



**ESCUELA UNIVERSITARIA DE INGENIERÍA TÉCNICA
INDUSTRIAL DE BILBAO**



GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

TRABAJO FIN DE GRADO

2015 / 2016

*GRÚA TORRE DESMONTABLE CON BRAZO HORIZONTAL
GIRATORIO*

DOCUMENTO 2. MEMORIA

DATOS DE LA ALUMNA O DEL ALUMNO

NOMBRE: ASIER

APELLIDOS: CORTADI MORO

FDO.:

FECHA: 27/03/2016

DATOS DEL DIRECTOR O DE LA DIRECTORA

NOMBRE: ITZIAR

APELLIDOS: MARTIJA LÓPEZ

DEPARTAMENTO: INGENIERÍA MECÁNICA

FDO.:

FECHA:

ÍNDICE MEMORIA

2.1. OBJETIVO	6
2.2. ALCANCE	7
2.3. ANTECEDENTES	8
2.3.1. Introducción a los transportes en ingeniería	8
2.3.2. Historia y evolución de la grúa-torre	8
2.4. NORMAS Y REFERENCIAS.....	12
2.4.1. Disposiciones legales y normas aplicadas	12
2.4.2. Bibliografía	13
2.4.3. Softwares utilizados	14
2.5. DEFINICIONES Y ABREVIATURAS.....	14
2.5.1. Definiciones	14
2.5.2. Abreviaturas	15
2.5.3. Simbología	16
2.6. REQUISITOS DE DISEÑO	19
2.6.1. Descripción de los componentes de la grúa torre	19
2.6.2. Características y dimensiones de la grúa	25
2.6.3. Zona de funcionamiento	26
2.6.4. Funcionamiento con viento	26
2.6.5. Materiales estructurales	26
2.6.5. Prestaciones de la grúa.....	27
2.6.5.1. Vida útil de la grúa	27
2.6.5.2. Capacidad de carga	27
2.6.5.3. Movimientos de la grúa.....	28

2.7. ANÁLISIS DE SOLUCIONES	29
2.7.1. Introducción a las grúas	29
2.7.2. Tipos de grúas y sus aplicaciones	30
2.8. RESULTADOS FINALES.....	35
2.8.1. Descripción de la estructura de la grúa.....	35
2.8.1.1. Brazo	35
2.8.1.2. Mástil.....	36
2.8.1.3. Contrapeso	36
2.8.1.4. Cimentación	36
2.8.2. Descripción de los elementos de la grúa.....	37
2.8.2.1. Mecanismo de giro.....	37
2.8.2.2. Motores	38
2.8.2.3. Acoplamientos	38
2.8.2.4. Mecanismo de traslación y elevación	38
2.8.2.5. Accesorios	39
2.8.3. Montaje	39
2.8.3.1. Base	41
2.8.3.2. Torre.....	41
2.8.3.3. Plataforma de giro	42
2.8.3.4. Contrapluma	42
2.8.3.5. Pluma + torreta.....	42
2.8.3.6. Enganchar el contrapeso	42
2.8.3.7. Instalación resto de elementos	43
2.8.4. Mando eléctrico	43
2.8.4.1. Inversión del sentido de giro.....	44

2.8.5. Sistemas de seguridad.....	47
2.8.5.1. Topes.....	47
2.8.5.2. Frenado por inyección de corriente continúa.....	47
2.8.5.3. Freno de fricción mecánico.....	49
2.8.6. Mantenimiento de la grúa.....	50
2.8.6.1. Corona de giro.....	50
2.8.6.2. Alimentación eléctrica.....	50
2.8.6.3. Mantenimiento de los motorreductores.....	51
2.8.6.4. Mantenimiento de los cables.....	52
2.8.6.5. Otras operaciones de engrase.....	52
2.8.7. Consideraciones medioambientales.....	52
2.8.7.1. Normativa aplicable.....	52
2.8.7.2. Recursos e infraestructuras.....	53
2.8.7.3. Contaminación del aire y del agua.....	53
2.8.7.4. Aspectos sociales.....	53
2.8.7.5. Fase de desmantelamiento.....	53
2.9. CONCLUSIONES.....	54

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Shadoof</i>	8
<i>Figura 2. Componentes grúa torre</i>	19
<i>Figura 3. Lastre</i>	19
<i>Figura 4. Modulo de celosía</i>	20
<i>Figura 5. Soporte giratorio</i>	20
<i>Figura 6. Corona de giro</i>	21
<i>Figura 7. Contrapluma</i>	21
<i>Figura 8. Contrapesos de hormigón de la contrapluma</i>	22
<i>Figura 9. Pluma</i>	22
<i>Figura 10. Carro de la pluma</i>	23
<i>Figura 11. Gancho</i>	23
<i>Figura 12. Tirantes de la contrapluma</i>	24
<i>Figura 13. Cables de acero</i>	24
<i>Figura 14. Movimientos de la grúa torre</i>	28
<i>Figura 15. Grúa Telescópica</i>	30
<i>Figura 16. Grúa Pluma</i>	31
<i>Figura 17. Grúa torre desplazable en servicio</i>	32
<i>Figura 18. Grúa-Torre fija</i>	33
<i>Figura 19. Grúa-Torre Trepadora</i>	34
<i>Figura 20. Grúa torre autodespegable</i>	34
<i>Figura 21. Reacciones en la base</i>	37
<i>Figura 22. Eslingas</i>	39
<i>Figura 23. Colocación de los tramos de mástil con grúa telescópica</i>	41
<i>Figura 24. Conexiones de motor trifásico</i>	44
<i>Figura 25. Motor con sentido de giro directo</i>	44

<i>Figura 26. Conexiones de las placas de bornes y sentidos de rotación obtenidos</i>	45
<i>Figura 27. Conmutador</i>	46
<i>Figura 28. Conexiones del conmutador</i>	46
<i>Figura 29. Circuito de mando</i>	48
<i>Figura 30. Circuito de fuerza</i>	48
<i>Figura 31. Freno de disco</i>	49
<i>Figura 32. Toma de tierra de la grúa torre.....</i>	51

INDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. Símbolos y denominaciones</i>	16
<i>Tabla 2. Características y dimensiones principales de la grúa</i>	25
<i>Tabla 3. Materiales empleados</i>	27

2.1. OBJETIVO

El objeto principal del presente proyecto es el diseño y definición de una grúa-torre, destinada a la elevación, transporte y distribución de material de construcción, dentro de su radio de acción en edificios de hasta 55 metros de altura.

Para que esto sea posible se necesita diseñar un sistema de giro de 360°, un sistema de traslación para mover la carga a lo largo de la pluma y un sistema de elevación. Además también se realizará el dimensionamiento de la estructura que soporte la grúa.

Es importante mencionar que se dimensionará la estructura en función de unas condiciones climáticas genéricas (fundamentalmente la acción del viento), dado que la intención es diseñar una grúa-torre desmontable para su uso en diferentes proyectos, los cuales se llevarán a cabo en diferentes ubicaciones.

La elección de este proyecto viene determinada por el requerimiento de hacer uso de conceptos tratados durante la etapa de formación en la carrera universitaria de Ingeniería Mecánica. Para sacar adelante el mencionado proyecto será necesario la aplicación de conocimientos tales como diseño de máquinas, elasticidad y resistencia de materiales, teoría de estructuras, entre otras.

Además también resulta un proyecto interesante debido a su importante necesidad en el mundo de la construcción. Y a pesar de su cotidianidad y su aparente sencillez, hoy en día siguen apareciendo noticias relacionadas con accidentes de grúas-torre.

2.2. ALCANCE

El presente proyecto pretende atender todos los aspectos que contempla el diseño de una grúa torre, tanto de la estructura como de los elementos que hay en ella.

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 diseñara 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.

Dada la complejidad que tiene la estructura de una grúa-torre, debido en gran parte a los numerosos elementos que la componen, se ha optado por calcularla y analizarla mediante un moderno software (SAP 2000), que facilita mucho los cálculos y por consiguiente se ahorra mucho tiempo en el diseño.

Quedarán definidos con todo detalle los cálculos, el diseño y los planos necesarios para el correcto funcionamiento de la grúa.

Los componentes imprescindibles para el desarrollo de los sistemas de elevación y traslación serán: el elemento de suspensión de la carga, los cables de acero, las poleas/tambor de elevación, que conectados a los motores eléctricos, se consigue la elevación de la carga y la traslación del carrito a lo largo de la pluma.

Entre la conexión del mástil y el brazo se instalará una corona de giro de manera que sea posible el giro completo de la pluma, quedando el mástil inmóvil. Además, como ya se ha comentado se diseñara y dimensionará la estructura de la grúa según la normativa vigente.

No se profundizará demasiado en las uniones (tanto atornilladas como soldadas). Tampoco serán objeto de estudio el cálculo de los sistemas y componentes eléctricos. No obstante, se hará una breve descripción de los elementos imprescindibles para poder entender el proyecto en su totalidad.

Por último, se adjuntarán instrucciones de instalación y montaje, así como de seguridad, mantenimiento y las consideraciones medioambientales pertinentes.

2.3. ANTECEDENTES

2.3.1. Introducción a los transportes en ingeniería

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. Hoy en día los aparatos de elevación y transporte resultan de gran trascendencia en el ámbito industrial, debido a la constante necesidad de mover grandes cargas en tiempos pequeños. La grúa-torre en concreto se considera una herramienta de suma importancia en la industria de la construcción, utilizada para la elevación y transporte de cargas a grandes alturas.

2.3.2. Historia y evolución de la grúa-torre

La primera versión o concepto documentado de una grúa fue el shadoof que fue usada por egipcios (al principio para el transporte y posteriormente en la construcción) por cerca de 4000 años.

Desde el punto de vista mecánico, el shadoof se basa en la ley de 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 el cubo lleno 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 1. Shadoof

Hacia 1500 a.C., se aplica en Mesopotamia la rueda, hasta ahora utilizada sólo en los carros, en los tornos de alfarero y en las ruelas, 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.

Hacia el 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.

Tres inventores griegos deben ser mencionados en la historia de la elevación: Ctesibio, padre de la hidráulica, Arquimedes, descubridor del tornillo sin fin y Heron de Alejandria, inventor de la polea compuesta.

Arquimedes (287-212 a.C.), además de descubrir el tornillo sin fin, principio en el que se basan los elevadores y transportadores utilizados hoy en día, desarrollo un dispositivo elevador que funcionaba con cables de cáñamo y poleas movidas por el hombre. En el siglo III a.C., Arquimedes descubrió las leyes de la palanca. Este griego creó un sistema 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 hacia milenios venían aprovechándose de algo evidente. Desarrolló una extensa teoría acerca de los polipastos con las transmisiones de fuerza 2:1, 3:1 (tripastos) y 5:1 (pentapastos).

- Edad Media

De este periodo (siglo V d.C a XV d.C) se conocen instalaciones de elevación que apenas se diferencian de las antiguas. Aunque el desarrollo del comercio, la navegación, 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.

- 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 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 maquina: pasaba de agente productor de energía a agente auxiliar de la propia maquina generadora de energía.

La electricidad, descubierta durante el siglo XVIII, fue aplicada a los aparatos de elevación en el año 1881. Es muy pocos años se produjo el gran cambio. De ver grúas de madera con enormes ruedas o tambores manuales se pasó a ver aparatos de elevación en acero accionados de vapor o eléctricamente, no muy diferentes a los de hoy en día.

- Las primeras grúas torre

Las grúas torre empezaron a producirse en Europa durante la primera mitad del siglo XX. Las calles en las ciudades Europeas eran estrechas por lo que las altas grúas con brazos y con el operador encima demostraron ser más ventajosas. Como resultado, algunos de los primeros fabricantes de grúas torre se originaron dentro de Europa. Por ejemplo, en 1908, Maschinenfabrik Julius Wolf & Co. introdujo la primera serie de grúas torre diseñadas específicamente para la industria de la construcción. La primera generación de las grúas torre llamo la atención primordialmente de constructores de barcos quienes las compraron y las instalaron en sus astilleros y muelles. Más de 10.000 unidades fueron construidas y el diseño básico de estas grúas torre permaneció en producción hasta finales de los años 60.

Otros fabricantes como Kaisier y Potain también fueron desarrollando grúas torre a comienzos de los años 30. Sus diseños fueron considerablemente basados en grúas portuarias y de muelles. Estas grúas eran excepcionalmente pesadas, hechas a hierro y acero y bastantes difíciles de armar, desarmar y transportar, por lo que todavía persistía la necesidad de tener acceso a una grúa torre que podría ser armada rápidamente.

- Hans Liebherr

En 1949, Hans Liebherr se dio cuenta de que en el mercado no existía las grúas torre con capacidad de rápido armamento. Así decidió que él mismo podía construir una grúa torre en colaboración con constructores y técnicos. La grúa también podía cargar material del suelo izándolo, balanceándolo, y finalmente descargando directamente el

material en la estructura nueva, una característica que no se había visto en grúas hasta ese momento, por lo que los materiales debían ser cargados manualmente desde el punto de descarga. Otra característica original era que la grúa podía ser transportada en partes y podía ser totalmente ensamblada. Liebherr presentó su primera grúa, la TK-10, en la Feria del Comercio Frankfurt en Alemania durante el otoño de 1949. Al comienzo, la industria fue cautelosa acerca de la nueva grúa de Liebherr, pero eventualmente el diseño fue acogido y Liebherr usó el modelo TK-10 para la producción de la masa. Con este diseño, Liebherr fue capaz de revolucionar a la industria de grúas torre.

- La grúa torre más alta del mundo

Mientras que los rascacielos eran construidos en alturas cada vez mayores, la necesidad de grúas de mayor altitud se volvió evidente. En 1975, la compañía Danés Kroll se convirtió en el fabricante de la grúa torre más alta del mundo, la K-10000. Este “monstruo de la ingeniería” es capaz de levantar pesos de 132 toneladas de carga máxima y 91 toneladas a una distancia máxima de 100m. Fabricada por la marca Danesa Kroll, una vez fijada al suelo resiste de 240km/h a pesar de tener 120m de altura.

2.4. NORMAS Y REFERENCIAS

2.4.1. Disposiciones legales y normas aplicadas

Para que la grúa diseñada en el presente proyecto cumpla unos requisitos mínimos de diseño se debe exponer dicha grúa a una serie de normas, las cuales son emitidas por distintos organismos.

Dichos organismos son la FEM (Federación Europea de Manutención) y AENOR (Agencia Española de Normalización). El primero es a nivel internacional y está formado por los fabricantes europeos en estrecha colaboración con las Universidades y Organismos de Normalización. El segundo organismo es a nivel nacional y trata de recoger las principales normas FEM, traducirlas y publicarlas como Normas UNE (Una Norma Española).

Las normas UNE que se han seguido en este proyecto son las siguientes:

- UNE 58-112-91. Aparatos de elevación: Reglas de cálculo

- UNE 58-132-91. Grúas y aparatos de elevación.
- UNE 58-113-85. Grúas. Acción del viento.
- UNE 15-701. Criterios generales para elaboración de proyectos.

En cuanto a componentes normalizados, las normas seguidas son:

- DIN 125. Arandelas
- DIN 555. Tuercas hexagonales
- DIN 689. Gancho de elevación
- DIN 6885. Dimensiones de chavetas y chavetero

2.4.2. Bibliografía

- **Libros/Apuntes de clase**
 - GRUÁS de Antonio Miravete y Emilio Larrodé
 - MÁQUINAS: PRONTUARIO: TÉCNICAS, MÁQUINAS, HERRAMIENTAS de Nicolás Larburu Arrizabalaga.
 - Prontuario de perfiles metálicos
 - Apuntes de clase de diseño de máquinas de Santiago Navalpotro y Mikel Abasalo.
 - ELEMENTOS DE MAQUINAS de Joseph Edward Shigley
 - Expresión gráfica en la Ingeniería. Dibujo de Ingeniería Industrial; Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial de Bilbao.
- **Catálogos**
 - RELESA
 - COTRANSA
 - INDELI

- JAURE
- AFO
- OPAC
- ROTHE ERDE

2.4.3. Softwares utilizados

Para la realización de los croquis, planos y otros dibujos se ha utilizado el programa AUTOCAD® e INVENTOR® versiones del año 2012.

La redacción de los documentos se ha llevado a cabo con Office 2007, Word y Excel (para las tablas).

El cálculo y dimensionamiento de la estructura de la grúa, como ya se ha comentado, entraña una dificultad elevada, al tratarse de numerosos elementos unidos entre sí. Por eso hemos recurrido al SAP 2000, un programa de elementos finitos, que simplifica mucho los cálculos.

Por último, también ha sido necesario recurrir a otro tipo de software de elementos finitos para validar y optimizar el diseño de alguno de los componentes de la grúa (pieza que une el mástil con la pluma, la pieza en “U” del carrito)

2.5. DEFINICIONES Y ABREVIATURAS

2.5.1. Definiciones

1. Eslinga: la eslinga o cincha es una herramienta de elevación. Es el elemento intermedio que permite enganchar una carga a un gancho de izado o de tracción. Consiste en una cinta con un ancho o largo específico (varían según su resistencia, los modelos y los fabricantes) cuyos extremos terminan en un lazo (ojo).
2. Polipasto: es una máquina compuesta por dos o más poleas y una cuerda, cable o cadena que alternativamente va pasando por las diversas gargantas de cada una de las poleas mencionadas. Se utiliza para levantar o mover una carga con una gran ventaja mecánica, porque se necesita aplicar una fuerza mucho menor que el peso que hay que mover.

3. Tripasto: polipasto compuesto por 3 poleas.
4. Pentapasto: polipasto compuesto por 5 poleas.
5. Rueda: es un instrumento para hilar manualmente fibras textiles. Esta herramienta consiste en un bastón, generalmente de caña, terminado por una cabeza donde se enrolla la rama de fibra que se quiere hilar, que incorpora una rueda, un pedal o manivela y una devanadera pequeña o soporte giratorio fijo en el cual se enrolla una manguera para facilitar su extensión y la utilización.
6. Cáñamo: es el nombre que reciben las variedades de la planta *Cannabis* y el nombre de la fibra que se obtiene de ellas, que tiene, entre otros, usos textiles.
7. Estrobo: Pedazo de cabo unido por sus extremos que sirve para suspender cosas pesadas.
8. Viga cajón: viga para la rodadura de carros de puentes grúa, grúa pórtico, consola, ...
9. Garganta: la garganta de una polea es la “cajera” cuya forma se ajusta a la de la cuerda a fin de guiarla.
10. Bulón: se refiere a un tornillo de tamaño relativamente grande, con rosca solo en la parte extrema de su cuerpo

2.5.2. Abreviaturas

DIN (Deutsches Institut für Normung)

UNE (Una Norma Española)

FEM (Federación Europea de Manutención)

AENOR (Agencia Española de Normalización)

OGSHT (Ordenanza de Seguridad e Higiene en el Trabajo)

ITC (Instrucciones Técnicas Complementarias)

S.M (Simulation Mechanical)

NTE (Normas Tecnológicas de la Edificación)

2.5.3. Simbología

Tabla 1. Símbolos y denominaciones

SÍMBOLO	UNIDADES	DENOMINACIÓN
σ_y	MPa	Tensión de fluencia
K_t	-	Coefficiente de concentración de tensiones
F_a	N	Fuerza axial
		Fuerza debida a la aceleración
F_r	N	Fuerza radial
M_k	Nmm	Par de vuelco
T	N	Carga contrapeso
Q_{con}		
T	N	Carga de servicio
Q_c		
S_L		
ρ_h	kg/m ³	Densidad de hormigón
Ψ	-	Coefficiente Dinámico
S_G	N	Peso propio de la estructura
a	m/s ²	aceleración
v	m/s	velocidad
S_H	N	Esfuerzo horizontal
S_W	kg/m ²	Presión del viento
A	mm ²	Área real
A_e	mm ²	Área total expuesta
a	mm	Anchura de la celosía
b	mm	Altura de la celosia
g	m/s ²	Gravedad
$F_{v\text{ carga}}$	kg	Fuerza del viento sobre la carga
$F_{v\text{ contrapeso}}$	kg	Fuerza del viento sobre el contrapeso
C_S	-	Coefficiente de seguridad
M	-	Coefficiente variable con el grupo
S	-	Coefficiente de seguridad del cable
d	mm	Diámetro del cable

SÍMBOLO	UNIDADES	DENOMINACIÓN
D, d_f	mm	Diámetro polea
D, d_f	mm	Diámetro tambor
M_e	Nm	Momento en el eje
w	rpm	Velocidad de giro del motor
	Rad/s	
$\eta_{mecánico}$	-	Rendimiento motor
i	-	Relación de transmisión
f_s	-	Factor de seguridad del motor
P	HP	Potencia del motor
	kW	
M_r	Nm	Momento radial
u	-	Coefficiente de rozamiento
F_t	Kg	Fuerza tangencial
D_L	Mm	Diámetro de rodadura
k	-	Coefficiente de cables
M_z	Nmm	Par torsor
$r (\varnothing_{eje}/2)$	mm	Radio eje motor
f_{stat}	-	Coefficiente de carga estática (rodamiento)
f_L	-	Factor de servicio
u_G	-	Coefficiente de fricción media
u_K		
F_{ao}	N	Fuerza axial inicial
M_{ko}	Nm	Par de vuelco inicial
G	giros	Vida útil rodamiento
$w_{piñón}$	Rad/s	Velocidad de giro del piñón
w_{corona}	Rad/s	Velocidad de giro de la corona
$Z_{piñón}$	-	Nº de dientes
$R_{piñón}$	mm	Radio del piñón

SÍMBOLO	UNIDADES	DENOMINACIÓN
b	mm	Longitud del diente del piñon
		Anchura de la chaveta
Y	-	Factor de Lewis
Ψ	-	Factor de guiado
K_{adm}	kg/mm^2	Presión admisible
α	grados	Ángulo de ataque
R_c	mm	Radio de cabeza
R_f	mm	Radio de fondo
h_c	mm	Addendum
h_f	mm	dedendum
h	mm	Altura del diente
s	mm	Espesor
e	mm	Hueco
P_c	mm	Paso circular
τ	N/mm^2	Tensión a cortante
σ	N/mm^2	Tensión a aplastamiento
$F_{chaveta}$	N	Fuerza sobre chaveta
h	mm	Altura chaveta
L	mm	Longitud chaveta
D	mm	Diámetro eje
F	N (kg)	Fuerza
m	mm	Módulo

NOTA: las simbología de los componentes seleccionados en catalogo no se muestran es este apartado.

2.6. REQUISITOS DE DISEÑO

2.6.1. Descripción de los componentes de la grúa torre

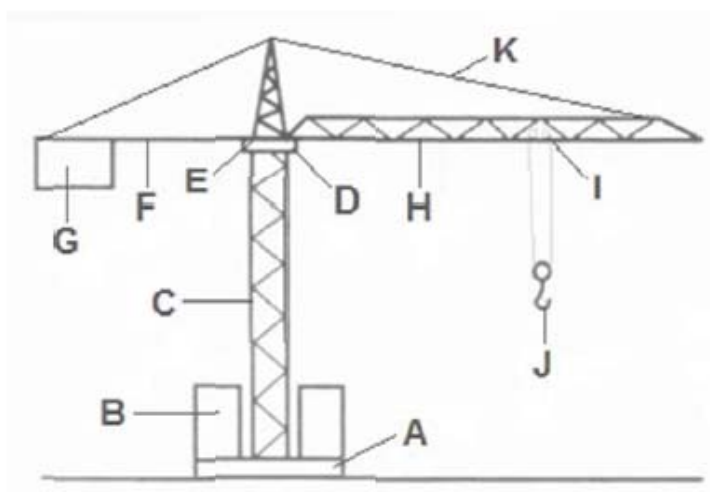


Figura 2. Componentes grúa torre

- A) **Base:** es la estructura de la grúa en contacto con el suelo.
- B) **Lastre:** Se trata de varias piezas de hormigón prefabricado en la base que tienen como objetivo estabilizar la grúa frente al peso propio, al peso que pueda trasladar y a las condiciones ambientales (especialmente el viento). También puede estar formada por una zapata enterrada.



Figura 3. Lastre

- C) **Torre o mástil:** Es una estructura de celosía metálica, cuyo objetivo es dar a la grúa suficiente altura. Está formada por módulos de celosía para facilitar su transporte. Para el montaje se unirán estos módulos mediante tornillos. Su forma y dimensión varía según las características necesarias de peso y altura.

También puede disponer una cabina para su manejo por parte de un operario. Y para el acceso de este operario a la cabina se dispone una escalera metálica fijada a la estructura.



Figura 4. Modulo de celosía

D) Plataforma o soporte giratorio: Está situada en la parte superior del mástil, donde se ubicará la corona de giro. El conjunto dotará de movimiento giratorio de 360° al conjunto pluma-contrapluma sobre el mástil. También se puede situar la cabina del operario encima del soporte.



Figura 5. Soporte giratorio

E) Corona de giro: Estará situada en la plataforma o soporte giratorio. Esta transmitirá el movimiento rotativo del motor a la pluma y contrapluma.



Figura 6. Corona de giro

- F) Contrapluma o contraflecha:** Es el elemento que sirve para equilibrar la torre, su longitud oscila entre el 30% y el 35% de la longitud de la pluma. Al final de la contrapluma se colocan los contrapesos. Suele estar provista de una pasarela para poder llegar a los contrapesos y el motor de elevación, que están situados al final de ella, y una barandilla para la seguridad de los operarios.



Figura 7. Contrapluma

- G) Contrapeso:** Estructuras de hormigón prefabricado que se colocan en la contrapluma para estabilizar el Peso y la inercia que se produce en la pluma. Deben estabilizar la grúa tanto en reposo como en funcionamiento.



Figura 8. Contrapesos de hormigón de la contrapluma

H) Pluma o flecha: Es una estructura de celosía metálica, cuya misión principal es dotar a la grúa de alcance necesario. Al igual que la torre, suele tener una estructura formada por módulos para facilitar su transporte y cambio si alguna de sus partes resulta dañada.



Figura 9. Pluma

I) Carro de la pluma: Consiste en una pequeña estructura en forma de carro que se mueve a lo largo de la flecha a través de unos carriles. Permite trasladar la carga a lo largo de la pluma. Lleva una polea o sistema de poleas que permite cambiar la altura de la carga para su desplazamiento.



Figura 10. Carro de la pluma

- J) Gancho:** es el elemento de sujeción de la carga. Irá sujetao al carro mediante unos cables que le permitirán aumentar o disminuir su altura. Irá provisto de un sistema de seguridad que permita la fácil entrada de eslingas y estrobo e impedirá su salida si no se actúa manualmente.



Figura 11. Gancho

- K) Tirantes:** Pueden ser cables o barras, y sirven para aguantar la pluma y la contrapluma.



Figura 12. Tirantes de la contrapluma

Nota: Los Cables y Motores también son elementos de la grúa que no se reflejan en el esquema.

Cables: Irán desde el motor hasta el elemento a mover, y realizarán su movimiento mediante poleas. Su objetivo es transmitir el movimiento a la carga de servicio. Deben estar perfectamente tensados y se hará un seguimiento periódico para que, durante su enrollamiento en el tambor no se entrecrucen, ya que daría lugar a aplastamientos. Estos irán sujetos entre el motor y el elemento a mover y realizarán su recorrido mediante poleas.



Figura 13. Cables de acero

Motores eléctricos: son dispositivos que transforman la energía eléctrica en energía mecánica por medio de la acción de los campos magnéticos generados en sus bobinas. El movimiento rotativo que se consigue en el eje del motor se transmite a las poleas, tambor de elevación...

2.6.2. Características y dimensiones de la grúa

La grúa torre tendrá una altura total de 67,75m (punto más alto), aunque la altura máxima de trabajo queda reducida a 55m.

Suponiendo que los portales tienen una altura de unos 4m, los pisos son de 2.5m de altura con un forjado entre ellos de 0,3m, podemos llegar a trabajar en edificios de hasta 17 plantas. Se considera que la carga (con las eslingas) puede alcanzar hasta 3m de alto.

La capacidad de trabajo de la grúa está comprendida en un radio de 28 m.

Tabla 2. Características y dimensiones principales de la grúa

Características y dimensiones principales de la grúa	
Capacidad de carga	2500 kg
Alcance máx.	27,2 m
Alcance min	4m
Ángulo cubierto	360 °
Estructura	Metálica
Sistema de elevación y traslación	Polipasto eléctrico
Corriente de alimentación	Alterna trifásica 230/380 V a 50 hz
Mando	Eléctrico por botonera
Peso polipasto	Por botonera a pie de columna
Peso contrapeso	4615 kg
Peso estructura	4978,3 kg
Grupo FEM	M8
Velocidad de elevación	40 m/min
Velocidad de traslación	60 m/min
Velocidad de giro	38/10 rad/s
Potencia del motor de elevación	22 kW
Potencia del motor de traslación	7,5 kW
Potencia del motor de giro	5,5 kW
Altura total	67,75 m
Altura max. de trabajo	55 m
Longitud de la pluma	28 m
Longitud de la contrapluma	8 m
Longitud carril de rodadura	24 m

2.6.3. Zona de funcionamiento

La grúa precisa de un determinado espacio libre en la base para poder efectuar los giros si ningún impedimento. Este espacio depende del alcance de la pluma y de una zona de seguridad en torno a la carga, que viene determinado por la manga de seguridad del material de construcción.

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.

2.6.4. Funcionamiento con viento

Será necesario tener en cuenta la acción de viento en el diseño de la estructura. Además estudiaremos dos estados en función de si el aparato esta en servicio o no.

- **Viento en servicio:** es la velocidad máxima de viento que la grúa puede resistir en condiciones de servicio.
- **Viento fuera de servicio:** es la velocidad máxima de viento que la grúa puede resistir fuera servicio.

2.6.5. Materiales estructurales

Los elementos que constituyen la estructura de la grúa están fabricados en acero S275, tanto los perfiles IPE como los de sección circular o cuadrangular hueca. Las piezas construidas específicamente para este proyecto se fabricaran con aceros de la serie F-100, exceptuando el piñón de giro que se construirá en fundición A-536, en función de las condiciones que soporte la pieza así como su geometría.

Tabla 3. Materiales empleados

Materiales	
Perfiles estructurales grúa	S275
Eje (carrito de traslación)	F-115
Pieza U (carrito de traslación)	F-141
Eje (ruedas carrito)	F-151
Soporte ruedas	F-151
Engranaje	A536
Eje (motor de elevación)	F-151
Eje (motor de traslación)	F-151
Polea guía	F-151
Pieza de unión brazo-mástil	F-151
Viga circular	F-151
Pasador	F-151

2.6.5. Prestaciones de la grúa

2.6.5.1. 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.

Si partimos de una duración de 10 años, contando con que la grúa trabajara 260 días al año y cada día unas 5 horas, esto equivale a unas 13000 horas de vida aproximada.

2.6.5.2. 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 material de construcción (sacos de cemento, ladrillos, yeso,.. el material ira colocado en pales) 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 (frecuencia mixta de cargas).

La carga máxima que podrá transportar y/o elevar la grúa será 2500 kg.

2.6.5.3. Movimientos de la grúa

Los movimientos de la grúa son los grados de libertad que esta tiene.

Esta grúa torre puede efectuar tres movimientos, es decir, tiene tres grados de libertad (3 gdl):

- Movimiento en plano vertical
- Movimiento en plano horizontal
- Movimiento giratorio de 360°

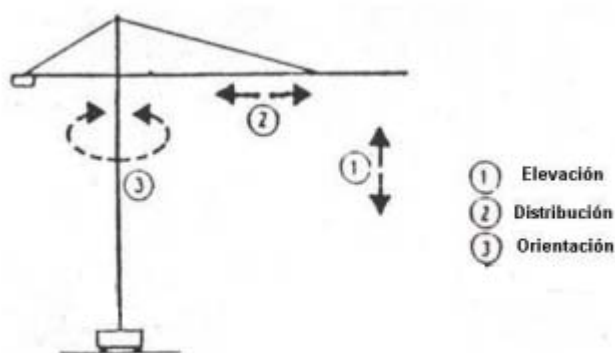


Figura 14. Movimientos de la grúa torre

Para conseguir estos movimientos se requieren los siguientes mecanismos/sistemas:

- Mecanismo de elevación: permite el movimiento vertical de la carga gracias a un motor eléctrico el cual está conectado a un tambor de enrollamiento, que desenrolla o recoge e cable de acero que sustenta la carga.
- Mecanismo de distribución: permite el movimiento horizontal de la carga. Mediante un carrito de traslación (que sustenta la polea por la cual pasa el cable que soporta la carga) que se mueve a lo largo de la pluma gracias a un sistema de poleas. El giro de la polea se consigue con otro motor eléctrico conectado a una de las poleas.

- Mecanismo de giro: permite el giro 360° de la pluma.

Dicho giro se logra con una corona formada por dos aros que posibilitan el giro relativo entre ellos gracias a unos rodamientos. Uno de ellos está conectado a la parte fija (mástil) de la grúa y otra a la móvil (pluma). El aro interior es el que se conecta a la parte móvil y tiene un dentado que engrana con un piñón de giro que le transmite el movimiento de giro gracias a un motor eléctrico.

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, hasta las grúas flotantes, usadas para rescatar barcos encallados. Las grúas torre se encuentran en un nivel intermedio.

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.

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.

2.7.2. Tipos de grúas y sus aplicaciones

- **Grúas telescópicas**

También reciben el nombre de grúas automóbiles, ya que siempre suelen ir montadas sobre un vehículo. Se utilizan cuando es necesario un aparato de elevación en un corto espacio de tiempo. Su montaje es muy corto ya que solo es necesario desplegar la pluma telescópica, para poder comenzar a realizar los trabajos requeridos. Principalmente se usa para montar naves industriales, para elevar o quitar elementos pesados donde se requiere una gran rapidez en su ejecución y sobre todo para montar las Grúas-Torres. Su inconveniente es el espacio de giro que ocupa al trabajar la pluma en una posición inclinada.



Figura 15. Grúa Telescópica

- **Grúa Pluma**

Es un tipo de grúa donde el accesorio de aprehensión está suspendido de la pluma o de un carro que se desliza a lo largo de ella. La pluma suele estar inclinada.

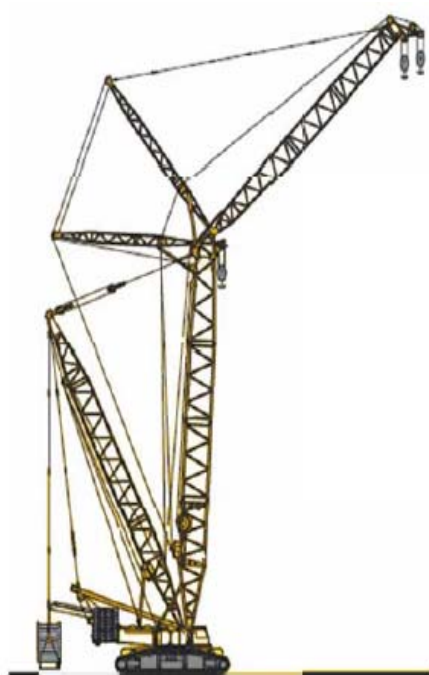


Figura 16. Grúa Pluma

- **Grúa-Torre**

Es el tipo de grúa estudiada en este proyecto. Es una grúa pluma orientable, en la que el soporte giratorio de la pluma se monta sobre la parte superior de una torre vertical, cuya parte inferior se une a la base de la grúa. Está concebida para su utilización en las obras de construcción y otras aplicaciones. Diseñada para soportar frecuentes montajes y desmontajes, para facilitar su transporte de un emplazamiento a otro.

Este tipo de grúa puede ser:

- **Grúa torre desplazable en servicio:** Es aquella cuya base está dotada de medios propios de traslación sobre carriles u otros medios y cuya altura máxima de montaje es tal que sin ningún medio de anclaje adicional sea estable tanto “en servicio” como “fuera de servicio” para las que las solicitaciones a las que vaya estar sometida.



Figura 17. Grúa torre desplazable en servicio

- **Grúa-Torre fija (estacionaria):** es aquella cuya base no posee medios de traslación o que poseyéndolos no son utilizables en el emplazamiento, o aquellas en que la base es una fundación o cualquier otro conjunto fijo.



Figura 18. Grúa-Torre fija

- **Grúa-Torre Trepadora:** es una grúa torre instalada sobre la estructura de una obra en curso de construcción y que se desplaza de abajo hacia arriba por sus propios medios al ritmo y medida que la construcción progresa.



Figura 19. Grúa-Torre Trepadora

- **Grúa torre autodespegable:** Es un tipo de grúa pluma orientable en la que la pluma se monta sobre la parte superior de una torre vertical orientable, donde su parte inferior se une a la base de la grúa provista de los accesorios necesarios para permitir un rápido plegado y desplegado de la torre y pluma.



Figura 20. Grúa torre autodespegable

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.

El diseño y cálculo de la misma se ha dividido en dos partes. Primero hemos estudiado el brazo y después el mástil.

2.8.1.1. Brazo

El brazo de la grúa está formado por dos vigas principales, en concreto, son vigas IPE o de doble T. Dichas vigas son paralelas entre sí, separadas una distancia de 2 metros. Por lo que se han colocado también barras de arriostramiento entre ellas, de sección hueca circular, cada pocos metros. De esta forma se minimizan los esfuerzos de las vigas.

El brazo también se puede dividir en tres partes: la pluma, la torreta y la contrapluma.

Sobre las vigas principales de la pluma se colocan unas diagonales que están unidas a otra viga de doble T, que a su vez está conectada al tirante (barra de sección hueca circular). El tirante ayuda a equilibrar mejor los esfuerzos, al unir el centro de la pluma con el eje del mástil (en el punto más alto de la torreta).

La torreta da la altura máxima a la grúa y como hemos dicho arriba se une con el tirante.

La contrapluma cuenta con una “barandilla” que conecta con la torreta. Además de ser un sistema de seguridad a la hora de realizar tareas de mantenimiento, también ayuda a transmitir los esfuerzos al mástil.

NOTA: Para ver en detalle el brazo ir al apartado de planos.

2.8.1.2. Mástil

El mástil básicamente está constituido por 4 pilares con perfiles de sección hueca cuadrada, paralelos dos a dos separados 1,06 m. Entre ellos se colocan barras de arriostramiento para minimizar esfuerzos.

NOTA: Para ver en detalle el mástil ir al apartado de planos.

2.8.1.3. Contrapeso

Para que la grúa este equilibrada en todo momento (bien cuando la grúa esta en servicio y cuando no), se ha dispuesto un contrapeso de 4615 kg de peso propio en forma de T para, de esta forma, poder encajarlo entre las dos vigas.

NOTA: Para ver en detalle el contrapeso ir al apartado de planos.

2.8.1.4. Cimentación

La grúa necesita de una cimentación adecuada de manera que la base quede fija al macizo de hormigón a través de su anclaje. Esto le proporcionara la estabilidad exigida a la grúa.

Esta será la fase previa al montaje de la grúa y entraña una dificultad considerable, 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.

No se calcula la cimentación, ya que esta depende de las características del terreno en el que vaya a trabajar la grúa, por tanto el cliente deberá contratar los servicios de un ingeniero civil que calcule dicha cimentación según el lugar de trabajo.

A continuación se muestran las reacciones obtenidas (del caso más desfavorable) en la base de la grúa en SAP 2000.

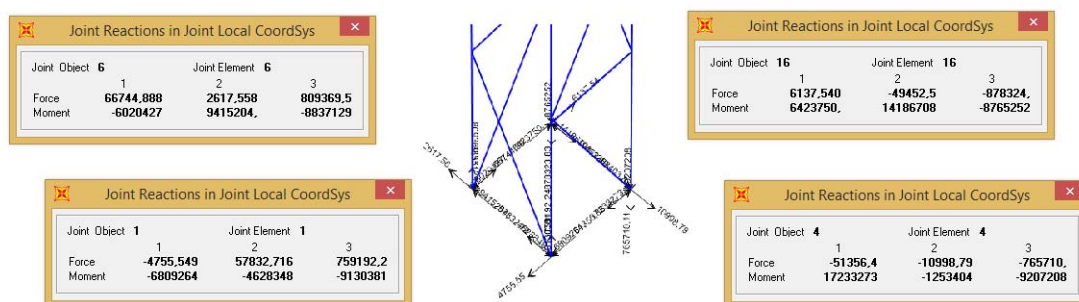


Figura 21. Reacciones en la base

2.8.2. Descripción de los elementos de la grúa

2.8.2.1. Mecanismo de giro

El mecanismo de giro se trata de un sistema formado por los siguientes componentes: el rodamiento de giro, la viga circular sobre la que descansa el rodamiento (corona) unidos mediante soldadura, y la pieza de unión brazo-mástil fijada a la corona mediante pasadores. Por último, el piñón de giro conectado a un motor eléctrico transmite el movimiento.

El rodamiento de giro es uno de los elementos mecánicos más importantes de la grúa. Se trata de una corona dentada giratoria de grandes dimensiones capaz de absorber el momento flector máximo y el peso del brazo 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.

El rodamiento se trata de un componente comercial, que suministra la empresa Rothe Erde.

El 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.

La viga circular y la pieza de unión brazo mástil son piezas muy específicas que se mandan fabricar especialmente para este proyecto.

NOTA: Para ver con detalle el mecanismo de giro ir al apartado de planos.

2.8.2.2. Motores

Los motores seleccionados son trifásicos de anillos rozantes. 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, por ello, es necesaria la utilización de variadores de frecuencia.

En cuanto al montaje, se ha escogido la variante con patas, para los motores de elevación y traslación, y la variante con bridas para el de giro.

El grado de protección de los motores será IP55, es decir, el motor estará protegido tanto del agua de lluvia como de polvo.

De todos los fabricantes de motores, se han elegido los motores de la empresa Cotransa.

2.8.2.3. Acoplamientos

Dado que los motores no son suficientemente largos y/o no tienen el diámetro requerido (para encajar con el elemento al que transmite el movimiento) se requiere el uso de un par de acoplamientos que transmitan el par de giro del eje del motor al eje conducido y al mismo tiempo compensar el desalineamiento angular entre ambos ejes.

Los acoplamientos seleccionados son acoplamientos flexibles de láminas Lamidisc® proporcionados por la empresa Jaure.

2.8.2.4. Mecanismo de traslación y elevación

Para conseguir la traslación de la carga a lo largo de la pluma se ha diseñado y calculado un carrito formado por un eje, sobre el que se monta la polea de elevación, que en sus extremos se conecta a otra pieza que se une a dos ruedas que son capaces de desplazar el carrito a lo largo de la pluma gracias a un sistema de poleas.

Para asegurar el movimiento rectilíneo del carrito recurrimos a una viga carril soldada a las alas inferiores de las vigas principales de la pluma.

2.8.2.5. Accesorios

- **Eslingas**

Son el elemento intermedio que permite enganchar la carga al gancho de izado. 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.



Figura 22. Eslingas

- **Pales**

Son armazones o plataformas de madera, plástico u otro material utilizados en el movimiento de carga (elevación y/o transporte) de manera que dicho material queda asegurado en dicho proceso.

2.8.3. Montaje

El montaje de la grúa se realizara por personal cualificado y con la ayuda de elementos mecánicos necesarios, como por ejemplo una Grúa Telescópica para poder llevar cada elemento a su lugar de colocación, ya que por su peso y tamaño no se podría hacer mediante operarios. Esta Grúa Telescópica, normalmente se alquila en el momento de montado y desmontado del conjunto de la Grúa Torre.

El personal para la construcción de la grúa tendrá una orden de trabajo donde vendrá indicados los datos de la grúa y las características del montaje, donde explicará los pasos a seguir para el correcto ensamblaje.

Dicho personal dependerá de un técnico titulado, quien planificará y se responsabilizará del trabajo a realizar, extendiendo al finalizar el montaje el certificado correspondiente.

Las operaciones de montaje y desmontaje de la grúa no son admisibles a partir de una velocidad de viento de 50 km/h. En caso de vientos superiores deberá detenerse inmediatamente el trabajo

La grúa torre a montar se transportará al lugar de su colocación mediante camiones.

El orden para la correcta construcción de la grúa torre se explica en este punto, donde los pasos a seguir son:

1. Realizar la base
2. Colocar la torre
3. Instalar la plataforma de giro
4. Colocar la contrapluma
5. Colocar la pluma
6. Enganchar el contrapeso en la contrapluma
7. Instalar los elementos requeridos (motores, tambor, poleas,...) para el funcionamiento de la grúa.

NOTA: el desmontaje de la grúa es el mismo proceso pero a la inversa

2.8.3.1. Base

En primer lugar es necesario realizar un agujero en el suelo para poder colocar la zapata, donde se sujeta la base de la torre. Esta zapata suele ser de hormigón armado.

La preparación de la base estará situada donde tenga mejor alcance en la zona donde se va a realizar el trabajo. Antes de empezar el montaje de la grúa se debe comprobar que la nivelación de la zapata de apoyo es el correcto.

2.8.3.2. Torre

Cuando ya está hecha la zapata y colocada la base de la grúa, se pasa a la colocación de la torre, que en nuestro caso está formada por 6 partes de 10 metros cada una. Esto facilita el transporte de la misma y además si una de las partes se daña o esta en mal estado, esta se puede sustituir por otra sin necesidad de tener que cambiar el mástil completamente.

La unión de los distintos tramos se hará mediante tornillos para facilitar el desmontaje cuando acabe la obra.

NOTA: una vez colocado el primer tramo será necesaria la utilización de una grúa telescópica para la colocación de los tramos posteriores, así como la pluma, contrapluma y resto de elementos.

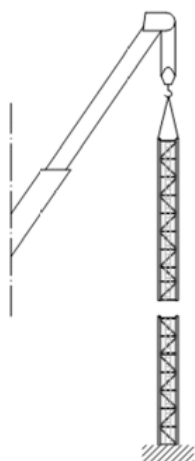


Figura 23. Colocación de los tramos de mástil con grúa telescópica

2.8.3.3. Plataforma de giro

Después de colocar todos los tramos de la torre, se pasa a la colocación de la plataforma de giro formada por el rodamiento de giro y la pieza de unión, específicamente diseñada para este proyecto, entre el mástil y el conjunto pluma-contrapluma

Esta pieza es bastante pesada y dado que la unión de esta al mástil debe realizarse con mucha precisión resulta una tarea difícil.

2.8.3.4. Contrapluma

Esta estructura, que mide 9 metros, al no ser muy larga es una única pieza, es decir, no está dividida en diferentes tramos como el mástil o la pluma.

2.8.3.5. Pluma + torreta

La pluma al igual que el mástil será construida en varios tramos debido a su elevada longitud. En concreto habrá 2 tramos de 8 metros, otro dos de 9 y de 4 metros. Sin embargo la unión de estos tramos se llevará a cabo en el suelo (del lugar de la obra) y además se soldaran a las vigas los carriles de rodadura. Una vez hecho esto se alza el conjunto entero con la grúa telescópica para.

También se le colocará el tirante que une el punto más alto de la torre con el punto medio de la pluma.

En este punto también se coloca la cabeza de la torre, justo encima de la plataforma de giro, y que da la altura máxima a la grúa.

2.8.3.6. Enganchar el contrapeso

El contrapeso, como ya se ha comentado, tiene como función estabilizar la grúa para que esta esté en equilibrio en todo momento. Por lo que una vez montada la pluma se debe enganchar correctamente el contrapeso en la contrapluma.

NOTA: podría ser necesario colocar un primer contrapeso antes de colocar la pluma

2.8.3.7. Instalación resto de elementos

Por último se montan e instalan sobre la grúa el resto de elementos que permiten que la grúa funcione como tal. En primer lugar se instalaran los motores de elevación y traslación junto con su tambor y su polea respectivamente. Los entramados que los sustentan pueden soldarse antes de montar la contrapluma/pluma.

NOTA: el motor de rotación se colocará antes del rodamiento de giro, ya que este se encuentra en el interior del mástil. Por lo que resultaría imposible introducirlo después.

Seguidamente se instalan el resto de poleas (polea 2 de traslación y polea de estabilidad) y se introduce el carrito de traslación. Para finalizar se coloca el cable de elevación junto con el gancho y el cable de traslación.

NOTA: antes de usar la grúa torre será necesario realizar las pruebas de puesta en marcha y comprobar que todo está en orden.

2.8.4. Mando eléctrico

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

NOTA: los cables pasaran por una canalización por el interior de la columna hasta el lugar que corresponda.

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 necesarios.

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.

2.8.4.1. Inversión del sentido de giro

En los motores eléctricos trifásicos, de su caja de conexiones por lo general salen cuatro terminales, tres son para su alimentación marcadas con la letra “T” de terminal seguida de un número, y el cuarto para ser conectado a tierra física para evitar descargas eléctricas por fallo de aislamiento.

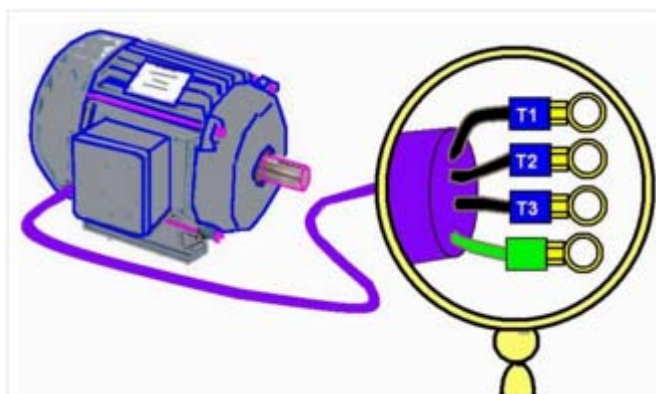


Figura 24. Conexiones de motor trifásico

Por norma las terminales del motor se conectan a su similar de alimentación para obtener un giro de rotación en sentido horario.

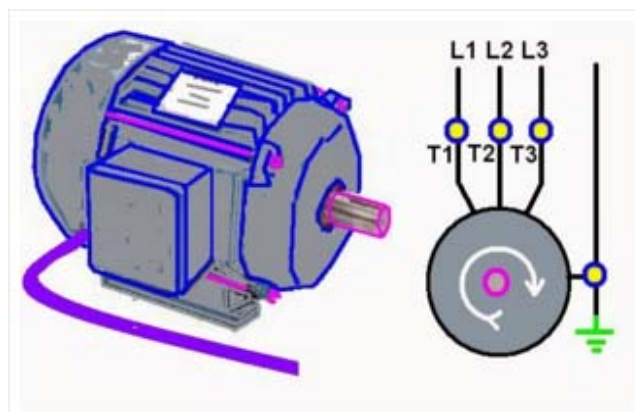


Figura 25. Motor con sentido de giro directo

Ahora si se desea cambiar el sentido de rotación, se debe invertir el sentido del campo magnético giratorio generado por sus bobinas, esto se logra invirtiendo dos fases cualesquiera de alimentación del motor.

NOTA: Nunca permutar las tres fases pues en ese caso el motor sigue girando en el mismo sentido.

A continuación se muestra un ejemplo de configuración de las conexiones de las fases, en función de si estas conexiones son de tipo triángulo o estrella, para que el sentido de giro del motor sea horario o antihorario.

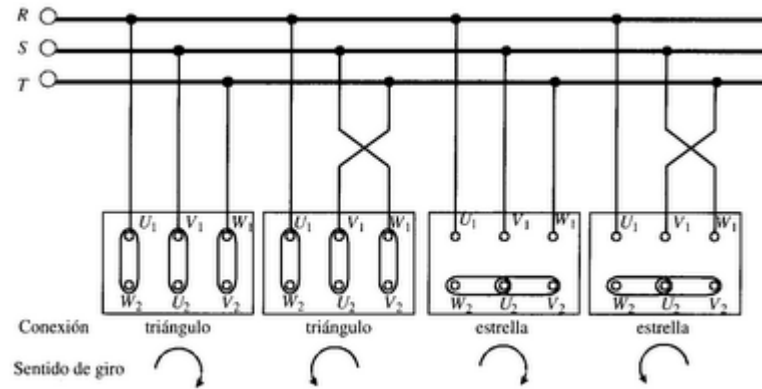


Figura 26. Conexiones de las placas de bornes y sentidos de rotación obtenidos

En total pueden hacerse 6 combinaciones distintas, donde 3 de ellas implicarán sentido de giro horario y las otras tres antihorario.

Secuencia positiva de fases (giro horario):

- a) L1 L2 L3
- b) L2 L3 L1
- c) L3 L1 L2

Secuencia negativa de fases (giro antihorario):

- d) L3 L2 L1
- e) L2 L1 L3
- f) L3 L2 L1

Para hacer que el motor cambie de sentido, necesitamos un conmutador (inversor) que realice la permuta de la alimentación sin tener que manipular las conexiones manualmente.

Estos conmutadores han de estar dimensionados para la intensidad del motor y poseen tres posiciones, con el cero en el medio para conseguir que la inversión no se realice a contramarcha.



Figura 27. Conmutador

En la Figura podemos ver el esquema de conexiones de un inversor de giro manual para realizar estas maniobras sin tocar las conexiones.

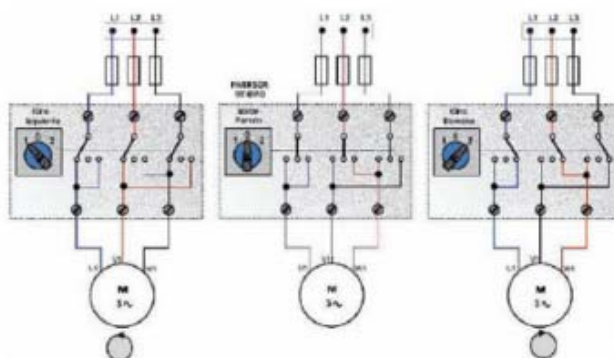


Figura 28. Conexiones del conmutador

Mediante la inversión del giro del motor también es posible frenar el eje. Este método se conoce como frenado a contracorriente, el cual se opone a la inercia de la carga, de manera que puede emplearse eficazmente para conseguir rápidas deceleraciones de motores que arrastran cargas de inercia como por ejemplo en máquinas herramientas. En cambio, este sistema de frenado no puede utilizarse en máquinas elevadoras (grúas, montacargas, ascensores, etc.).

Por ello se recurre a otro sistema de frenado, el frenado por inyección de corriente continua.

2.8.5. 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.

2.8.5.1. Topes

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.

Además se colocaran unos sensores de proximidad al principio y al final de la viga carril de manera que cuando el polipasto se aproxime a los extremos de la viga, el sensor mande la señal que desconecte el motor de traslación.

2.8.5.2. Frenado por inyección de corriente continua

Este sistema de frenado consiste en desconectar el motor de la línea de alimentación y conectar inmediatamente dos bornes del estator a una fuente de corriente continua; en estas condiciones, el rotor gira con relación a un campo magnético fijo y su deslizamiento crea un par de frenado, se deja de suministrar la tensión continua al estator.

La tensión continua de alimentación ha de ser siempre de valor bajo y se determina únicamente con la resistencia de los devanados estáticos. Generalmente, la fuente de alimentación es la propia línea de corriente alterna, a través de un transformador reductor y de un rectificador de baja tensión

El sistema de frenado resulta muy eficaz, ya que es de acción suave y rápida al mismo tiempo. Sobre el sistema de frenado por corriente continua tiene la ventaja de que no se debe tomar la precaución de impedir la inversión de marcha de la maquinada accionada. Su principal inconveniente es que precisa un mayor gasto en los componentes que constituyen el equipo

El valor de la corriente de frenado está generalmente comprendido entre 1,3 y 1,8 veces la corriente nominal del motor.

En la siguiente figura se representa el esquema eléctrico de frenado por inyección de corriente continua.

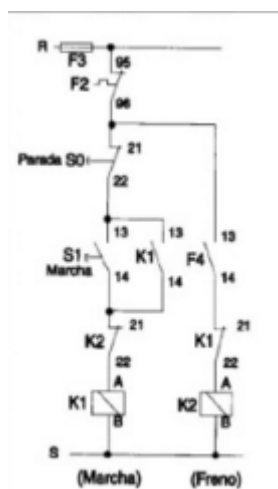


Figura 29. Circuito de mando

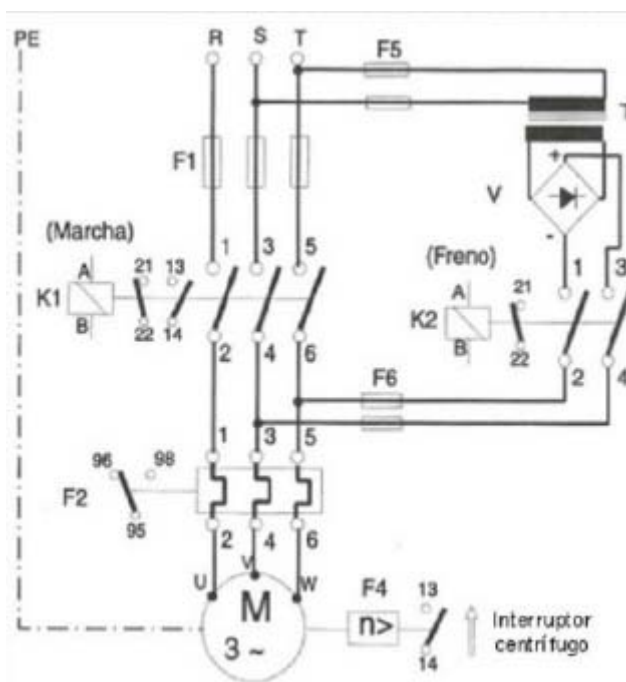


Figura 30. Circuito de fuerza

Todas las operaciones de arranque y frenado se realizan por medio de contactores y para evitar calentamiento excesivo, se debe instalar un fusible que desconecte la alimentación de corriente continua una vez que el motor se ha apagado.

2.8.5.3. Freno de fricción mecánico

Como se ha comentado el frenado por inyección de corriente continua es capaz de frenar la carga rápidamente, pero no puede mantenerla suspendida una vez detenido el movimiento del eje, por lo que es necesario diseñar un freno mecánico, que genere un par de rozamiento capaz de mantener frenado el eje (sometido al par debido a la carga).

El freno se accionará por medio de un actuador mecánico, por tanto en caso de fallo en el suministro eléctrico se podrá detener la carga, aunque el frenado será más brusco que si se hiciese por inyección de CC.

Se puede decir entonces que este freno trabaja como un sistema para inmovilizar la carga suspendida y como un freno de emergencia, en caso de fallo eléctrico.

De entre todos los diferentes tipos de freno de fricción (frenos de cinta, frenos de tambor,...) hemos elegido un freno de disco.

Los frenos de fricción de disco emplean pastillas, accionadas axialmente al eje, para introducir un par de rozamiento en un disco solidario al eje. Este par resistente se opone al giro del eje, provocando su frenado.

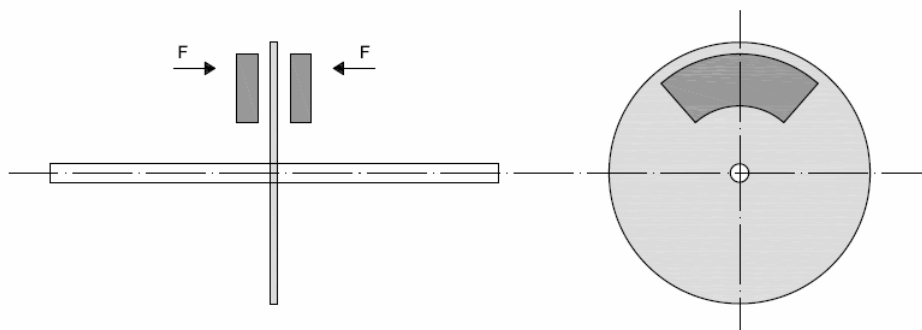


Figura 31. Freno de disco

2.8.6. Mantenimiento de la grúa

2.8.6.1. Corona de giro

En el mantenimiento de la corona de giro, el engrase, es la operación principal. El primer re-engrase del sistema de rodadura y el engrase del dentado deberán de 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 re-engrase se efectuaran cada 100 horas de funcionamiento.

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

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

2.8.6.2. 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 demás componentes de control.

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./

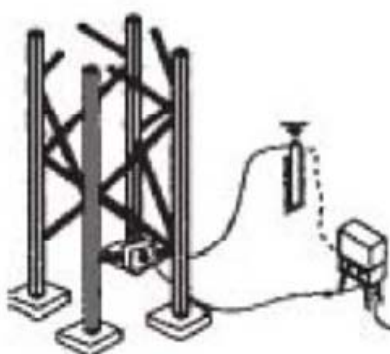


Figura 32. Toma de tierra de la grúa torre

2.8.6.3. Mantenimiento de los motorreductores

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.

2.8.6.4. Mantenimiento de los cables

Los cables, debido a su importancia, han de estar siempre en perfectas condiciones. Nunca se debe trabajar con un cable que tenga un hilo roto, ni dejar caer ningún elemento que pueda erosionar el cable (como por ejemplo cemento, arena,...) debido al riesgo de rotura. Para almacenar un cable, primero hay que desenrollarlo sobre el suelo.

- **Cable antigiratorio**

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

Durante los primeros días de uso, el cable antigiratorio experimenta siempre una relajación, por lo que es recomendable no someterlo a la carga máxima admisible por la grúa hasta después de varias horas de uso.

2.8.6.5. Otras operaciones de engrase

También se engrasará antes de proceder al montaje, los raíles de la pluma, que es cuando está más accesible. Finalmente cada semana se tendrán que engrasar las poleas.

2.8.7. Consideraciones medioambientales

2.8.7.1. Normativa aplicable

La directiva 97/11/CE de evaluación de impacto ambiental regula la obligación de someter los proyectos públicos y privados a una evaluación de sus efectos sobre el medio ambiente. La directiva explica los aspectos medioambientales a tener en cuenta en los proyectos de máquinas. Dichos aspectos se comentaran a continuación.

2.8.7.2. Recursos e infraestructuras

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

2.8.7.3. Contaminación del aire y del agua

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

2.8.7.4. Aspectos sociales

La directiva indica tener en cuenta la influencia del proyecto sobre la población y su calidad de vida. En este caso, la grúa solo afecta temporalmente a la población que se encuentra a su alrededor por el ruido que puede generar, que es el propio de toda construcción de edificios. Sin embargo hay que tener en cuenta que es una contaminación que sólo afecta a la zona durante la construcción del edificio, por lo que la recuperación paisajista del entorno después del desmontaje de la grúa es completa. No deberían existir riesgos sobre la población debido a la grúa, si ésta cumple todas las normas de seguridad.

2.8.7.5. Fase de desmantelamiento

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

2.9. CONCLUSIONES

El diseño y forma ha sido realizado y concebido según las diferentes grúas observadas para esta aplicación, obteniendo una estructura similar, pero con variantes en algunos aspectos, a las que se pueden encontrar en obras de construcción, realizando por tanto un diseño único.

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.