
- Favorecer la cohesión económica y social, permitiendo configurar un territorio más equilibrado.
- Dotar de accesibilidad al territorio.
- Contribuir a la unidad e integración del Estado y las regiones, así como a la integración comunitaria a través de la interconexión e interoperabilidad de las redes nacionales.
- Actuar como elemento de integración social.
- Colaborar en la mejora de la calidad de vida, a pesar de los efectos negativos que pueda ocasionar principalmente en lo que se refiere a accidentes en carreteras e impactos medioambientales.
- Constituir un elemento en la estrategia y defensa nacional.
- Ser una importante actividad productiva del país, que ocupa una elevada masa laboral y que contribuye de forma considerable a la creación del PIB.

- Impulsar el desarrollo de otras actividades económicas, como por ejemplo el sector de la automoción, bienes de equipo, etc.

2.3.2. El transporte de cargas en la Industria

Este sistema de transporte tiene una gran repercusión en la Ingeniería Industrial.

Se puede hablar de diversos sistemas de transporte, pero el que concierne a este proyecto es el transporte de cargas, más en concreto, el transporte de embarcaciones.

El transporte de cargas en la Industria puede dividirse en las siguientes dos categorías:

El transporte interior:

- Grúas: puente grúa, grúa cartela, grúa giratoria de columna (las últimas dos atañen a este proyecto en concreto).
- Carretillas elevadoras con sus distintas tipologías.

El transporte exterior:

- Grúas: grúa pórtico, grúa de construcción, vehículo grúa.
- Bandas transportadoras.

2.3.3. Evolución de la Ingeniería de Aparatos de Elevación y Transporte

A lo largo de la historia, la Industria siempre ha dependido en mayor o menor medida de la maquinaria pesada para poder llevar a cabo su actividad. A causa de la amplia diversidad de la industria moderna, existe un sinnúmero de aplicaciones que requieren procesos y maquinaria específica. Sin embargo, existen determinadas máquinas que, por la naturaleza de su funcionalidad, tienen cabida en prácticamente todo el ámbito industrial. Tal, es el caso de los

aparatos de elevación. La constante necesidad de mover grandes cargas en tiempos pequeños convierte a dichos aparatos en verdaderos protagonistas dentro del mundo industrial.

A excepción de las pequeñas grúas para la industria ligera u otras actividades, la diversidad de tipos es tan grande que hace inviable la construcción en serie de los aparatos de elevación. Incluso los aparatos más generalizados, como los puentes grúa o las grúas giratorias, difieren mucho, tanto por la velocidad de funcionamiento como por la capacidad de carga o la altura de elevación. Por esta razón, cada aplicación requiere frecuentemente un estudio detallado y un proyecto a medida.

2.3.3.1. La Antigüedad

Los primeros dispositivos de elevación y transporte fueron las palancas, las poleas, los rodillos y los planos inclinados. La realización de grandes trabajos de construcción con este tipo de equipamiento exigía una enorme cantidad de gente. A título de ejemplo, en el siglo XXII a.C., fue construida la pirámide de *Cheops*, de 147 m de altura compuesta de prismas de piedra cada uno de $9 \times 2 \times 2 \text{ m}^3$ de tamaño y 90 Tn de peso aproximadamente. Su construcción duró alrededor de 20 años y estuvieron ocupados permanentemente cerca de 10.000 personas.

Hacia 2820 a.C., se obtienen en China fibras resistentes a partir de la planta del cáñamo, precursores de los actuales cables de acero. Los primeros elevadores de palanca, prototipos primitivos de los aparatos elevadores actuales con una pluma en voladizo, se utilizaron en China e India para elevar el agua en el siglo XXII a.C.

Hacia 1550 a.C., se generaliza en Egipto y Mesopotamia el empleo del *shadoof*, un mecanismo de palanca utilizado para elevar el agua procedente de los ríos con el fin de regar los campos. Desde el punto de vista mecánico, el *shadoof* se basa en la ley de la palanca. La

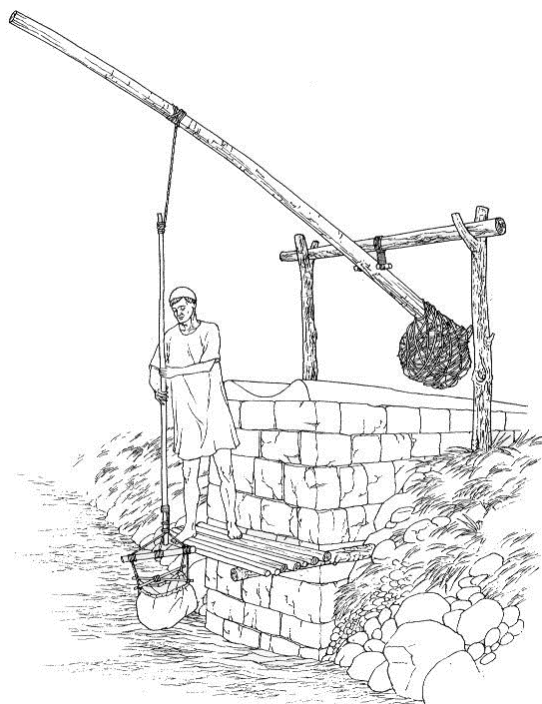


Figura 1. Shadoof.

mecánica aplicada en las culturas que viven junto al Eufrates y el Nilo está dominada por cuatro elementos fundamentales: el plano inclinado, la cuña, el rodillo y la palanca. El *shadoof* es una forma más compleja de una construcción basada en la palanca. Sobre una columna fija, se monta una palanca de dos brazos alrededor de un eje que puede girar en dirección horizontal.

Los brazos son de longitudes diferentes, disponiendo el más corto de ellos de un contrapeso, una piedra, suficiente para elevar lleno el cubo que va sujeto al extremo del brazo más largo. La persona que acciona el *shadoof* trabaja colocada bajo este último brazo. Su función consiste en hacerlo bajar cuando el cubo está vacío, acción que permite introducirlo bajo el agua.



Figura 2. Grúa egipcia.

encuentran situados sobre una escalera para que, de este modo, el brazo elevador pueda descender debajo del nivel de la base del mástil.

Así pues, por medio de los ancestrales medios anteriormente citados y la fuerza realizada por un elevado número de personas, se realizaron las labores de elevación y transporte durante un largo periodo de tiempo en la historia.

2.3.3.2. De la polea de cable a la rueda de grúa

Hacia 1510 a.C., se aplica en Mesopotamia la rueda, hasta ahora utilizada sólo en los carros, en los tornos de alfarero y en las ruedas, a dispositivos mecánicos, convirtiéndose de este modo en un instrumento para la utilización de las fuerzas y la simplificación de los trabajos.

Gracias a ello, la resistencia debida a la fricción se reduce a la reinante entre el eje y el cojinete. La polea de cable resulta especialmente importante para transformar fuerzas sin que se produzca una fricción en la cuerda. No es posible demostrar si la polea de cable se emplea ya en Mesopotamia o si se utiliza en Egipto hacia esta época a modo de polea sencilla.

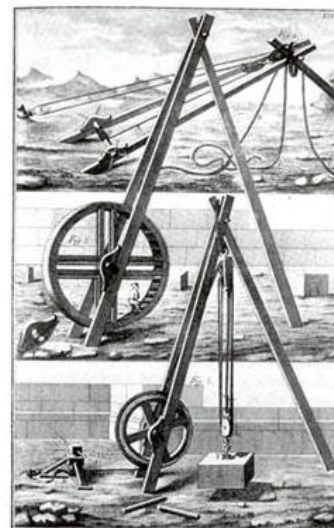


Figura 3. Rueda de grúa.

Es probable que este principio se conozca antes que la polea de cable, en forma de un lazo de cuerda que rodea la punta de un obelisco que hay que levantar, mientras que un extremo de la cuerda va sujeto a la puerta de entrada de un templo y se tira del extremo libre. Los habitantes de Mesopotamia utilizan como primera máquina accionada por fuerza muscular ruedas huecas de varios metros de diámetro, en cuyo interior o sobre cuya superficie externa corre una persona. La fuerza generada por dichas ruedas se emplea al principio para accionar dispositivos de extracción de agua.

Hacia 700 a.C., los mecánicos griegos desarrollan la técnica de la descomposición de las fuerzas con ayuda de los llamados polipastos. El polipasto se compone de una polea fija y una segunda sujeta al objeto a desplazar. Una cuerda discurre, partiendo de un punto fijo, primero alrededor de la polea móvil y después de la fija. Estirando del extremo libre, la carga se desplaza únicamente la mitad de la distancia que lo hace el extremo libre.

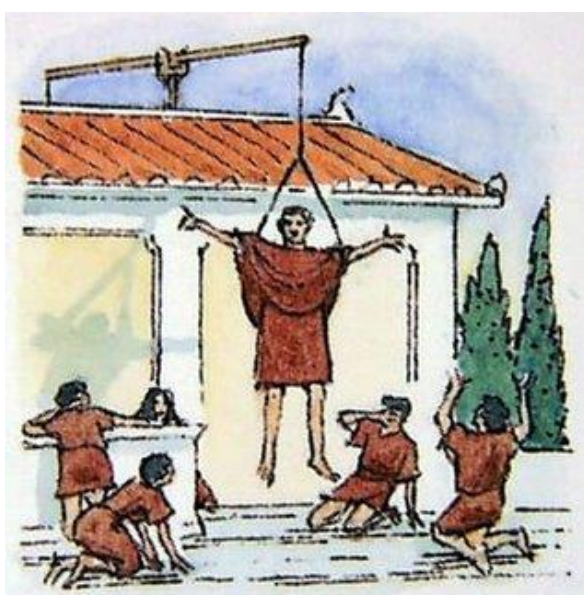


Figura 4. Descenso de Apolo, Orestes.

El periodo grecorromano (siglo X a.C. a siglo V d.C.) constituye una etapa de gran impulso en la evolución de la tecnología de la elevación. Un elemento clave para la elevación es la polea compuesta. Su origen se remonta a la Grecia clásica. Eurípides (480 – 406 a.C.) representó un paso atrás respecto a Esquilo y Sófocles desde el punto de vista de la técnica dramática, tal como apunta Aristóteles. En vez de desarrollar una acción, como hacían Esquilo y Sófocles, mandaba un mensajero a resumirla en

el escenario en forma de prólogo, confiaba al coro grandes parlamentos y cuando el enredo se embarullaba hacía bajar de lo alto (el *theologeión*, o techo de la *skene*) un dios que lo resolvía con un milagro. De aquí la célebre máxima *Deus ex machina*, ya que este dios era bajado mediante una polea, pues de otra forma la maniobra era realizada con grandes apuros.

Hay que decir, en honor a la verdad, que Eurípides compensaba estos recursos de dramaturgo no cuajado con un agudísimo sentido psicológico que prestaba velocidad y autenticidad a sus personajes. Aunque está bastante generalizada la opinión de que la operación de descenso de un dios a través de una polea se debiera para desenredar el drama (su caso más típico es el descenso de Apolo en *Orestes*), también se afirma que esta operación de descenso se debía interpretar como un retorno a la tradición del culto como ocurre en el descenso de Atena en *Ifigenia en Tauride*.

También en la misma época hizo su aparición el tambor de arrollamiento. Así pues, aproximadamente en el siglo V. a.C. se realizaron las primeras instalaciones de elevación: una soga anclada a la carga pasaba a través de una polea dispuesta a una cota superior. La soga se arrollaba a través de un tambor de accionamiento manual sin ningún tipo de guiado.

Tres inventores griegos deben ser mencionados en la Historia de la elevación: Ctesibio, padre de hidráulica, Arquímedes, descubridor del tornillo sin fin y Herón de Alejandría, inventor de la polea compuesta.

Ctesibio vivió en Alejandría hacia 270 a.C. Montó en la barbería de su padre un espejo que colgaba de una cuerda provista de un contrapeso, de modo que su altura pudiera ajustarse a la del cliente. Ctesibio fabricó el primer cilindro provisto de un émbolo, al que cabe considerar como la primera bomba de pistón. Fue el primero en utilizar una rueda dentada. También sugirió el uso de muelles de bronce como medio de acumulación de energía.

2.3.3.3. Impulso de la mecánica

Arquímedes (287-212 a.C.), además de descubrir el tornillo sin fin, principio en el que se basan elevadores y transportadores utilizados hoy en día, desarrolló un dispositivo elevador que funcionaba con cables de cáñamo y poleas movidas por el hombre. En el siglo III a.C., Arquímedes descubrió las leyes de la palanca. Este griego, que vivía en Siracusa, creó un sistema



Figura 5. Arquímedes.

teórico sobre la multiplicación de la fuerza que se consigue con la palanca, el efecto de la cuña y la utilización del plano inclinado y de la polea, fenómenos que desde hacía milenios venían aprovechándose como algo evidente. Desarrolló una extensa teoría acerca de los polipastos con las transmisiones de fuerza 2:1, 3:1 (*tripastos*) y 5:1 (*pentapastos*).

Construyó también un polipasto, en el que varias cuerdas discurrían paralelas por numerosos rodillos, con lo que se distribuían entre sí la fuerza de cargas muy pesadas. Sin embargo, fueron los romanos y no los griegos, los que sacaron un rendimiento práctico a estos trabajos teóricos, lograron la realización técnica; disponían de las cuerdas de resistencia suficiente y, con el curso del tiempo, incluso de cordeles de alambre. Con el principio del polipasto, los romanos construyeron grandes grúas para cargas muy pesadas, con uno o dos árboles inclinados, sujetos mediante cabos.

La mayoría de estas grúas podían bascularse y, en la cubierta del navío insignia del emperador Calígula, incluso se instaló una giratoria que se movía sobre una plataforma redonda, apoyada en cojinetes de bolas. No obstante, quedó como una pieza única. La técnica de los cojinetes no logró prosperar, pues faltaban los métodos adecuados para la fabricación de las bolas.

El cabestrante fue utilizado a partir del siglo II a.C. Marco Vitruvio (85-26) fue un auténtico conocedor de las técnicas antiguas de elevación de cargas pesadas. Por primera vez en la Historia, se conseguía reducir la fuerza de elevación, ya que se conocían los engranajes y el tornillo sin fin. Vitruvio explica cómo es posible elevar pesadas cargas sin la realización de esfuerzo manual.



Figura 6. Marco Vitruvio.

El procedimiento consistía en acoplar a un tambor manual una rueda de gran diámetro, unos dos metros, con radios de elevada resistencia. Una serie de personas, “subidas en los radios”, ejercían con su propio peso un momento motriz que se multiplicaba, según la relación de dimensiones entre diámetros de ruda y tambor. Con esta ancestral y original técnica era posible la elevación de varias toneladas.

Dos relieves, uno en Lateral y otro en el museo de Capua, muestran sendos aparatos de elevación basados en la *rueda de gran diámetro* y los *hombres trepadores*. En el primero de los citados, se aprecia un mástil simple, que se mantenía vertical por medio de conjuntos de poleas y sogas. La elevación la realizaban cinco hombres gravitando sobre otros tantos radios de la gran rueda. En el museo de Capua, se representa en un relieve el mástil, pero dispuesto aparte de la gran rueda, ocupada por dos hombres. Ambos documentos datan del siglo I d.C.

Vitruvio describe otro aparato para elevar pesadas cargas consistente en dos mástiles mantenidos verticalmente por medio de sogas y unidos inferiormente entre sí por el propio tambor de accionamiento. Un sistema de varias poleas eleva la carga mediante un procedimiento manual.

Sin duda, Herón de Alejandría (siglo I d.C.) dio un impulso importante a varias técnicas relacionadas con la elevación. En su obra *Mechanica*, además de la cuña, el tornillo y la rueda con un eje, describe la polea compuesta. Todos se basan en el mismo principio de la palanca; una pequeña fuerza que actúa desde una gran distancia se transforma en una gran fuerza que actúa desde una pequeña distancia. También Herón describió los trenes de engranajes, aunque su utilidad fue muy limitada debido a las pérdidas de potencia que resultaban de los primitivos métodos de construcción.

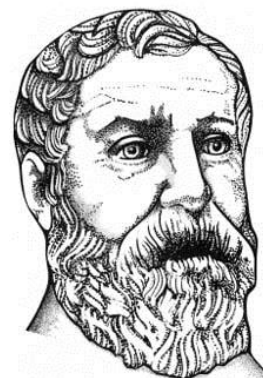


Figura 7. Herón de Alejandría.

En el siglo II a.C. se utilizaba en Egipto la llamada rueda persa o *saquiya*, que consistía esencialmente en recipientes dispuestos alrededor de la circunferencia de una rueda, la cual giraba mediante energía humana o animal, introduciéndolos en el agua, sin duda el primer prototipo del actual elevador de cangilones. Vitruvio, en el siglo I d.C., diseñó un molino hidráulico que funcionaba como esta rueda persa pero en sentido contrario.

Tras Herón de Alejandría se abre un paréntesis en la historia de la grúa, en el cual se aplican los principios ya conocidos pero no se realizan aportaciones importantes. No obstante, se habían trazado las líneas maestras de la elevación; ahora sólo faltaba su desarrollo y perfeccionamiento.

El cable metálico más antiguo conocido es el cable encontrado en Pompeya, que se exhibe en el Museo Nacional de Nápoles. Está compuesto por 57 hilos de bronce entrelazados, de 0,7 mm de diámetro y 4,5 metros de longitud. Probablemente, se empleaba en la marina. Los hilos de este cable no estaban trefilados, sino que estaban o bien forjados o bien troquelados en cintas estrechas en la chapa. Ningún manuscrito confirma el empleo de hilos en la producción de cables.

2.3.3.4. La Edad Media

De este periodo (siglo V d.C. a XVII d.C.) se conocen instalaciones de elevación que apenas se diferencian de las antiguas. El desarrollo del comercio, la navegación y la industria minera y metalúrgica en los siglos XI y XII precisaron unos aparatos que elevaran y transportaran elevadas cargas de manera mecánicamente estable y potente.

Las primeras grúas se construyeron a orillas del mar y de los ríos, siendo el embrión de las sofisticadas grúas portuarias que hoy bordean nuestros mares. Su accionamiento era manual o hidráulico.

En la Alta Edad Media, aparecieron según diferentes manuscritos, las primeras grúas formadas por una columna y una viga superior en voladizo con travesaños de refuerzo. Eran construidas con sistemas de gancho, cables, poleas y tambor.

En un manuscrito que data del año 1430, se describe una grúa giratoria de columna giratoria que, aunque muy primitiva, presentaba ya los movimientos de elevación de la carga y giro de la estructura. En la Edad Media, así mismo, se llevó a cabo un notable desarrollo de las actividades portuarias con el consiguiente avance del nivel técnico de los aparatos de elevación y transporte.

En el siglo XV, se realizaron novedades relacionadas con el uso de palancas oscilantes y trinquetes que permitían elevar pesadas cargas de forma progresiva. Un aspecto importante es el aumento de la seguridad existente en los nuevos aparatos en comparación con el clásico mecanismo de elevación manual.

En el aspecto energético, ya en la Alta Edad Media se utilizaba la hidráulica como sustitución de la fuerza o el peso humano, pero comenzaba a existir una preocupación sobre la eficacia de las máquinas, así como del rendimiento de la totalidad de las máquinas de elevación en especial.

Esta preocupación llevó a Leonardo da Vinci (1452-1519) a realizar notables mejoras. De este modo, inventó lo que sería la primera grúa móvil para elevación y transporte de bloques de piedra. La grúa se compone de una plataforma a partir de la cual se elevan unos tirantes de madera. Estos tirantes alcanzan una viga por la que circula un cable a través de un sistema de poleas. Esta plataforma giratoria podía ser arrastrada por medio de un sistema de cables.

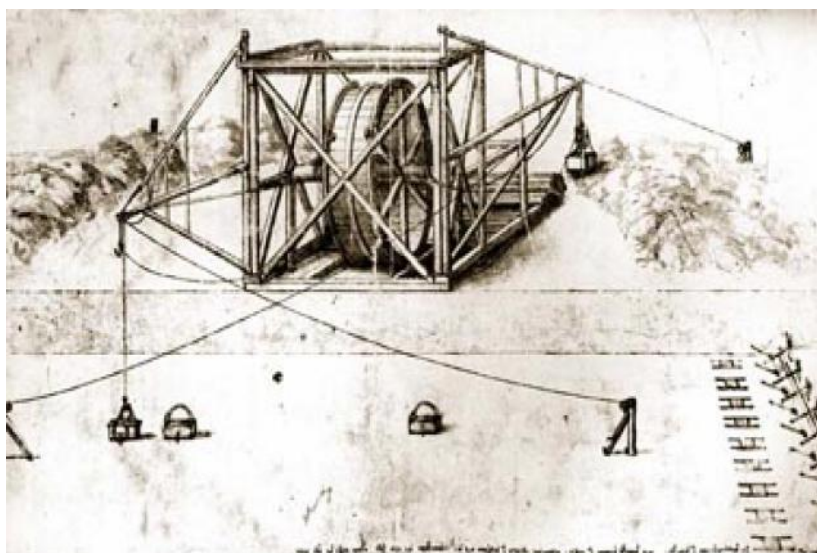


Figura 8. Primera grúa móvil.

Para hacer navegables los ríos y canales, Leonardo construye una excavadora flotante con ruedas de cangilones, instalada sobre dos barcas amarradas y que descarga el lodo en carros.

Leonardo no propone este tipo de construcciones sólo como conceptos sin elaborar, sino que soluciona todos los detalles relacionados con ellas e inventa así una serie de nuevos elementos para las máquinas. Tornillos sin fin, engranajes helicoidales, una cadena articulada y diversos cojinetes de rodillos y bolas, así como rodamientos axiales.

Georg Bauer (1490-1565) trabajó como médico en los centros mineros de Sajonia y su obra *De re metllica*, del año 1556, constituye una guía exacta de los sistemas empleados durante la alta Edad Media en una industria altamente tradicional. En *De re metallica*, aparece el

esquema de un aparato de elevación en una mina. No existen diferencias significativas respecto a periodos primitivos, excepto en lo que se refiere a una vagoneta que debía correr por un surco.

El libro titulado *The English improver improved* (1652) habla de sistemas de elevación y describe el elevador de cangilones entre otros sistemas tales como norias, molinos o arcaduces.

En el siglo XV, uno de los más notables aparatos realizados es la **grúa Trier**, que constituye el monumento principal de la ciudad alemana de Moseta. Es una grúa de columna de madera que lleva en la parte superior otras dos vigas horizontales también de madera contrabalanceadas mutuamente por dos riostras de hierro. La columna lleva en su base una espiga de hierro y apoya en un tejuelo del mismo material. La cadena tractora se arrolla en un tambor soportado por la misma columna. La carga a elevar se estima en valores superiores a 2,5 Tn. Esta grúa está encerrada en un edificio monumental en forma de torre.



Figura 9. Grúa Trier.

En diversos grabados del siglo XVII, se muestran muelles de descarga donde se aprecia una notable actividad portuaria. Se observan grúas simples en voladizo, donde una polea superior era recorrida por una soga que por un lado amarraba la carga y por el otro era arrollada manualmente en tambores de gran diámetro con objeto de disminuir el esfuerzo del operario.

Sobre el año 1630, se estima la construcción de una interesante grúa en la ciudad alemana de Augsburgo. Consistía en una columna de madera mantenida verticalmente por cuatro tirantes del mismo material. La columna, en su parte superior, alojaba una viga horizontal o pluma en voladizo. Un tambor y un sistema de poleas componían el circuito de elevación. La potencia de elevación era obtenida mediante una rueda de gran diámetro acoplada al tambor. Siguiendo los esquemas clásicos aparecidos en el siglo I d.C., varios hombres, con su propio peso, elevaban 600 kg. La carga máxima era de 10 Tn.

En el año 1769, se trasladó desde las orillas del río Neva hasta San Petersburgo un monumento a Pedro I de 1000 Tn de peso. El transporte por tierra se llevó a cabo mediante bolas

de cobre dispuestas en canales revestidos con chapas de cobre y con ayuda de tornos aparejos. Se puede afirmar que este mecanismo es el primer prototipo de rodamiento de bolas.

2.4.3.5. El cambio en la tecnología y en la energía

Durante los siglos XVIII y XIX, se gestó un cambio profundo en el aspecto tecnológico. En los siglos anteriores, se habían izado notables grúas pero todavía necesitaban notables modificaciones.

En el aspecto del material, la tecnología del hierro y del acero anunciaba un futuro con estructuras rígidas y resistentes que iban a desplazar la clásica viga de madera. Los procesos de prensa y fundición permitían la realización de novedosos elementos.

En el aspecto de fricción, los antiguos aceites serían reemplazados por casquillos de bronce que asegurarían por más tiempo la vida de las piezas móviles y elevarían los rendimientos de la transmisión.

En el terreno de la rodadura, se desarrollaron durante el siglo XVIII dos sistemas diferentes: la rueda metálica de pestaña sobre carril ordinario y el de ruedas ordinarias sobre rail con reborde o surco. El segundo de los sistemas estaba formado por barras de hierro fundido en forma de *L* apoyadas en piedras. Con ambos sistemas, se obtenían estructuras móviles de extraordinaria estabilidad y con una larga vida para sus elementos de rodadura.

En el tema de las energías, en el año 1860, se construyó la primera grúa de vapor. Esta histórica fecha significaba la variación de la posición del hombre frente a la máquina: pasaba de agente productor de energía a agente auxiliar de la propia máquina generadora de energía.

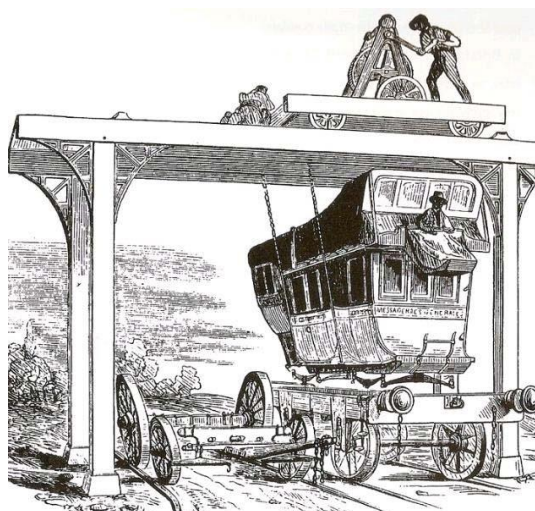


Figura 10. Primera grúa de vapor.

La electricidad, descubierta durante el siglo XVIII, fue aplicada a los aparatos de elevación en el año 1881.

En muy pocos años se produjo el gran cambio. De ver grúas en madera con enormes ruedas o tambores manuales se pasó a ver aparatos de elevación en acero accionados a vapor o eléctricamente, no muy diferentes a los de hoy en día.

2.4.3.6. El Congreso de París de 1889

A finales del siglo XX, el hombre tenía los conocimientos y la tecnología suficientes como para elevar una carga siguiendo en la línea de progreso emprendida en el siglo XVIII, pero aparecieron nuevos problemas. Con objeto de buscar una cooperación internacional, se reunieron en París en el año 1889 los principales técnicos de una gran parte de países europeos.

La importancia del Congreso fue de primer orden debido fundamentalmente a la época en que se dio pues, al haberse aplicado la energía eléctrica de forma reciente, el hombre buscaba solución a los problemas técnicos suscitados por las nuevas tecnologías y energías.

Algunas contribuciones se citan a continuación:

En el año 1867, entre las primeras grúas portuarias, se construyó una gran grúa de puerto de 50 Tn de alcance variable. Mediante un mecanismo articulado y la traslación de una

sobreestructura auxiliar, se obtenía una trayectoria de la carga de apenas variación vertical. Una máquina de vapor accionaba los mecanismos de traslación y elevación. Con esta construcción, la compañía *Fives-Lille* obtenía un aparato sofisticado de elevado rendimiento debido a que la carga en el desplazamiento horizontal no generaba ningún cambio apenas en su energía potencial. En consecuencia, la potencia necesaria era mínima.

Las empresas inglesas *Hunter* y *English* construyeron en el año 1886 una interesante grúa a bordo movida por una máquina de vapor. La peculiaridad del aparato residía en su capacidad de carga, ya que por ejemplo, su carga máxima de elevación a 16 m era de 50 Tn.

El técnico M. Guyenet diseñó en el año 1888 un moderno carro de puente grúa. En el citado elemento, mediante las recientes aplicaciones de la electricidad, se conseguía accionar los mecanismos de maniobra de elevación de la carga. Asimismo, los frenos actuaban con mecanismos de seguridad. El resultado del diseño fue la consecución de uno de los primeros carros eléctricos con dispositivos de seguridad eléctricos en la frenada. Este proyecto, a la vez que ambicioso, era un preludio de lo que iban a ser los próximos años en la evolución de la grúa, ya que la seguridad iba a ser un tema de investigación de primera línea.

2.4.3.7. La seguridad y el ruido

Los principios del siglo XX estarán marcados por un conocimiento de los mecanismos eléctricos y mecánicos de los aparatos de elevación. El propio conocimiento citado implicaba la preocupación por dos temas fundamentales: la seguridad y el ruido.

Los procesos tecnológicos de fabricación de piezas metálicas iba evolucionando considerablemente, de manera que la prensa había obtenido notables resultados; la fundición estaba imponiéndose en piezas irregulares y se empezaban a apuntar novedosas técnicas de laminación. Este cambio en la tecnología del acero implicó estructuras estables y resistentes debido a la mayor cantidad del acero y la evolución de las uniones estructurales atornilladas o roblonadas con notables características. Un ejemplo de esta evolución son las grúas realizadas por las empresas *Briausk*, *Krauctorsk* y *Putilov* en Rusia a principios del siglo XX.

La joven sociedad americana mecanizaba los puertos mediante **grúas sobre neumáticos** que recorrían las instalaciones portuarias con una gran flexibilidad de movimientos. Con objeto

de obtener unas idóneas condiciones de seguridad, las grúas se equipaban con controladores de basculamiento y frenos basados en las corrientes de Foucault.

Las cadenas, utilizadas a lo largo de los siglos XVIII y XIX como elementos de transmisión flexibles entre la carga y el órgano de arrollamiento, fueron sustituidas por modernos cables metálicos. En prototipos de grúas de comienzos del siglo XX, se aprecian cables metálicos de alta resistencia y de silenciosa marcha.

A lo largo de la Edad Media, se utilizaron como elementos reductores engranajes de dientes rectos. En los años de transición entre los siglos XIX y XX, Ravelli diseñó una transmisión para carros de elevación que fue el primer paso para el engranaje helicoidal. Este tipo de transmisión, introducido por Leason en la primera mitad del siglo XX, se caracteriza por su elevado rendimiento y su engranaje silencioso.

En los movimientos de orientación de grandes grúas y en máquinas siderúrgicas de elevación, se requieren rodamientos de elevado diámetro que sean estables, resistentes y seguros. En el año 1946, la Dirección de Puertos Marítimos, en un programa de normalización, imponía la circulación sobre rodamientos de bolas. Las empresas *Timken* y *Proestamen* inglesas y la sociedad alemana *Rothe Erde* idearon un sistema de suspensión del pivote central de giro y de disposición de un gran rodamiento de gran diámetro que absorbía los momentos de giro. Al mismo tiempo, también la sociedad francesa *RKS* del grupo *SKF*, captando la idea de los automóviles *Panhard*, lanzaba al mercado un gran rodamiento de rodillos alternados que constituían el primer prototipo de los grandes rodamientos de giro de plataforma que existen hoy en día.

2.4.3.8. El aligeramiento como elemento de ahorro energético

El transporte terrestre es una actividad natural del hombre. No ocurre así con la elevación de una carga. Para ello, el hombre ha ideado durante cinco siglos pesadas máquinas progresivamente más sofisticadas pero realizadas sobre materiales de alta densidad.

A partir de los años cincuenta, la fuerte competencia entre las diferentes marcas, los problemas energéticos derivados del petróleo y la posibilidad de elevar mayores cargas con la

misma potencia del motor han originado una tendencia generalizada del diseño de la grúa hacia una disminución de su propio peso.

En 1948, en el Congreso de Amberes, M.L. Descans trazó las líneas maestras de la nueva tecnología en grúas de puertos, que en muy poco tiempo fueron puestas en marcha.

En 1949, los puertos marítimos alemanes y, en particular, el de Bremen, tomaron la iniciativa en un tipo de construcción radicalmente nuevo para grúas de gancho con objeto de conseguir un aligeramiento de peso: las grúas *monobloc*, explicadas por el profesor H. Ernst en el año 1954 en la revista V.D.I. y, en 1957, en Stahlbau.

Estos aparatos consistían en una estructura unitaria que representaba un reducido peso propio debido a la utilización de tubos de acero de características elevadas: Cortem de Usinor, Werten de De Wendel-Sidelor, Ni-Cu-Nb o a base de aleaciones de aluminios. Asimismo, las paredes de las vigas cajón eran notablemente disminuidas debido a la elevación del límite elástico del material.

A Bremen siguieron los puertos de Le Havre, Marsella y, progresivamente, el resto de los puertos europeos y no europeos.

Continuando con grúas de puerto, es preciso mencionar Estrasburgo, que en 1969 configuró la más reciente instalación para mantenimiento de contenedores, iniciando la normalización del sistema de carga en longitudes de veinte, treinta y cuarenta pies.

En lo que concierne a las grúas pórtico, las empresas *MAN* de Nüremberg y Van Roll de la Confederación Helvética realizaron construcciones altamente aligeradas basadas en una única viga principal recorrida por un carro en voladizo. La rodadura del carro, altamente económica y original, se llevaba a cabo por medio de cuatro rodillos situados a dos cotas diferentes. El momento de la carga en voladizo generaba dos componentes horizontales, por lo que se precisaban dos rodillos horizontales y otros tantos dispuestos en una cota superior que, inclinados, absorbían las reacciones verticales y horizontales.

La estructura, un pórtico simple, reunía las condiciones de estabilidad mediante unas vigas longitudinales de rodaduras acopladas rígidamente a los extremos inferiores de los postes.

En el campo de los puentes grúa, la empresa *DEMAG* de Alemania obtuvo a partir de la década de los cincuenta notables progresos mediante la sustitución de puentes grúa de doble viga principal por vigas simples aligeradas para una amplia gama de cargas.



Figura 11. Puente grúa DEMAG.

El mecanismo de elevación estaba constituido por compactos polipastos cuya estructura resistente es la propia carcasa de los grupos motrices de elevación. Con esta filosofía se acoplaban en serie tambor, reductor de elevación, acoplamiento, freno de tambor y motor de elevación.

La viga principal estaba constituida en estos modelos por perfiles laminados de tipo IPN.

Las monumentales grúas portacontenedores fueron continuamente objeto de mejoras que disminuían progresivamente las 1000 Tn de peso propio que inicialmente tenían.

La tendencia inicial fue la optimización estructural, que originó grúas conformadas en sección cajón con la viga principal realizada en celosía. Se pueden citar *Vickers* en Londres, *Stothert y Pitt* en Liverpool, *Clyde Crane y Both* en Grange Mouth, *Demog* en Rotterdam y *Paceco* en Los Ángeles.

La construcción de la viga principal en celosía encarecía el proceso de fabricación, pero disminuía de forma notable el peso de la citada viga y con él la potencia de los motores de elevación de la viga principal y de traslación

2.3.4. Ubicación del Proyecto

La grúa del presente proyecto estará situada en el puerto de Bilbao, más en concreto, en el puerto pesquero de Santurce, en el Paseo Marítimo Reina Victoria, dado que no hay ninguna grúa de este tipo, siendo un aparato muy útil para la manutención de las embarcaciones pesqueras.

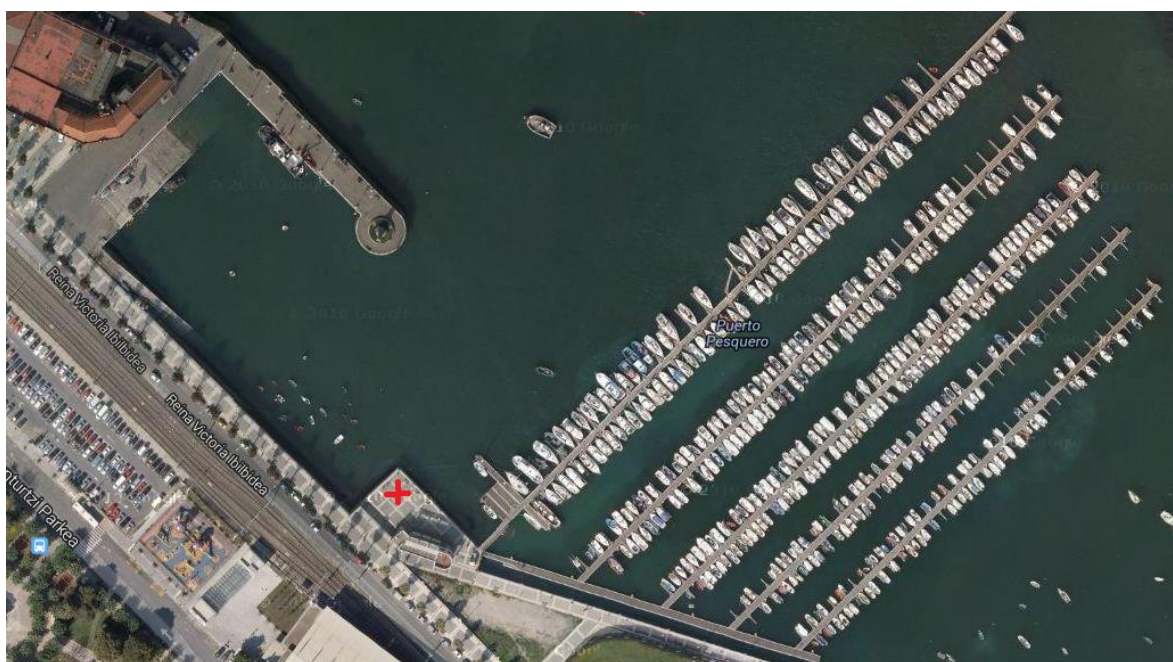


Figura 12. Emplazamiento grúa.

2.3.4.1. Geografía

Santurce (en euskera y oficialmente, *Santurtzi*) es un municipio español de la provincia de Bizkaia, perteneciente a la comarca del Gran Bilbao. Históricamente, en cambio, formó parte hasta comienzos del siglo XIX de Los Tres Concejos del Valle de Somorrostro en Las Encartaciones. Santurce se encuentra situado en la costa del mar Cantábrico, en la Margen Izquierda de la desembocadura de la Ría de Bilbao y a los pies del monte Serantes (452 msnm).

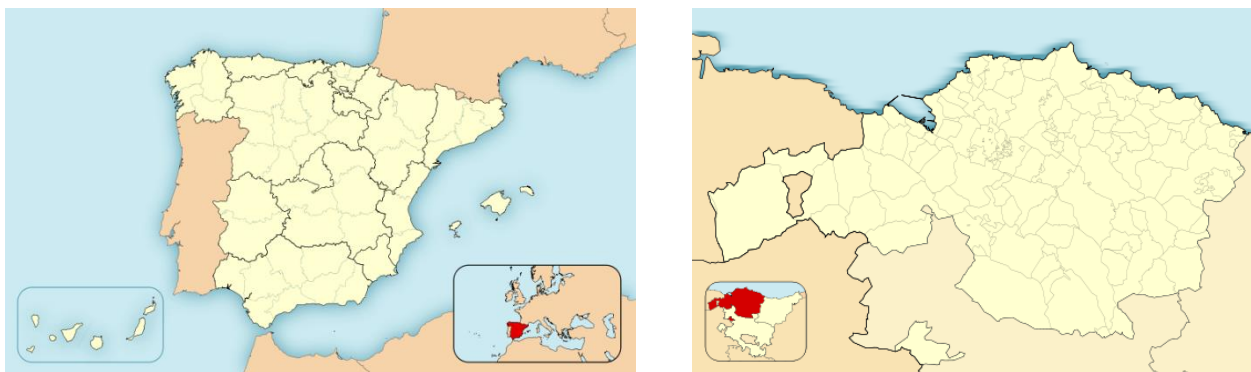


Figura 13. Ubicación geográfica.

2.3.4.2. Orografía y clima

Posee una orografía muy accidentada aunque, a excepción del monte Serantes (uno de sus elementos topográficos más simbólicos), no presenta grandes alturas, situándose las más significativas en las estribaciones del propio Serantes: el Mazo (245 m) y los Cuetos (123 y 106 m).

El clima en Santurtce está bajo la influencia del clima oceánico húmedo. Las temperaturas son suaves durante todo el año, con lluvias más frecuentes en primavera y otoño, inviernos benignos y veranos no excesivamente calurosos. La temperatura media en verano es de 20 °C y de 8 °C en invierno.

2.3.4.3. Historia

Santurtce es un pueblo mariner que ha sabido conservar sus costumbres a pesar de su gran crecimiento. La vida en este Concejo, está marcada por el mar, que inspira su trabajo y su ocio. La pesca y las regatas de traineras y las fiestas de la Virgen del Carmen mantienen vivas sus raíces.

La construcción del Rompeolas y el inicio del puerto exterior a finales del siglo XIX, tuvo una gran influencia en la transformación de Santurtzi. Así, algunas zonas de la franja costera fueron desapareciendo y en ese terreno ganado al mar se encuentran hoy, la Cofradía de Pescadores, el Puerto Pesquero, el Parque, el Polideportivo y el Paseo Marítimo Reina Victoria (donde se pretende ubicar la grúa giratoria de columna fija). El Puerto y la Cofradía de

Pescadores, aunque con un menor número de lanchas, conservan su imagen singular de otro tiempo.

En el siglo XIX, iniciada la revolución industrial, Bizkaia necesitaba de un gran puerto para la exportación masiva de mineral de hierro y para la importación de carbón que demandaban las incipientes fábricas metalúrgicas. Así comienza la ambiciosa y dura tarea de construcción del puerto comercial que se ha ido transformando y acondicionando a las necesidades del momento.



Figura 14. Puerto pesquero de Santurce.

2.3.4.4. El Puerto de Bilbao

El Puerto de Bilbao es por muchas razones uno de los centros de transporte y logística más importantes del Arco Atlántico Europeo. Además de su privilegiada situación geográfica, ofrece una serie de ventajas indudables:

- Una gran tradición y servicios de calidad: un puerto con más de 700 años de historia.
- Instalaciones modernas y funcionales para todo tipo de mercancías.
- Muelles con calados de hasta 32 m.
- Magníficas conexiones terrestres.
- Conexiones ferroviarias a su red de puertos secos: Azuqueca (Guadalajara), Coslada (Madrid) y Villafría (Burgos).

- Una gran oferta de servicios marítimos para todos los mercados.
- Un futuro lleno de posibilidades gracias a las obras de ampliación realizadas y en curso.
- Gran capacidad inversora.



Figura 15. Panorámica del Puerto de Bilbao.

Ratio de distribución

El Puerto de Bilbao es una centralidad múltiple, porque la propia génesis y desarrollo de la ciudad de Bilbao es, en gran medida, consecuencia de él. Bilbao es la metrópoli de referencia del norte de España, ya que se encuentra ubicado en el centro geográfico del Golfo de Vizcaya, encrucijada de rutas marítimas y terrestres entre la Península Ibérica y el continente europeo.

Equidistante de Bordeaux (341 km) y Madrid (396 km), el Puerto de Bilbao opera en un hinterland de proximidad jalonado también por las ciudades de Toulouse (456 km), sede de la industria aeroespacial europea y Zaragoza (304 km), gran plataforma logística e industrial y capital del corredor del Ebro, que une Bilbao con Barcelona, con extensión a Madrid.

Este territorio, que se extiende por la cornisa cantábrica y se adentra en la meseta central, experimenta un

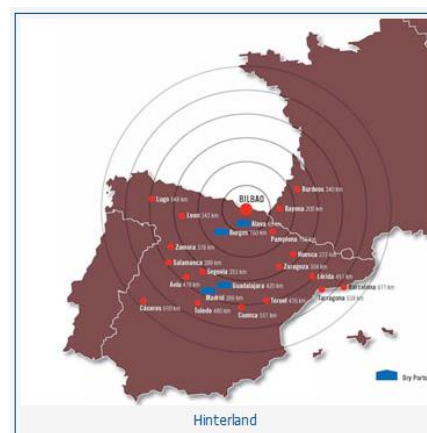


Figura 16. Hinterland.

gran dinamismo económico, con un incremento del PIB superior en algunos casos al 50% y nunca inferior al 43%.

25 millones de personas residen en este hinterland, que también se significa por su dinamismo cultural y su calidad de vida.

Comunicación

El Puerto de Bilbao, que apuesta por la intermodalidad, dispone de una eficaz malla de conexiones por tren y carretera que se encuentra en permanente desarrollo.

Está conectado a la densa red de autopistas europeas, con acceso directo a ciudades como Madrid y enlaces a otros muchos entornos urbanos.

Puerto Atlántico

En el centro del Golfo de Bizkaia, equidistante de Brest y Finesterre, el Puerto de Bilbao es una centralidad del Atlántico Europeo. Cosa que le ha permitido instituirse, desde hace 700 años, en privilegiado enlace con los principales puertos, especialmente los de América y el Norte de Europa. Su oferta de servicios marítimos regulares le conecta con 800 puertos de todo el mundo.



Figura 17. Puerto Atlántico.

El Puerto de Bilbao opera con mercancías de todo tipo y toda clase de buques. Está abierto y funciona 24 horas al día y todos los días del año, sin problemas de calados o mareas.

La influencia del Puerto de Bilbao abarca la mitad norte de la Península Ibérica y el Sur de Francia, un gran territorio, con epicentro en el área metropolitana de Bilbao, con más de un millón de habitantes. En un radio de 200 kilómetros viven 4 millones de personas y más de 20 en 400 kilómetros. Además, constituye una excelente vía de aproximación al mercado europeo occidental.

Muelles y terminales

El Puerto de Bilbao dispone de 20 km de muelles con calados de hasta 32 m y 400 ha de superficie terrestre que garantizan espacio y operatividad.

Cuenta, además, con 480.000 m² de superficie de almacenamiento cubierto y 27.000 de depósitos francos.

En él, está ubicada la terminal de perecederos Bilbao Atlántico Frío Terminal, de 23.800 m³, totalmente automatizada.



Figura 18. Muelle Santurtzi-Getxo.

Todo lo cual se complementa con un extenso aparcamiento de camiones y una terminal con capacidad para almacenar 4.500 automóviles.

Los servicios generales que ofrece el Puerto de Bilbao son los siguientes:

- 400 hectáreas de superficie terrestre.
- 1.920 hectáreas de superficie de flotación.
- 20 kilómetros de muelles.
- 250 hectáreas de superficie de almacenamiento.
- 480.000 metros cuadrados de superficie de almacenamiento cubierto.
- 27.000 metros cuadrados de depósitos francos.

- 23.800 metros cúbicos de almacenes frigoríficos.
- 10 grúas portacontenedores de 32 a 65 toneladas.
- 19 grúas trastainer de 32 a 40 toneladas.
- 34 grúas de pórtico de 6 a 35 toneladas.
- 5 grúas puente de 28 a 35 toneladas.
- 17 grúas automóviles de 100 a 140 toneladas.
- 2 cargadores continuos.
- 5 rampas ro-ro.
- Instalaciones especiales de carga y descarga.
- Terminales de mercancía general, contenedores, ro-ro, graneles sólidos, graneles líquidos, hortofrutícola y automóviles.
- Terminal TECO y estación de formación de trenes.
- Conexión con la red ferroviaria nacional desde los muelles.
- Conexión directa con la red nacional de autopistas y autovías.

Servicios específicos

El Puerto de Bilbao constituye una auténtica puerta de comunicación directa entre España y Europa, un puerto flexible y dinámico, capaz de acoger cualquier tipo de buques y mercancías, y con un servicio especializado para todos los tráficos.

De cara a los grandes operadores comerciales, sus instalaciones cuentan con un exhaustivo equipamiento para satisfacer las demandas tanto de envíos ro-ro como lo-lo con 2 cargadores continuos, 5 rampas ro-ro instalaciones especiales de carga y descarga, unidas a un total de 10 grúas portacontenedores, 16 grúas trastainer, 56 grúas de pórtico y 2 grúas puente.

Sus 32 m de calado en algunos puntos permiten el atraque de grandes buques. Entre su equipamiento destacan sus 17 km de muelles y la amplitud del espacio reservado para almacenamiento de mercancías, entre las que figuran más de 250.000 m² de superficie de almacenamiento cubierta, 30.000 m² de depósitos francos y 25.300 m² de almacenes frigoríficos.

Sus instalaciones se asientan sobre un total de 350 hectáreas de superficie terrestre y 1.700 hectáreas de superficies de flotación. En ellas se encuentran terminales especializadas para el tráfico marítimo de mercancía general, contenedores, graneles, tanto sólidos como líquidos, mercancía hortofrutícola y automóviles.

La amplia oferta de servicios marítimos del Puerto de Bilbao facilita el acceso a los mercados internacionales.

La agilidad de todos sus tráficó se ve favorecida por las conexiones intermodales que comunican al Puerto de Bilbao con las principales redes viarias y ferroviarias, tanto nacionales como europeas, que le comunican directamente con hinterland en continuo crecimiento económico, así como con los puertos secos de Azuqueca de Henares, Coslada y Villafría, en Burgos.

El Puerto cuenta asimismo con un amplio aparcamiento para camiones y dotado de diferentes servicios así como de una terminal de automóviles que permite almacenar hasta 4.500 vehículos en espera de ser embarcados a sus diferentes destinos. Con objeto de satisfacer asimismo las demandas de sus usuarios, ofrece entre sus instalaciones un depósito franco, reconocido por el London Metal Exchange y ubicado en el muelle Reina Victoria de Santurtzi, que cuenta con 11 almacenes polivalentes dotados de la más moderna maquinaria auxiliar.

Historia

La fundación documentada del Puerto de Bilbao data de hace 700 años, pero la Ría donde nació fue utilizada mucho antes como abrigo natural.

En plena Edad Media, los barcos llegaban hasta la iglesia de San Antón, justo a la entrada de las murallas que protegían la villa de Bilbao, donde el agua salada de las mareas se mezcla con la dulce del río Nervión. Era entonces el Puerto de Bilbao la salida hacia Europa de las

mercancías de la meseta castellana y la entrada a la Península Ibérica de los productos procedentes de la Fachada Atlántica y las colonias de América.

En 1511, se creó el Consulado de Bilbao y se realizaron trabajos de mejora del encauzamiento de la Ría, que se prolonga a lo largo de 14 km hasta su desembocadura en el Mar Cantábrico. Pero fue en 1872, cuando comerciantes, mineros, navieros e industriales se unieron para crear la Junta de Obras del Puerto y Ría de Bilbao. En el año 1877, Evaristo de Churruga, personaje clave en la historia de Bilbao, culminaba el Muelle de Hierro de Portugalete, primera obra portuaria que permitía el acceso a la Ría de buques de gran calado.

En 1902, se habilitó una extensa lámina al abrigo del dique de Santurtzi y el contramuelle de Algorta, con lo cual el Puerto llegó al mar, hasta convertirse en uno de las grandes infraestructuras marítimas del Continente.

En 1975, se cerró el área marítima denominada *Abra Exterior*, con la construcción del dique de Punta Lucero, cuyas terminales para productos petrolíferos reforzaron la oferta de servicios portuarios.

Desde el inicio de las obras de ampliación en 1992, la Autoridad Portuaria de Bilbao ha invertido 500 millones de euros para ganar al mar dos millones de metros cuadrados de superficie terrestre y 3 km adicionales de línea de atraque, con calados entre 20 y 25 m.



Figura 19. Ría de Bilbao.

2.4. Normas y referencias

2.4.1. Disposiciones legales y normas aplicadas

Los reglamentos de obligado cumplimiento son de poca ayuda en el presente proyecto, al no presentar ITC (Instrucciones Técnicas Complementarias) sobre grúas portuarias.

Más útiles son las recomendaciones elaboradas por la FEM (Federación Europea de Manutención), formada por los fabricantes europeos en estrecha colaboración con las Universidades y Organismos de Normalización. En España, las principales normas FEM han sido recogidas y traducidas por AENOR (Agencia Española de Normalización) y publicadas como Normas UNE (Una Norma Española).

A su vez, la grúa ha sido construida cumpliendo con el Reglamento de Aparatos de Elevación y Manutención del Ministerio de Industria.

Por tanto, 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, así como la parte correspondiente a aparatos de elevación de la normativa FEM.

Normas UNE (en especial, la serie 58 relativa a aparatos de elevación):

- UNE 58-112-91. Grúas y aparatos de elevación. Clasificación.

Parte 1: General.

Parte 4: Grúas pluma.

- UNE 58-113-85. Grúas. Acción del viento.
- UNE 58-132-91. Aparatos de elevación. Reglas de cálculo.

Parte 1: Clasificación. Símbolos y denominaciones utilizadas.

Parte 2: Solicitaciones y casos de solicitaciones que deben intervenir en el cálculo de las estructuras y de los mecanismos.

Parte 3: Cálculo de las estructuras y de la uniones.

Parte 4: Cálculo y elección de los elementos mecánicos.

Parte 6: Reglas de seguridad.

- UNE 58-136-92. Aparatos de elevación. Grúas de pluma. Disposición y características de los accionamientos.
- UNE-EN 13852. Grúas. Grúas marítimas.

Parte 1: Grúas marítimas para uso general.

- UNE 58-139-92. Aparatos de elevación. Información a suministrar.

Parte 4: Grúas de pluma.

- UNE 58-152-04. Grúas. Disponibilidad. Vocabulario.
- UNE 58-153-01. Grúas. Dispositivos de anclaje según las condiciones de servicio y fuera de servicio.

Parte 4: Grúas con pluma.

Normas de dibujo:

- DIN 125. Arandelas.
- DIN 555. Tuercas hexagonales.

- DIN 601. Tornillos hexagonales.
- DIN 6885/1. Lengüetas de ajuste.

Normativa uniones:

- Eurocódigo, EC-3. Proyecto de estructuras de acero.

Parte 1-8: Uniones.

- Norma Básica de la Edificación, NBE-EA 95. Estructuras de acero en edificación.

Norma ISO 6336 – Capacidad de carga de engranajes de dientes rectos y de dientes helicoidales.

Normas Tecnológicas de la Edificación (NTE).

Reales Decretos:

- Real Decreto 2291/1985, Reglamento de Aparatos de Elevación y Manutención.
- Real Decreto 1435/1992, de 27 de Noviembre, por el que se dictan las disposiciones de aplicación de la Directiva del Consejo 89/392/CEE relativa a la aproximación de las legislaciones de los estados miembros sobre máquinas.
- Real Decreto 56/1995, de 20 de Enero, por el que se modifica el Real Decreto 1435/92, de 27 de Noviembre, relativo a las disposiciones de aplicación de la Directiva del Consejo 89/392/CEE, sobre máquinas.
- Real Decreto 1215/1997, de 18 de Julio, Reglamento de Seguridad en Máquinas, por el que se establecen las condiciones mínimas de seguridad y salud para la utilización por los trabajadores de los equipos de trabajo (Transposición de la directiva del Consejo 89/655/CEE).

- Real Decreto 1829/1995, de 10 de noviembre, por el que se aprueba la norma básica de la edificación NBE EA-95. Estructuras de acero en edificación.

Códigos Técnicos e Instrucciones:

- Código Técnico de la Edificación, CTE, BOE 25/01/2008
 - Seguridad estructural Acero SE-A.
 - Cimentaciones.
- Instrucción de Hormigón Estructural, EHE-08, Ministerio de Fomento 2002.
- Instrucción de Acero Estructural, EAE.

2.4.2. Bibliografía

2.4.2.1. Libros

Dibujo técnico:

- ❖ URRAZA, G. Y OTROS, *Expresión gráfica en la Ingeniería. Dibujo de Ingeniería Industrial*; Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial de Bilbao.

Diseño de máquinas:

- ❖ FERNOLLOSA J., FERNÁNDEZ J., MARTÍNEZ J.; *Quadern CM3 Engranatges*; ETSEIB, 2002.
- ❖ NAVALPOTRO S., ABASOLO M.; *Apuntes de clase de diseño de máquinas*.
- ❖ SHIGLEY, *Diseño de ingeniería mecánica*; Ed. Mc Graw-Hill, México 2000.

Grúas:

- ❖ ERNST, H., *Aparatos de Elevación y Transporte. Tomo I. Principios y elementos constructivos*; Ed. Blume, Barcelona, 1970.
- ❖ ERNST, H., *Aparatos de Elevación y Transporte. Tomo II. Tornos y grúas*; Ed. Blume, Barcelona, 1970.
- ❖ LARRODE, E., MIRAVETE, A., *Grúas*; Servicio de Publicaciones Universidad de Zaragoza, Zaragoza, 1996.
- ❖ MIRAVETE, A., *Aparatos de Elevación y Transporte*; Zaragoza, 1994.
- ❖ MIRAVETE, A., LARRODE, E., *Los transportes en la ingeniería industrial (teoría)*; Servicio de Publicaciones Universidad de Zaragoza, Zaragoza, 2002.

Oficina Técnica:

- ❖ ALONSO GIRÓN, J., *Metodología, Organización y Gestión de Proyectos*; Universidad del País Vasco.

Resistencia de materiales:

- ❖ TIMOSHENKO, *Resistencia de materiales*; Ed. Paraninfo, S.A., 2004.
- ❖ *Apuntes de clase de resistencia de materiales.*

Tecnología mecánica:

- ❖ *Apuntes de clase de tecnología mecánica.*

Teoría de estructuras:

- ❖ ARGÜELLES ÁLVAREZ, R., *Estructuras de acero. Cálculo. Tomo I*; Librería técnica Bellisco, Madrid, 2005.
- ❖ ARGÜELLES ÁLVAREZ, R., *La estructura metálica hoy. Tomo I. Volumen I*; Librería técnica Bellisco, Madrid, 1975.
- ❖ CALAVERA, J., *Cálculo de estructuras de cimentación*; Ed. Intemac, S.A., 2000.
- ❖ JIMÉNEZ MONTOYA, *Hormigón armado*; Ed. Gustavo Gili, S.L., Barcelona, 2009.
- ❖ MARCOS, I., LARAUDOGOITIA, J.E., URIARTE, I.; *Apuntes de clase de hormigón armado adaptado al grado en ingeniería mecánica, curso 2012-2013*.

2.4.2.2. Catálogos comerciales

BONFIGLIOLI; Acoplamientos.

BONFIGLIOLI; Motores.

BONFIGLIOLI; Reductores.

DEMAG; Polipastos de cable.

ROTHERDE; Grandes rodamientos.

SKF; Rodamientos.

2.4.2.3. Páginas Web

Anteproyecto:

<https://upcommons.upc.edu/pfc>

- <http://hdl.handle.net/2099.1/7157>
- <http://hdl.handle.net/2099.1/3619>
- <http://hdl.handle.net/2099.1/6825>

Grúas:

<http://campusvirtual.ull.es/ocw/course>

Cimentación:

<http://www.ingenieriarural.com>

Fabricantes:

DEMAG

<http://www.demagcranes.es/>

ITP (Ingenierías Técnicas Portuarias)

<http://www.itpsl.es/>

MARINE TRAVELIFT, Inc.

<http://www.marinetravelift.com>

REDUCTORES, MOTORES, ACOPLAMIENTOS

<http://www.equitrans96.es/>

ROTHERDE IBÉRICA, S.A.

<http://www.rroteisa.es>

SKF

<http://www.skf.com/es/>

Otros:

Wikipedia

[http://es.wikipedia.org/wiki/Grúa_\(máquina\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Grúa_(máquina))

Puerto de Bilbao

<http://www.bilbaoport.es>

Puerto pesquero de Santurtzi

<http://turismo.santurtzi.org/es>

Asociación para la promoción técnica del acero (APTA)

<http://www.apta.com.es/index.php>

Normas y reglamentos:

AENOR

<http://www.aenor.es>

BOE

<https://www.boe.es>

Reglamentos técnicos de aparatos elevadores:

http://www.coitiab.es/reglamentos/elevadores/i_elevadores.htm

Reglamento de Aparatos de Elevación y Mantenimiento del Ministerio de Industria:

<http://www.fomento.gob.es>

Presupuesto:

<http://www.generadordeprecios.info>

2.4.3. Programas de cálculo

Para la realización de los cálculos, se ha utilizado el programa Microsoft Excel 2010.

Para la realización del diseño de los componentes de la grúa y sus respectivos planos se ha empleado el programa de diseño Solid Edge V18.

Para la redacción de todos los documentos del proyecto se ha usado el programa Microsoft Word 2010.

2.5. Definiciones y abreviaturas

2.5.1. Definiciones

Terminología náutica:

1. Almadraba: Técnica para la captura del atún aprovechando la migración de atunes Atlántico-Mediterráneo (y vuelta) que se utiliza desde tiempos prerromanos. Consiste en instalar un laberinto de redes en el paso de los atunes, que normalmente se sitúa cerca de la costa.
2. Amurada: Cada uno de los costados del buque por la parte interior.
3. Arcaduz o canjilón: Recipiente usado para el transporte de agua como complemento de un ingenio motriz.
4. Carretel: Carrete grande para arrollar cables.
5. Chigre: Máquina de vapor o eléctrica instalada en la cubierta de un barco que mueve dos tambores horizontales en los que toman vueltas los cabos para poder cobrarlos o virarlos.
6. Eslora: Dimensión de un barco tomada a su largo, desde la proa hasta la popa.
7. Francobordo: Distancia medida verticalmente en el centro del buque, desde la intersección de la cara superior de la cubierta de francobordo con la superficie exterior del forro, hasta la línea de carga correspondiente.
8. Halador: Polea especial para halar o, lo que es lo mismo, tirar del cabo.
9. Hinterland: Medio geográfico en el cual se desarrolla y expande el Estado, influye en la seguridad y el desarrollo del núcleo vital en razón de dar espacio, para absorber cualquier peligro por rompimiento de las fronteras. Este concepto se aplica específicamente a una

región situada tras un puerto o río, donde se recogen las exportaciones y a través de la cual se distribuyen éstas.

10. Lo-lo: Acrónimo del inglés Lift On/ Lift Off, hace referencia, tanto en el transporte combinado Marítimo-Carretera como en el Marítimo-Ferrocarril, al transporte que requiere de equipos de elevación para el embarque o desembarque de las cargas. Habitualmente se trata del transporte de la carga en contenedores que, obviamente, no posibilitan el traslado por sí mismos.
11. Malacate: Máquina de tipo cabrestante, de eje vertical, muy usada en las minas para extraer minerales y agua, que inicialmente tenía un tambor en lo alto del eje, y en su parte baja la o las varas a las que se enganchan las caballerías que lo movían. Posteriormente pasaron a utilizar energía eléctrica para mover un tambor horizontal y a estar en lo alto de una torre. Hoy en día se usa esta denominación para denominar a los cabrestantes en muchas partes de América Latina
12. Manga: Medida del barco en el sentido transversal, es decir, de una banda a otra (de estribor a babor).
13. Puntal: Medida vertical desde el canto superior de la quilla hasta la unión de la traca de cinta con la cubierta principal.
14. Ro-ro: Acrónimo del término inglés Roll On-Roll Off, con el cual se denomina a todo tipo de buque o barco que transporta cargamento rodado, tanto automóviles como camiones.
15. Tangón: Palo que sale horizontalmente (hacia afuera) de los costados de un barco. Sirve para amarrar en él los botes.

2.5.2. Abreviaturas

AENOR (Agencia Española de Normalización)

EHE (Instrucción de Hormigón Estructural)

ELU (Estados Límite Últimos)

EPI (Equipo de Protección Individual)

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación)

FEM (Federación Europea de Manutención)

GM (Altura metacéntrica)

HA (Hormigón armado)

HL (Hormigón de limpieza)

ITC (Instrucciones Técnicas Complementarias)

NTE (Normas Tecnológicas de la Edificación)

OGSHT (Ordenanza de Seguridad e Higiene en el Trabajo)

PAC (Plan de Aseguramiento de la Calidad)

RD (Real Decreto)

RSU (Residuos Sólidos Urbanos)

UNE (Una Norma Española)

2.5.3. Símbolos y denominaciones

SÍMBOLO	UNIDADES	DENOMINACIÓN
a	m/s ² mm	Aceleración Espesor de garganta del cordón de soldadura
a = B = L	mm	Anchura/Longitud de la zapata Anchura del soporte o diámetro de la columna
a' = D	mm	Diámetro exterior de la columna Distancia de funcionamiento
a₁	mm	Longitud de la placa de anclaje
A	m ² m ² -	Área Superficie expuesta al viento Coeficiente engranaje
A_e	m ²	Superficie expuesta al viento mayorada con superficies de posibles agujeros interiores
A_c	mm ²	Área de la sección útil
A_s	mm ² mm ²	Área de la sección de la armadura a tracción Área resistente del vástago en la zona de la rosca del tornillo
A_{Sreal}	mm ²	Área real del acero
A_t	mm ²	Área resistente del perno
b	mm mm mm mm	Distancia que separa las caras enfrentadas entre el perfil de cálculo y el intermedio Altura del diente Ancho de cara del engranaje Anchura de la viga
b' = v	mm	Vuelo físico de la placa
B	mm -	Diámetro del taladro Coeficiente engranaje
c	mm	Canto del perfil
c₁	mm	Juego de pie
C	-	Coeficiente de forma en el cálculo de solicitaciones debidas al viento
C_a o ψ	-	Coeficiente dinámico para movimientos de elevación
C_s = S	-	Coeficiente o factor de seguridad
C_{sd}	-	Coeficiente de seguridad frente al deslizamiento
d	mm mm	Distancia desde el eje y hasta al eje y' Diámetro primitivo
d'	mm	Diámetro de funcionamiento
d₀	mm	Distancia nominal
d_a	mm	Diámetro de cabeza
d_b	mm	Diámetro de base
d_c	mm	Distancia de tallado
d_f	mm	Diámetro de pie
D_a	mm	Diámetro exterior del rodamiento
D_i	mm	Diámetro interior del rodamiento
D_L	mm	Diámetro del círculo de rodadura del rodamiento
e = t	mm mm	Espesor Distancia

E	N/mm ²	Módulo de elasticidad o de Young
E_d	N/mm ²	Valor de cálculo de los efectos de las acciones
ED	%	Factor de marcha
f_{cd}	N/mm ²	Resistencia de cálculo del hormigón
f_{ck}	N/mm ²	Límite elástico del hormigón
f_L	-	Factor de servicio
f_m	-	Factor de corrección de la potencia
f_s	-	Factor de servicio
f_{stat}	-	Factor de carga estático
f_{yd}	N/mm ²	Resistencia de cálculo del acero
f_{yk}	N/mm ²	Límite elástico del acero
F	N	Fuerza
F_a	kN	Fuerza axial
F_{h2}		Factor de duración
F_t	N	Fuerza tangencial
F_u	-	Factor de servicio acoplamiento
F_v	N	Fuerza debida al viento
F_{b,Rd}	N	Resistencia a aplastamiento en la zona de chapa contigua al tornillo
F_{v,Ed}	N	Valor de cálculo del esfuerzo cortante en el tornillo
F_{vcA} = W₃	N	Fuerza del viento en servicio sobre la carga
F_{vcB}	N	Fuerza del viento fuera de servicio sobre la carga
F_{vcolA} = W₂	N	Fuerza del viento en servicio sobre la columna
F_{vcolB}	N	Fuerza del viento fuera de servicio sobre la columna
F_{vconA} = W₁	N	Fuerza del viento en servicio sobre el contrapeso
F_{vconB}	N	Fuerza del viento fuera de servicio sobre el contrapeso
F_{v,Rd}	N	Resistencia a cortadura del tornillo
F_{vpluA}	N	Fuerza del viento en servicio sobre la pluma
F_{vpluB}	N	Fuerza del viento fuera de servicio sobre la pluma
F_{vplu'A}	N	Fuerza del viento en servicio sobre la contrapluma
F_{vplu'B}	N	Fuerza del viento fuera de servicio sobre la contrapluma
F_{W,Ed}	N	Resultante de todas las fuerzas transmitidas por un cordón de soldadura por unidad de longitud.
F_{R,Ed}	N	Resistencia de cálculo de un cordón de soldadura
g	m/s ² mm	Aceleración de la gravedad (9,81 m/s ²) Distancia al extremo próximo de la placa de los anclajes
G	giros	Vida útil del rodamiento
h	mm	Altura de la viga Altura de la zapata Altura total del diente
h_a	mm	Altura de cabeza
h_f	mm	Altura del pie
H	mm	Altura total rodamiento
H₀	mm	Separación arriba aros exterior/interior rodamiento
H_u	mm	Separación abajo aros exterior/interior rodamiento
i	-	Relación de transmisión
I	kg·m ²	Momento de inercia de masa
I_{LN}	mm ⁴	Momento de inercia respecto a la línea neutra
I_x	mm ⁴	Momento de inercia respecto al eje x

I_y	mm ⁴	Momento de inercia respecto al eje y
j	mm	Juego circunferencial
k	-	Factor de carga
	-	Coefficiente experimental
K_A	-	Factor de aplicación o servicio
K_{Hβ}	-	Factor de distribución de carga
K_V	-	Factor dinámico o de velocidad
l_b	mm	Longitud de anclaje
l_{bneta}	mm	Longitud neta de anclaje
L	m	Recorrido medio del gancho
L_a	mm	Diámetro círculo taladros exterior
L_{col} = f	m	Longitud total de la columna
L_{con} = g	m	Distancia desde el eje de giro hasta el centro de gravedad del contrapeso
L'con = a₂	m	Distancia desde el eje de giro hasta el centro de gravedad de la contrapluma
L_i	mm	Diámetro círculo taladros interior
L_{plu} = L_{máx}	m	Distancia desde el eje de giro hasta el punto de aplicación de la carga
L_{plu'} = f	m	Distancia desde el eje de giro hasta el final de la pluma
L_w = L = l	mm	Longitud del cordón de soldadura
m	kg	Masa
	-	Coefficiente numérico
	mm	Vuelo de cálculo zapata
	mm	Módulo engranaje
M = γ_s	-	Coefficiente según el tipo de grúa
M	N·m	Momento flector
	mm	Métrica del tornillo
M*	N·m	Momento flector mayorado
M_C	N·m	Momento flector en la base de la columna
		Momento flector debido al peso propio de la carga
M_{C2}	N·m	Par de cálculo
M_{con}	N·m	Momento flector debido al peso propio del contrapeso
M_k	kN·m	Momento de vuelco
M_r	N·m	Par de rozamiento de arranque
M_{r2}	N·m	Par requerido de salida
M_{vc}	N·m	Momento flector debido a la acción del viento sobre sobre la carga
M_{vcol}	N·m	Momento flector debido a la acción del viento sobre la columna
M_{vcon}	N·m	Momento flector debido a la acción del viento sobre el contrapeso
n	mín ⁻¹	Velocidad de giro
	ciclos/h	Número de ciclos
	-	Número de pernos/tornillos
n_{máx}	N/mm ²	Tensión normal máxima de cálculo referida a la superficie de la sección de garganta del cordón de soldadura abatida sobre el plano de la unión
n₁	-	Cantidad de engrasadores

N	N	Esfuerzo axial
N*	N	Esfuerzo axial mayorado
p	kg/cm ² - -	Presión zapata Coeficiente según el tipo de rodamiento Número de polos
p_b	mm	Paso de base
P	kW	Potencia
P_n	kW	Potencia nominal
P_r	kW	Potencia requerida
q	Pa	Presión estática
Q_{col}	N	Peso propio de la columna
Q_{con} = G = G₄	N	Peso del contrapeso
Q_L	N	Solicitud debida al peso de la carga
Q_{LC}	N	Solicitud debida al levantamiento de la carga
Q_{met}	N	Peso del mecanismo de elevación y traslación
Q_{mg} = O	N	Peso del mecanismo de giro
Q_{plu} = A = A₁ = G₁	N	Peso propio de la pluma
Q_{plu'} = A₂ = G₂	N	Peso propio de la contrapluma
Q_u	N	Peso de la carga útil más accesorios
r	mm mm	Recubrimiento Radio de acuerdo de la viga
r₁	m	Distancia desde la base de la columna hasta el punto de aplicación de la fuerza del viento sobre el contrapeso
r₂	m	Distancia desde la base de la columna hasta el punto de aplicación de la fuerza del viento sobre la carga
r_G	m	Distancia desde el eje de giro hasta el centro de gravedad del objeto considerado
R	N	Reacción
R'	mm	Radio polar
R_C	N	Reacción vertical en la base de la columna
R_d	N/mm ²	Resistencia de cálculo
R_t	μm	Rugosidad superficial
s	mm	Espesor alma
s_b	mm	Espesor de base
S_F	-	Coeficiente de seguridad engranajes
S_G	N	Solicitaciones debidas al peso propio
S_H	N	Solicitaciones debidas a movimientos horizontales
S_L	N	Solicitaciones debidas a la carga de servicio
S_T	N	Solicitaciones debidas a efectos de choque
S_W	N	Solicitaciones debidas al viento en servicio
S_{Wmáx}	N	Solicitud debida al viento máximo
t	s mm	Tiempo Espesor ala
t_a	s	Tiempo de aceleración
t_{mín}	s	Tiempo mínimo que tarda la pluma en alcanzar la velocidad de giro de la misma
T = M_t	N·mm	Momento torsor
v	m/s	Velocidad de desplazamiento

	mm	Vuelo físico de la zapata
v_L	m/s	Velocidad de elevación
v_t	m/s	Velocidad tangencial
V	N	Esfuerzo cortante
Vol	m^3	Volumen
W	mm^4	Módulo resistente
W_x	mm^3	Módulo resistente respecto al eje x
W_y	mm^3	Módulo resistente respecto al eje x
x	m mm	Excentricidad Desplazamiento
y	mm	Distancia desde la línea neutra hasta la fibra más traccionada o comprimida
Y_F	-	Factor de forma
Y_{NT}	-	Factor de vida p duración a fatiga en el pie del diente
Y_{RelT}	-	Factor relativo de superficie
Y_{ST}	-	Factor de corrección de la tensión
Y_X	-	Factor de tamaño
Y_ϵ	-	Coefficiente de recubrimiento
Y_β	-	Coefficiente para engranajes helicoidales
$Y_{\delta relT}$	-	Factor relativo de sensibilidad a la entalla
z	- mm	Número de dientes Altura de la fibra considerada con relación al centro de gravedad de la sección abatida del cordón de soldadura
Z	N	Esfuerzo de tracción a resistir por los anclajes
Z_B	-	Factor de contacto único en el piñón
Z_D	-	Factor de contacto único en la rueda
Z_E	-	Factor de elasticidad o material
Z_H	-	Factor de zona o geométrico
Z_{NT}	-	Factor de vida o duración a presión superficial
Z_r	c/h	Frecuencia de conexiones
Z_ϵ	-	Factor del grado de recubrimiento
Z_β	-	Factor del ángulo de hélice
β	- ° -	Factor de reducción Ángulo de inclinación Coefficiente de corrección
β_a	-	Ángulo de hélice base
ρ	kg/m^3 ‰	Densidad Cuantía geométrica mínima
ρ_1	-	Coefficiente de mayoración de la carga nominal prevista en los ensayos dinámicos Cuantía geométrica de la armadura de tracción
ρ_2	-	Coefficiente de mayoración de la carga nominal prevista en los ensayos estáticos
τ	N/mm^2	Tensión tangencial o cortante
τ_a	N/mm^2	Tensión tangencial (en el plano de la garganta) paralelo al eje del cordón de soldadura
τ_n	N/mm^2	Tensión tangencial (en el plano de la garganta) perpendicular al eje del cordón de soldadura

ξ	-	Coefficiente experimental
η	- %	Coefficiente de sombra Rendimiento
η_d	%	Rendimiento dinámico
$\omega_{m\acute{a}x}$	min^{-1} (rpm)	Velocidad de giro máxima de la pluma
ϕ	$^{\circ}$ mm	Ángulo de rozamiento interno del terreno Ángulo de la barra
γ_c	-	Coefficiente de minoración de la resistencia del hormigón
γ_f	-	Coefficiente de mayoración de acciones
γ_{M2}	-	Factor parcial de seguridad
γ_s	-	Coefficiente de minoración de la resistencia del acero
λ	-	Coefficiente experimental
Δr	mm	Margen de recubrimiento
μ	-	Coefficiente de rozamiento
α	$^{\circ}$ rad/s^2	Ángulo de presión Aceleración angular
α_v	$^{\circ}$	Ángulo de funcionamiento
ε	-	Recubrimiento frontal
σ	N/mm^2 N/mm^2	Tensión normal Tensión normal perpendicular al plano de la garganta
σ_{co}	N/mm^2	Tensión de comparación
σ_{F0}	N/mm^2	Tensión nominal en la base del diente
σ_{Flim}	N/mm^2	Resistencia a fatiga en el pie del diente
σ_{H0}	N/mm^2	Tensión nominal en el punto de contacto sobre la circunferencia primitiva
σ_{Hlim}	N/mm^2	Resistencia a fatiga a presión superficial
σ_t	N/mm^2	Resistencia de cálculo del perno
$\sigma_u = f_u$	N/mm^2	Resistencia de cálculo, tensión de rotura o última del acero
σ_y	N/mm^2	Tensión de fluencia o límite elástico

Tabla 1. Símbolos y denominaciones.

2.6. Requisitos de diseño

2.6.1. Descripción general de la grúa

2.6.1.1. Descripción general de las partes de la grúa

Este tipo de grúas están constituidas básicamente por una columna fija, anclada en su base con una cimentación adecuada, sobre la que gira la pluma por medio de un rodamiento de gran diámetro que le permite cubrir un círculo completo de 360°.

Se distinguen tres partes principales para su estudio:

1) Estructura de la grúa

La estructura de la grúa está dividida en cuatro partes principales: la pluma, la columna, la cimentación y el sistema de anclaje.

2) Mecanismo de elevación y traslación

El mecanismo de elevación y traslación está compuesto por un polipasto eléctrico con accionamiento eléctrico de traslación.

Se han dispuesto al principio y final de la pluma topes final de carrera para amortiguar eventuales golpes y delimitar la carrera del polipasto.

3) Mecanismo de giro

El mecanismo de giro está situado en la parte superior de la columna, constituido por un motor-reductor eléctrico, un acoplamiento flexible y un eje de salida que lleva en su parte inferior un piñón que ataca el rodamiento de gran diámetro.

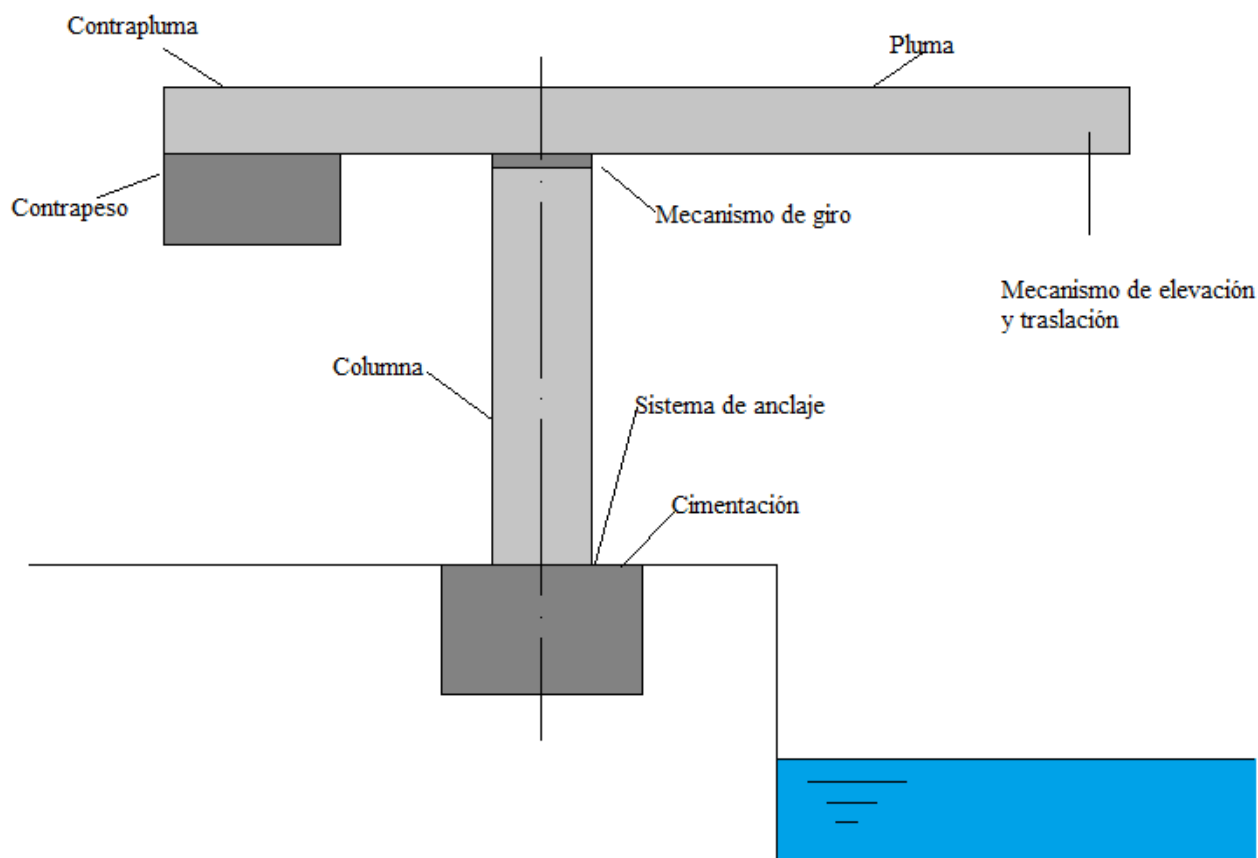


Figura 20. Partes principales de la grúa.

Cada conjunto se describirá en detalle en apartados posteriores, en donde se explicarán y justificarán las soluciones constructivas finalmente adoptadas.

2.6.1.2. Dimensiones principales de la grúa

Las dimensiones y características de la grúa se han escogido considerando, por un lado, el mercado de grúas existente y, por otro, analizando las necesidades que se deben cubrir en este proyecto en concreto.

La altura bajo gancho es de 8 m. Generalmente, cuanto mayor es la altura bajo gancho mejor, ya que no habrá problemas para elevar un tipo de carga normal. Este parámetro afecta a la altura total de la grúa; sin embargo, debido a que la grúa deberá estar situada en el exterior, en concreto en un puerto, la altura máxima no está acotada.

La cota del polipasto es la distancia desde la vía de rodadura del polipasto a la curvatura del gancho donde se puede fijar la carga. Si la carga a transportar es de grandes dimensiones, esta cota es un parámetro importante, ya que podría no ser posible el transporte de la misma. En este caso, se ha optado por un polipasto de altura reducida, es decir, la cota es lo más corta posible, para no tener problemas de este tipo, en concreto, de 0,5 m.

Por otro lado, el alcance de la pluma para este tipo de grúas puede variar desde los 4 m hasta los 10 m. En el caso de estudio, se ha elegido una solución intermedia de 8 m de alcance. Esta es una medida escogida como estándar por varios fabricantes. El alcance mínimo está acotado por las dimensiones del polipasto, en este caso, será de 2,5 m.

Por lo tanto, la grúa se ha definido, básicamente, en relación a la carga máxima especificada y el alcance de la pluma.

La siguiente tabla resume las características técnicas principales de la grúa giratoria de columna fija:

DIMENSIONES Y CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LA GRÚA	
Capacidad de carga (Tn)	8
Alcance máx. (m)	8
Alcance mín. (m)	2,5
Ángulo cubierto (°)	360°
Estructura	Metálica
Sistema de elevación y traslación	Polipasto eléctrico
Sistema de giro	Eléctrico por botonera
Corriente de alimentación (V)	Alterna trifásica 220/380 V a 50 Hz
Mando	Por botonera a pie de columna
Peso polipasto (kg)	611
Peso contrapeso (kg)	7000
Peso estructura (kg) - Pluma + Columna	4477,84
Grupo FEM	M6
Velocidad de elevación (m/min)	0,7/4
Velocidad de traslación (m/min)	5/24
Velocidad de giro ($\text{min}^{-1} = \text{rpm}$)	0,6
Potencia motor de elevación (kW)	1,4/8,9
Potencia motor de traslación (kW)	0,37
Potencia motor de giro (kW)	18,5
Altura total (m)	7,5

Altura bajo viga = Longitud columna (m)	6,5
Altura bajo gancho (m)	8
Cota de polipasto (m)	0,5
Longitud pluma (m)	8,5
Longitud contrapluma (m)	5,5
Longitud contrapeso (m)	1,2
Recorrido gancho (m)	5,5
Altura zapata (m)	1,5
Ancho zapata (m)	3,85
Dimensiones cimentación (m)	3,85x3,85x1,50

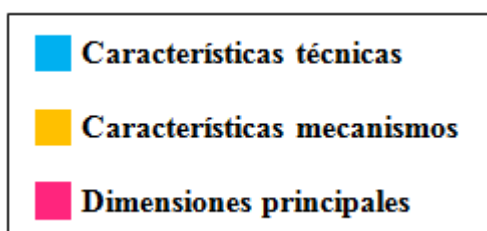


Tabla 2. Dimensiones y características principales de la grúa.

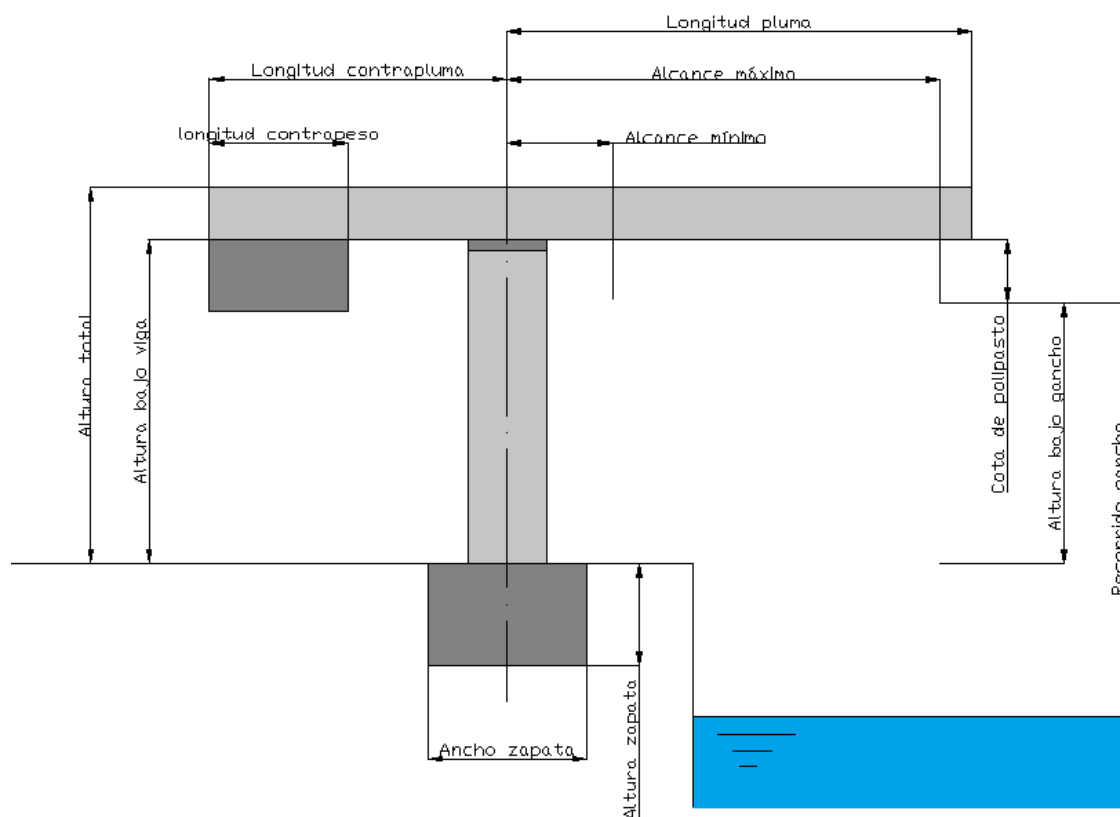


Figura 21. Dimensiones principales de la grúa.

2.6.1.3. Zona de funcionamiento

La grúa precisa de un cierto espacio libre en la base para poder efectuar los giros sin ningún impedimento. Este espacio depende solo del alcance máximo de la pluma y de una zona de seguridad en torno de la carga que viene determinada por la manga de la embarcación.

De la misma manera, es importante vigilar que en el lugar de trabajo de la grúa no existan cables ni tendidos eléctricos que puedan colisionar con la pluma.

2.6.1.4. Materiales empleados

La grúa está constituida principalmente de acero. Se han utilizado los aceros normales de construcción de grúas para la construcción de la estructura principal, en particular, el St-42 cuyo límite elástico es de 260 MPa. Este acero es equivalente al acero S275JR cuyas características mecánicas son:

- Tensión de fluencia o límite elástico: $\sigma_y = 275$ MPa.
- Tensión de rotura o última: $\sigma_u = 410$ MPa.
- Densidad: $\rho = 7850$ kg/m³.
- Módulo de elasticidad: $E = 210.000$ MPa.

En la siguiente tabla se muestran los materiales empleados:

Materiales	
Estructura general	St-42 (S275JR)
Eje	Acero aleado de gran dureza F-1220
Lengüeta de ajuste	Acero aleado de gran dureza F-1200
Piñón de giro	Acero para cementar F-1516
Tornillos, tuercas, arandelas	Acero al carbono F-1120

Tabla 3. Materiales empleados.

2.6.1.5. Protección ambiental

La protección de la estructura es un factor a tener muy en cuenta, ya que el ambiente en que se va a colocar la grúa es muy agresivo. La grúa se situará en el puerto, por lo tanto, le afectará de manera considerable el salitre.

Por consiguiente, se han previsto una serie de medidas de protección contra la corrosión:

- La estructura está tratada inicialmente con chorro de arena para eliminar oxidaciones superficiales, aplicándosele posteriormente una capa de imprimación de tipo marino y dos capas de pintura de acabado.
- Las superficies que sirven de carril de rodadura van pintadas con una capa de imprimación.
- El resto de componentes exteriores también estarán pintados con un antioxidante de tipo marino.
- El motor-reductor de giro tendrá una cubierta para protegerlo en caso de lluvia.

Además, el cable del polipasto está impregnado con una grasa especial indicada por el catálogo del fabricante que le proporciona protección contra el ambiente marino.

2.6.1.6. Funcionamiento con viento

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

1) Grúa en servicio (caso A)

La grúa puede seguir utilizándose siempre que el viento no supere los 72 km/h.

2) Grúa fuera de servicio (caso B)

Los cálculos correspondientes a la estructura de la grúa aseguran que esta resiste vientos de hasta 130 km/h.

En los casos en que el viento supere los 72 km/h, así como al final de la jornada laboral, es aconsejable desembragar el motor de giro de la grúa para que ésta se sitúe según el viento.

2.6.2. Prestaciones de la grúa

2.6.2.1. Vida útil de la grúa

La vida del mecanismo representa el número de horas de funcionamiento real que se estima que va a tener el mecanismo a lo largo de su servicio.

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

Para ello, 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. Además, durante un día de trabajo la grúa no se emplea permanentemente, por lo que se ha reducido ligeramente la jornada de 6 a 3 horas. De todo ello, resulta una vida aproximada de 6000 horas.

2.6.2.2. Capacidad de carga

La capacidad de carga representa en qué medida el aparato levanta la carga máxima o solamente una carga reducida.

El servicio de la grúa es la elevación de embarcaciones pequeñas hasta medianas de hasta 8000 kg. Por lo tanto, la capacidad de carga que se le exige a la grúa es variable con una frecuencia igual de cargas pequeñas, medianas y grandes.

2.6.2.3. Movimientos de la grúa

Los movimientos necesarios para este aparato de elevación son los grados de libertad necesarios para situar la carga en el lugar apropiado:

- 1) Movimiento de giro. Giro de la pluma y polipasto sobre la columna.
- 2) Movimiento de elevación. El polipasto asciende o desciende la carga colgada del gancho.
- 3) Movimiento de traslación. El polipasto, con movimiento de traslación, se desplaza a lo largo de la pluma.

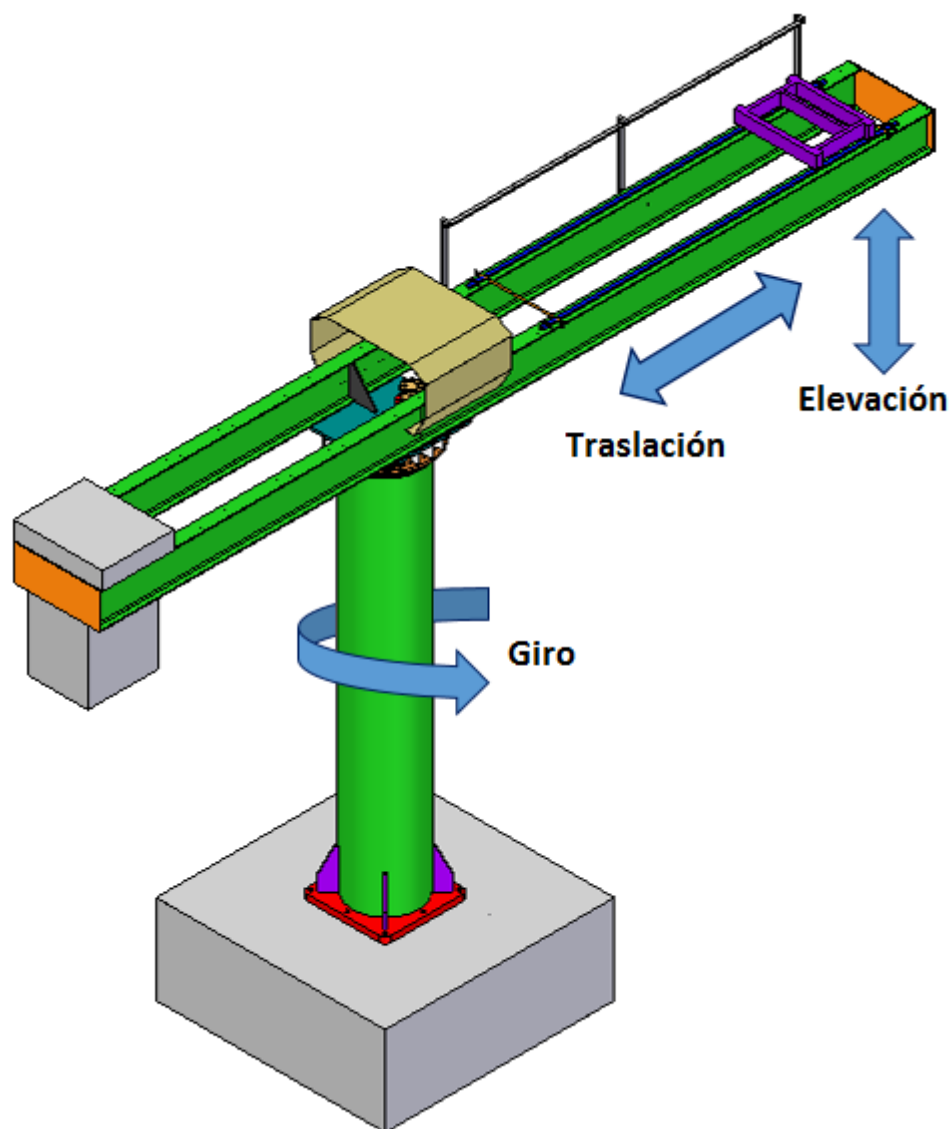


Figura 22. Movimientos de la grúa.

En los movimientos de traslación y elevación, por lo general, hay dos soluciones posibles. En la primera, el tambor se ancla en la parte superior de la columna y la elevación se lleva a cabo desde un lugar fijo en la punta de la pluma. Esta solución supone tener un radio fijo de actuación, sin poder abarcar todo el espacio de trabajo debajo de la pluma. La segunda solución consiste en que el polipasto esté fijo a un carro de traslación que corre a lo largo de la pluma, pudiendo así abarcar un sector de trabajo más amplio. Por lo tanto, la mejor solución es esta última y es la opción escogida. De esta manera, su zona de actuación comprende el ángulo de 360° que barre la pluma en su giro.

El carro de traslación puede ser manual o eléctrico. En este caso, ya que la capacidad de carga es elevada, el carro de traslación debe ser eléctrico. Por consiguiente, el movimiento de

traslación y elevación se realizará mediante un polipasto eléctrico con carro de traslación eléctrico.

Las velocidades de actuación de los movimientos han sido elegidas por similitud a las velocidades empleadas por otros fabricantes.

La velocidad de giro está en torno a $0,6 \text{ min}^{-1}$. Por consiguiente, se elegirá un motor-reductor adecuado a la carga y a las condiciones externas, en las cuales hay que tener en cuenta la resistencia ocasionada por el viento en servicio.

2.7. Análisis de soluciones

2.7.1. Introducción a las grúas

Una grúa es un aparato o máquina de elevación de movimiento discontinuo destinado a elevar, bajar y distribuir cargas verticalmente para moverlas horizontalmente en el espacio mientras se quedan suspendidas de un gancho.

Por regla general, son aparatos que cuentan con poleas acanaladas, contrapesos, mecanismos simples, etc. para crear ventaja mecánica y lograr mover grandes cargas.

Existen muchos tipos de grúas diferentes, cada una adaptada a un propósito específico. Los tamaños se extienden desde las más pequeñas grúas de horca, usadas en el interior de los talleres, grúas torre, usadas para construir edificios altos, hasta las grúas flotantes, usadas para construir aparejos de aceite y para rescatar barcos encallados.

Las aplicaciones de los distintos tipos de grúas son muy diversas. Son muy comunes en obras de construcción, puertos, instalaciones industriales y otros lugares donde es necesario trasladar cargas. Existe una gran variedad de grúas, diseñadas conforme a la acción que vayan a desarrollar. Más abajo se detallan los distintos tipos de grúas.

Cabe destacar que los operarios de grúas están muy bien remunerados debido a la gran responsabilidad que descansa sobre sus manos, no sólo por el peligro que entraña elevar pesadas cargas sobre personas y bienes, sino por el elevado coste de las máquinas y cargas con las que trabajan.

Uno de los principales problemas de una grúa, además de levantar la gran cantidad de peso, reside en mantener el equilibrio. En numerosas ocasiones, el único soporte de la grúa reside en su base, con la que, a través de diversos artilugios, se desplaza el centro de gravedad de la máquina y el peso que sostiene. Pueden ser hidráulicas, lo cual facilita su uso ya que son muy prácticas.

2.7.2. Clasificación de las grúas

Las grúas se pueden clasificar en función de su movimiento permitido en grúas móviles y fijas:

- Móviles

Son las que tienen posibilidad de realizar movimientos de desplazamiento, ya sea sobre rieles, ruedas neumáticas, oruga, u otros medios.

Cuando la traslación de la grúa es poco frecuente o cuando la traslación pasa a ser un punto secundario en el trabajo de la misma, se utiliza algún tipo de remolque que movilice a la grúa. Cuando la traslación pasa a ser un factor fundamental en la operación de la grúa, esta se mueve por medio de motores eléctricos propios de la misma.

Entre las más importantes cabe destacar:

- Grúas sobre cadenas u orugas.
- Grúas sobre ruedas o camión.
- Autogrúas, de gran tamaño y situadas convenientemente sobre vehículos especiales.



Figura 23. Grúa sobre camión.

- Fijas

Son aquellas que se instalan en un lugar en el que desarrollan su trabajo, sin poder desplazarse.

En lo que concierne a este tipo de grúas, cambian la movilidad que da la grúa móvil con la capacidad para soportar mayores cargas y conseguir mayores alturas, incrementando de este modo la estabilidad. Se caracterizan por quedar ancladas en el

suelo (o al menos su estructura principal) durante el periodo de uso. A pesar de ello, algunas pueden ser ensambladas y desensambladas en el lugar de trabajo.

Ejemplos de este tipo de grúas son:

- Grúas puente o grúas pórtico, empleadas en la construcción naval y en los pabellones industriales.
- Grúa *Derrick*.
- Plumines, habitualmente situados en la zona de carga de los camiones.
- Grúa horquilla, carretilla elevadora o montacargas.

2.7.3. Grúas portuarias fijas

Como bien se ha mencionado en el apartado anterior, existen infinidad de tipos de grúas (puente grúa, grúa pórtico, grúa consola, grúa giratoria de columna o de plataforma, grúa torre, telescópica, automontable...) pero este proyecto se centra únicamente en las grúas portuarias fijas.

Se trata de grúas para la varada y manipulación de embarcaciones, diseñadas para responder a los requerimientos de los puertos deportivos y pesqueros (en este caso, únicamente para puerto pesquero).

Este tipo de aparatos de elevación se pueden clasificar en dos grandes grupos dependiendo de su tamaño: grúas grandes y pequeñas. Únicamente se hará un estudio de estas últimas, ya que son las que la grúa del presente proyecto se encuentra dentro de este grupo.

2.7.3.1. Pequeñas grúas

Existen diversos tipos de pequeñas grúas para puerto, a continuación, se detallan las más características.

Grúa de cuadrilátero articulado o pico pato

Su especial diseño le permite acceder a cada punto de la superficie cubierta, evitando golpear mástiles de otros barcos en su recorrido de giro, gracias al movimiento retráctil de la pluma.

Es perfecta para trabajos de varada, reparación y mantenimiento de embarcaciones de hasta 10 Tn, en puertos deportivos y pesqueros.

Tienen un alcance de 2,5 a 7 m.



Figura 24. Grúa pico-pato.

Grúas ligeras

Se trata de grúas sencillas, de fácil manejo, para la varada de pequeñas embarcaciones como motos acuáticas y vela ligera.

Debido a sus reducidas dimensiones y fácil manejo, es adecuada para instalaciones con espacio limitado y donde se realizan actividades náuticas con este tipo de embarcaciones.

Las capacidades de carga varían entre los 500 y 1000 kg.



Figura 25. Grúa ligera.

Grúa cartela

Consiste en una grúa diseñada para la varada de todo tipo de embarcaciones y, especialmente, para puertos pesqueros.

La mayoría de ellas disponen de un generoso cambio de alcance que permite y facilita la disposición de las embarcaciones sobre el muelle y, sobretodo, la posibilidad de atender la reparación de embarcaciones por sus movimientos de precisión.

Tienen capacidades de carga comprendidas entre 5 y 12 Tn y el alcance está entre 6 y 12 m.



Figura 26. Grúa cartela.

2.7.4. Sistemas marinos de elevación

Para resolver algunas de las necesidades que se presentan en los puertos para la manipulación de embarcaciones de poco tonelaje, se hace necesaria una cierta topología de sistemas de elevación con capacidades de carga que siempre dependen del tipo de embarcación. Para este caso, se va a limitar el rango de estudio para embarcaciones de hasta 8 Tn.

Las principales características deseables de este tipo de sistemas son:

- Fácil mantenimiento.
- Simplicidad de uso.
- Construcción robusta.
- Cierta aspecto estético, sobre todo en puertos deportivos.

2.7.4.1. Carretillas elevadoras

Una carretilla elevadora, conocida popularmente como *toro*, es un vehículo contrapesado en su parte trasera preparado para transportar cargas y elevarlas hasta una determinada altura.



Figura 27. Carretilla elevadora.

Suelen tener dos barras paralelas planas en la parte frontal del vehículo, llamadas horquillas, montadas sobre un soporte unido a un mástil de elevación de la carga. Las ruedas traseras son orientables para facilitar las maniobras de conducción en el desplazamiento del material transportado.

Las carretillas elevadoras habitualmente utilizadas en la manipulación de embarcaciones tienen dos características que las diferencian del resto de carretillas. Las horquillas son mucho más largas, siempre dependiendo del tamaño medio de embarcación y la situación de su centro de gravedad. El contrapesado y la distancia entre ejes son mucho mayores, ya que las cargas son también mayores y el centro de gravedad de la carga se encuentra más alejado del mástil de la carretilla.

La gran ventaja de este sistema de manipulación es la versatilidad que le proporciona llevar la carga directamente sobre un vehículo que permite transportar la embarcación hasta un taller, un transporte de carretera o un carro de varado donde depositarla.

La capacidad de carga de estos vehículos es muy grande y su tamaño y distancia entre ejes es proporcional a la carga que es capaz de desplazar.

2.7.4.2. Pórticos automotores sobre neumáticos

El pórtico automotor es un sistema de elevación compuesto por cuatro columnas que elevan una estructura puente por donde se desarrollan los mecanismos de elevación.

El movimiento longitudinal se realiza a nivel de suelo a través de un sistema de rodadura en la parte inferior de las columnas, formado por neumáticos de gran resistencia.

El movimiento vertical se lleva a cabo en la estructura puente a través del mecanismo de elevación.

El pórtico automotor está capacitado para varar, mover y botar embarcaciones con un rango máximo de capacidad de carga que va de 800.000 a 1.000.000 kg, existiendo pórticos de 25 m de alto y 25 m de luz.



Figura 28. Pórtico automotor sobre neumáticos.

Existen los pórticos automontables estándares y también sumergibles.

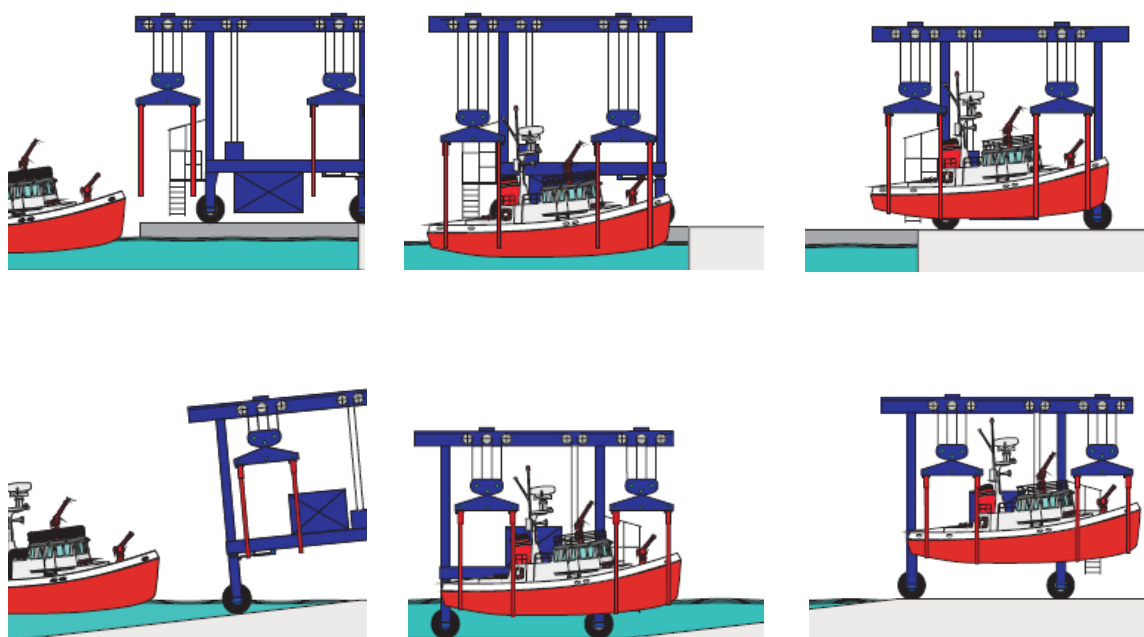


Figura 29. Movimientos pórtico automotor sobre neumáticos.

2.7.4.3. Plataforma sincro-elevadora o sincroelevador

El sincroelevador es una plataforma que emerge del agua por medio de un mecanismo de malacates llevándose consigo una o varias embarcaciones. Cuenta con una grúa serralvo de 50 Tn.

Las características destacables del sincroelevador son las siguientes: 101,81 m de longitud de la plataforma (eslora), 22 m de ancho (manga), 2,47 m de altura (puntal) y 2500 Tn de capacidad de carga.



Figura 30. Plataforma sincro-elevadora.

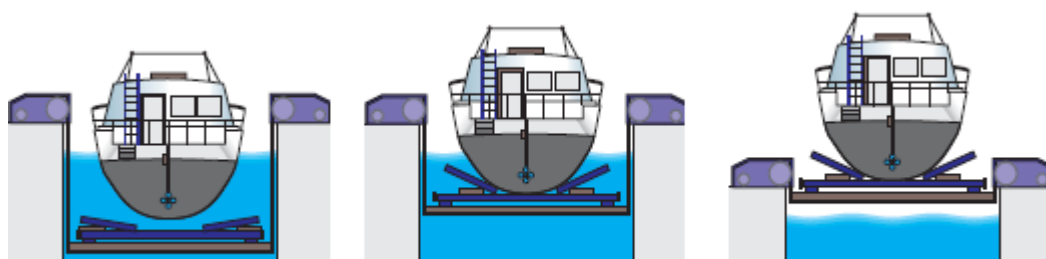


Figura 31. Movimientos sincroelevador.

2.7.4.4. Carros autoportantes o de varado

Los carros autoportantes son una pieza clave en la organización de un varadero. El carro autoportante, al ser significativamente más estrecho que un pórtico, permite optimizar el uso del espacio en un varadero, incrementando la rentabilidad de la operación. El uso del carro con un pórtico automotor reduce ostensiblemente el tiempo de ocupación del último, aumentando así el número de operaciones de varada por día.



Figura 32. Carro autoportante o de varado.

2.7.5. Grúas giratorias de columna

Respecto a este tipo de grúas, existen dos posibles configuraciones: que la columna sea giratoria o, por el contrario, fija. A continuación, se describen las dos soluciones.

2.7.5.1. Grúas giratorias de columna giratoria

Este tipo de aparato de elevación consiste básicamente en una pluma giratoria, solidaria a una columna articulada verticalmente en sus extremos inferior y superior. Sus partes principales son: la pluma (1), la columna (2), el mecanismo de elevación (3), el soporte superior (4) e inferior (5) y el sistema de poleas (6).

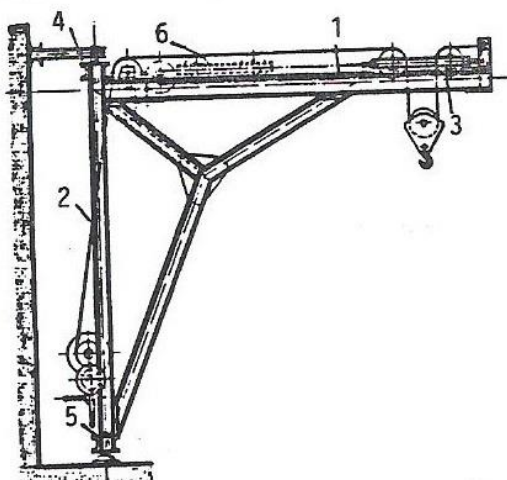


Figura 33. Partes grúa giratoria de columna giratoria.

El movimiento de giro se realiza a través de dos cojinetes dispuestos en los soportes que articulan la columna. El movimiento de traslación del carro se lleva a cabo a lo largo de la parte superior de la pluma. El movimiento de elevación se realiza a través del carro o polipasto. Se utiliza en naves de transbordo, almacenes, puertos, talleres de máquinas, herramientas y transporte de piezas. Su capacidad máxima es alrededor de las 6 Tn. El alcance máximo alcanza los 8 m.

2.7.5.2. Grúas giratorias de columna fija

Este tipo de grúa, en la que se encuentra la grúa de estudio, consta de una estructura formada por una pluma anclada a una columna fija mediante unos rodamientos situados a diferentes alturas o uno de gran diámetro situado a una sola altura.

Cuando los rodamientos están situados a diferentes alturas, los elementos deslizantes son unos rodillos situados en la altura inferior, los cuales se desplazan sobre el perímetro de la columna.

En el caso de la utilización de un rodamiento de giro, este es el encargado de absorber el momento de vuelco y el peso de la pluma y la carga, además de actuar como elemento deslizante.

Sus partes principales son: la pluma (1), la columna (2), el contrapeso (3), el soporte de contrapeso (4), el soporte superior (5) e inferior (6), la estrella de base o sistema de anclaje (7), y el macizo de anclaje o zapata (8).

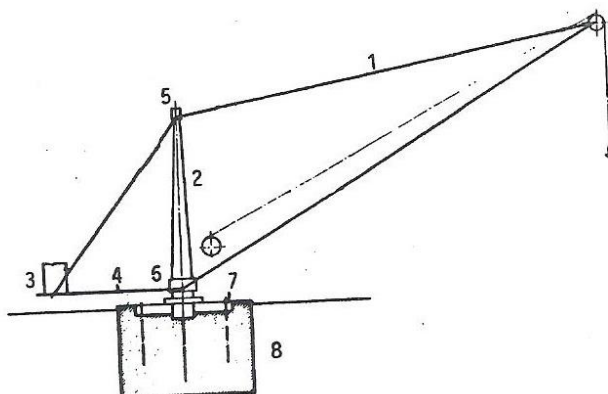


Figura 34. Partes grúa giratoria de columna fija.

Por otra parte, la columna está fija al suelo debido a un rígido empotramiento a un macizo de anclaje o una zapata. Se utiliza en el servicio ferroviario, patios de fábrica y puertos, siendo este último lugar el entorno del presente proyecto.

La capacidad de carga máxima es de 10 Tn y el alcance puede llegar hasta 8 m.

2.7.6. Grúa sin contrapeso vs. grúa con contrapeso

Un elemento importante a tener en cuenta en el diseño de la grúa es el contrapeso. El aparato de elevación puede diseñarse sin contrapeso o, por el contrario, con contrapeso.

A simple vista, no se puede saber cuál de las dos opciones es mejor, ya que depende de muchos factores: capacidad de carga de la grúa, coste, etc. Es por ello que se realizará un estudio de las dos configuraciones (grúa sin y con contrapeso) para finalmente elegir la mejor de las dos opciones.

2.7.7. Análisis general de la solución adoptada

A continuación, se hace un resumen del análisis de todos los sistemas de elevación y tipos de grúas anteriormente descritos, comparándolos entre sí para finalmente elegir la solución más adecuada:

- **Grúa pico pato.** Supera, tanto en alcance como en altura de pluma y bajo gancho, al resto de los modelos de grúas portuarias y cubre una superficie de varada 6 veces mayor que cualquier modelo convencional. Quizás es una solución excesiva para la aplicación de este proyecto.
- **Grúas ligeras.** Gracias a sus reducidas dimensiones y fácil manejo es adecuada para instalaciones con espacio limitado. En cambio, sus capacidades de carga son muy pequeñas.
- **Grúa cartela.** Está diseñada especialmente para puertos pesqueros. Además, al disponer de un generoso cambio de alcance, permite y facilita la disposición de las embarcaciones en el muelle para su posterior reparación o mantenimiento de las mismas. Podría ser una buena solución a adoptar.

- **Carretilla elevadora.** Es ideal para embarcaciones con un peso entre los 3000 y 3500 kg. En cambio, para pesos mayores, los espacios de circulación y la estabilidad de la carga se ven comprometidas, existiendo la posibilidad de vuelco del vehículo. Es por ello que necesita de un fuerte contrapesado, mayor que la carga que sostiene para garantizarle la necesaria estabilidad en el transporte y maniobra. Además, se hace necesario disponer de un espacio de circulación del vehículo por el muelle. Si el puerto dispusiera de un servicio de varadero apilable, sería un sistema de elevación ideal.

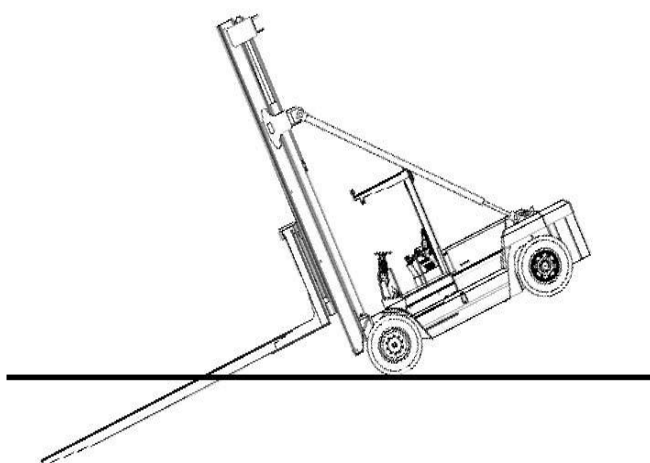


Figura 35. Efecto de vuelco en carretilla elevadora.

- **Pórtico automotor sobre neumáticos.** Independientemente del tonelaje de la embarcación, la parcela a ocupar por esta en el varadero tiene siempre las mismas dimensiones, condicionadas por el espacio que necesita el pórtico para operar, por lo que este sistema de elevación es muy ineficiente para embarcaciones pequeñas, cuya ocupación en superficie es mucho menor. De igual manera, el tiempo de operación del pórtico no resulta más reducido si se trata de embarcaciones pequeñas, pues está condicionado por la velocidad operativa del pórtico, tanto en movimientos de elevación como en movimientos de traslación por el varadero. Además, en la operación de izado de embarcaciones, necesita un espacio en el muelle especialmente acondicionado para que el pórtico pueda operar con total seguridad.
- **Sincroelevador.** Tiene capacidades de carga muy superiores a las del presente proyecto. Sería adecuado para embarcaciones con unas dimensiones muchísimo mayores.

- **Carro autoportante o de varado.** Al ser significativamente más estrecho, es más adecuado que un pórtico, ya que permite optimizar el uso del espacio en un varadero, incrementando a su vez la rentabilidad de la operación. Sin embargo, y al igual que el pórtico automotor, necesita de un gran espacio.
- **Grúa giratoria de columna giratoria.** Una limitación importante es la necesidad de ubicar el aparato próximo a una pared para el anclaje superior de la columna, hecho que imposibilita el giro completo de la pluma a 270° como máximo. También pueden estar fijadas a otra columna, con lo que el giro puede aumentar a 300°.

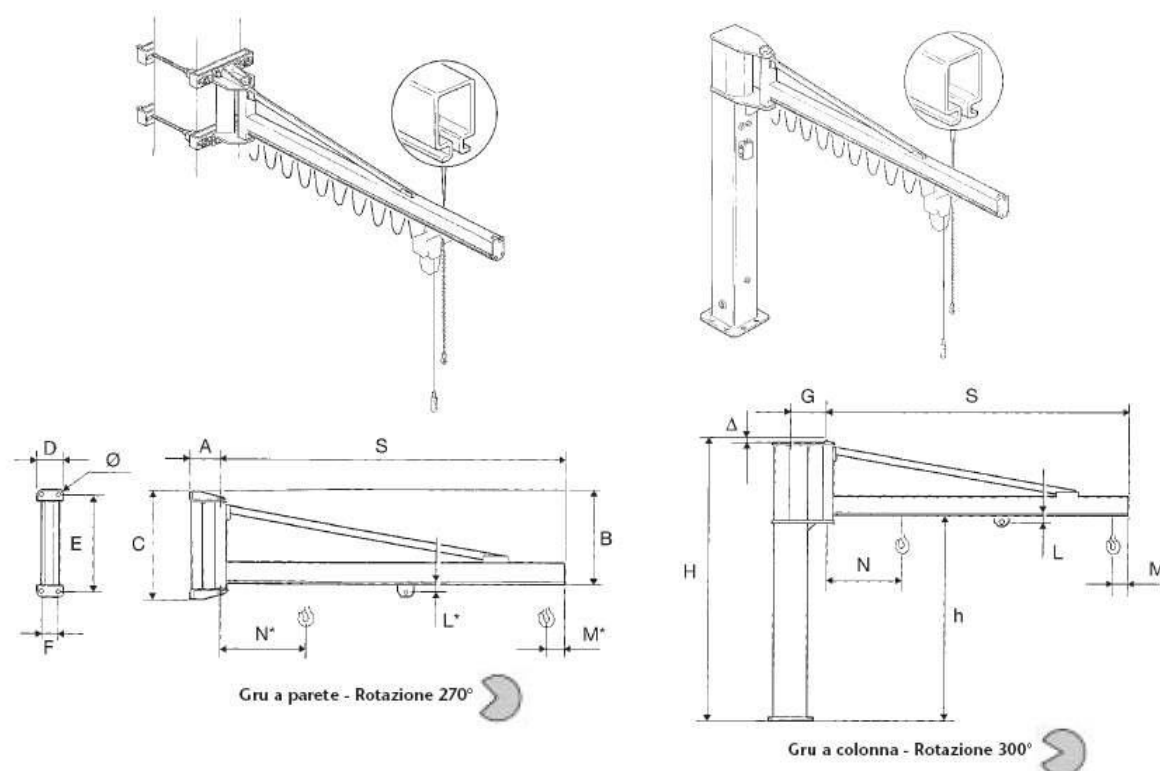


Figura 36. Movimientos grúa giratoria de columna giratoria.

Por lo tanto, su limitación en autonomía de giro debido a su sistema de anclaje, la invalidan frente a la de columna fija.

- **Grúa giratoria de columna fija.** Tiene la ventaja de que, al contar con una cimentación propia e independiente, puede realizar un giro de 360° de pluma. De esta manera, se optimiza el espacio de uso de la máquina concentrando en un solo lugar todas las maniobras de manipulación de una embarcación. Es la más sencilla de mantener y utilizar. Las grúas de este tipo son autosuficientes y pueden ser

impermeabilizadas completamente, esto las convierte en una buena opción para el trabajo al aire libre. Parece la solución más adecuada.

- **Grúa sin contrapeso.** A simple vista, puede parecer que es una solución más barata que utilizando un contrapeso, ya que se ahorraría en costes al prescindir de este. Sin embargo, tal y como se observa en los cálculos, sale menos económico construir la grúa sin contrapeso.
- **Grúa con contrapeso.** Las únicas dos desventajas respecto a la configuración de grúa sin contrapeso son que al presupuesto total habría que sumarle el peso de este y que la grúa tendría una contrapluma en la que iría colocado el contrapeso. En los cálculos se observa que son más las ventajas que las desventajas de esta configuración.

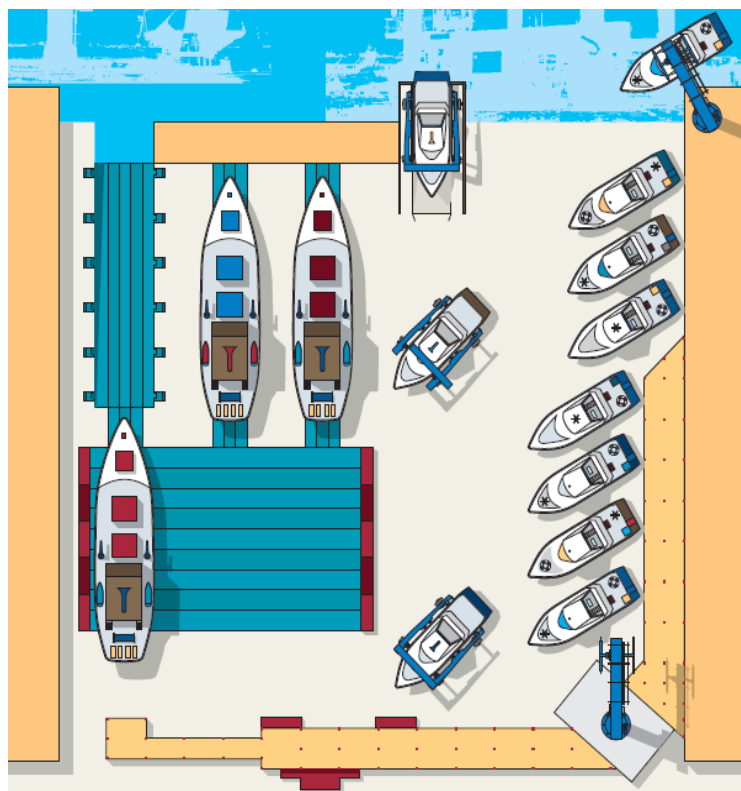


Figura 37. Posibles soluciones.

Considerando lo comentado anteriormente, la alternativa más adecuada es una grúa cartela, que a su vez se trata de una grúa giratoria de columna fija.

La característica principal de este tipo de grúas es que permiten una rotación de la pluma de 360°. Estas grúas no requieren ningún tipo de soporte adicional, sino una cimentación permanente de un tamaño adecuado.



Figura 38. Movimientos grúa cartela.

En lo que respecta al contrapeso, la solución más económica es la opción de grúa con contrapeso como bien se demuestra en los anexos.

2.7.8. Estudio de los tipos de barcos pesqueros

Las dimensiones y características de las embarcaciones que la grúa del presente proyecto elevará son un dato muy importante a tener en cuenta, ya que las dimensiones y características del aparato de elevación se verán condicionadas.

La grúa del presente proyecto, al estar ubicada en un puerto pesquero, sólo elevará barcos pesqueros. El rango de dimensiones de estos es muy variado, encontrándose buques de una eslora entre 3 y 35 m, una manga entre 1 y 8 m y puntales entre los 0,5 y 5 m.


Debido a ello, la grúa cartela no podrá elevar todo tipo de barcos, ya que tiene una capacidad de carga limitada. Por tanto, se ha realizado un estudio de las dimensiones y pesos propios de los distintos tipos de embarcaciones pesqueras.


En la siguiente tabla se puede observar la relación entre el peso y las diferentes dimensiones de embarcaciones pesqueras de diversos fabricantes (ordenados de mayor a menor longitud de eslora):


	Eslora (m)	Manga (m)	Peso (Tn)
1	13,05	4,79	17,2
2	13,00	4,00	12,00
3	12,70	4,15	10,00
4	12,42	4,25	12,00
5	12,42	4,25	11,5
6	12,30	4,16	12,00
7	12,13	4,26	17,00
8	12,09	4,31	9,60
9	12,01	4,16	10,4
10	11,96	4,57	11,2
11	11,96	3,46	8,80
12	11,92	4,04	14,00
13	11,92	4,00	11,00
14	11,90	4,00	11,00
15	11,90	4,05	15,60
16	11,90	4,04	9,0
17	11,86	4,22	12,90
18	11,84	4,06	14,40
19	11,70	4,05	8,00
20	11,58	3,20	6,20
21	11,52	3,97	13,00
22	11,50	3,95	15,00
23	11,47	3,96	11,00
24	11,46	3,83	9,00
25	11,40	4,09	6,00
26	11,23	3,96	12,00
27	11,07	3,81	6,00
28	11,07	3,89	6,50
29	11,07	3,89	8,70
30	11,00	4,04	8,70
31	10,93	3,96	12,50
32	10,85	3,53	6,70
33	10,80	3,40	5,00
34	10,75	3,76	8,00
35	10,73	3,83	9,00
36	10,70	4,00	9,50
37	10,70	4,20	13,60
38	10,69	3,96	7,50
39	10,60	3,48	6,50
40	10,60	4,00	8,50
41	10,50	3,53	6,80

42	10,47	3,61	8,00
43	10,40	3,10	5,10
44	10,33	3,16	9,00
45	10,30	3,50	6,50
46	10,21	3,55	5,50
47	10,21	3,53	6,00
48	10,20	3,20	5,00
49	10,06	3,80	6,50
50	10,03	3,81	6,00
51	9,99	3,64	11,5
52	9,98	3,88	7,00
53	9,96	3,80	10,00
54	9,96	3,25	4,00
55	9,86	3,30	5,50
56	9,86	3,25	4,80
57	9,83	3,36	4,50
58	9,83	3,43	6,00
59	9,80	3,09	4,00
60	9,75	3,53	6,70
61	9,60	3,28	5,00
62	9,58	3,60	11,50
63	9,50	3,65	6,90
64	9,50	2,90	5,50
65	9,32	3,40	7,00
66	9,31	3,18	6,50
67	9,30	3,20	5,00
68	9,29	3,81	6,00
69	9,28	3,10	4,00
70	9,24	2,90	5,00
71	9,20	3,40	7,00
72	9,08	3,18	3,90
73	9,00	2,70	2,50
74	9,00	3,20	4,40
75	8,91	2,93	3,50
76	8,89	3,20	3,72
77	8,89	3,20	4,30
78	8,70	3,30	5,15
79	8,70	2,75	4,50
80	8,70	2,98	5,10
81	8,50	3,04	4,70
82	8,48	2,90	4,00
83	8,40	2,62	3,00

84	8,40	2,80	3,90
85	8,36	2,98	3,00
86	8,24	3,04	5,40
87	8,05	2,74	3,60
88	8,00	2,20	3,50
89	8,00	2,50	2,20
90	7,94	2,74	2,80
91	7,92	2,80	4,00
92	7,80	2,60	2,10
93	7,80	2,77	5,00
94	7,69	2,85	4,50
95	7,60	2,55	2,10
96	7,49	2,59	1,90
97	7,49	2,50	1,80
98	7,48	2,70	7,20
99	7,48	2,44	2,20
100	7,45	2,50	1,60
101	7,40	2,60	1,70
102	7,39	2,79	1,80
103	7,25	2,81	2,30
104	7,05	2,52	1,40
105	6,80	2,59	1,90
106	6,80	2,40	1,20
...

 **Gama ALTA** => Peso: 9-12 Tn (Eslora: 10-13 m; Manga: 4-5 m)

 **Gama MEDIA** => Peso: 5-8 Tn (Eslora: 10-11 m; Manga: 3 m)

 **Gama BAJA** => Peso < 5 Tn (Eslora: 3-9 m; Manga: 2 m)


 **FUERA DE RANGO** => Peso > 12 Tn

Tabla 4. Dimensiones y pesos embarcaciones pesqueras.

Finalmente, se ha optado por barcos pesqueros de “gama media”, esto es, con las siguientes características y dimensiones:

- **Eslora: 10 – 11 m**
- **Manga: 3 m**
- **Puntal: 0,5 – 1,5 m**
- **Peso: 8 Tn máximo**

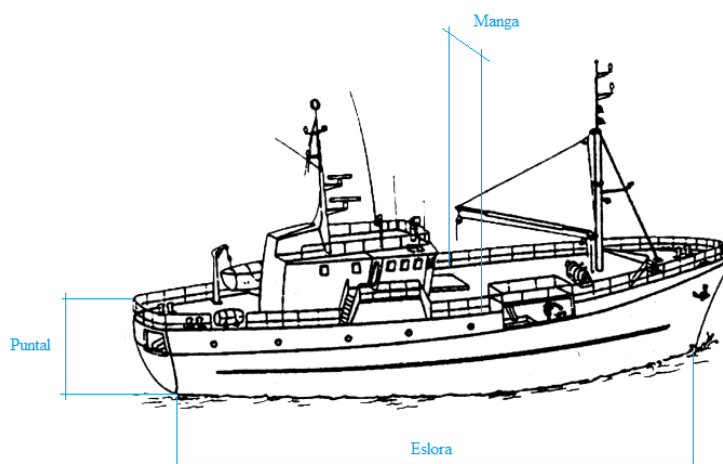


Figura 39. Dimensiones principales barco.

A continuación, se hace una breve descripción de los buques pesqueros que se encuentran dentro del rango anteriormente citado y que, por tanto, la grúa giratoria de columna fija es capaz de elevar:

- **Cerqueros**

Es el sistema de pesca más usado actualmente junto con el arrastre. Existen diversas clasificaciones de los cerqueros, la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) los divide en cerqueros con jareta o sin jareta y cerqueros atuneros. Utilizan redes que envuelven un banco de peces, normalmente especies pelágicas. Éstas no son capturables todo el año y, por tanto, este tipo de buque suele estar sometido a campañas. El grado de mecanización no es muy alto (excepto atuneros), aunque la inversión inicial si es elevada. Existen muchas variantes de distribución de espacios, dependiendo del tipo de cerco, del tamaño del barco, de la zona de pesca, etc. Entre los de tamaño pequeño o medio, el más común dispone la superestructura a proa al igual que la cámara de máquinas, sin embargo, las bodegas van a popa.



Figura 40. Cerquero.

- **Rastreros**

Este tipo de barcos emplean rastras para pescar moluscos del fondo, procedimiento similar al que emplean los arrastreros. Son barcos muy pequeños normalmente, con una pequeña caseta en el centro o ligeramente a proa, aunque existen algunos de hasta 15 m de eslora.



Figura 41. Rastrero.

- **Pesca con redes de enmalle**

Se trata de un tipo de embarcación con gran tradición marinera que ha ido perdiendo progresivamente importancia debido a su baja productividad. Es un tipo de pesca estacional. Suelen ser pequeños y de una única cubierta corrida. La manga no debe ser excesiva para que la altura metacéntrica (GM) no sea alta. Los buques que realizan la maniobra de pesca por el costado suelen llevar la superestructura a popa. La cámara de máquinas va a popa.



Figura 42. Pesca con redes de enmalle.

- **Pesca con trampas**

Bajo esta denominación se incluyen las embarcaciones que pescan con diferentes tipos de nasas, trampas, almadrabas, etc. El grupo más numeroso lo forman los naseros, embarcaciones que calan las nasas para la captura de marisco principalmente. Su tamaño varía desde pequeños barcos sin cubierta que faenan cerca de la costa, hasta los más grandes de 25 o 30 m. Suelen llevar la superestructura a proa, dejando la zona de popa despejada para almacenar las nasas. La pluma y el chigre (o haladores mecánicos en su caso) se sitúan inmediatamente a popa del puente, realizándose siempre por el mismo lado las maniobras de largado y virado. La cámara de máquinas se sitúa a proa, y dependiendo del tipo de barco las bodegas van a popa o a proa; en el caso de que se mantengan las capturas vivas, poseen unos viveros con agua refrigerada.



Figura 43. Pesca con trampas.

- **Palangreros**

Este tipo de buque ha ido adquiriendo gran importancia en los últimos años, debido a la implantación de nuevas maquinillas de pesca, así como la mejora de los procedimientos de congelación en túneles de aire. Existen diferentes tipos dependiendo de la pesca que se realice y, por tanto, diferentes configuraciones; por regla general, los mayores tienen la superestructura a popa, así como el parque de pesca y la cámara de máquinas. Los palangreros tienen una abertura lateral que rompe la línea de la amurada y es por donde el palangre es



Figura 44. Palangrero.

halado. El palangre es lanzado por una abertura en popa.

- **Curricaneros (embarcaciones con líneas)**

Este tipo de buque no posee unas características específicas a excepción de los enormes tangones que lleva en los costados. Generalmente, la casta de gobierno está



Figura 45. Curricanero.

situada en el centro o a proa, con gran visibilidad. También poseen una buena maniobrabilidad para el manejo adecuado de los aparejos. Se suelen emplear carreteles hidráulicos para halar las líneas.

- **Embarcaciones con cañas**

Se trata de embarcaciones usadas para la captura de especies pelágicas o semipelágicas, normalmente, es una pesca estacional. Los buques suelen ser de pequeño porte, sin embargo, poseen una tripulación numerosa, lo que implica un área de habilitación importante. Poseen un francobordo



Figura 46. Embarcación con cañas.

bajo y es frecuente el uso de formas hidrocónicas, con costados planos y codillo. La superestructura se sitúa a proa, dejando la parte central y de popa para las labores de pesca. Suelen tener cubas para el cebo vivo y sistemas de rociado de agua para la atracción de peces.

- **Embarcaciones polivalentes**

Bajo esta denominación se incluyen varios tipos de barcos que están preparados para faenar con artes diferentes, sin modificar considerablemente su configuración y equipos.

Los hay desde embarcaciones artesanales hasta grandes arrastreros-cerqueros, cerqueros-cañeros, cerqueros palangreros, etc. Por tanto, las características más comunes en cuanto a disposición, dimensiones, equipos, etc. son muy diferentes.



Figura 47. Embarcación polivalente.

2.8. Resultados finales

2.8.1. Descripción de la estructura de la grúa

En este apartado, se justifican las soluciones constructivas empleadas, describiendo con más detalle cada una de las partes y componentes de la estructura de la grúa.

Como ya se ha comentado anteriormente, la estructura de la grúa se puede dividir en 4 partes principales: la pluma, la columna, la cimentación y el sistema de anclaje.

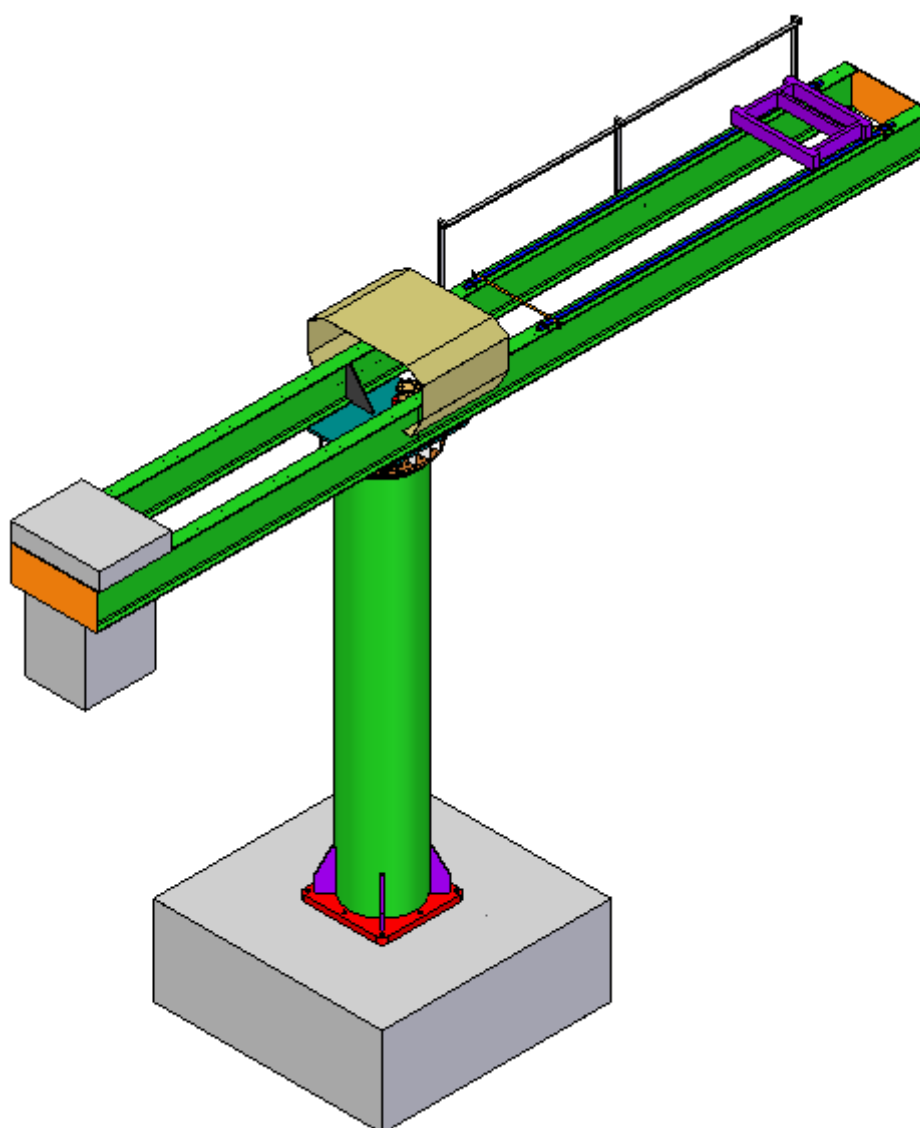


Figura 48. Grúa portuaria para elevación de embarcaciones (isométrica).

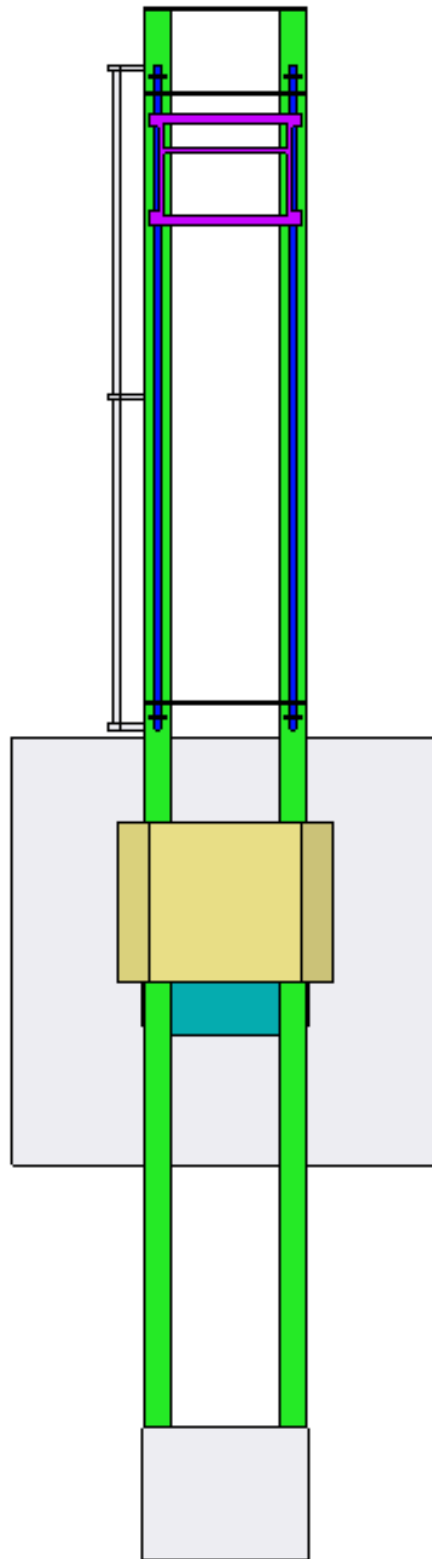


Figura 49. Grúa portuaria para elevación de embarcaciones (planta).

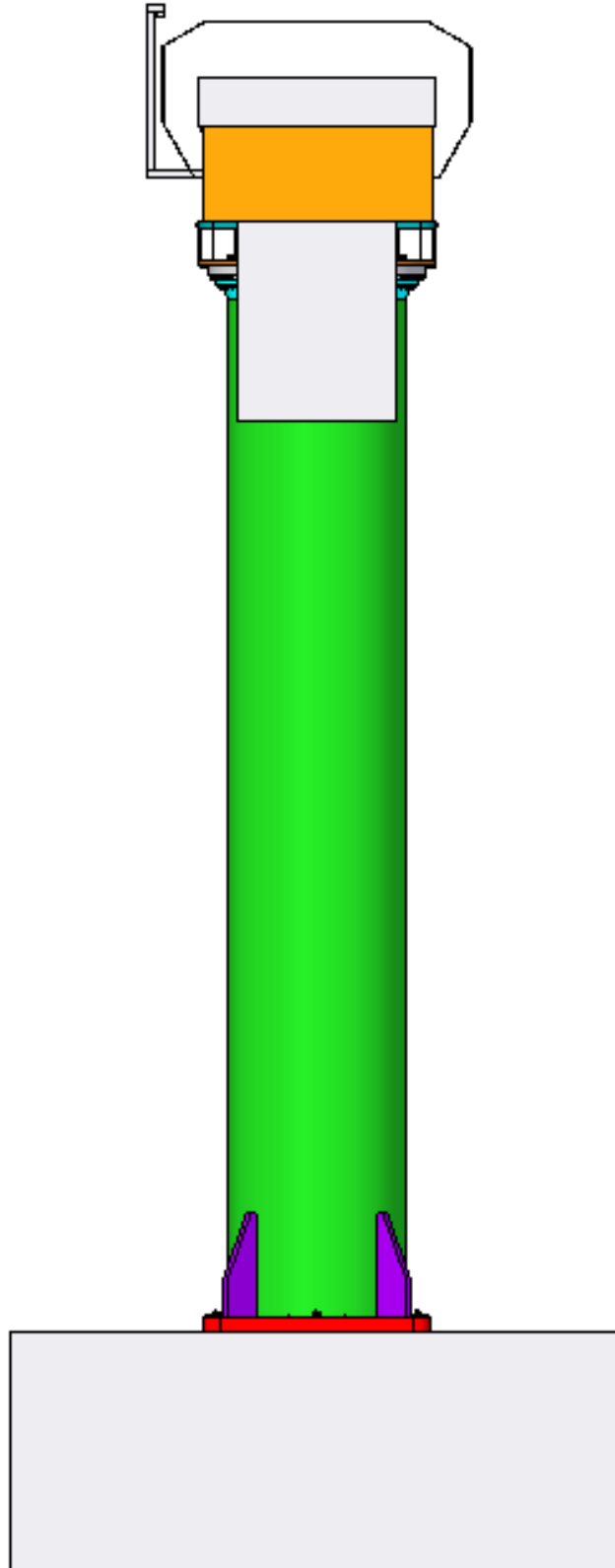


Figura 50. Grúa portuaria para elevación de embarcaciones (alzado).

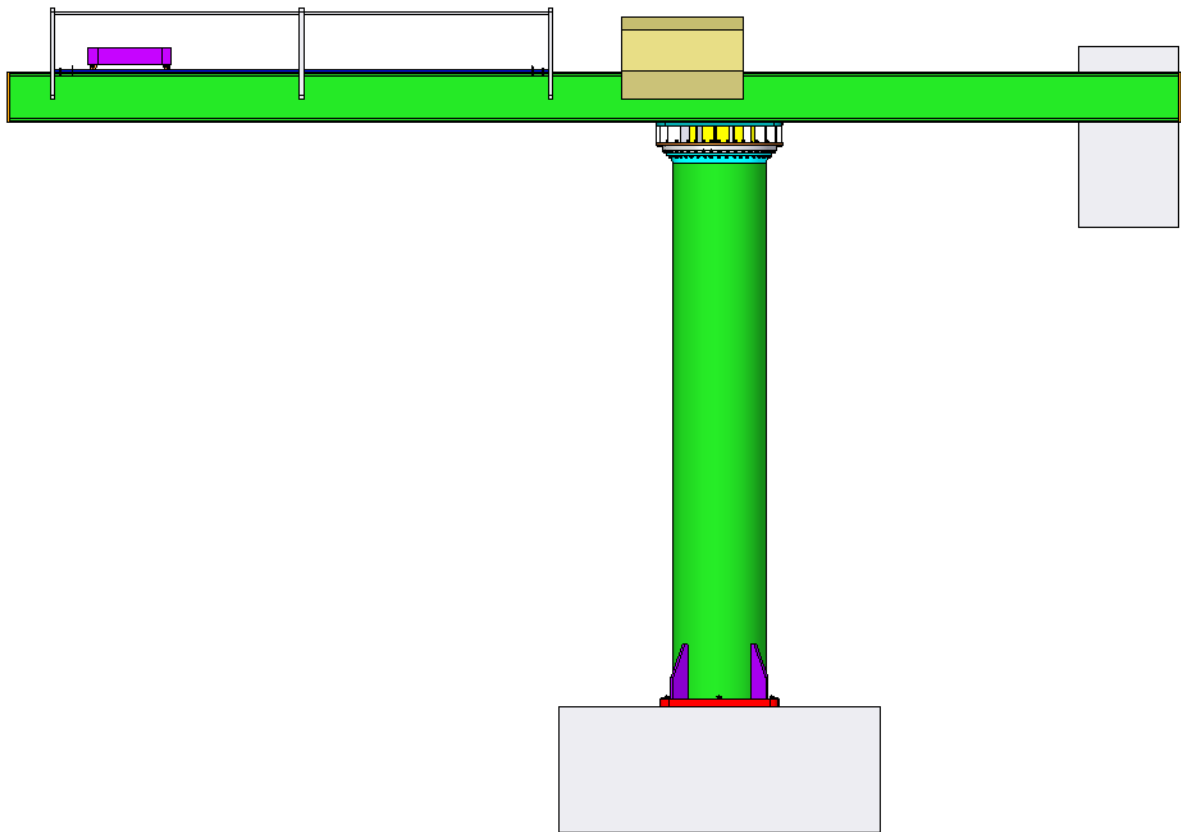


Figura 51. Grúa portuaria para elevación de embarcaciones (izquierda).

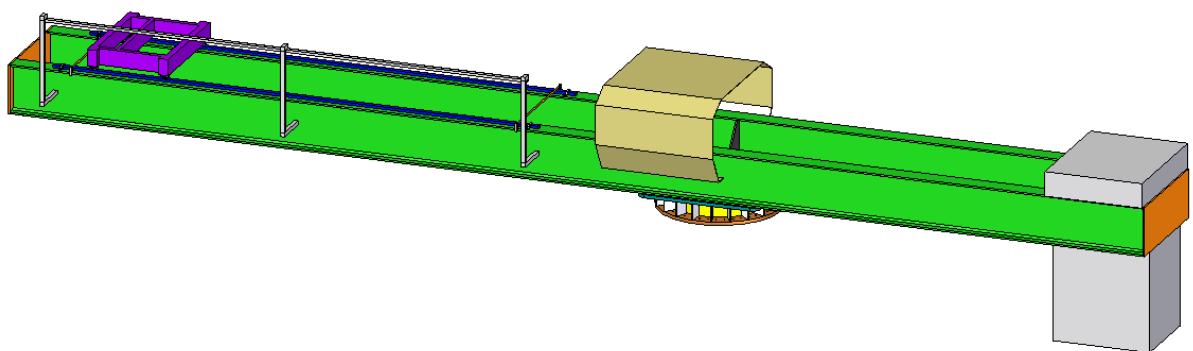


Figura 52. Subconjunto pluma.

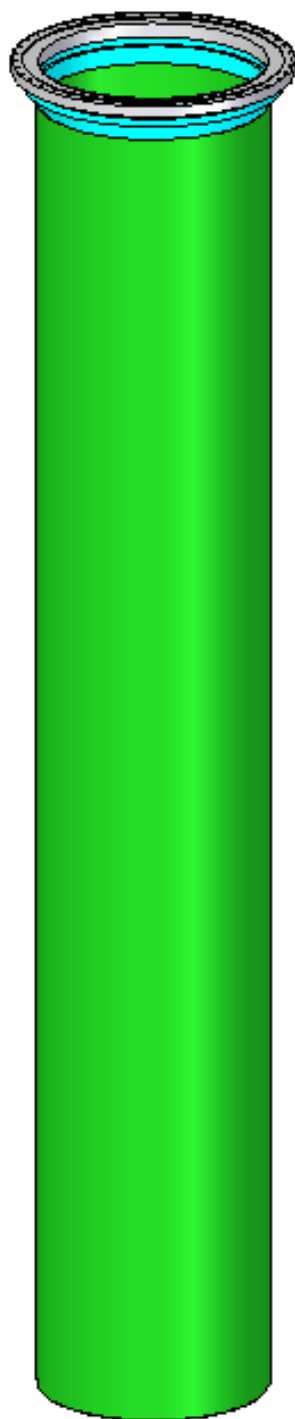


Figura 53. Subconjunto columna.

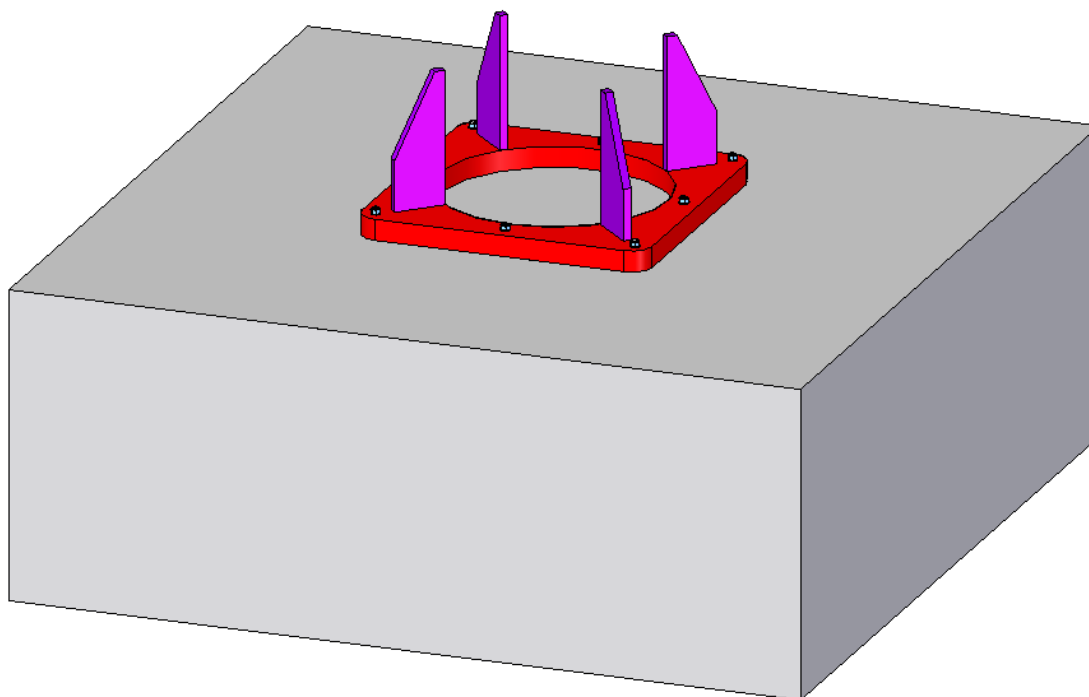


Figura 54. Subconjunto cimentación.

2.8.1.1. Pluma

Se han elegido dos perfiles IPE o en doble T de caras paralelas para la pluma. Las caras exteriores e interiores de las alas son perpendiculares al alma, por lo que estas tienen espesor constante (caras paralelas). Las uniones entre las caras del alma y las caras interiores de las alas son redondeadas y las aristas de las alas son vivas. En concreto, se han seleccionado dos IPE 600.

La pluma deberá ser capaz de soportar el peso la carga, accesorios de elevación y su propio peso. El peso total de cada uno de los perfiles es de 1708 kg.

Las dimensiones y características principales de cada uno de los perfiles son las que se muestran a continuación:

Características		Dimensiones	
m (kg/m)	122	h (mm)	600
A (mm ²)	15.600	b (mm)	220
I_x (mm ⁴)	920.800.000	s (mm)	12
I_y (mm ⁴)	33.870.000	t (mm)	19
W_x (mm ³)	3.070.000	r (mm)	24
W_y (mm ³)	308.000		

Tabla 5. Características y dimensiones principales pluma.

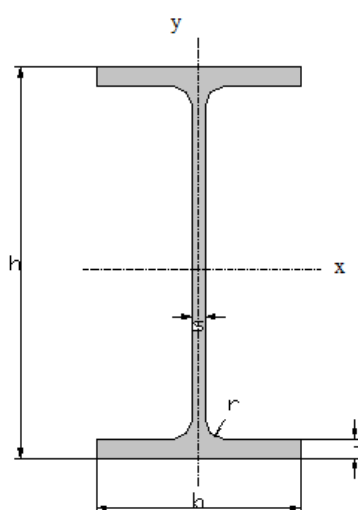


Figura 55. Perfil pluma.

Cada una de las vigas es de material acero St-42 cuyo límite elástico admisible es de 260 MPa.

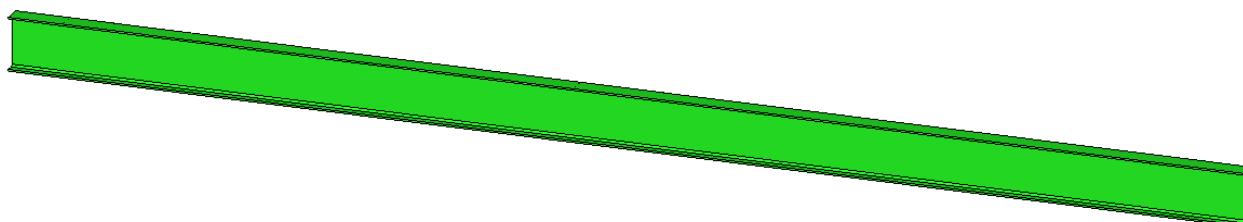


Figura 56. Pluma.

2.8.1.2. Contrapeso

Para equilibrar el gran momento flector producido por el peso de las embarcaciones a elevar, se ha dispuesto un contrapeso de 7 Tn de peso propio en forma de T para, de esta forma, poder encajarlo entre las dos vigas.

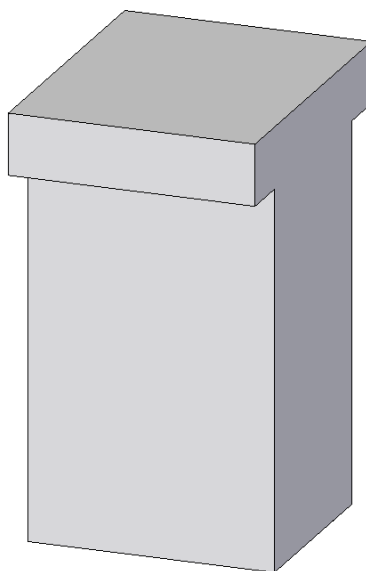


Figura 57. Contrapeso.

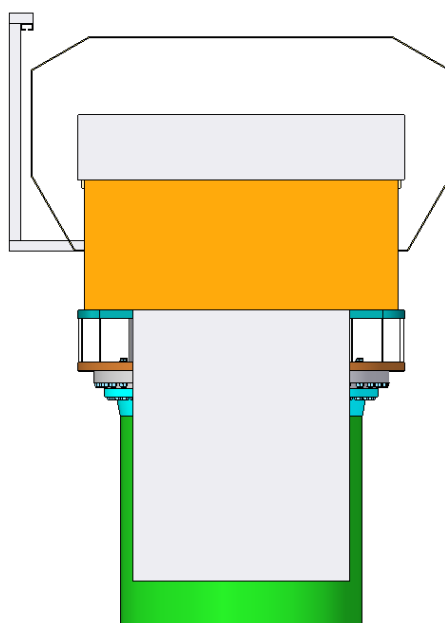


Figura 58. Montaje contrapeso (alzado).

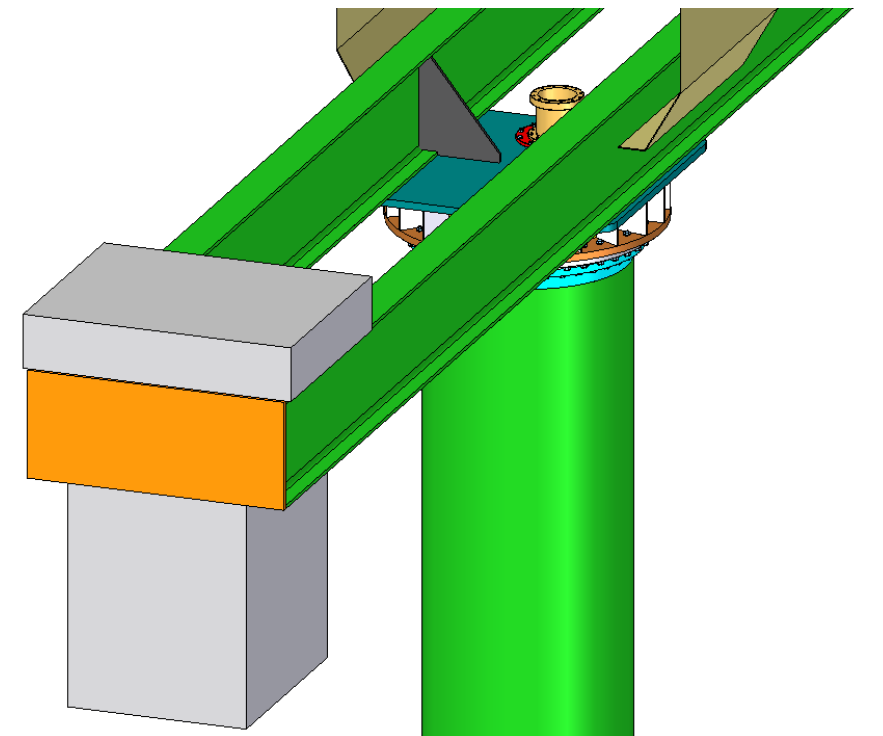


Figura 59. Montaje contrapeso (dimétrica).

2.8.1.3. Columna

La columna está compuesta principalmente por un tubo hueco de acero galvanizado que ha de soportar el peso de la pluma, la carga, accesorios de elevación y su propio peso. En su parte superior, tiene un ensanchamiento en el que se apoyará el rodamiento de giro y en la parte inferior, se soldará a la placa de anclaje.

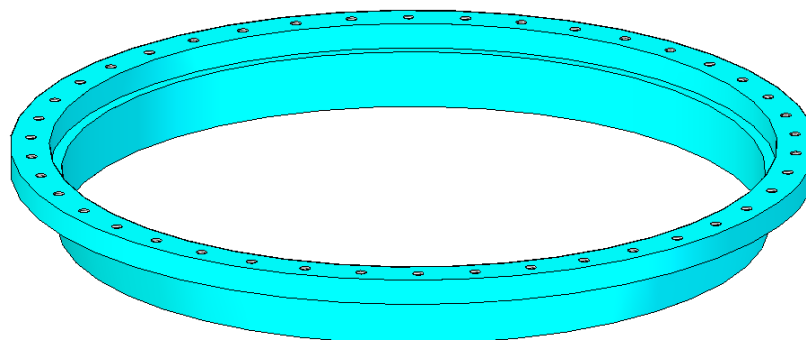


Figura 60. Cono rodamiento.

Las dimensiones del tubo de acero galvanizado, que constituye la sección principal de la columna, vienen determinadas por el rodamiento de gran diámetro necesario que permite el giro completo de la pluma.

Debido a ello, la columna debe tener el mismo diámetro exterior que el diámetro interior de dicho rodamiento. El rodamiento que más se ajusta al diámetro de la columna y que es capaz de soportar las cargas a las que está sometido tiene un diámetro interior de 1100 mm. Por lo que la columna tendrá ese mismo diámetro exterior y un espesor de 6 mm.

El peso total de la columna es de 1061,84 kg. A continuación, se muestran las características y dimensiones principales de esta de acuerdo con las dimensiones del rodamiento y la capacidad de carga de este:

Características		Dimensiones	
m (kg/m)	163,36	D (mm)	1110
A (mm²)	20.809,91	e (mm)	6
I_{flex} (mm⁴)	3.170.25.012,90		
I_{tor} (mm⁴)	6.341.050.025,81		
W_{flex} (mm³)	5.712.657,68		
W_{tor} (mm³)	11.425.315,36		

Tabla 6. Características y dimensiones principales columna.

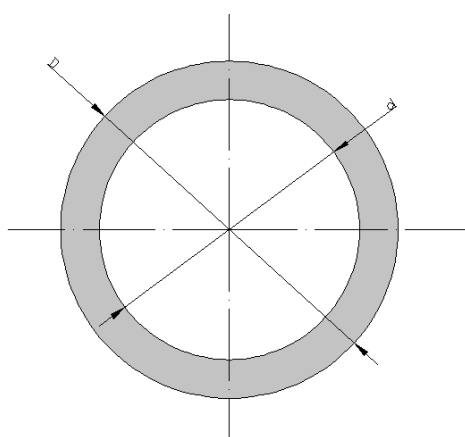


Figura 61. Perfil columna.

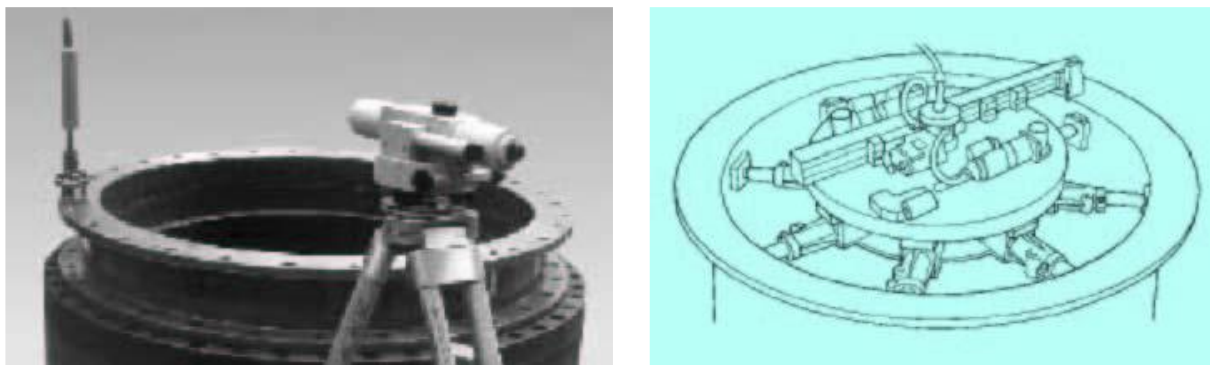


Figura 63. Medición superficie de apoyo rodamiento de gran diámetro.

La parte inferior de la columna se ha reforzado a través de cartelas entre el tubo y la placa base, para aumentar la resistencia al momento flector producido en la base de ésta.

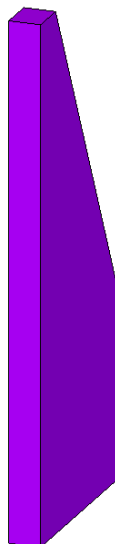


Figura 64. Cartela base columna.

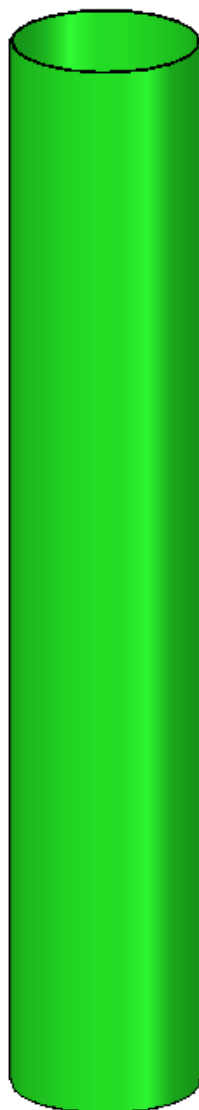


Figura 65. Columna.

2.8.1.4. Cimentación y sistema de anclaje

Cimentación

Las grúas giratorias de columna fija se diseñan para ser montadas en una cimentación de hormigón armado permanente que, además de anclar la grúa al suelo, funciona como contrapeso para oponerse a las fuerzas ejercidas por la grúa bajo condiciones de carga máximas.

Por esta razón, la zapata es un elemento importante en el diseño de este tipo de grúas. Ésta se ha de calcular cuidadosamente, ya que el descentramiento de la carga en el extremo más alejado de la pluma provoca un gran momento de vuelco en la zapata

La cimentación será realizada por el cliente, quien se responsabiliza de hacer las mediciones pertinentes de la capacidad portante del terreno y de llevar a término la obra civil. Si se hallan diferentes capacidades portantes del terreno en la zona donde se va ubicar la grúa, se ha de redimensionar el macizo de hormigón con la capacidad portante más baja.

Por parte del proyectista de la grúa corresponde dar las medidas de la cimentación e instrucciones necesarias para realizar el emplazamiento de la grúa según los datos anteriores facilitados por el cliente.

Los materiales empleados en la cimentación serán:

- Hormigón armado HA-25/B/20/IIIa.
- Barras de acero corrugadas B 500 S.
- Hormigón de limpieza HL-150/B/20.

Sistema de anclaje

Los pernos de anclaje son también una parte importante de la estructura, ya que aseguran la correcta unión de la grúa a la zapata.

La longitud de anclaje se ha calculado para garantizar la completa adherencia de los pernos al hormigón de la zapata.

La corona inferior de la columna es una placa de base cuadrada, rigidizada con varias cartelas soldadas a la misma igualmente espaciadas en el perímetro de la columna. De esta forma, se reparte la carga sobre el macizo de hormigón, reduciendo la presión ejercida sobre este para impedir que sobrepase su valor máximo de trabajo.

Finalmente, los pernos de anclaje aseguran el conjunto de la placa base a la cimentación de hormigón reforzado.

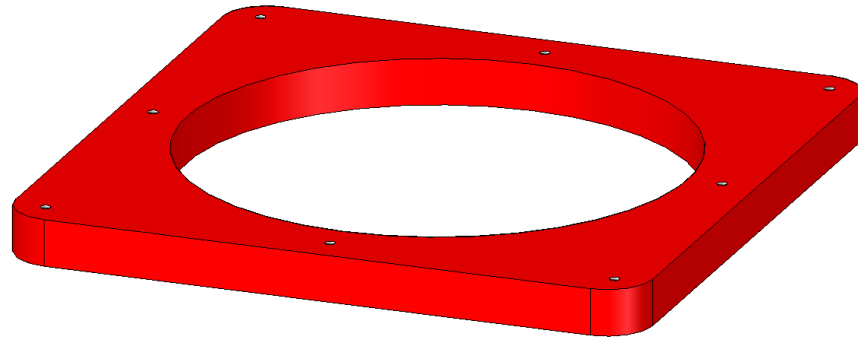


Figura 66. Placa de anclaje.

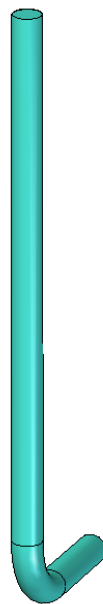


Figura 67. Perno de anclaje.

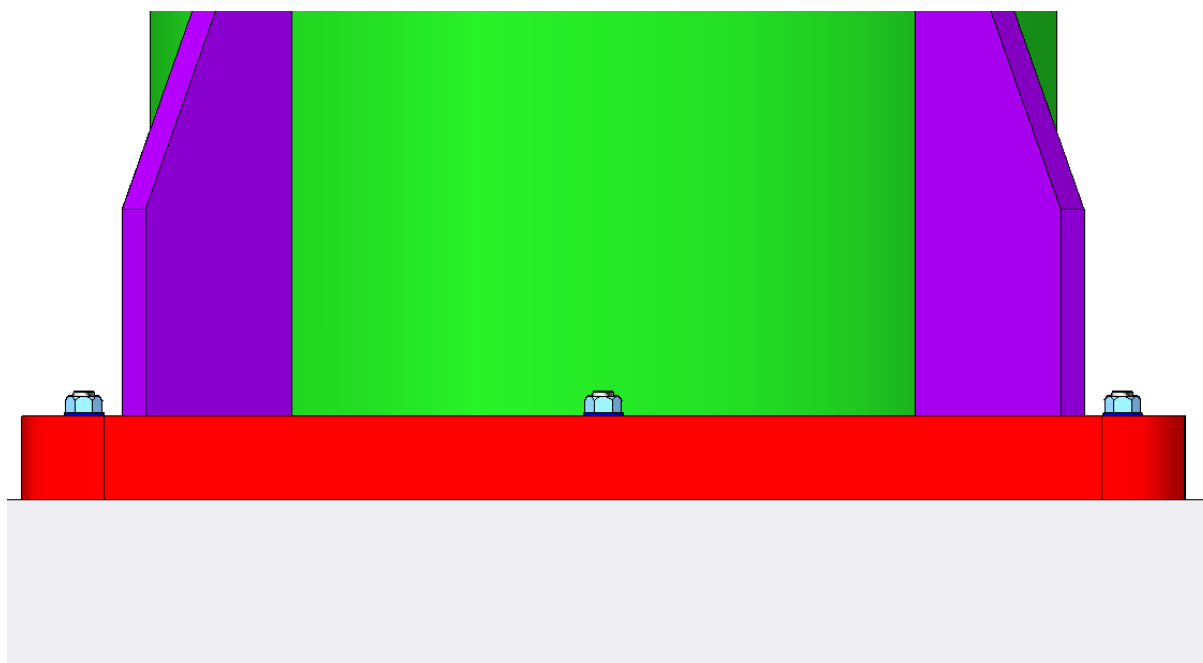


Figura 68. Sistema de anclaje.

2.9.2. Descripción de los elementos de la grúa

En este apartado, se describen los elementos comerciales que se necesitan para realizar las diversas funciones de la grúa y se justifica la elección más apropiada de cada uno de ellos.

La grúa está constituida por diferentes elementos que se detallarán a continuación. Se ha intentado, en la medida de lo posible, que la mayoría de ellos sean de catálogo y no haya que construirlos especialmente para esta grúa. De esta forma, se reduce el coste y se garantiza un mejor suministro.

2.9.2.1. Mecanismo de giro

El mecanismo de giro se trata de un sistema formado por los siguientes componentes: el rodamiento de giro, los tornillos de fijación del rodamiento de giro, el motor-reductor de giro, el acoplamiento flexible y el piñón de giro.

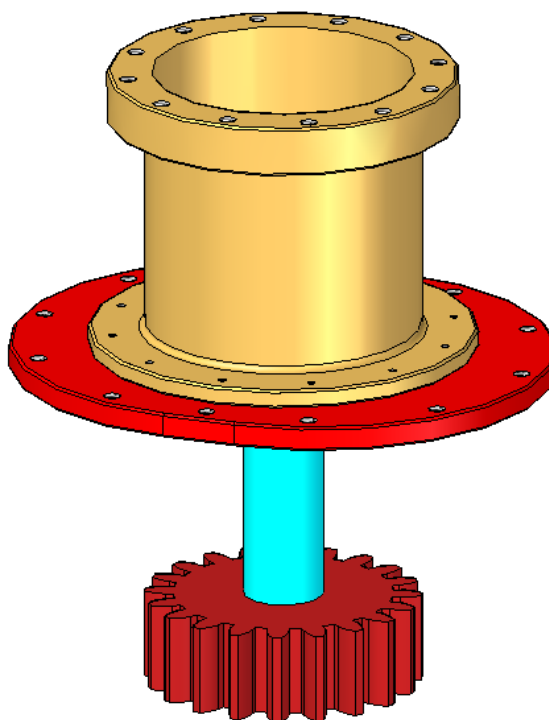


Figura 69. Subconjunto mecanismo de giro.

Rodamiento de giro

Es uno de los elementos mecánicos más importantes de la grúa de columna fija. Se trata de una corona dentada giratoria de grandes dimensiones capaz de absorber el momento flector máximo y el peso de la pluma y de la carga. Su función es la de permitir el giro de 360° de la pluma entorno a la columna.

En el interior de esta corona giratoria, se encuentra una corona dentada donde incide el piñón de ataque de giro unido al motor mediante un eje (figura 70).

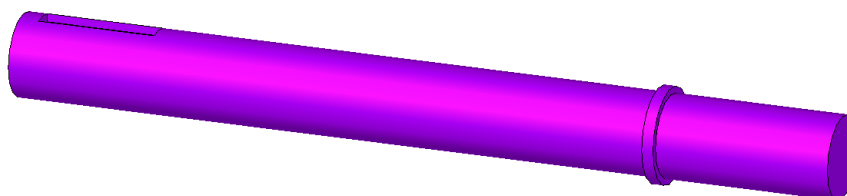


Figura 70. Eje.

Las características principales del rodamiento de grandes dimensiones que mejor se adapta a la grúa del presente proyecto son las que se indican a continuación:

Características y dimensiones principales	
Tipo	Rodamiento de bolas con dentado interior <i>Rothe Erde</i> 062.25.1255.500.11.1503
Peso (kg)	198
Diámetro exterior (mm)	1355
Diámetro interior (mm)	1110
Altura total (mm)	80
Diámetro círculo taladro exterior (mm)	1315
Diámetro círculo taladros interior (mm)	1194
Cantidad de taladros por círculo	42
Medida del tornillo (M) (mm)	20
Diámetro primitivo (mm)	1130
Módulo (mm)	10
Cantidad de dientes	113
Altura del diente (mm)	71

Tabla 7. Características y dimensiones principales rodamiento de gran diámetro.



Figura 71. Sección rodamiento de gran diámetro.

Tornillos de fijación del rodamiento de giro

Debido a que la unión de tornillos ejerce una influencia considerable sobre la vida útil del rodamiento de giro de grandes dimensiones, es necesario que los estos se encuentren correctamente dimensionados y cuidadosamente pretensados.

Estos tornillos deben de cumplir una serie de requisitos. Según el proveedor del rodamiento, los tornillos deben de estar distribuidos de forma equidistante sobre los círculos de los taladros. El apoyo debe de realizarse sobre superficies rectificadas o revestidas con resina solidificada.

La longitud de apriete de los mismos debe de ser como mínimo de 5 veces el diámetro del tornillo, ya que en el caso de longitudes de apriete pequeñas, se aprecian efectos perjudiciales sobre la distribución de la carga. El fabricante recomienda que queden libres como mínimo seis hilos de rosca.

Por último, el par de apriete se hará con llave dinamométrica según recomendaciones del fabricante del rodamiento.

Motor-reductor

Reductor

La elección del reductor viene determinada por las siguientes necesidades:

- 1) Relación de reducción elevada.
- 2) Tamaño del reductor. Se hace necesario que sea lo más pequeño y compacto posible, ya que va instalado sobre la estructura.
- 3) Momento de salida elevado.

Debido a la gran relación de reducción, se ha escogido un reductor de engranajes epicicloidales de cuatro etapas para realizar la transmisión, a la vez que un diseño compacto del motor-reductor, y que pueda soportar un gran par en la salida.



Figura 72. Reductor epicicloidal, Bonfiglioli.

Motor

En la elección del motor, se ha considerado un uso de servicio intermitente sin llegar al calentamiento, tipo S3. Este tipo de servicio es el común en las máquinas de elevación y permite elegir un motor con potencia nominal inferior a la realmente necesaria, ya que el motor no llega a calentarse como ocurriría en servicio continuo, tipo S1.

Por otra parte, el motor viene con freno incorporado, con lo que no es necesario acoplar ningún dispositivo de freno adicional.

El motor es asíncrono de anillos rozantes debido a que son los más utilizados en los accionamientos de las grúas. Es un motor barato, compacto y fiable, aunque su punto débil sea que la velocidad no se puede regular con exactitud.

Para su montaje, se ha escogido una variante con bridas y sin patas para conseguir un conjunto lo más compacto posible con el reductor.

Al estar la grúa situada en un puerto y, por tanto, con riesgo de agua, el motor se protegerá contra salpicaduras de agua en todas las direcciones, contacto y contra cuerpos extraños granulados (grado de protección IP44). La caja de bornes se protegerá contra chorros de agua, contacto y acumulación de polvo (grado de protección IP55).

El motor se sitúa sobre el mecanismo de giro en posición vertical, por esta razón se ha previsto una pequeña carcasa en la parte posterior que sirva de protección para la lluvia.



Figura 73. Motor trifásico de anillos rozantes, Bonfiglioli.

Acoplamiento flexible

Se ha previsto un acoplamiento flexible de dientes entre el conjunto motor-reductor y el eje del piñón de giro, que amortigüe de pequeños choques o vibraciones el conjunto motor-reductor.

Con este acoplamiento también se asegura la correcta alineación del piñón de ataque y el conjunto motor-reductor producida por imperfecciones y/o deformaciones de las superficies de apoyo.



Figura 74. Acoplamiento flexible, Escogear.

Piñón de giro

Es el elemento que impulsa el gran rodamiento. El piñón ataca el gran rodamiento y, de esa manera, se convierte en la primera etapa de reducción. Está pensado para que trabaje sin interferencias y controle el juego entre los dientes.

El piñón de giro será de acero de cementación F-1516 (16 Mn Cr 15), acero utilizado para mecanismos con choques moderados y un factor de seguridad normal.

Este irá acoplado al motor-reductor y será el encargado de transmitirle el movimiento de a la corona dentada y, de esta forma, la pluma girará.

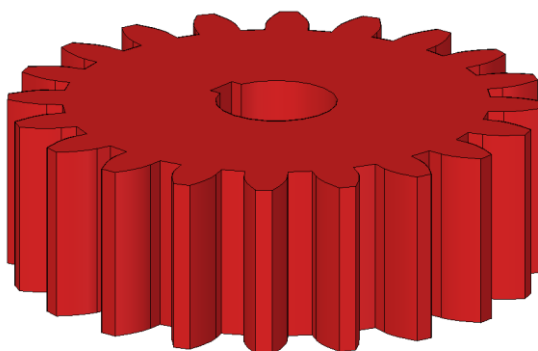


Figura 75. Piñón de giro.

2.9.2.2. Mecanismo de traslación y elevación

Para la elevación y traslación de los diversos barcos, se ha instalado un polipasto comercial con mecanismo de elevación y traslación de alimentación eléctrica. Es, sin lugar a duda, la solución más sencilla, compacta y barata que se puede instalar en este tipo de aparato.

Un factor importante en este tipo de grúas, en las que las embarcaciones que se manipulen pueden ser de gran altura, es la cota bajo gancho. Esto es, la altura entre la parte inferior de la pluma y la parte inferior del gancho debe de ser mínima.

La pluma donde va instalado el polipasto tiene en su parte superior un carril de rodadura por donde se traslada el mismo.

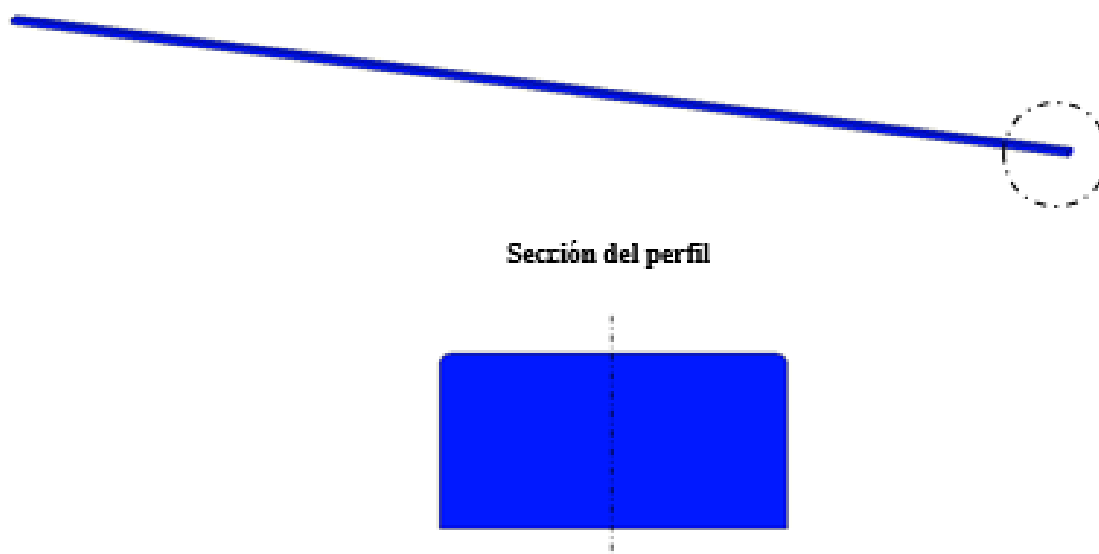


Figura 76. Carril de rodadura.

El polipasto, por tanto, será un carro birraíl cuyo elemento de suspensión del polipasto será por cable, ya que es más resistente que la cadena. Las ruedas de este son de tipo tren asegurando el descarrilamiento.



Figura 77. Polipasto birraíl de cable, DEMAG.

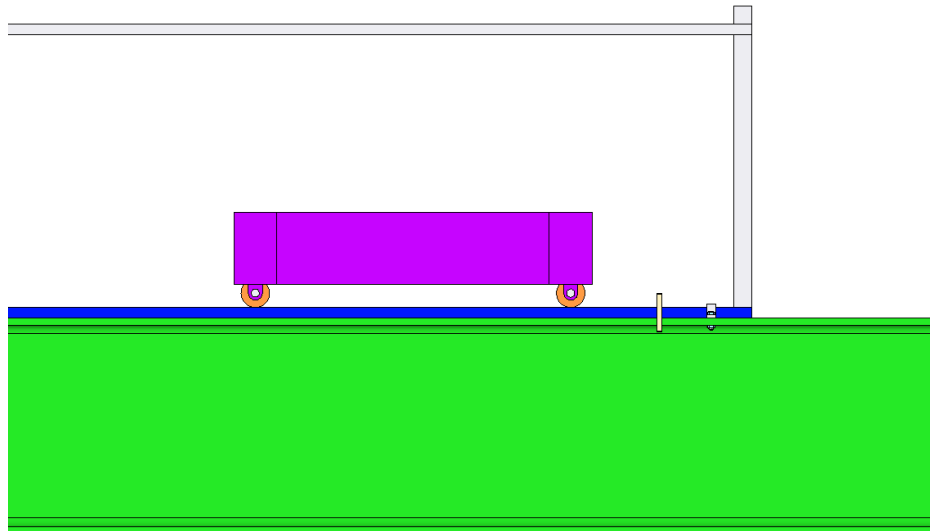


Figura 78. Montaje mecanismo de traslación y elevación (derecha).

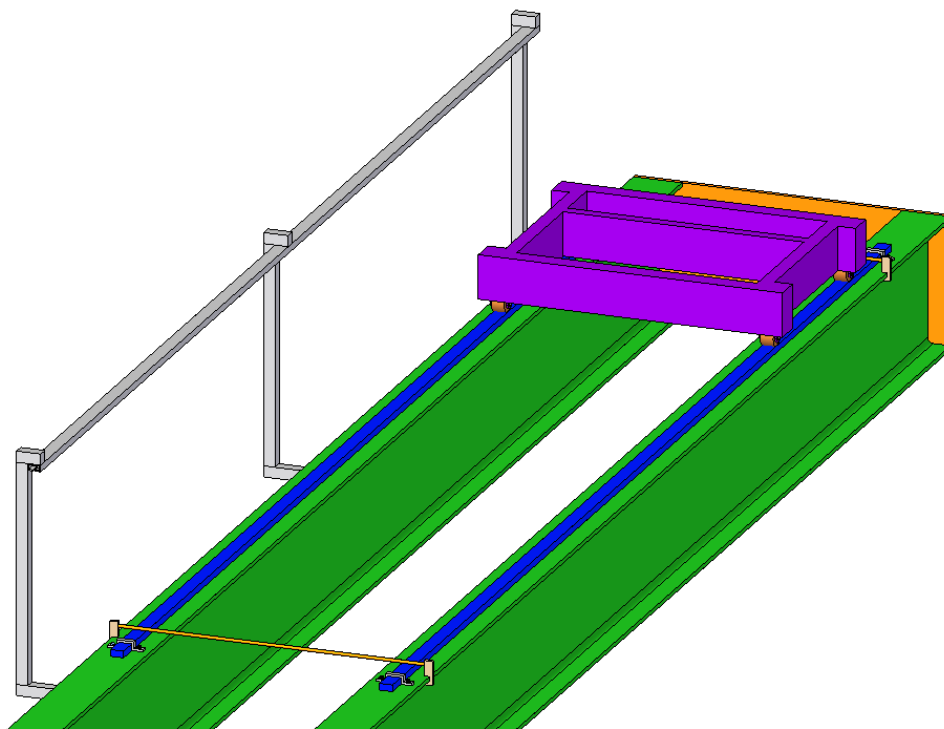


Figura 79. Montaje mecanismo de traslación y elevación (dimétrica).

2.9.2.3. Accesorios

Eslingas

Son el elemento intermedio que permite enganchar la carga al gancho de izado o de tracción. Consiste en una cinta con un ancho o largo específico (varían según su resistencia, modelos y fabricantes) cuyos extremos terminan en un lazo.

El material del que está hecho la eslinga puede ser material sintético (poliéster generalmente) o acero.

Las eslingas de acero pueden ser formadas por cable de acero, las cuales son llamadas cables o por cadenas, llamadas comúnmente cadenas.

La resistencia de las eslingas cuando son utilizadas como herramienta de elevación depende del ángulo que forman con la vertical. Cuanto menor es el ángulo, es decir, el tiro es más vertical, la eslinga aguantará más.

Las eslingas de poliéster se emplean para la tracción, elevación y sujeción de cargas pesadas, delicadas o frágiles.

Las eslingas de poliéster son muy flexibles y ligeras e identificadas con una etiqueta con las características técnicas, mecánicas y de utilización. Pueden ser planas o tubulares.



Figura 80. Eslingas.

Palonnier

Se trata de una viga de suspensión y sus funciones principales son mantener las eslingas suficientemente abiertas para evitar sobreesfuerzos en el casco de los barcos y permitir salvar mástiles y superestructuras en la sujeción del barco a varar.

Dependiendo de la capacidad de carga, tiene unas dimensiones u otras.

La especial forma del palonnier permite manipular las embarcaciones de vela colocando las dos cabezas paralelas a los costados y el alma perpendicular a la quilla, con lo cual se consigue librar el palo.

También, según el tamaño de la embarcación, el palonnier puede posicionarse con el alma paralela a la quilla.

Se emplean, sobre todo, para evitar grandes dimensiones en las eslingas destinadas a la maniobra de cargas de gran longitud.



Figura 81. Palonnier.

Protección meteorológica

En la parte superior de la columna se encuentran el motor-reductor de giro y el armario eléctrico donde estarán todas las conexiones. Para proteger estos elementos de las inclemencias meteorológicas, se ha colocado una protección que cubrirá todos ellos.

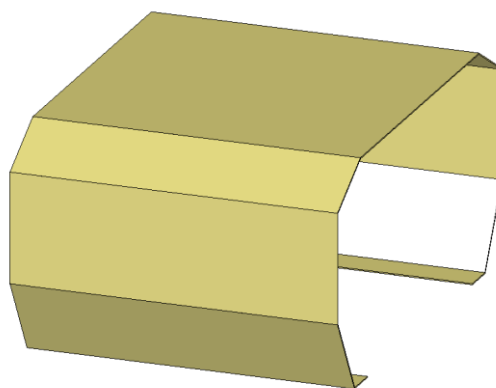


Figura 82. Protector meteorológico.

2.9.3. Operaciones de instalación y montaje

En este apartado se describen las diferentes fases y operaciones de instalación y montaje de la grúa de columna fija.

2.9.3.1. Cimentación y fijación de la columna

Esta será la primera fase del proyecto y la más complicada, ya que necesita una gran precisión para su equilibrado; un mal equilibrado echaría a perder toda la grúa, por lo que habría que desmontarla y volver a fijar a la columna. Por otra parte, la cimentación es la única parte permanente de la grúa, por lo que esta debe estar bien ejecutada.

Por consiguiente, la grúa necesita de una cimentación adecuada y se fija al macizo de hormigón a través de su anclaje. Esto le proporciona la estabilidad exigida. El anclaje está formado por varillas de acero corrugado en forma de rosca y se monta sobre una placa de acero taladrada que lo mantiene en su posición correcta mediante las correspondientes tuercas.

Todo el conjunto de anclaje queda embebido en el macizo de hormigón, con la previsión de haber dispuesto el cable de alimentación a través del hormigonado y la placa de anclaje.

Para realizar la cimentación:

- 1) Realizar un vertido de hormigón de limpieza de unos 10 cm de espesor.

- 2) Posicionar la armadura inferior de la zapata con la ayuda de unos calzos para asegurar su posición.
- 3) Disponer y asegurar el paso de los conductos de electricidad de la alimentación de la grúa (si la alimentación se hace desde la base de la grúa).
- 4) Posicionar la placa plantilla de acero taladrado y los pernos de anclaje dejando que sobresalgan de forma suficiente, alrededor de 20 cm.
- 5) Verter el hormigón y dejar que fragüe.
- 6) Nivelar la placa de anclaje lo mejor posible.
- 7) Una vez secado el hormigón, bajar la columna con cuidado de no dañar las roscas de los pernos.
- 8) Con ayuda de los tornillos de nivelación, nivelar la columna.
- 9) Una vez aplomado y nivelado el asiento, verter una capa de 5 a 10 cm de mortero de nivelación.
- 10) Una vez nivelada la columna, fijar a la zapata apretando las tuercas de los anclajes.

La columna fija está formada por un cilindro cuya base, soldada y acartelada, debe de ser solidaria al anclaje.

Para fijar la columna en su posición:

- 1) Se baja y se sitúa la columna sobre su posición de anclaje procurando no dañar las roscas de los pernos.
- 2) Con ayuda de los tornillos de nivelación de una placa plantilla, se nivela la columna.

- 3) Una vez nivelado el asiento, se vierte una capa de hormigonado de relleno para dejar embebida en el macizo de hormigón el conjunto de anclaje.
- 4) Se fija la columna a la zapata mediante las tuercas de los anclajes previstos.

2.9.3.2. Fijación de la pluma

La pluma está compuesta por dos vigas IPE, con una zona para el guiado del carro del polipasto.

Esta está situada sobre una placa superior y acartelada mediante dos cartelas.



Figura 83. Cartela pluma.

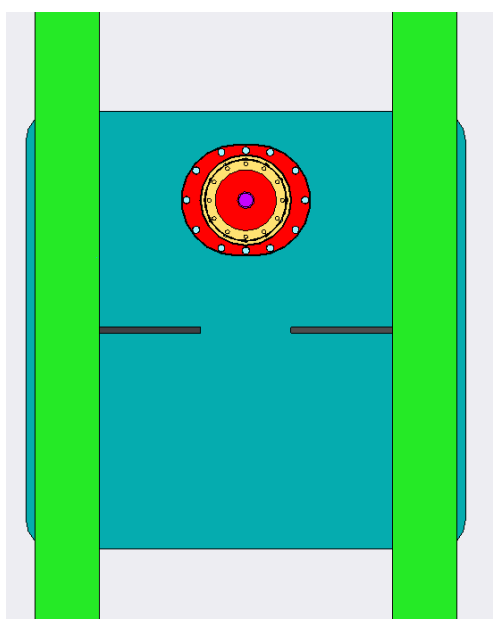


Figura 84. Montaje cartela pluma (planta).

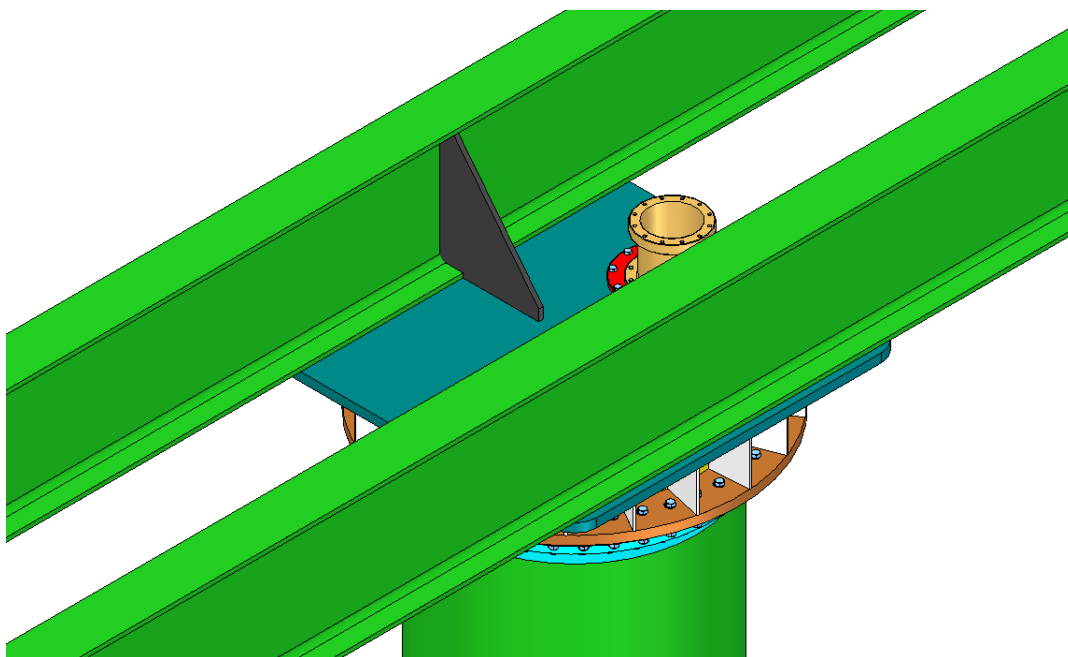


Figura 85. Montaje cartela pluma (dimétrica).

2.9.3.3. Instalación del mecanismo de giro

Este dispositivo permite un giro de 360° controlado desde la base de la grúa. Hay que poner especial atención en su montaje y puesta a punto.

El conjunto compuesto por el motor-reductor y el piñón de giro ha de venir montado previamente de fábrica.

Al montar el mecanismo de giro se ha de tener especial cuidado en su manipulación para no golpear y picar los dientes de los engranajes al instalarlo en su alojamiento.

Hay que poner especial atención para controlar la unión de los dientes en el engrane y el ajuste entre ellos.

En el punto de mayor desviación del círculo primitivo respecto a la forma circular, se procede al ajuste del juego de flancos, el cual, como mínimo, ha de ser de 0,03 veces el módulo. Después de que se hayan apretado definitivamente los tornillos de fijación del rodamiento, se deberá comprobar de nuevo el juego entre flancos a lo largo de la totalidad del perímetro.

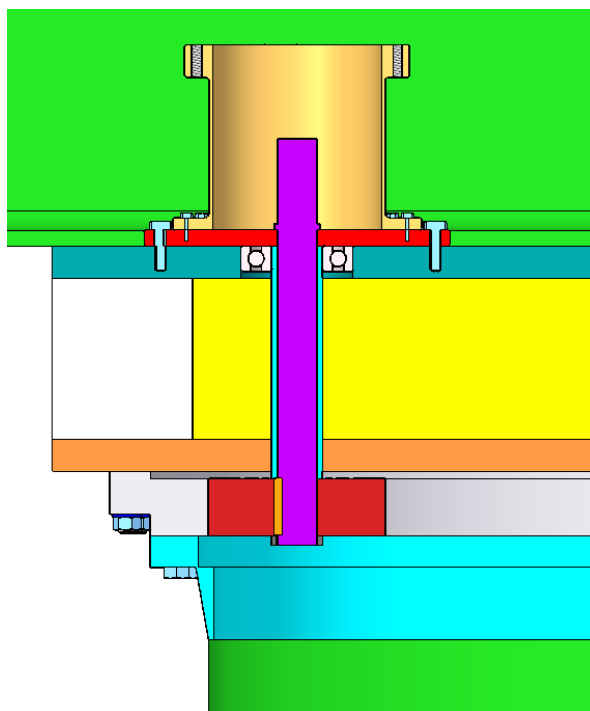


Figura 86. Corte montaje mecanismo de giro.

Instalación del rodamiento de giro

Para proceder al montaje del rodamiento de giro se deben de seguir todas y cada una de las recomendaciones del fabricante.

Es muy aconsejable verificar el correcto funcionamiento del rodamiento antes de su instalación sobre la cabeza de la columna. Engrasar tanto el rodamiento como la corona de engrane, si fuera necesario.

Al situar y atornillar el rodamiento sobre la cabeza de la columna hay que seguir una serie de indicaciones del fabricante. Antes de proceder al montaje se ha de verificar que el rodamiento gira fácilmente, haciendo girar dos veces el rodamiento no atornillado.

Se tiene que observar que se cumpla que la longitud de apriete de los tornillos sea como mínimo 5 veces el diámetro del tornillo.

Deben de quedar libres, como mínimo, seis hilos de rosca.

El par de apriete mediante llave dinamométrica viene determinado por el catálogo del fabricante del rodamiento.

Se deben de reengrasar las partes: rodamiento y corona de engrane.

2.9.3.4. Instalación del polipasto

El carro motriz del polipasto se desplaza a lo largo de la pluma y consta de una unidad de elevación y el propio mecanismo de traslación del carro.

Se ha de montar el polipasto sobre la pluma siguiendo las indicaciones del fabricante.

Es de suma importancia instalar los topes de final de carrera del polipasto en la viga de la pluma.

Se deben verificar el montaje de las protecciones del polipasto y hacer los taladros necesarios en montaje.

2.9.3.5. Mandos e instalación eléctrica

Los conductores eléctricos e instalaciones se distribuyen desde la acometida general de la grúa en la cimentación hasta cada uno de los mecanismos.

Los movimientos de elevación, giro y traslación están controlados por una caja botonera situada al pie de la columna, que contiene los pulsadores de mando permanente.

La mayor parte de la instalación eléctrica y todos los dispositivos eléctricos, así como los mecanismos de elevación, giro y cambio de alcance, están situados en la parte superior de la estructura, reduciendo de este modo el riesgo de daño, accidental o intencionado.

La entrada de la alimentación eléctrica se realiza por la cimentación. Los cables pasarán por una canalización por el interior de la columna hasta la caja de anillos rozantes que permite el giro completo de la grúa, esto es, un giro de 360°.

La caja de anillos rozantes ha de estar situada en el eje de giro de la pluma.

La conexión se llevará hasta el armario eléctrico situado encima de la pluma y, desde este, partirán las conexiones pertinentes para el motor de giro y el polipasto.

La alimentación eléctrica y los controles del polipasto pasan desde el armario eléctrico a través unos cables suspendidos hasta el polipasto. El armario eléctrico debe contar con una protección adecuada a la humedad y el agua, ya que la grúa está situada en un puerto, en este caso, una protección IP 65.

2.9.4. Sistemas de seguridad

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

2.9.4.1. Sistemas de seguridad del polipasto

Limitador de carga

Mediante el limitador de carga mecánico, se protegen el polipasto y la estructura portante. Generalmente, se diferencian las funciones de limitación de carga y seguro contra sobrecarga.

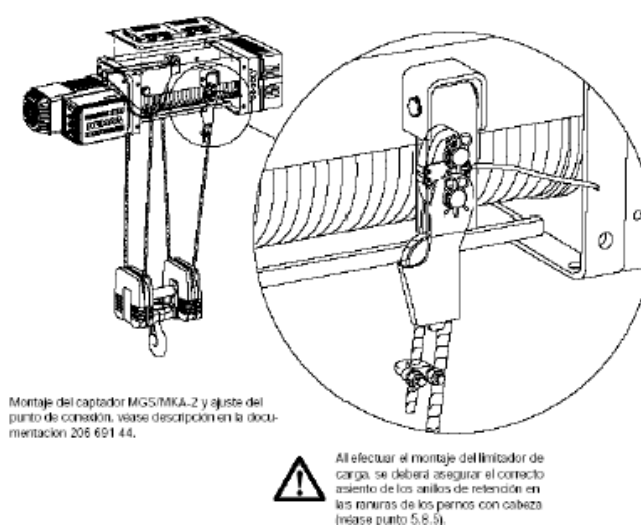


Figura 87. Limitador de carga.

Frenos de los accionamientos

Para el accionamiento, se utiliza un motor de rotor cilíndrico de 4 polos y con freno de disco integrado (motor de elevación con grado de protección IP 54). Los frenos de disco de que dispone el polipasto son de doble superficie, accionados por resortes y con aflojamiento electromagnético. El freno, montado debajo de la caperuza del ventilador, se puede accionar independientemente del motor y no causa ningún movimiento axial en el árbol del rotor ni somete a esfuerzos al rodamiento.

El freno es accionado al interceptarse la alimentación eléctrica de la bobina. Este principio recibe también la denominación de freno de seguridad. El aflojamiento de los frenos se efectúa mediante el convertidor de frecuencia instalado en el cuadro de bornes del motor. El accionamiento es desconectado por el convertidor, el contactor de parada de emergencia incorporado o por elementos de parada de emergencia (finales de carrera o seguros contra sobrecarga) que actúan en función del sentido de los movimientos.

Para el accionamiento de traslación, se utiliza un motor con freno de control separado. El grado de protección del motor de traslación es IP 54.

Finales de carrera

Es necesario colocar un sistema de limitación de traslación del carro que asegure unas distancias mínimas de seguridad para evitar cualquier riesgo de accidente en el uso del polipasto sobre la pluma.

Los topes de final de carrera se disponen al principio y al final de la pluma para impedir que el polipasto colisione con la columna o que se precipite por el extremo del carril de la viga.

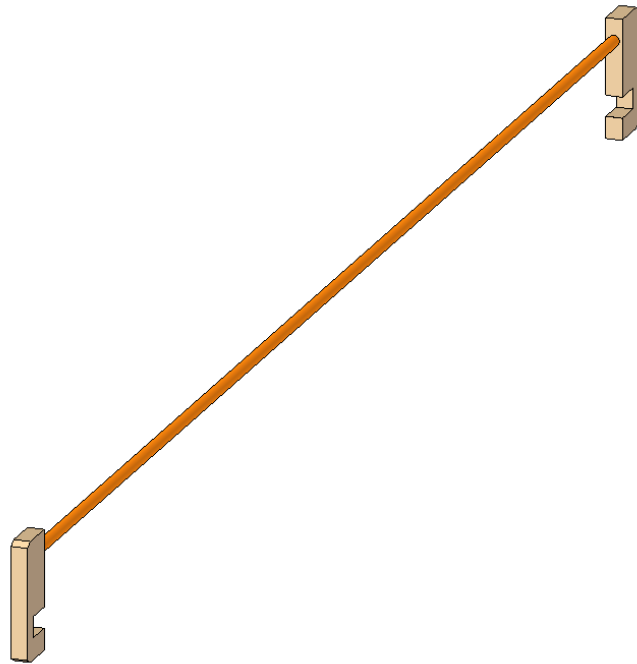


Figura 88. Tope final de carrera.

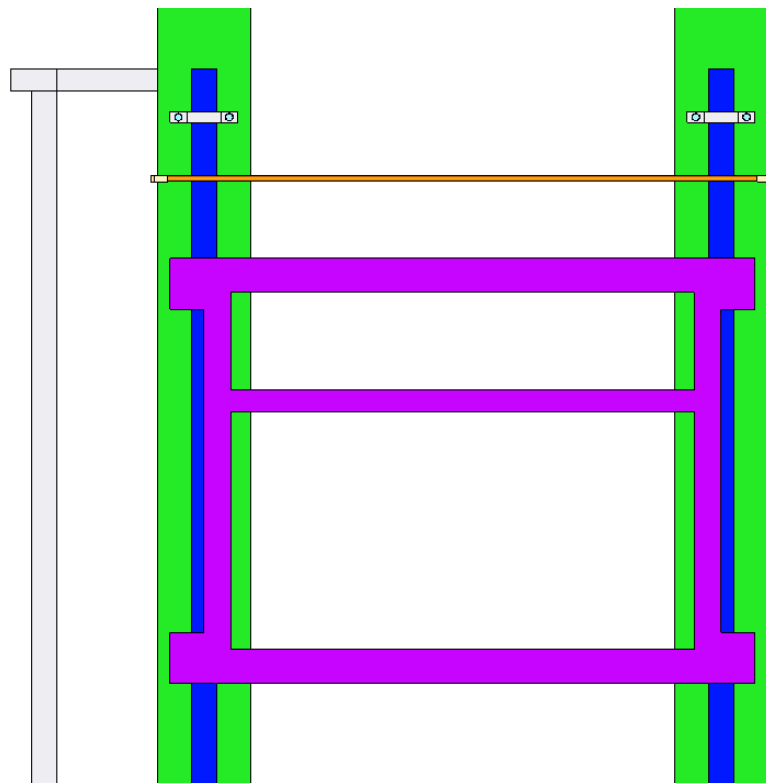


Figura 89. Montaje topes finales de carrera.

Los finales de carrera se integran en el equipo eléctrico del polipasto. Se utilizan para desconectar el motor de elevación cuando el gancho alcanza las posiciones más alta y más baja y permite conectar después el movimiento opuesto. El interruptor de parada de emergencia no se puede emplear para fines de servicio.

Si es necesario limitar el recorrido del gancho durante las operaciones de elevación y descenso, se deberá utilizar la función del interruptor de servicio.

Para este fin, los interruptores tienen que ajustarse de forma que primero desconecte el interruptor de servicio y, en caso de fallo de éste, el de parada de emergencia.

Las disposiciones para la prevención de accidentes exigen el control diario del interruptor de parada de emergencia. Para cumplir este requisito, se incorpora un pulsador de prueba en el órgano de mando. Accionando este pulsador, se puede puntear el interruptor de servicio. Para activar el interruptor de parada de emergencia, es necesario conectar al mismo tiempo el motor de elevación del polipasto.

El pulsador de prueba tiene que accionarse también para que el gancho pueda salir de la posición extrema (descenso).

2.9.4.2. Sistemas de seguridad del motor-reductor

El motor de giro lleva acoplado a su estator un freno electromagnético que actúa cuando falla la alimentación eléctrica. Su misión 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.

2.9.5. Mantenimiento y cuidado de la grúa

2.9.5.1. Mantenimiento de la estructura

La corona y el piñón de giro han de recubrirse con una grasa especial de engranajes de larga duración. Hay que efectuar el reengrase cada 500 horas de funcionamiento aplicando la grasa través del visor o desmontando el mecanismo si es necesario.

Antes de su montaje en el muelle, la estructura y demás componentes exteriores de la grúa se han de pintar con pintura anticorrosiva marina cada año para prevenir la oxidación de las superficies debido al entorno en el que se encuentra.

Los tratamientos de las superficies son:

- Decapado. Mediante chorro de arena SA 2 1/1 y limpieza con aire a presión de toda la estructura.
- Capa de imprimación. Capa de 60 micras de imprimación epoxi curada con poliamida, de dos componentes, Hempadur Zinc Premier 15360. Lavado con agua jabonosa mediante máquina de presión.
- Capa intermedia. Capa de 120 micras cada una de pintura epoxy de capa gruesa, de dos componentes, curada con poliamida, Hempadur Hi-Build 45200.
- Capa de acabado. 2 capas de 45 micras cada una de esmalte de poliuretano brillante de dos componentes a base de isocianato alifático, Hempel's Polynamel 55100.
- La estructura principal va protegida mediante un galvanizado en caliente por inmersión. Este tratamiento ofrece protección interna y externa de la estructura.

De forma anual, se ha de verificar el estado de estos tratamientos y rehacer la capa de acabado para prevenir el deterioro de estas superficies.

2.9.5.2. Alimentación eléctrica

La corriente eléctrica tendrá que ser trifásica de 380 V y 50 Hz. Hay que prever también una toma de tierra que habrá que verificar periódicamente. La grúa necesita un amperaje máximo a controlar periódicamente, 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.

2.9.5.3. Mantenimiento del grupo motor-reductor

La protección del motor 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.

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 12000 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.

En cuanto al reductor, hay que controlar el apriete de los tornillos después de 50 horas de funcionamiento. Se debe efectuar el primer cambio de aceite aproximadamente después de 100 a 150 horas de funcionamiento. Una vez efectuado este rodaje, se ha de cambiar el aceite una vez al año.

2.9.5.4. Mantenimiento del 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 efectuarán 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.

2.9.5.5. Mantenimiento del polipasto

Debido a su suministro por parte del proveedor, este viene en perfecto estado de funcionamiento. Todos los puntos de lubricación del polipasto de cable van provistos de una cantidad suficiente de grasa. El reductor también se entrega provisto de la cantidad de aceite requerida.

El cable metálico se debe lubricar con un aceite especial del tipo C-LP 220. Es preciso asegurarse del adecuado empape y penetración del aceite en la estructura del cable.

Debido a que el polipasto se emplea en intemperie y en un entorno con riesgo de corrosión, también se debe lubricar el exterior del cable con grasa según indicaciones del fabricante.

2.9.6. Consideraciones medioambientales

2.9.6.1. Normativa aplicable

La normativa a aplicar es la Directiva 97/11/CE de Evaluación de Impacto Ambiental que regula la obligación de someter, tanto los proyectos públicos como los 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, en este caso en concreto, una grúa.

2.9.6.2. Recursos e infraestructuras

Los recursos e infraestructuras utilizados durante la fase de fabricación de los componentes de la grúa son fundamentalmente los mismos que se utilizan en un taller metalúrgico, ya que estos se fabricarán casi totalmente en un taller.

En la instalación de la estructura, se utilizarán grúas para la correcta instalación de los diferentes elementos. Los camiones en los que se transportan consumirán combustibles fósiles.

La fase de cimentación se divide básicamente en dos etapas: la etapa del corrimiento de tierras y la etapa de la fabricación de los elementos propios de la cimentación. En la primera, se generan residuos de piedra y tierra. En la segunda, se fabrica el hormigón necesario para la cimentación, la cual supone un considerable gasto energético, así como la generación de runa y otros residuos derivados del cemento.

Se requiere el gasto de una considerable cantidad de hormigón. En la fabricación de este, se necesitará una considerable cantidad de energía y se generarán residuos derivados del cemento que se quedarán en forma de polvo por los alrededores de la planta cementera. La obtención de la materia prima para la elaboración del cemento traerá consigo movimientos de tierras.

2.9.6.3. Consumo eléctrico

La electricidad es un factor imprescindible para el desarrollo de la actividad de la grúa de columna fija, ya que una gran parte de sus elementos son eléctricos. Durante la fase de uso, la grúa utiliza como fuente de energía únicamente la energía eléctrica.

Su generación puede implicar el uso y la explotación de diversos recursos naturales (carbón, petróleo o gas), o bien provenir de fuentes de energía renovables.

En el primer caso, se produce un consumo de recursos no renovables y en el segundo caso no, siendo preferente el uso de estas fuentes.

En la actualidad, el sistema energético de los proveedores de alimentación eléctrica no permite seleccionar las fuentes de generación de la energía que se necesita, entre renovables y no renovables.

Ante esta situación, es de obligado cumplimiento adoptar medidas de prevención en el uso de la grúa que eviten un consumo innecesario de recursos en su generación.

2.9.6.4. Contaminación del entorno

Para su uso, la grúa únicamente utiliza energía eléctrica, por lo que esta no genera ningún otro tipo de residuo, ya sea gaseoso (contaminación atmosférica) o líquido (aguas residuales). La única excepción a tener en cuenta son las grasas y aceites utilizados en los engrases pero, ya que su uso es mínimo, su aportación se puede despreciar.

Por lo tanto, no hay contaminación, ni de aire a través de gases contaminantes ni del agua a través de aguas residuales.

Con un adecuado mantenimiento de la grúa que evite la corrosión de las diferentes partes de la misma, no existe posibilidad de contaminación.

En la limpieza estética del exterior de la grúa se pueden generar residuos. Los principales aspectos relacionados con la limpieza de la grúa radican en el consumo de agua, la generación de ruido y, principalmente, la generación y posterior vertido de las aguas de limpieza.

Las aguas de lavado de la grúa deben de ser tratadas como las de lavado de embarcaciones.

Como consecuencia de la actividad de limpieza de cascos de embarcaciones, además del consumo de agua, tiene lugar el vertido a la red del agua destinada a este uso, lo que puede provocar la contaminación del medio marino. Estas aguas de limpieza deben ser filtradas, de modo que éstas son evacuadas a la red municipal.

Los residuos sólidos retenidos, cuyo impacto radica en la contaminación del medio terrestre y afección al entorno, deben ser evacuados como RSU (Residuos Sólidos Urbanos).

Para evacuar esta agua de limpieza, deben de ser recogidas mediante una canaleta que las conduce a una balsa de decantación de la cual son evacuadas a saneamiento.

2.9.6.5. Aspectos sociales

Como aspectos sociales se entienden la influencia que tiene el presente proyecto sobre la población y su calidad de vida.

La grúa no tiene un gran impacto social, más allá del beneficio que el funcionamiento que esta pueda traer al taller de reparaciones y mantenimiento y, en su caso, a los comercios de alrededor. El ruido que genera en su funcionamiento puede afectar al operario que lo maneja.

Puede causar alguna molestia a los viandantes que se pasean por esa zona, pero no deberían existir riesgos sobre los viandantes ya que la grúa cumple todas las normativas de seguridad.

Durante el montaje de la grúa, se perturbará temporalmente a la población del entorno, básicamente, por los ruidos y molestias generadas por los vehículos de obra que intervienen en la misma. La grúa afecta en su funcionamiento principalmente a los operarios que hagan uso de ella con el ruido.

En funcionamiento, la grúa genera una degradación paisajística del entorno que se traduce en un impacto visual negativo para su ambiente. Pero dicho impacto visual queda englobado en el entorno de la instalación portuaria donde se ubique la grúa, en este caso en concreto, el puerto de Santurtzi.

El impacto paisajístico que pudiera generar desaparece completamente una vez finalizado el desmantelamiento de la instalación.

Si se cumplen todas las normativas de seguridad, la grúa no representa ningún otro riesgo sobre la población, ni por vuelco ni por ningún otro supuesto.

2.9.6.6. Fase de desmantelamiento de la instalación

Al final de la vida útil de la grúa, toda la estructura metálica de la misma se reciclará convirtiéndose en chatarra y aprovechándose a su vez para futuros propósitos. Las partes y componentes de otros materiales (plásticos y cables) son fácilmente gestionables para un correcto reciclaje.

A la zapata se le cortarán los pernos y esta se dejará a no ser que se deba quitar, por la construcción de otra nueva grúa.

Dado que la grúa no contiene elementos químicos contaminantes, el desmantelamiento de la misma no supone ningún riesgo medioambiental.

2.10. Planificación

2.10.1. El proceso de diseño

2.10.1.1. El diseño

Diseñar es formular un plan para satisfacer una necesidad específica o resolver un problema.

Si el plan resulta en la creación de algo físicamente real, entonces el producto debe ser funcional, seguro, confiable, competitivo, útil, que pueda fabricarse y comercializarse.

El diseño es un proceso innovador y altamente iterativo. También es un proceso de toma de decisiones. Algunas veces éstas deben tomarse con muy poca información, en otras, con apenas la cantidad adecuada y, en ocasiones, con un exceso de información parcialmente contradictoria.

Algunas veces, las decisiones se toman de manera tentativa, por lo cual es conveniente reservarse el derecho de hacer ajustes a medida que se obtengan más datos.

Las fuentes personales de creatividad de un diseñador, la habilidad para comunicarse y la destreza para resolver problemas están entrelazadas con el conocimiento de la tecnología y sus principios fundamentales. Las herramientas de la ingeniería (como las matemáticas, la estadística, la computación, las gráficas y el lenguaje) se combinan para producir un plan, que cuando se lleva a cabo crea un producto *funcional, seguro, confiable, competitivo, útil, que se puede fabricar y comercializar*, sin importar quién lo construya o lo use.

2.10.1.2. Fases e interacciones del proceso de diseño

El proceso completo de diseño, de principio a fin, que a menudo se bosqueja como se muestra en la figura que aparece más abajo, comienza con la identificación de una necesidad y la decisión de hacer algo al respecto. Después de muchas iteraciones, termina con la presentación de los planes para satisfacer la necesidad. De acuerdo con la naturaleza de la tarea de diseño,

algunas fases de éste pueden repetirse durante la vida del producto, desde la concepción hasta la terminación.

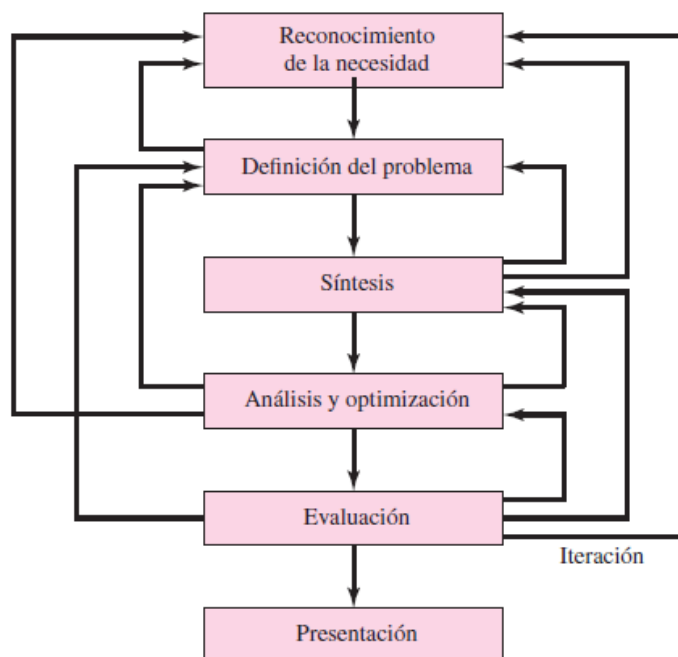


Figura 90. Fases de diseño.

Por lo general, el proceso de diseño comienza con la *identificación de una necesidad*.

Con frecuencia, el reconocimiento y la expresión de ésta constituyen un acto muy creativo, porque la necesidad quizá sólo sea una vaga inconformidad, un sentimiento de inquietud o la detección de que algo no está bien. A menudo, la necesidad no es del todo evidente; el reconocimiento se acciona por una circunstancia adversa particular o por un conjunto de circunstancias aleatorias que se originan casi de manera simultánea.

Hay una diferencia notable entre el enunciado de la necesidad y la identificación del problema.

La *definición del problema* es más específica y debe incluir todas las especificaciones del objeto que va a diseñarse. Las especificaciones son las cantidades de entrada y salida, las características y dimensiones del espacio que el objeto debe ocupar y todas las limitaciones sobre estas cantidades. Puede considerarse al objeto que va a diseñarse como algo dentro de una caja negra. En este caso, deben especificarse las entradas y salidas de la caja, junto con sus

características y limitaciones. Las especificaciones definen el costo, la cantidad que se va a manufacturar, la vida esperada, el intervalo, la temperatura de operación y la confiabilidad.

Los puntos obvios en las especificaciones son las velocidades, avances, limitaciones de la temperatura, el intervalo máximo, las variaciones esperadas en las variables, las limitaciones dimensionales y de peso, etc.

Hay muchas especificaciones implicadas que resultan del entorno particular del diseñador o de la naturaleza del problema en sí. Los procesos de manufactura disponibles, junto con las instalaciones de una cierta planta, constituyen restricciones a la libertad del diseñador y de aquí que sean parte de las especificaciones implicadas. Las habilidades de trabajo disponibles y la situación competitiva también constituyen restricciones implícitas. Cualquier cosa que limite la libertad de elección del diseñador significa una restricción. Por ejemplo, muchos materiales y tamaños se incluyen en los catálogos del proveedor, pero no todos pueden conseguirse con facilidad y suelen sufrir de escasez.

Además, la economía del inventario requiere que un fabricante tenga en existencia un número mínimo de materiales y tamaños.

Algunas veces, a la síntesis de un esquema que conecta elementos posibles del sistema se le llama *invención del concepto* o *diseño del concepto*. Éste es el primer y más importante paso en la tarea de la síntesis. Varios esquemas deben proponerse, investigarse y cuantificarse en términos de medidas establecidas. A medida que el desarrollo del esquema progresa, se deben realizar análisis para evaluar si el desempeño del sistema es cuando menos satisfactorio, y si lo es, qué tan bien se desempeñará. Los esquemas del sistema que no sobreviven al análisis se revisan, se mejoran o se desechan. Los que cuentan con potencial se optimizan para determinar el mejor desempeño del esquema. Los esquemas en competencia se comparan de manera que se pueda elegir el camino que conduzca al producto más competitivo. En la figura anteriormente mostrada, se muestra que la *síntesis*, el *análisis* y la *optimización* están relacionados en forma íntima e iterativa.

Puede observarse, y debe destacarse, que el diseño es un proceso iterativo en el cual se procede a través de varios pasos, se evalúan los resultados y luego se regresa a una fase inicial del procedimiento. De esta manera, es posible sintetizar varios componentes de un sistema,

analizar y optimizarlos y regresar a la síntesis para ver qué efectos tiene sobre las partes restantes del sistema.

Tanto el análisis como la optimización requieren que se construyan o inventen modelos abstractos del sistema que admitirá alguna forma de análisis matemático. A estos modelos se les llama modelos matemáticos. Cuando se crean, se espera que sea posible encontrar uno que simule muy bien al sistema físico real. Como se indica en la figura, la *evaluación* es una fase significativa del proceso de diseño total. La evaluación representa la prueba final de un diseño exitoso y por lo general implica la prueba del prototipo en el laboratorio. Aquí se desea descubrir si el diseño en verdad satisface la necesidad o las necesidades.

La comunicación de los resultados a otros es el paso final y vital de *presentación* del proceso de diseño.

Para el caso de la grúa del presente proyecto el proceso de diseño sería el que se muestra a continuación:

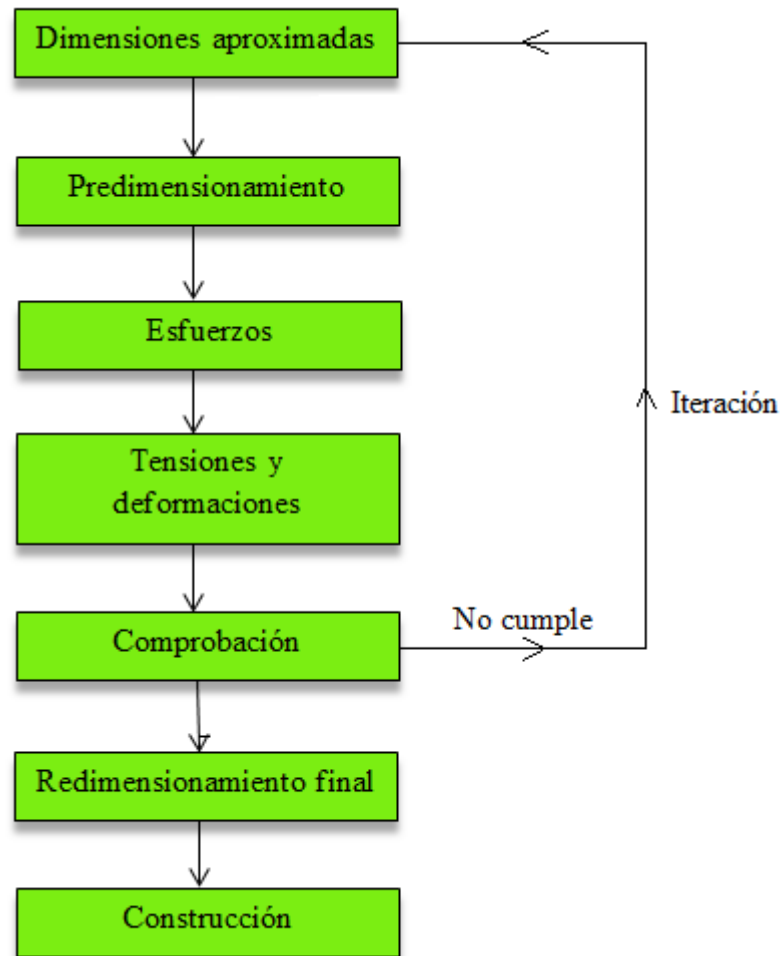


Figura 91. Fases de diseño grúa.

2.11. Orden de Prioridad de Documentos

El orden de prioridad de los Documentos Básicos del Proyecto es el que se indica a continuación:

1º Planos

2º Pliego de condiciones

3º Presupuesto

4º Memoria