

GRADO EN MECÁNICA
TRABAJO FIN DE GRADO

***DISEÑO DE LA PLUMA DE UNA GRÚA
TELESCÓPICA AUTOPROPULSADA***

DOCUMENTO 2- MEMORIA

Alumno/Alumna: Llaguno, Jauregui, Israel
Director/Directora (1): Macho, Mier, Erik

Curso: 2018/2019

Fecha: Bilbao, 24, 06, 2019

2.MEMORIA

2.1- OBJETO DEL PROYECTO	5
2.2- ALCANCE DEL PROYECTO	5
2.3- ANTECEDENTES	6
2.3.1- INTRODUCCIÓN.....	6
2.3.2- CARACTERÍSTICAS Y FUNCIONES DE LOS TRANSPORTES PARA EL INGENIERO INDUSTRIAL.....	6
2.3.3- EL TRANSPORTE DE CARGAS EN LA INDUSTRIA.....	7
2.3.4- HISTORIA DE LOS APARATOS DE ELEVACIÓN Y TRANSPORTE.....	8
2.3.5- APLICACIONES Y TIPOS DE GRÚAS	20
Móviles	20
Fijas.....	20
2.4 NORMAS Y REFERENCIAS	23
2.4.1 DISPOSICIONES LEGALES Y NORMAS APLICADAS.....	23
2.4.2 BIBLIOGRAFÍA	24
2.4.3 PROGRAMAS DE CÁLCULO	25
2.5 DEFINICIONES Y ABREVIATURAS	26
CÁLCULO DE LA ESTABILIDAD.....	32
2.6 REQUISITOS DE DISEÑO	34
2.6.1 REQUISITOS DE LOS ELEMENTOS DE ESTUDIO	37
2.6.3 MANEJO	39
2.6.4 FIABILIDAD.....	39
2.6.5 COSTES.....	39
2.6.6 EMISIÓN DE RUIDOS Y VIBRACIONES.....	39
2.7 ANÁLISIS DE SOLUCIONES	40
2.7.1 MATERIALES	43
2.7.2 CONCLUSIONES	43
2.8 RESULTADOS FINALES	44
2.8.1 PLUMA TELESCÓPICA.....	44
2.8.2 CONTRAPESOS	55
2.8.3 ESTABILIZADORES	56
2.8.3 SISTEMA DE ROTACIÓN	57
2.9 PLANIFICACIÓN DEL DESARROLLO DEL PROYECTO.....	58
2.9.1 DESCRIPCIÓN DE TAREAS	58
2.9.2 PLANIFICACIÓN DE EJECUCIÓN.....	59
2.9.3 CRONOGRAMA DE GANT	61

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Modelos de las primeras grúas	9
Figura 2: Descenso de Apolo	9
Figura 3: Arquímedes	10
Figura 4: Marco Vitruvio	10
Figura 5: Primera grúa móvil	11
Figura 6: Grúa Trier	13
Figura 7: Puente grúa DEMAG	18
Figura 8: Grúa telescópica autopropulsada. (Camión grúa)	21
Figura 9: Partes principales de una grúa autopropulsada	22
Figura 10: Vehículo grúa	35
Figura 11: Bastidor	35
Figura 12: Estabilizadores	35
Figura 13: Pluma telescópica	36
Figura 14: Celosía	37
Figura 15: Rodamiento Rothe Erde	38
Figura 16: Cargas y radios de funcionamiento de Liebherr	42
Figura 17: Cargas y radios de funcionamiento de Grove	42
Figura 18: Tipos de viga cajón	45
Figura 19: Perfil de un tramo de pluma	47
Figura 20: Soldado de una pluma mediante arco sumergido	48
Figura 21: Mecanismo de telescopado	49
Figura 22: Mecanismo de Telematik	50
Figura 23: Mecanismo de Telematik II	51
Figura 24: Orificio de enclavamiento	51
Figura 25: Cilindro de elevación	52
Figura 26: Elemento de unión cilindro –pluma	53
Figura 27: Anclajes de la celosía	53
Figura 28: Gancho doble	54
Figura 29: Contrapesos	55
Figura 30: Estabilizador	56
Figura 31: Rodamiento ROTHE ERDE	57
Figura 32: Rodamiento ROTHE ERDE instalado en vehículo grúa	57

2-MEMORIA

2.1- OBJETO DEL PROYECTO

El objeto del presente proyecto es investigar sobre un tema relacionado con la Ingeniería mecánica y así asentar los conocimientos adquiridos a lo largo de la formación utilizando las herramientas adquiridas durante ese periodo.

Obtener una visión global de las fases de diseño de cualquier aparato o máquina, utilizando las herramientas y conocimientos obtenidos y comprobar las diferentes alternativas que el mercado ofrece.

El objeto principal de carácter técnico son el diseño y análisis de la pluma telescópica de una grúa autopropulsada de una elevación máxima de 250 toneladas, así como el diseño de los principales componentes de dicha grúa como por ejemplo la elevación de la pluma, estabilización, rotación de la estructura y plumín de anclaje, entre otros.

El diseño y la forma ha sido realizado según las diferentes grúas observadas en el mercado, obteniendo una estructura similar a las que se pueden encontrar, realizando un diseño único. Por tanto, el resultado obtenido en 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. Por supuesto se ha considerado diseñar la grúa con el mayor número de perfiles y elementos normalizados disminuyendo en la medida de lo posible su coste.

El proyecto trata de componentes mecánicos por lo que será necesaria la aplicación de conocimientos de Mecánica, Diseño de máquinas, Resistencia de materiales y Estructuras, entre otros.

Otro aspecto para la elección de este proyecto es que trata de elemento básico en el mundo de la construcción y supuso un gran avance a nivel de Ingeniería, siendo ahora imprescindible para la elevación de piezas complejas y pesadas.

2.2- ALCANCE DEL PROYECTO

El presente proyecto pretende cubrir los aspectos relacionados con el diseño de la pluma telescópica de la grúa, así como el plumín de acople a la pluma.

De forma secundaria se diseñaran también otros sistemas de la grúa como la elevación, rotación de la estructura, la estabilización, entre otros.

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.

Como se ha mencionado en anterioridad, se ha diseñado la grúa con el mayor número de elementos estándares, 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 telescópica.

El dimensionamiento de la pluma se ha realizado por métodos clásicos de cálculo de estructuras y resistencia de materiales.

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

No es objeto de este proyecto el control y la automatización de los sistemas de la grúa, el circuito hidráulico, instalación eléctrica, etc.

2.3- ANTECEDENTES

2.3.1- 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.

2.3.2- 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.

2.3.3- 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 cargas “in situ” mediante un vehículo grúa.

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

El **transporte interior**:

- Grúas: puente grúa, grúa cartela, grúa giratoria de columna.
- Carretillas elevadoras.

El **transporte exterior**:

- Grúas: grúa pórtico, grúa de construcción, vehículo grúa (este último objeto de cálculo de sus partes más representativas en este proyecto).
- Bandas transportadoras.

2.3.4- HISTORIA DE LOS APARATOS DE ELEVACIÓN Y TRANSPORTE

2.3.4.1- LOS PRIMEROS PASOS

Los primeros medios para transportar y elevar cargas fueron las palancas, rodillos y planos inclinados. La construcción de grandes obras con este equipamiento requería un elevado número de personas. A título de ejemplo, la pirámide de Cheops fue construida en el siglo XXII a.C. en un tiempo aproximado de veinte años, estando ocupadas de manera continua alrededor de cien mil personas.

Los primeros elevadores de palanca se utilizaron en China e India en el siglo XXII a.C. para elevar agua.

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.

Una operación que constituyó un problema técnico de notable complejidad fue el desplazamiento y colocación de la columna de Heliópolis en el Antiguo Egipto. El peso de la estructura era aproximadamente de 360 toneladas. Una fecha trascendental en la historia de la grúa la constituye la aparición de la polea, datada en el siglo VII a.C. Su lugar de nacimiento parece ser Grecia.



Figura 1: Modelos de las primeras grúas

Durante los siglos VI al IV a.C. existió un notable progreso técnico en Grecia. Es imposible determinar las primeras apariciones de la polea, si bien se duda entre la navegación y el teatro.

Ciertas obras de teatro, en especial las escritas por Eurípides (480-406 a.C.) requerían maquinaria de elevación (mechane), ya que una persona era descendida al escenario simulando la entrada en escena de un dios procedente del cielo. De aquí, la sarcástica frase de Luciano “theos ek mechane, deus ex machina”, que traducida sería: “dios [descendiendo] mediante una máquina”. Parece que esta maquinaria fue usada por primera vez en un drama en el año 427 a.C.

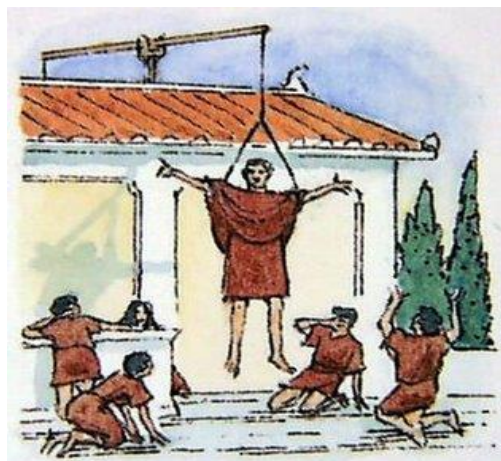


Figura 2: Descenso de Apolo

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.

Aristóteles (384-322 a.C.) escribió en su obra Mecánica cómo se podrían elevar cargas en construcción de edificios mediante poleas y palancas.



Figura 3: Arquímedes

En el siglo III a.C. Arquímedes utilizó las primeras combinaciones de varias poleas y sistemas complejos de triple polea en una demostración pública en transporte de barcos tierra adentro. Los primeros resultados en los sistemas citados fueron sorprendentes hasta para el propio Arquímedes quien, sin duda movido por la euforia del momento, llegó a decir que él sería capaz de mover la Tierra si le fuera posible permanecer en una referencia inmóvil. Entre las innovaciones de Arquímedes destaca un potente aparato de elevación utilizado para la defensa de Siracusa contra los romanos. Esta grúa se caracterizó por su gran actividad y el enorme respeto que provocó en sus enemigos. A la muerte de este inventor, la utilización del sistema de triple polea fue extendido rápidamente.

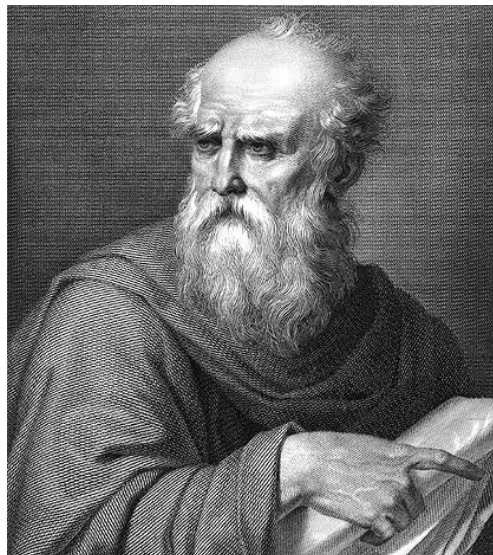


Figura 4: Marco Vitruvio

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.

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 rueda y tambor. Con esta ancestral y original técnica era posible la elevación de varias toneladas.

Dos relieves, unos en Lateral y otro e 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.

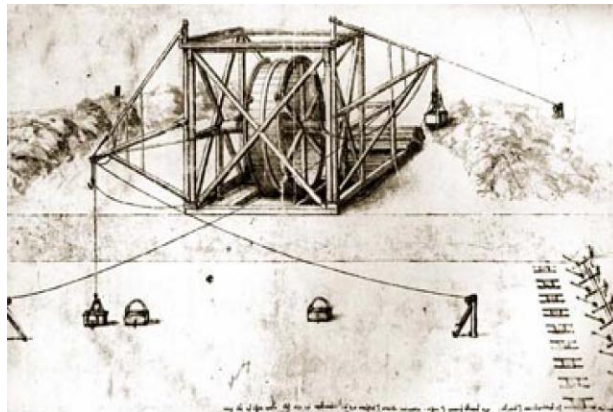


Figura 5: Primera grúa móvil

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.

Después de Vitruvio, que vivió en tiempos de Augusto, destaca Hero, que vivió en el siglo I d.C. En el año 70 d.C. escribió en el segundo tomo de su libro *Mecánica* diversas técnicas de elevación de pesadas cargas. Describe los aparatos de uno, dos, tres y cuatro mástiles con visibles mejoras con respecto a las enseñanzas de Marco Vitruvio. Introdujo diversos tipos de elementos pasadores que mantenían una determinada carga sin necesidad de mantener la tensión de tracción en las sogas. Destacan el pasador triple

donde una pieza penetra en elementos taladrados pertenecientes al aparato y al conjunto de sujeción de la carga.

Tras Hero, 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 solo faltaba su desarrollo y perfeccionamiento.

2.3.4.2- LA EDAD MEDIA

En el siglo XII d.C., para el desarrollo de la navegación, el comercio, la industria minera y metalúrgica precisaron de 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 el siglo XI es digna de mención la técnica de construcción civil llevada a cabo en la catedral de Sofía en Novgorod, mediante sistemas de aparejos complejos. Los materiales utilizados en esta época eran la madera y el acero. Si bien este último se empleaba para la construcción de ejes y ganchos únicamente.

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 carga y giro de 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. Así, 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 alzan 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.

Es notable observar en los cuadernos de notas de Leonardo reflexiones sobre problemas de fricción, transformación de movimiento, reducción y aumento de potencia, problemas de tensión y deformación en materiales, problemas de mecanización y, sobre todo, problemas científicos que solo pueden ser resueltos por métodos experimentales. Todos estos problemas serían resueltos a lo largo de la historia.

En el siglo XV, uno de los más notables aparatos realizados en la grúa de 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 toneladas. Esta grúa está encerrada en un edificio monumental en forma de torre.



Figura 6: Grúa Trier

En el año 1444 se construyó la grúa de Danzing, que da nombre a una de las puertas de la ciudad.

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 clásico aparecidos en el siglo I d.C., varios hombres, con su propio peso elevaban la carga. Era notable el progreso en el rendimiento de la transmisión ya que dos hombres de 75 kg elevaban 600 kg. La carga máxima era de 10 toneladas.

En el año 1769 se trasladó desde las orillas del río Neva hasta San Petersburgo un monumento a Pedro I de 1000 toneladas 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.

2.3.4.3- 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 anunciaban un futuro con estructuras rígidas y resistentes que iban a desplazar a la clásica viga de madera. Los procesos de prensa y fundición permitían la realización de novedosos elementos.

En el aspecto de la 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 con 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.

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 nuestros días.

2.3.4.4- EL CONGRESO DE PARÍS DE 1889

A finales del siglo XIX 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 toneladas 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 metros era de 50 toneladas.

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. Así mismo, los frenos actuaban con mecanismos de seguridad. El resultado de diseño fue la consecución de uno de los primeros carros eléctricos con dispositivos de seguridad eléctricos en 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.

2.3.4.5- LA SEGURIDAD Y EL RUIDO

Los principios del siglo XX estarán marcados por un conocimiento e 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 controles 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 rector. 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 era 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 requerían rodamientos de elevado diámetro que fueran 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 Priestaman inglesas y la sociedad alemana Roth-Erde idearon un sistema de supresión del pivote central de giro y de disposición de un gran rodamiento que absorbía los momentos de giro. Al mismo tiempo, también la sociedad francesa R.K.S. del grupo S.K.F., 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.

2.3.4.6- 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: Corten de Usinor, Werten de De Wendel-Sidelor, Ni-Cu-Nb o a base de aleaciones de aluminios. Así mismo, las paredes e 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 puertos, 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 el capítulo de 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 7: 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 I.P.N.

Las monumentales grúas portac contenedores fueron continuamente objeto de mejoras que disminuían progresivamente las mil toneladas 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 Angeles.

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.

En Japón, la sociedad Fives-Lille-Cail fue contratada por Mitsubishi para la construcción de grúas de manutención de mineral. Estos aparatos de estructura, de grúa portacontenedores, introducían una interesante variante. La cuchara recorría la distancia entre el extremo de lado agua, donde se realizaba la descarga del material. Se dispuso, partiendo de las condiciones de carga anteriormente descritas, la tolva y una cabina con mecanismos de accionamiento y transformadores eléctricos en el extremo de lado tierra de la viga principal. De esta forma, el peso de estos elementos ejercía la labor de contrapeso, reduciendo el peso de la grúa.

En grúas portacontenedores de carro muy giratorio se introdujo la novedad de disponer los mecanismos de elevación y traslación del carro en una cabina situada sobre la viga principal. Con este diseño, el carro estaba compuesto por una estructura simple, cuatro rodillos de giro y cuatro poleas de paso de cable. Obviamente disminuyó el peso del carro con la correspondiente reducción de las potencias de elevación y traslación de aquél. La transmisión entre la cabina de accionamiento y el propio carro se llevó a cabo mediante un sistema de poleas que mantenía fija la altura de la carga ante un movimiento de traslación del carro.

Muy notable ha sido la evolución de los vehículos grúa con pluma telescópica. La empresa alemana GROVE ideó un original sistema en el que un solo cilindro hidráulico gobernaba el movimiento de extensión de los cinco tramos que componen la pluma. Se trataba de un cilindro hidráulico asistido que se acoplaba a los extremos de los diferentes tramos trepando en interior de la pluma.

Estructuralmente, se obtuvieron altos aligeramientos mediante la utilización de aceros de alto límite elástico. Hasta hace muy pocos años se construían tanto el bastidor como la pluma en acero tipo T1 (700 MPa de límite elástico). En la actualidad, se tienden a utilizar modernos aceros de 900 MPa de límite elástico. Con estos materiales, la pluma se deformaba varios metros en punta y el bastidor se torsionaba de forma visible, recuperando su geometría inicial en el momento de la liberación de la carga. La pluma se diseñaba con estudiadas secciones que soportaban altos esfuerzos de compresión y flexión. La sección continua era asistida con perfiles cuidadosamente dispuestos para la correcta transmisión de esfuerzos.

Una novedad importante en los últimos años fue la introducción en toda la gama de cargas de un solo motor térmico que alimenta al aparato como vehículo y como grúa. Esta posibilidad, por medio de un circuito hidráulico general, permitió eliminar uno de los dos motores que existían para gobernar vehículo y grúa independientemente.

Finalmente la automatización es otro aspecto a subrayar y como ejemplo sirva la factoría central de POTAIN en Francia que fabrica de forma totalmente automática y continua las estructuras de celosía que luego se utilizan en la torre, pluma, contraflecha y portaflecha.

2.3.5- APLICACIONES Y TIPOS DE GRÚAS

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. Generalmente la primera clasificación que se hace se refiere a grúas móviles y fijas:

Móviles

Pueden ser de los siguientes tipos:

- Sobre cadenas u orugas.
- Sobre ruedas o camión.
- Autogrúas, de gran tamaño y situadas convenientemente sobre vehículos especiales.
- Camión grúa. (objeto de proyecto)

Fijas

Cambian la movilidad que da la grúa móvil con la capacidad para soportar mayores cargas y conseguir mayores alturas incrementando la estabilidad. Este tipo se caracteriza por quedar ancladas en el suelo (o al menos su estructura principal) durante el periodo de uso. A pesar de esto algunas pueden ser ensambladas y desensambladas en el lugar de trabajo.

- 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.

En este proyecto se analizará una grúa móvil, concretamente un camión grúa diseñando parte de sus componentes más característicos.



Figura 8: Grúa telescópica autopropulsada. (Camión grúa)

En las obras públicas de construcción y en operaciones de elevación y transporte “in situ” donde se precisa un aparato por un corto espacio de tiempo es muy utilizado el vehículo grúa.

Un vehículo, caracterizado por poseer un chasis especialmente resistente, aloja en su parte posterior un aparato constituido básicamente por una pluma, fija o extensible.

Se los denomina también Grúas móviles autopropulsadas y su definición podría ser la siguiente:

Grúa móvil autopropulsada: aparato de elevación de funcionamiento discontinuo, destinado a elevar y distribuir en el espacio cargas suspendidas de un gancho o cualquier otro accesorio de aprehensión, dotado de medios de propulsión y conducción propios o que formen parte de un conjunto con dichos medios que posibilitan su desplazamiento por vías públicas o terrenos.

2.3.5.1- PARTES DE LA GRÚA MÓVIL AUTOPROPULSADA

Las principales partes de una grúa móvil son:

Chasis portante: estructura metálica sobre la que, además de los sistemas de propulsión y dirección, se fijan los restantes componentes.

Superestructura: constituida por una plataforma base sobre corona de orientación que la une al chasis y permite el giro de 360°, la cual soporta la flecha o pluma que puede ser de celosía o telescópica, equipo de elevación, cabina de mando, y en algunos casos, contrapeso desplazable.

Elementos de apoyo: son las partes a través de las que se transmiten los esfuerzos al terreno; en concreto se trata de los estabilizadores u apoyos auxiliares que disponen las grúas móviles sobre ruedas. Están constituidos por gatos hidráulicos montados en

brazos extensibles, sobre los que se hace descansar totalmente la máquina lo cual permite aumentar la superficie del polígono de sustentación y mejorar el reparto de cargas sobre el terreno.

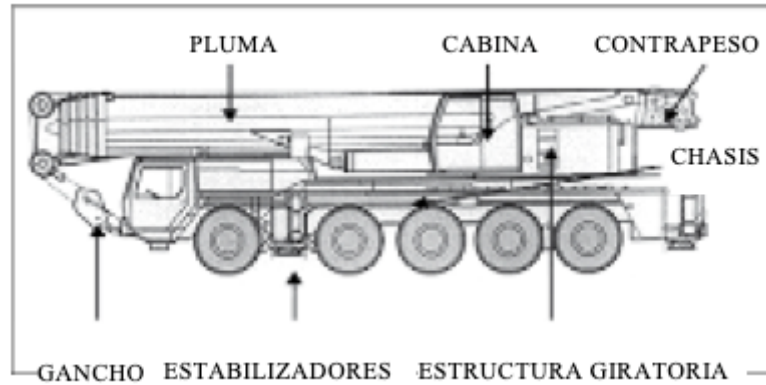


Figura 9: Partes principales de una grúa autopropulsada

Principales componentes:

- **La Pluma (de celosía, telescópica o sobre mástil).** Encargada de soportar el órgano de aprehensión cargado (gancho, electroimán...), asegurando el alcance, radio y altura de elevación solicitados. (Será el objeto de cálculo de este proyecto pluma telescópica)
- **Plumines (fijos o abatibles).** Elementos que se añaden a la pluma para permitir mayor alcance y aumentar la longitud de ésta. (En este proyecto se diseñará un plumín en celosía)
- **Órgano de aprehensión.** Dispositivo (gancho, cuchara, electroimán...) que sirve para suspender, coger o soportar la carga.
- **Aparejo.** Sistema de poleas y cables destinado a hacer varias las fuer- zas y velocidades.
- **Mecanismo de elevación (cabestrante).** Es el conjunto de tambor y cables que permiten el movimiento de elevación.
- **Contrapesos.** Masas fijadas sobre la estructura y encargadas de equilibrar las acciones de la carga. (Se obtendrá es peso total necesario para éstos)
- **Cabina del gruísta.** Habitáculo destinado al manejo o conducción de la grúa.

La corona de orientación está compuesta por elementos y engranajes destinados a transmitir los esfuerzos de la estructura giratoria a la base de la grúa y es accionada por el mecanismo de orientación de la estructura giratoria.

El chasis o base portante de la grúa es el dispositivo capaz de soportar toda la estructura de la grúa. Dispone de sistemas propios de propulsión.

2.4 NORMAS Y REFERENCIAS

2.4.1 DISPOSICIONES LEGALES Y NORMAS APLICADAS

En el presente proyecto se han seguido las siguientes normas:

Una grúa con las características estudiadas en el presente proyecto está expuesta a una serie de normas para garantizar unos requisitos mínimos de diseño, estas normas son emitidas por distintos organismos nacionales y comunitarios.

A nivel comunitario o internacional la encargada de publicar, redactar y regular el tipo de norma es la FEM (Federación Europea de Manutención), actualmente prácticamente la totalidad de las normas son de ámbito Europeo.

A nivel nacional, son la federación española de manutención y AENOR las encargas conjuntamente de la redacción, revisión y publicación de las normativas.

Se han seguido también las especificaciones del Reglamento de Aparatos de Elevación y Manutención.

Normas UNE

- UNE 58112:91 → Grúas y aparatos de elevación. Clasificación.
- UNE 58531:1989 → Aparatos de elevación. Clasificación. Grúas móviles.
- UNE 58000:2003 → Manejo de grúas y artefactos para elevación y transporte de pesos. Ademanes de mando normalizados
- UNE 58113:1985 → Grúas. Acción del viento.
- UNE 58119:1994 → Grúas móviles. Determinación de la estabilidad.
- UNE 58501:1978 → Grúas móviles.
- UNE 58506:1978 → Grúas móviles. Equipo hidráulico.
- UNE 58509:1979 → Ganchos de elevación. Características generales.
- UNE 58513:1987 → Aparatos de elevación. Grúas móviles. Dimensiones de tambores y poleas.

Reales decretos:

- Real Decreto 2291/1985, de 8 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento de Aparatos de Elevación y Manutención de los mismos.
- Real Decreto 837/2003, de 27 de junio, por el que se aprueba el nuevo texto modificado y refundido de la Instrucción técnica complementaria "MIE-AEM-4" del Reglamento de aparatos de elevación y manutención, referente a grúas móviles autopropulsadas.
- 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

2.4.2 BIBLIOGRAFÍA

A) Libros

- Diseño de máquinas

1. Avilés, R. Análisis de Fatiga en Máquinas. Thompson Editores
2. Bernaldo de Quirós, A. Cálculo Rápido de Muelles y Resortes. Editorial Labor
3. Navaltro, S. y Abasalo, M. Apuntes de clase de diseño de máquinas.
4. Shigley, Diseño de ingeniería mecánica, Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial de Bilbao
5. F. Megyesy, E. Manual de recipientes a Presión. Diseño y Cálculo. Editorial Limusa, S.A. Grupo Noriega Editores.
6. Diseño de elementos de máquinas; Rober L. Mott

- Grúas

1. Larrodé, È y Miravete, A. Grúas.

- Dibujo técnico

1. Urraza, G. Expresión gráfica en la Ingeniería. Dibujo de Ingeniería Industrial; Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial de Bilbao.

- Resistencia de materiales

1. Timoshenko, Resistencia de materiales; Ed. Paraninfo, S.A., 2004.
2. Apuntes de clase de resistencia de materiales, Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial de Bilbao.

B) Catálogos

- ROTHE ERDE → Rodamientos.
- Liebherr → Grúas
- Catálogo cables

C) Código técnico

- SE-A: Seguridad estructural Acero

D) Páginas web

- <https://es.wikipedia.org/wiki/Wikipedia:Portada>
- <https://www.liebherr.com>

2.4.3 PROGRAMAS DE CÁLCULO

Para la realización de los cálculos del presente proyecto se ha utilizado el programa Microsoft Excel.

El desarrollo de todos los documentos del proyecto se ha realizado utilizando el programa Microsoft Word.

Los planos se han realizado en el software de diseño utilizado para 2D y 3D AutoCAD, ya que los planos en su mayoría son en 2D siendo éste el programa más utilizado para ello. Bien es cierto que se han realizado pequeñas aportaciones con el programa Solid Edge.

En cuanto a la simulación de todas las hipótesis de cálculo, todas ellas se han realizado con el programa GIM (Mechanism Analysis Software), creado y desarrollado por el grupo de investigación COMPMECH en la Universidad del País Vasco UPV/EHU. GIM se licencia bajo el supuesto de que solo se utilizará con fines educativos y se ha registrado para el análisis cinemático de mecanismos planos y espaciales y análisis de estructuras planas.

2.5 DEFINICIONES Y ABREVIATURAS

a) Definiciones:

- **Solicitud:** Se emplea para designar algún tipo de acción o fenómeno externo que afecta a la estructura y necesita ser tenido en cuenta en los cálculos estructurales.
- **Mecanismo:** Conjunto de piezas o elementos que ajustados entre sí y empleando energía mecánica hacen un trabajo o cumplen una función.
- **Carga máxima:** Máxima carga a la que podrá ser sometido el mecanismo.
- **Radio carga máximo:** Máxima distancia en horizontal a la que podrá situar la carga máxima.
- **Inercia:** Incapacidad que tienen los cuerpos de modificar por sí mismos el estado de reposos o movimiento en que se encuentran.
- **Fuerza de inercia:** Fuerza que aparece, por efecto de la inercia, cuando un cuerpo experimenta una aceleración o una deceleración.
- **Fuerza centrífuga:** Es la fuerza aparente hacia fuera de una masa cuando esta gira. Se puede pensar en el movimiento hacia fuera que se siente cuando se gira en una curva mientras se viaja en automóvil.
- **Presión estática:** Es la presión que tiene un fluido independientemente de la velocidad del mismo.
- **Celosía:** Estructura reticular de barras rectas interconectadas en nudos formando triángulos planos (en celosías planas) o pirámides tridimensionales (en celosías espaciales).
- **Normalización:** Tiene por objeto establecer una serie de reglas, directrices, o normas, destinadas a especificar, unificar y simplificar las características de los elementos que intervienen en multitud de aplicaciones científicas y tecnológicas.
- **Carrera (de un cilindro):** Distancia que recorre el cilindro desde el punto que se encuentra completamente retraído hasta el punto donde se encuentra completamente extendido.
- **Pluma:** Elemento principal del vehículo grúa, de tipo móvil, que actúa como brazo para transportar y elevar elementos. En este caso se trata de una pluma telescópica.

- **Limite elástico:** Tensión máxima que un material elastoplástico puede soportar sin sufrir deformaciones permanentes.
- **Tensión:** Si consideramos un punto concreto de un sólido deformable sometido a tensión y se escoge un corte mediante un plano imaginario π que lo divida en dos, queda definido un **vector tensión** t_π que depende del estado tensional interno del cuerpo, de las coordenadas del punto escogido y del vector unitario normal al plano.
- **Tensión normal y tangencial:** Usualmente el vector tensión puede descomponerse en dos componentes que físicamente producen efectos diferentes según el material sea más dúctil o más frágil. Esas dos componentes se llaman componentes intrínsecas del vector tensión respecto al plano π y se llaman **tensión normal** o perpendicular al plano y **tensión tangencial** o rasante al plano.
- **Tensión admisible:** Máxima tensión que un material puede soportar teniendo en cuenta un coeficiente de seguridad.
- **Línea neutra:** Es la superficie material curva, de una pieza alargada o de una placa, deformada por flexión, que separa la zona comprimida de la zona traccionada.
- **Aleación:** Mezcla de metal con un segundo metal u otro material no metálico. Quizás sea mejor definición la de material compuesto por al menos dos elementos químicos diferentes.
- **Tratamiento superficial:** Proceso de fabricación que se realiza para dar unas características determinadas a la superficie de un objeto.
- **Templado o temple:** Tratamiento térmico consistente en el rápido enfriamiento de la pieza para obtener determinadas propiedades de los materiales. Es comúnmente utilizado para endurecer el acero.
- **Revenido:** Tratamiento complementario al temple que consiste en aplicar, a una aleación, una temperatura inferior a la del punto crítico y cuanto más se aproxima a esta y mayor es la permanencia del tiempo a dicha temperatura, mayor es la disminución de la dureza y la resistencia y mejor la tenacidad. El resultado final no depende de la velocidad de enfriamiento.
- **Tenacidad:** Se refiere a una propiedad física de los materiales. Es la energía que absorbe un material, con las consecuentes deformaciones que el mismo adquiere, antes de romperse.

- **Carga axial:** Fuerza que actúa a lo largo del eje longitudinal de un elemento estructural.
- **Momento flector:** También denominado momento de flexión, se refiere a un momento de fuerza resultante de una distribución de tensiones sobre una sección transversal de un prisma mecánico flexionado.
- **Momento torsor:** Componente paralela al eje longitudinal del momento de fuerza resultante de una distribución de tensiones sobre una sección transversal de un prisma mecánico.
- **Trigonometría:** Parte de las matemáticas que estudia las relaciones entre los lados y los ángulos de un triángulo.
- **Sección crítica:** Sección o porción de una estructura donde la posibilidad de un fallo es más probable.
- **Tramo fijo:** Primer tramo de telescopado de la pluma, el cual está anclado a la estructura del vehículo grúa.
- **Tramos extensibles:** Conjunto de tramos de telescopado de la pluma exceptuando el primero, al que se le denomina tramo fijo.
- **Cordón superior (celosía):** Conjunto de elementos de la celosía que forman la cabeza superior.
- **Cordón inferior (celosía):** Conjunto de elementos de la celosía que forman la cabeza inferior.
- **Esbeltez:** Característica mecánica de las barras estructurales que relaciona la rigidez de la sección transversal de una pieza prismática con su longitud.
- **Pandeo:** Es un fenómeno llamado inestabilidad elástica que puede darse en elementos comprimidos esbeltos, y que se manifiesta por la aparición de desplazamientos importantes transversales a la dirección principal de compresión.
- **Barras biarticuladas:** Reciben este nombre las barras que componen una celosía, las cuales únicamente trabajan en la dirección de dicha barra. El esfuerzo que aparece en cada barra se denomina esfuerzo axial, pudiendo ser de tracción cuando tiende a alargarla o de compresión cuando tiende a acortarla.

- **Sistema de telescopaje:** Sistema que consiste en insertar tramos a la estructura de la grúa aumentando su altura.
- **Estabilidad:** Capacidad de un elemento de oponerse a perturbaciones, manteniendo el equilibrio.
- **Plumín:** Elemento que incrementa el alcance y la elevación mediante un enganche. Con este implemento, la grúa telescópica puede realizar trabajos de más difícil acceso con unos medios convencionales.
- **Estructura superior:** Se refiere a la estructura del vehículo grúa descontando el vehículo en sí.
- **Bulón:** Se utiliza para denominar tornillos de tamaño relativamente grande, con rosca solo en la parte extrema de su cuerpo, utilizados en obras de ingeniería, maquinaria pesada, vías férreas, etc... Los bulones (perno, pasador o eje) son piezas cilíndricas que sirven para articular dos piezas.
- **Teoría de la energía de distorsión máxima (Von Mises):** Se refiere a una de las teorías de fallo elástico usados para determinar los esfuerzos estáticos permisibles en estructuras o componentes de máquinas. Es utilizada par materiales dúctiles.
- **Ductilidad:** Propiedad de aquellos materiales que, bajo la acción de una fuerza, pueden deformarse sin llegar a romperse.
- **Soldadura:** Proceso de fijación en donde se realiza la unión de dos o más piezas de un material, usualmente logrado a través de fusión, en el cual las piezas son soldadas fundiendo, aportando material o entre ellas.

b) Abreviaturas:

- AENOR (Agencia Española de Normalización)
- FEM (Federación Europea de Manutención)
- CNE (Comité Nacional Español)
- AEM (Asociación Española de Manutención)
- EN (Normas Europeas)
- ANSI (American National Standards Institute) (Instituto Nacional de Estándares)

- C.d.g. (Centro de gravedad)
- CS (coeficiente de seguridad)
- SE-A (Seguridad Estructural de Acero)
- C (Carbono) → Elemento químico
- Si (Silicio) → Elemento químico
- S (Azufre) → Elemento químico
- Mn (Manganeso) → Elemento químico
- P (Fósforo) → Elemento químico
- m/s (metros por segundo) → Unidad de velocidad
- Rad (Radianes) → Unidad de medida de ángulos
- Rad/s (Radianes por segundo) → Unidad de velocidad angular
- R.p.m. (Revoluciones por minuto) → Unidad de velocidad de rotación
- KN (Kilo newton) → Unidad de fuerza
- N (Newton) → Unidad de fuerza
- Tn (Tonelada) → Unidad de peso
- m (metro) → Unidad de distancia
- mm (milímetro) → Unidad de distancia
- Nm (Newton metro) → Unidad de momento flector
- MPa (Megapascal) → Unidad de tensión
- Bar (Bares) → unidad de presión

c) Símbolos y denominaciones)

CÁLCULO DE SOLICITACIONES Y DIMENSIONAMIENTO DE LA PLUMA		
Símbolo	Significado	Unidades
q	Presión aerodinámica	Kg /m ²

k	Frecuencia de carga máxima	Adimensional
Q_{sc}	Solicitaciones debidas a la manipulación de la carga en servicio	KN
Ψ	Coefficiente dinámico	Adimensional
V_L	Velocidad de elevación de la pluma	m/s
ξ	Coefficiente experimental	Adimensional
F_{in}	Fuerza de inercia	KN
m	Masa de un cuerpo	Kg
a_G	Aceleración del centro de gravedad de un cuerpo	m/s^2
F_c	Fuerza centrífuga	KN
r	Radio	m
w	Velocidad angular	rad/s
ρ	Densidad de un cuerpo	Kg/m^3
V_w	Velocidad del viento	m/s
h	Altura	m
F	Fuerza	KN
A	Área	m^2
C	Coefficiente de sombra	Adimensional
S_G	Solicitud debida al peso propio	KN
S_L	Solicitud debida a la carga en servicio	KN
S_H	Solicitaciones horizontales	KN
S_w	Solicitud debida al viento	KN
C_S	Coefficiente de seguridad	Adimensional
σ	Tensión normal	MPa
I	Momento de inercia	$Kg \cdot mm^2$
α	Aceleración angular	rad/s^2
V	Fuerza cortante	KN
Q	Momento estático	$N \cdot mm$
M_y	Momento torsor en el eje y	$N \cdot mm$
S_m	Superficie encerrada	mm^2
e	Espesor	mm
M	Coefficiente variable con el grupo al que pertenece el aparato	Adimensional
N	Fuerza normal	KN

CÁLCULO DE LOS CILINDROS HIDRÁULICOS		
Símbolo	Significado	Unidades
F_C	Fuerza a compresión del cilindro	KN
F_B	Fuerza de choque del cilindro	KN

E	Módulo de elasticidad del acero	N/mm^2
L	Longitud de instalación del cilindro	m
v	Factor de seguridad de choque	Adimensional
I	Momento de inercia	$\text{Kg}\cdot\text{mm}^2$
P	Presión de operación	Bares
d	Diámetro del vástago	mm
D	Diámetro del pistón	mm

DIMENSIONAMIENTO DE LA CELOSÍA		
Símbolo	Significado	Unidades
f_y	Tensión del límite elástico del material	N/mm^2
λ	Esbeltez reducida	Adimensional
L_k	Longitud de pandeo	mm
N_{cr}	Fuerza de compresión crítica por pandeo	KN
$N_{b,rd}$	Fuerza de compresión máxima que soporta la barra	KN
$N_{c,rd}$	Fuerza de compresión que soporta la barra	KN
$N_{t,rd}$	Fuerza de tracción máxima que soporta la barra	KN
$N_{pl,rd}$	Fuerza de tracción que soporta la barra	KN
A	Área de la barra	mm^2
f_{yd}	Resistencia de cálculo	N/mm^2
χ	Coefficiente de pandeo	Adimensional
I	Momento de inercia de la barra	mm^4

CÁLCULO DE LA ESTABILIDAD		
Símbolo	Significado	Unidades
S_{GC}	Fuerza del vehículo portante	KN
d_{GC}	Distancia horizontal del c.d.g. del vehículo al eje de rotación	m
L_{TR}	Distancia desde el eje de rotación al c.d.g. de cada tramo	m
T	Distancia entre el eje del tramo en su base y el eje de rotación	m
d_u	Distancia entre la estructura superior mas el contrapeso y el eje de rotación	m
θ_{TR}	Angulo que el c.d.g. se desvía respecto del que se encuentra en la línea central de la pluma	Radianes
S	Peso de cada tramo	KN
S_U	Peso de los contrapesos	KN

M_U	Momento sobre el vehículo grúa	KN·m
V_U	Peso sobre el vehículo grúa	KN
X_0	Distancia del eje de rotación de la pluma al centroide de estabilizadores	m
d_l	Distancia longitudinal entre estabilizadores	m
d_t	Distancia transversal entre estabilizadores	m
$P_{delanteros}$	Reacciones en los estabilizadores delanteros	KN
$P_{traseros}$	Reacciones en los estabilizadores traseros	KN
P_{tp}	Reacciones en estabilizadores traseros del lado de la pluma	KN
P_{tc}	Reacciones en estabilizadores traseros del lado de los contrapesos	KN
P_{dc}	Reacciones en estabilizadores delanteros del lado de los contrapesos	KN
P_{dc}	Reacciones en estabilizadores delanteros del lado de los contrapesos	KN

CÁLCULO DE BULONES		
Símbolo	Significado	Unidades
V	Fuerza cortante	KN
τ	Tensión tangencial	MPa
σ	Tensión normal	MPa
σ_{yp}	Tensión admisible del material	MPa
σ_{eq}	Tensión equivalente de Von Mises	MPa
A	Área del bulón	mm ²

CÁLCULO DE LAS SOLDADURAS		
Símbolo	Significado	Unidades
σ_{\perp}	Tensión normal perpendicular al plano de la garganta	MPa
σ_{\parallel}	Tensión normal paralela al eje del cordón	MPa
τ_{\perp}	Tensión tangencial (en el plano de la garganta) perpendicular al eje del cordón	MPa
τ_{\parallel}	Tensión tangencial (en el plano de la garganta) paralelo al eje del cordón	MPa
M	Momento sobre las soldaduras	KN·m
y	Distancias desde el centro de la pieza al centro de la soldadura	m
I_x	Momento de inercia sobre las soldaduras	mm ⁴
A	Área de las soldaduras	mm ²
F_y	Fuerza sobre la soldadura	KN

β_w	Coefficiente de correlación para el acero elegido	Adimensional
γ_{M2}	Coefficiente de seguridad relativo a la resistencia última del material y a la resistencia de los medios de unión	Adimensional
f_u	Tensión de rotura del material	N/mm ²

2.6 REQUISITOS DE DISEÑO

Una grúa telescópica autopropulsada consta de dos partes principales, el chasis portante y la superestructura.

El chasis es una estructura metálica sobre la que, además del sistema de propulsión, dirección y estabilizadores, se fijan los restantes componentes, los cuales forman la superestructura.

La superestructura está construida por una plataforma base sobre la corona de orientación que la une al chasis y la permite girar 320 grados. Ésta está compuesta por la pluma telescópica, equipo de elevación, cabina de mando, contrapesos y celosía o plumín.

Los elementos de apoyo de dichas grúas son muy importantes, ya que son los elementos que transmiten todos los esfuerzos al terreno. Debido a que son autopropulsadas quiere decir que el terreno nunca será el mismo, por lo que sus características serán diferentes. Estos elementos pueden ser orugas, ruedas y estabilizadores o apoyos auxiliares que disponen las grúas móviles constituidos por gatos hidráulicos montados en brazos extensibles, sobre los que se hace descansar totalmente la máquina lo cual permite aumentar la superficie del polígono de sustentación y mejorar el reparto de cargas sobre el terreno.

CHASIS

- El vehículo: Los fabricantes de grúas fabrican también el bastidor, en forma de caja, con el peso óptimo, a prueba de torsión. El motor suministra la energía necesaria tanto para su desplazamiento, como para todas las maniobras de manejo de cargas propias de la grúa.



Figura 10: Vehículo grúa

- Transmisión, ejes y reductores: Son los elementos generalmente de simetría axial encargados de soportar las piezas giratorias.
- Bastidor: Es el armazón metálico encargado de soportar la maquinaria.

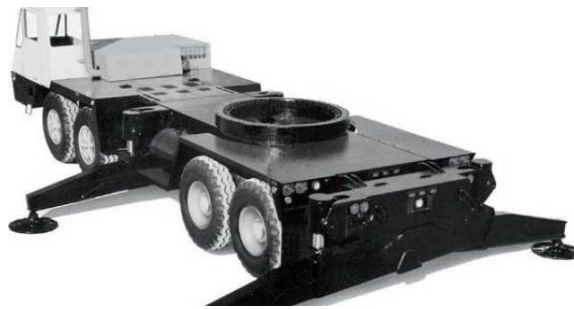


Figura 11: Bastidor

- Estabilizadores: Elementos de apoyo, que transmiten los apoyos al terreno.



Figura 12: Estabilizadores

- Motor: Sistema mecánico que dota al conjunto de movimiento de translación.
- Suspensión: Conjunto de elementos que amortiguan las irregularidades de la calzada.

- Dirección: Mecanismo que permite a la grúa ser guiada durante la translación.
- Frenos: Dispositivo utilizado para detener o disminuir el movimiento de la grúa.

SUPERESTRUCTURA

- Plataforma base: Es la encargada de soportar la pluma telescópica, equipo de elevación, cabina de mando y contrapesos.
- Corona de orientación: Permite realizar la superestructura un giro de 360°.
- Equipo de elevación:
 - a) Motor grúa: sistema mecánico que permite accionar los elementos necesarios para realizar la elevación de la carga.
 - b) Cabestrante: Es el dispositivo mecánico destinado a levantar y desplazar las cargas.
- Cabina: Es una pequeña estructura diseñada para que el operario realice las acciones necesarias con mayor seguridad y comodidad.
- Pluma telescópica: Formada por diversas secciones que permiten variar la longitud a través de un procedimiento telescópica.



Figura 13: Pluma telescópica

- Dispositivos de seguridad: Sistemas integrados en la grúa para que se pueda realizar una acción lo más controlada posible e intentar evitar posibles imprevistos.
- Contrapesos: Son pesos dispuestos de tal forma que permiten equilibrar las fuerzas o par producidas.

- Gancho: Elemento que permite, mediante una polea, elevar y descender la carga.
- Celosía o plumín: Elemento opcional que permite dotar a la grúa de una longitud y un radio extra para situaciones especiales controladas de trabajo.



Figura 14: Celosía

2.6.1 REQUISITOS DE LOS ELEMENTOS DE ESTUDIO

Una grúa telescópica autopropulsada se compone de todos los elementos y mecanismos que se han descrito pero no todos son objeto de este proyecto. A continuación se describen los objetos de cálculo y sus datos de partida. La mayoría de los elementos pertenecen a la superestructura de la grúa.

PLUMA TELESCÓPICA

Como se ha descrito anteriormente la pluma telescópica está formada por diversas secciones que permiten variar su longitud a través de un procedimiento telescópico. En el caso del presente proyecto la longitud máxima de la pluma será de 72 metros formada por un tramo fijo de 14,5 metros y 5 tramos extensibles de 11,5 metros. Tendrá que ser capaz de soportar un máximo de 250 toneladas, con la pluma recogida, y establecer el peso máximo a soportar con la pluma completamente extendida, realizando un esquema de cargas.

CONTRAPESOS

Los contrapesos establecerán el equilibrio necesario para que la grúa no llegue a volcar, es decir, reducir el par de vuelco de la grúa. Será necesario establecer el peso de los mismos, no se fabricará. Estarán ubicados en la superestructura en el lado contrario a la pluma como es lógico.

CORONA DE ORIENTACIÓN

Soportará el momento resultante transmitido al chasis de la grúa, así como dotará de un giro de 360° a la pluma telescópica.

Los rodamientos más utilizados en estos casos son los llamados rodamientos ROTHE ERDE. Este rodamiento es un elemento de máquina que forma por sí mismo una unidad completa, previsto para la transmisión simultánea de esfuerzos axiales, radiales y de los pares de vuelco resultantes, realiza, pues, doble función.

Por un lado, ha de permitir un giro suave de la superestructura para situar convenientemente la carga y por otro, tiene que soportar todo el peso proveniente de los elementos que componen la superestructura.

El rodamiento cuenta con una corona exterior que engrana con el piñón de ataque situado en la parte giratoria. Se fija mediante tornillos, la corona dentada exterior se asienta en la parte fija de la grúa y se asegura mediante tornillos M24.

Una vez la corona entada se ha ensamblado, se colocará una placa fijada mediante tornillos al rodamiento de giro para después soldarle la estructura de rotación de esta manera se permitirá la transmisión del movimiento a la parte móvil.

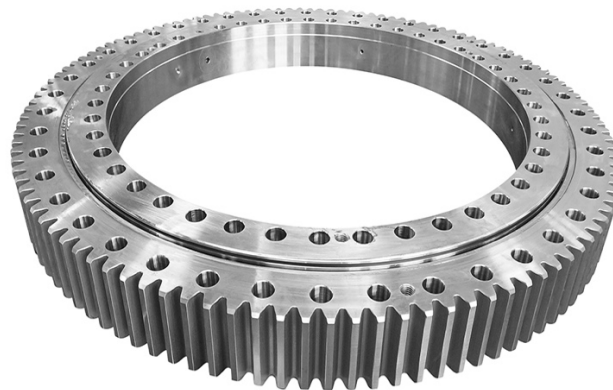


Figura 15: Rodamiento Rothe Erde

ESTABILIZADORES

Se usarán para garantizar una estabilidad en la grúa y evitar que ésta pueda llegar a volcar. Ha de tenerse en cuenta que habrá que calcular diferentes situaciones según sea la dirección de la pluma, ya que no tiene el mismo impacto en la estabilidad si la carga está en la zona delantera, trasera o lateral de la grúa.

El cálculo se realizará para varias posiciones críticas de ángulo de inclinación, longitud y carga.

PLUMÍN O CELOSÍA

El plumín o celosía (denominada así por la característica estructura en forma de celosía) es un elemento opcional para dotar a la grúa de una longitud y radio extra para ciertas situaciones. Este elemento se podrá utilizar únicamente en unas situaciones especiales ya que conlleva una situación crítica mayor. En este caso dicha celosía se diseñará para una longitud extra de 14,5 metros y deberá soportar un máximo de 10 toneladas con ella montada.

2.6.3 MANEJO

El vehículo debe poder manejarse de una forma intuitiva y sencilla, de tal forma que el usuario final del vehículo no deba tener experiencia en el manejo de dicho vehículo para una puesta en marcha satisfactoria del mismo.

2.6.4 FIABILIDAD

El vehículo debe poseer una fiabilidad elevada, son vehículos para elevar cargas tan importantes como pesadas y cuya única base de sustentación son los estabilizadores del vehículo, por lo que para el usuario final la fiabilidad se convierte en una de las características fundamentales que debe poseer dicho vehículo.

2.6.5 COSTES

Los costes del dimensionado de la pluma, así como el sistema en sí, deben ser los más reducidos posibles. La optimización de los costes mediante aprovechamientos de material, así como en la utilización de las máximas piezas normalizadas, constituye una parte fundamental del proyecto.

También se considera importante el tiempo que se emplea en la fijación de los elementos como estabilizadores, plumín o contrapesos antes de iniciar el trabajo con la grúa.

2.6.6 EMISIÓN DE RUIDOS Y VIBRACIONES

En cuanto a la normativa de emisiones de ruido y de vibraciones el vehículo motriz sobre el que se va a instalar todas cumple con la normativa vigente, teniendo en cuenta que ninguna de los elementos que se van a acoplar produce una emisión de ruidos

considerable, podemos asumir que se cumple la normativa de ruidos. En cuanto a las vibraciones, se supone que el correcto dimensionado de los estabilizadores supone un funcionamiento correcto de la grúa correcto y estable, sin demasiadas vibraciones.

Es por todo esto que no se asumen estudios específicos de emisiones de ruido y vibraciones.

2.7 ANÁLISIS DE SOLUCIONES

Las soluciones tomadas han de cumplir todas expectativas del posible cliente, siendo necesario el estudio de todas y cada una de las partes desde el punto de vista del cliente, de su comodidad, y de la rentabilidad que ha de sacar en la obra del uso de la máquina.

Es por ello que partimos para el análisis de soluciones de las necesidades de la población. A continuación se describen los principales problemas que pueden hacer que el uso de este tipo de vehículos sea indispensable.

En la construcción: se emplea para elevar importantes cargas a gran altura, maquinaria o piezas de alto tonelaje desde el suelo a distintos niveles de un edificio en construcción. El lugar de construcción siempre es variable por lo que este tipo de grúas son muy importantes. Para la construcción de un puente por ejemplo toman mucha importancia.

En la logística: Se emplean por ejemplo para elevar o transportar contenedores industriales de gran tamaño y peso.

En el rescate: Es muy habitual ver a vehículos grúa recatando personas o coches que han sufrido algún accidente en terrenos difíciles de acceder.

Dependiendo del uso que vaya a darse, se podrá escoger un camión grúa pluma con unas u otras características. Las diferencias radicarán en la capacidad de carga, la resistencia, el volumen del vehículo, el tonelaje que soporte...

Tras una comparativa a través de los diferentes catálogos de los principales fabricantes de vehículos grúa se concluye que Liebherr es el fabricante con mayor variedad de grúas autopropulsadas, disponiendo de dos tipos: sobre camión y sobre cadenas. En el mercado actual existe un amplio abanico de grúas según la carga máxima que pueden manipular y sus radios de funcionamiento: desde 8 hasta 1200 toneladas y desde 2 hasta 136 metros.

La mayor parte de las empresas españolas trabajan con grúas telescópicas con un rango de 40 a 60 toneladas para trabajos en una construcción normal como edificios, pero existe una necesidad de grúas de más tonelaje cuando se trata de edificaciones más especiales como puentes, museos, instalaciones eólicas, construcciones de barcos... Son pocas las empresas que dispone de grúas de gran tonelaje como por ejemplo 250 toneladas.

Disponer de mayor variedad de este tipo de grúas satisface aún más las necesidades de la población y tener competencia hace que los precios del mercado sean más ajustados y asequibles.

Debido a esta necesidad el trabajo se centrará en el estudio de grúas con una capacidad de carga de 250 Tn. Al referirse a una carga de 250 Tn, indica que la capacidad máxima de carga es de ese valor en una posición determinada de la pluma en cuanto a ángulo y extensión.

Para el radio de funcionamiento se dimensionará para un radio de funcionamiento mínimo de 3 metros. El radio de funcionamiento se refiere a la longitud mínima que debe cumplir una pieza desde el vehículo grúa antes de ser izada. Normalmente se refiere al radio mínimo de la máxima carga posible.

Muchos de los vehículos grúa poseen en su denominación implícito el peso máximo que soportan. Por ejemplo una Liebherr LTM 1250 soporta 250 Tn, la Liebherr LTM 1050 soporta 50 Tn... etc.

Se realiza un estudio sobre las características de las grúas de mercado para observar las diferencias técnicas de las mismas y poder hacer un análisis sobre las posibles soluciones par el presente proyecto.

La capacidad de carga máxima que se quiere elevar limita mucho la variedad de grúas en el mercado y solo dos fabricantes poseen grúas de similares características, Grove y Liebherr.

Comprobamos las diferencias aparentes que poseen las dos marcas:

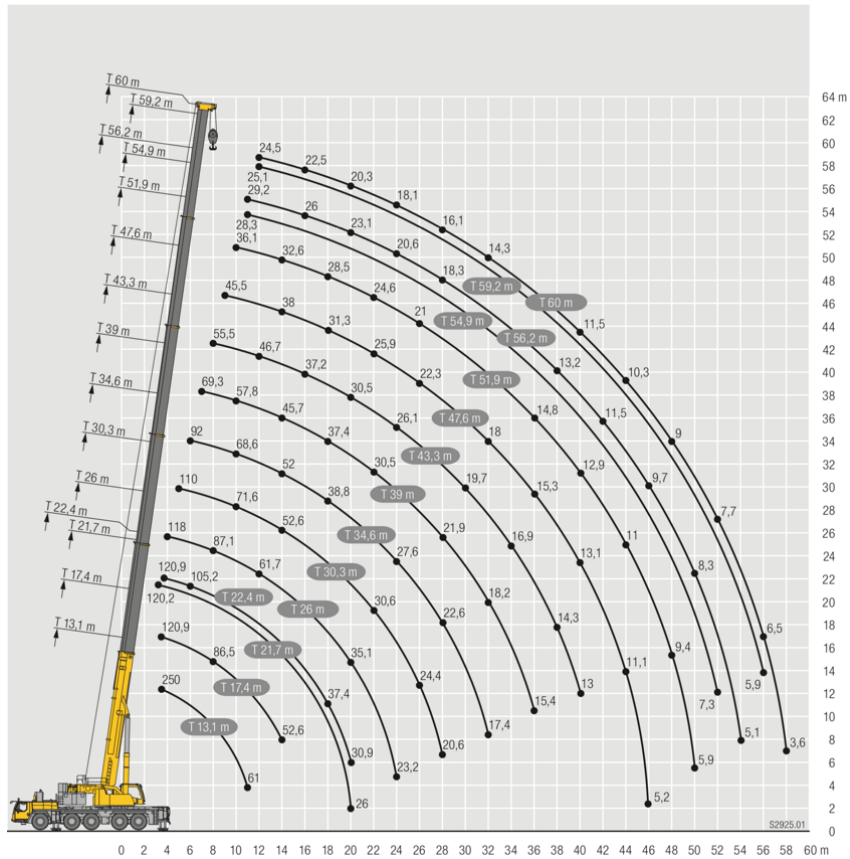


Figura 16: Cargas y radios de funcionamiento de Liebherr

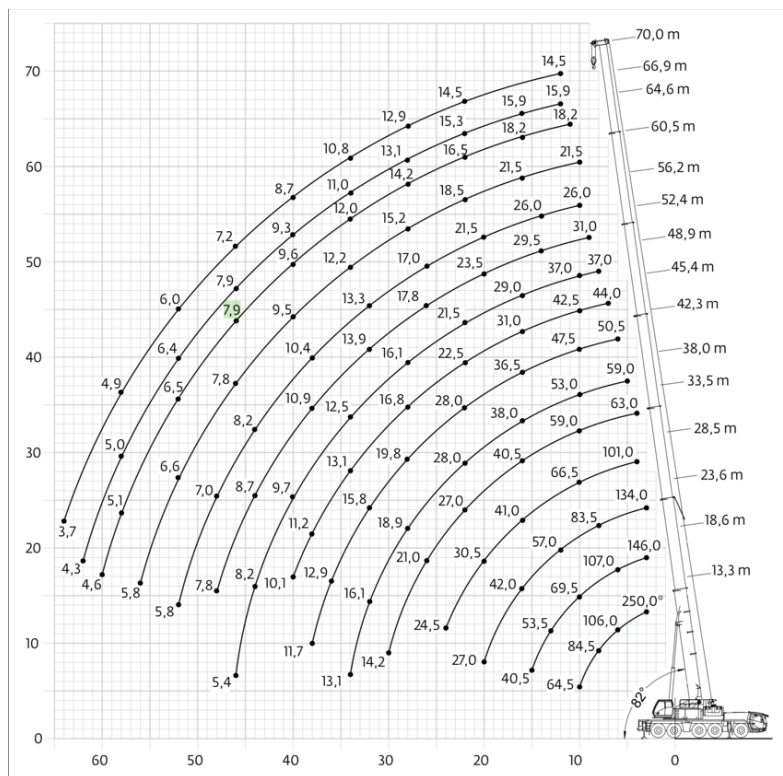


Figura 17: Cargas y radios de funcionamiento de Grove

Se observa que las capacidades de carga son muy similares a similares alturas. La diferencia mas considerable se encuentra en la disposición de tramos, por ello la grúa de la marca Grove tiene una mayor altura máxima y, por tanto, un mayor radio de funcionamiento.

Grove GMK 5250L

Carga máxima = 250 Toneladas

Radio máximo = 64 metros

Altura máxima = 70 metros

Número de tramos = 6 tramos de telescopado más el fijo

Liebherr LTM 1250

Carga máxima = 250 Toneladas

Radio máximo = 58 metros

Altura máxima = 59 metros

Número de tramos = 5 tramos de telescopado más el fijo

El número de tramos marca la diferencia de todas sus características en estas dos grúas.

2.7.1 MATERIALES

Observando varios catálogos y libros sobre construcción de grúas, se sabe que el acero que se emplea en la construcción de este tipo de vehículos grúa es acero F-114. Este tipo de acero al carbono soporta muy bien los tratamientos térmicos necesarios para que dicho material adquiera las propiedades mecánicas necesarias.

2.7.2 CONCLUSIONES

Se puede concluir con que existe una demanda de un tipo de grúas para condiciones especiales en las que se requiera una capacidad de carga mayor a la considerada como normal o más utilizada.

Atendiendo a ese tipo de mercado se ha decidido que la base de este proyecto sea una grúa con capacidad de carga 250 toneladas.

En cuanto a las características que poseerá la grúa serán las siguientes:

- Carga máxima = 250 Toneladas
- Radio máximo = 65 metros

- Altura máxima = 72 metros
- **Número de tramos = 5 tramos de telescopado más el fijo. Los tramos de telescopado tendrán una longitud de 11,5 metros y el tramo fijo de 14,5.**
- **Ángulo máximo de elevación: 83,36°**

Además se diseñará una celosía opcional para acoplar a la punta de la pluma para dar a la grúa más opciones de altura y radio de funcionamiento y que ésta sea mucho más versátil.

2.8 RESULTADOS FINALES

2.8.1 PLUMA TELESCÓPICA

La pluma está constituida por una viga en voladizo que está articulada en el cilindro hidráulico de elevación y en la propia plataforma giratoria. Existen dos tipos de plumas: en celosía y en viga cajón. Se decide que la más apropiadas según las características del presente proyecto sea en viga cajón. Es el elemento encargado de sostener y variar la posición de los elementos que variarán la carga, por lo que es el elemento más solicitado ya que resistirá la mayor parte de los esfuerzos producidos por las cargas que se manipularán.

También se la puede denominar flecha y sus características más importantes son:

- Conformada por una única viga en voladizo, telescopable y resuelta en forma de viga cajón rectangular trapecial o bitrapecial. Se utiliza placa metálica de alto límite elástico en su fabricación.
- No precisa de vehículos auxiliares para su transporte, ya que la pluma viaja en la parte alta del vehículo, en la superestructura, sobre el bastidor.
- Está constituida por 6 tramos (el fijo mas 5 extensibles), con una longitud del primer tramo (el fijo) de 14,5 metros y 11,5 metros los extensibles. Se encuentran ensamblados unos dentro de otros de tal manera que puedan deslizarse para variar la configuración de longitud necesaria (telescopado).
- El telescopado se realiza mediante un cilindro situado en el interior de la pluma mediante un sistema que más tarde se describirá.
- El dimensionado, que constituye la parte más importante de este proyecto, se definirá según los esfuerzos de flexión, torsión, tracción y compresión a los que estará sometida y también por las propiedades mecánicas del material con el que está fabricada.

La estructura giratoria tiene una configuración que depende del tipo de pluma. Básicamente, consta de una zona altamente reforzada, que recibe la pluma. En la parte posterior, se sitúan los mecanismos de elevación de la carga y el contrapeso. Al tratarse de una viga en cajón, el cilindro de elevación de la pluma apoya en la parte anterior de la estructura giratoria, en una zona altamente rigidizada. El otro apoyo, el cual hay que definir con anterioridad debido a que según donde se encuentre variarán las fuerzas tanto sobre el cilindro como sobre el tramo fijo de la pluma. El punto exacto se situará a 7 metros del eje de giro de la pluma.

2.8.1.1- SELECCIÓN DEL TIPO DE PERFIL

Como se ha mencionado anteriormente se puede diseñar la pluma en forma de viga cajón rectangular, trapecial o bitrapecial.

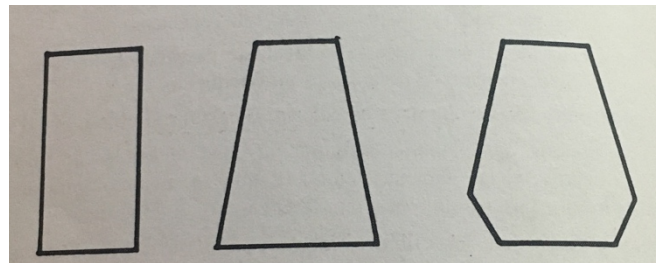


Figura 18: Tipos de viga cajón

La viga cajón del tipo rectangular se suele utilizar para cargas bajas, debido a que esta sección puede presentar problemas de pandeo transversal ante altos esfuerzos de compresión.

La de tipo bitrapecial es la más equilibrada y sofisticada y es la que se utiliza para grúas con cargas muy elevadas. Actualmente Liebherr posee la patente de este tipo de perfil y por ello los demás fabricantes utilizan perfiles similares pero no idénticos.

El último tipo de perfil es el perfil trapecial, que corresponde a un tipo intermedio, y es utilizado en una banda de cargas de magnitud media.

Analizando el mercado actual, se puede decir que existe una tendencia a dejar de utilizar los perfiles rectangulares por perfiles de secciones más redondeadas debido a que este tipo de perfil soporta mejor los esfuerzos de torsión y en fuertes compresiones se evita el pandeo transversal.

Para el dimensionado de la pluma en este estudio se ha decidido un perfil rectangular debido a la simplificación que ofrece este tipo de perfil en los cálculos.

2.8.1.2- MATERIAL DE LA PLUMA

El material utilizado para la construcción de la pluma es el material del que se ha hablado en el apartado 2.7.1, un acero F-114 con los tratamientos necesarios para cumplir las propiedades mecánicas adecuadas para el tipo de solicitaciones obtenidas.

Las propiedades mecánicas serán elevadas teniendo en cuenta que la carga máxima que tendrá que soportar la pluma es muy elevada. Esto implica que tendrá un gran esfuerzo de compresión, así como un momento elevado.

El elegir un material muy resistente se da por el hecho de tener que utilizar cuanto menos material posible de cara al coste, y porque se trata de un perfil hueco, por lo que únicamente se jugará con el espesor.

2.8.1.3- TRAMOS DE LA PLUMA

Se parte de la longitud de los tramos. Un primer tramo de una longitud de 14,5 metros que irá acoplado a la base giratoria y al cual se fijará el cilindro hidráulico de elevación. Los tramos de telescopado tendrán una longitud de 11.5 metros.

El perfil con el que se construirá será rectangular y hueco, para poder alojar en su interior el cilindro hidráulico de extensión de la pluma. El procedimiento se basará en establecer a qué solicitaciones estará sometida y calcular un perfil mínimo que soporte dichas solicitaciones. A partir de éste se dimensionarán los siguientes tramos sabiendo que unos van en el interior de los otros, dejando un pequeño margen para situar los elementos de deslizamiento. Será interesante también observar la fuerza de compresión que soportará el cilindro de elevación porque puede suponer un punto clave en el dimensionado de la pluma.

2.8.1.4- PROCESO DE FABRICACIÓN

La construcción de la pluma comienza con una lámina del acero elegido y del espesor calculado en su dimensionamiento. En grúas de gran tamaño un mismo perfil puede tener espesores diferentes, aunque en este proyecto se realizará todo el tramo del mismo espesor debido a su simpleza. Se corta a medida en una máquina de corte por láser teniendo en cuenta el perímetro de la pluma y los agujeros de los que dispondrá. Si la pluma es de gran tamaño se realiza en dos partes, por una parte la sección superior y por otra la inferior.



Figura 19: Perfil de un tramo de pluma

Existe una empresa encargada de realizar la mayor parte de las plumas del mundo, Vlassenroot. Dispone de 4 fábricas: 2 en Bélgica, una en Alemania y una en Polonia, actualmente no tiene competencia, puesto que no hay empresas capaces de realizar todo el proceso completo de fabricación de plumas y componentes, ya que ellos parten de la lámina de acero y entregan las plumas ya terminadas.

Una vez realizados los cortes necesarios, se procede al doblado. Cabe destacar que Liebherr posee la patente del perfil ovalado, así que el resto de fabricantes pueden tender a este perfil respetando los derechos de Liebherr.

La pluma que se diseña en este proyecto se refiere a una pluma de gran tamaño por lo que se construirá en dos partes. Una vez dobladas las partes se unirán mediante soldadura por arco sumergido. La soldadura por arco sumergido es un procedimiento de soldadura en el que no se ve el arco de soldadura quemándose entre el electrodo sin fin y la pieza. El arco eléctrico y el baño de fusión están cubiertos por un polvo granuloso. La escoria formada por el polvo sirve para proteger la zona de soldadura frente a la influencia de la atmósfera. Permite depositar grandes volúmenes de metal de soldadura de excelente calidad.

Un elevado rendimiento térmico generado por la cubierta de polvo produce mayor rendimiento de fusión en comparación con otros procedimientos de soldadura. Por ese motivo, la soldadura por arco sumergido se designa como procedimiento de alto rendimiento.



Figura 20: Soldado de una pluma mediante arco sumergido

2.8.1.5- TELESCOPADO DE LA PLUMA

El sistema de telescopado no ha sido objeto de cálculo de este proyecto, pero debido que influye en el diseño de la pluma sí que se ha realizado un pequeño estudio del funcionamiento del sistema.

En los primeros diseños, se colocaban tantos cilindros hidráulicos de extensión como tramos desplazables tenía la pluma. Se disponía de una gran flexibilidad de movimientos a costa de un elevado peso propio de la pluma.

Actualmente, la tendencia a disminuir los pesos propios, llevó a los diseñadores a utilizar un único cilindro para extender los diferentes tramos de la pluma. Existe un sistema de telescopado muy utilizado en grúas de gran tamaño llamado Telematik. Se trata de un sistema desarrollado y patentado por Liebherr. Este sistema consiste en extender todos los tramos de la grúa partiendo de un único pistón y el mecanismo es únicamente utilizado por la marca. El pistón se sitúa en la parte inferior de la pluma y desde ahí, comenzando por el tramo más pequeño, es capaz de extender completamente la pluma. El sistema en sí constituye un gran avance en diversos aspectos como reducir el peso de los tramos, menos problemas en cuanto a mecanismos al ser un único mecanismo, e incluso una reducción del coste de construcción total de la pluma, pero a comparación con los sistemas más antiguos, no es posible situar un tramo en la posición que nos dé la gana. La flexibilidad de movimientos se ve reducida a 4 posiciones: 0%, 46%, 92% y 100%. A partir de estas cuatro posiciones se realizan las combinaciones necesarias para obtener la adecuada según la necesidad.

Uno de los mayores inconvenientes de este sistema es que si después de un rato de trabajo se desea cambiar la combinación de longitud de los tramos, habrá que recoger de nuevo

toda la pluma y realizar la siguiente combinación. Otro inconveniente, que viene ligado al primero, es el tiempo de ejecución de la operación, siendo aproximadamente de 15 minutos ya que primero desplaza un tramo y debe retroceder para sacar el siguiente, y así sucesivamente.

El mecanismo de telescopado es una pieza robusta interior con la forma interior del tramo de telescopado, unos resortes en los costados que servirán de guía para que la extensión del tramo siga la dirección adecuada, y un bulón de enclavamiento que mantendrá el tramo en la posición requerida. El bulón deberá de soportar el peso propio del tramo y la componente cortante de la carga a elevar. El cilindro hidráulico únicamente deberá de soportar el peso propio de los tramos ya que la extensión de la pluma se realizará sin carga.

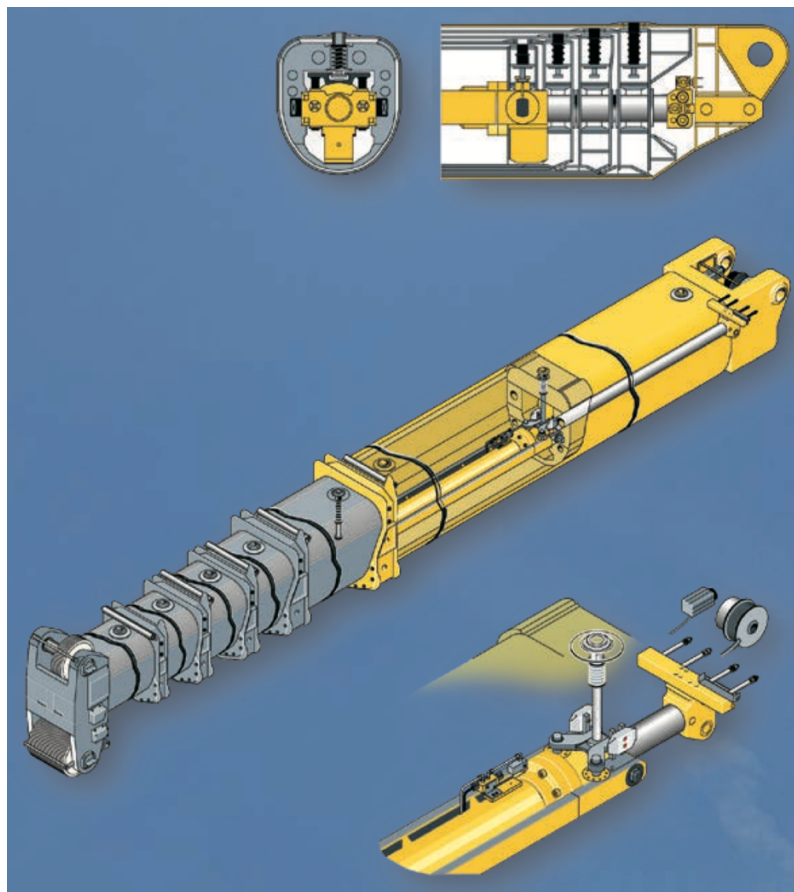


Figura 21: Mecanismo de telescopado

Es sistema de telescopado trabaja de la siguiente manera:

- El cilindro hidráulico está situado a la inversa, de manera que la camisa del cilindro se encuentra en la parte superior de la pluma.
- El bulón dispone de un muelle que mediante un mecanismo es impulsado hacia debajo de manera que el muelle queda contraído. En esta posición, al no haber

nada que obstaculice el desplazamiento el cilindro comienza a extenderse y el mecanismo va desplazándose por las guías hasta la posición deseada. El deslizamiento entre tramos se lleva a cabo mediante pastillas de nilatron, cuyo material esencial es el nylon. Su coeficiente de desgaste es muy reducido.

- Deberá haber un dispositivo que indique cuando el tramo se encuentra en la posición deseada y dispuesto de manera que el bulón entre en los orificios que tiene la pluma en ciertas posiciones.
- Cuando coincida y el indicador señale que es la posición deseada, el mecanismo soltará el bulón que quedará fijado en el agujero fijando la posición.
- Entonces el cilindro se recogerá e ira a por el segundo tramo de telescopado.
- De la misma manera que con el primer tramo hará con todos los tramos de telescopado.
- Cuando extienda el segundo tramo irá acoplado al primero, el tercero arrastrará a los otros dos y así sucesivamente.



Figura 22: Mecanismo de Telematik



Figura 23: Mecanismo de Telematik II



Figura 24: Orificio de enclavamiento

2.8.1.6- CILINDRO DE ELEVACIÓN

El cilindro hidráulico de elevación se trata de un cilindro de características especiales que también fabrica la marca de grúas Liebherr. Tiene características especiales debido a la gran presión de funcionamiento a la que deberá de trabajar según las características de carga elegidas, se recuerda que deberá soportar 250 toneladas. La presión de trabajo para este tipo de condiciones es de 600 bares aproximadamente y en el mercado no existen cilindros hidráulicos con tanta presión ni con carreras tan largas. Para ello Liebherr dispone de un formulario que se ha de rellenar con las características del cilindro y ellos

se encargan de realizarlo. Para ese tipo de pistones la limitación de construcción es de 630 bares y carreras de hasta 8000 mm.

Se realiza un estudio de la carrera necesaria para que la pluma sea capaz de elevarse desde la posición de 0° hasta la posición de $83,36^\circ$, ángulo máximo de la pluma. Además, debido a la alta capacidad de carga de la pluma el cilindro hidráulico también soportará una gran fuerza de compresión. En el mismo formulario de Liebherr también proporciona una serie de fórmulas para saber, según las características del pistón, la fuerza máxima que puede soportar.

El cilindro se estudia para las situaciones más desfavorables para asegurar el correcto funcionamiento, ver anexo 3.8.3. Aunque se estudie para la carga máxima, cuando se introduce la celosía también se calcula la fuerza a soportar en ese caso para comprobar, ver anexo 3.8.4.3.



Figura 25: Cilindro de elevación

2.8.1.7- ELEMENTO DE UNIÓN CILINDRO-PLUMA

El cilindro hidráulico ira sujeto por el extremo inferior a la estructura giratoria de la grúa y por la otra, como es lógico, a la pluma. Para poder unir el cilindro con la pluma se ha diseñado un elemento con un orificio para alojar un bulón que asegura dicha unión. El elemento deberá ser lo suficientemente robusto para soportar las tensiones generadas. La unión de esta pieza a la pluma se realiza mediante soldadura y se estudia en el anexo, ver anexo 3.8.8.

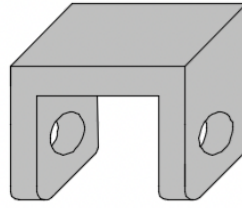


Figura 26: Elemento de unión cilindro –pluma

2.8.1.8- PLUMÍN O CELOSÍA

El plumín o la celosía de la pluma se recuerda que se trata de un elemento extra que viaja adosado a la pluma y si fuera necesario ampliar el radio de funcionamiento o la longitud de la pluma se instalaría. La instalación es sencilla, mediante cuatro bulones de anclaje se une a la punta del primer tramo de la pluma, pero la longitud del elemento dificulta la maniobrabilidad por parte del operario. Para poder maniobrarla se suele utilizar una pequeña grúa extra de ayuda.

Una de las ventajas de estos tramos de celosía es la ligereza. El peso de estos tramos es de aproximadamente la tercera parte que una viga cajón y mediante la ayuda de un cilindro hidráulico es capaz de situarse tanto como una extensión de la pluma como girar hasta un ángulo de 45° respecto a la vertical.

El inconveniente es que los tramos de celosía no se pueden telescopar, son fijos, y necesitan varias horas de trabajo para su montaje y puesta en funcionamiento.

Se realiza en acero estructural S275JR mediante perfiles con una sección circular hueca, de ahí su bajo peso. Los perfiles se unen mediante soldaduras y su diseño se realiza en este proyecto. Para ello se decide que su longitud deberá ser de 14,5 metros, una altura en su base de anclaje de 1,5 metros y una anchura de 1 metro.

Los perfiles de una celosía únicamente trabajan a tracción y compresión y su cálculo se realiza en el anexo 3.8.4.



Figura 27: Anclajes de la celosía

2.8.1.9-GANCHO

En la actualidad existe una norma vigente, que define completamente el diseño de los ganchos. Por lo tanto, la tarea del ingeniero de grúas se compone básicamente de seleccionar de forma adecuada el gancho de acuerdo con la normativa.

En el aspecto de seguridad, ocupa un lugar relevante la forma de enganche de la carga, debido a que la aceleración ejercida así como posibles choques pueden desestabilizar el enlace elemento de suspensión-carga.

Existen diferentes tipos de ganchos: gancho simple, gancho doble, gancho de hojas y gancho de seguridad. El gancho simple se utiliza en grúas de capacidad de carga media y baja. Se realizan en acero pobre en carbono mediante una operación de forja o estampación. El empleo de acero rico en carbono y fundición es inadmisibles debido a la existencia de problemas de fractura en base a la fragilidad del material. En aparatos de elevación de capacidad de carga alta, se recurre a ganchos dobles cuya solicitación simétrica es más favorable. Se realizan en acero forjado o estampado.

En grúas de gran capacidad de carga al gancho le acompañan una serie de poleas. El gancho con la carga se eleva y desciende mediante cable trenzado de alambres que pasan por las poleas para reducir la tensión.

El gancho dispone de un rodamiento para un giro sobre el eje vertical y al disponer de un bulón para unirlos a las poleas, también tiene un pequeño giro en el eje horizontal.



Figura 28: Gancho doble

2.8.1.10- BULONES

Los bulones son elementos cilíndricos que normalmente pueden ir fijados mediante una tuerca en el otro extremo o mediante un pasador, sirven para unir los distintos elementos una grúa. En el proyecto de estudio se utilizan varios de estos bulones: para la unión de los cilindros hidráulicos tanto de la pluma como de la celosía, para la unión de la pluma a la estructura giratoria de la grúa y para la fijación de la celosía a la punta de la pluma.

Los bulones, además de soportar y transmitir los esfuerzos del conjunto, permiten rotar a los elementos de unión para realizar giros sobre el eje del mismo. Esto permite la elevación de la pluma de 0 a 83,36° o el giro de la celosía hasta los 45°, así como la adaptación de los cilindros a las nuevas posiciones a medida que se van extendiendo.

El diseño de los bulones se realizó en base al esfuerzo de cortadura, ver anexo 3.8.7.

2.8.2 CONTRAPESOS

La función del contrapeso es única y exclusivamente reducir el par de vuelco del conjunto de la grúa. En grúas de gran capacidad de carga se pueden situar incluso en dos posiciones mediante unos cilindros hidráulicos. Esto dota de más combinaciones a los contrapesos ya que los contrapesos los coloca el mismo operador de la grúa antes de iniciar las operaciones. Según el peso de la carga a utilizar serán necesarios más o menos contrapesos y con diferentes configuraciones de posición. Normalmente todas estas configuraciones se proporcionan por el fabricante.

En el estudio del presente proyecto no se calculan todas las configuraciones ni el diseño de los mismos pero sí se tienen en cuenta para el estudio de las configuraciones más críticas y para el cálculo de la estabilización del vehículo grúa.



Figura 29: Contrapesos

2.8.3 ESTABILIZADORES

En los vehículos grúa la comprobación de la estabilidad es lo más importante debido a que tienen cuatro apoyos pero existe la posibilidad que esos apoyos lleguen a levantarse. Ello conllevaría el vuelco inmediato del vehículo grúa.

Debido a la variedad de cargas y a los números de posiciones a las que ésta se puede situar el cálculo de la estabilidad se reducirá a las situaciones más desfavorables. Como el cuadro de cargas los proporciona el fabricante, tras la comprobación de estos estados de carga, se realiza dicho cuadro teniendo en cuenta la estabilidad.

También hay que tener en cuenta que la pluma gira respecto al vehículo 360° , por lo que será necesario realizar el estudio en las situaciones más críticas a lo largo de este giro. No es lo mismo que la pluma este en la zona trasera, en la delantera o trabajando a 90 grados del vehículo.

No se realiza el diseño de los estabilizadores pero si se calcula la fuerza que soportará cada uno de ellos sabiendo su situación en el vehículo y la longitud de los mismos, ver anexo 3.8.6.



Figura 30: Estabilizador

2.8.3 SISTEMA DE ROTACIÓN

El sistema de rotación permite que el conjunto de la pluma pueda realizar un giro de 360°. Para realizar este complejo sistema son necesarios dos elementos, el rodamiento y el motor.

El rodamiento en este tipo de grúas se trata de un rodamiento llamado ROTHE ERDE. Este rodamiento es un elemento que forma una unidad completa. Es necesario que soporte todos los esfuerzos que se transmiten de la superestructura. El rodamiento se compone de dos partes: una que irá fijada a la estructura giratoria, que será dentada y recibirá el giro del motor, y otra que irá fijada al vehículo grúa.

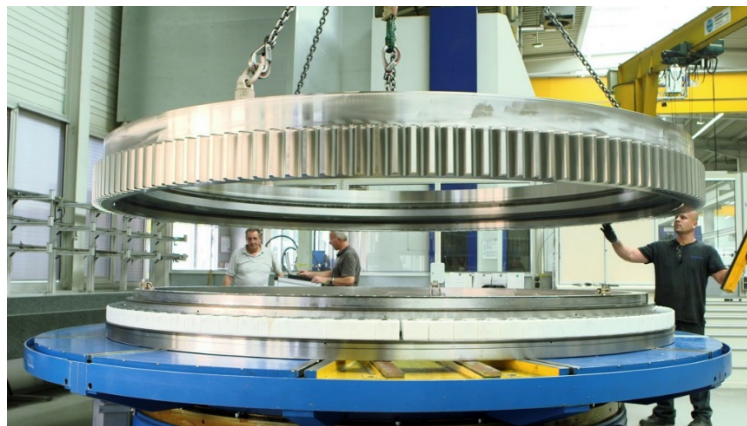


Figura 31: Rodamiento ROTHE ERDE



Figura 32: Rodamiento ROTHE ERDE instalado en vehículo grúa

Este rodamiento se elegirá del catálogo elegido tras calcular las fuerzas que deberá de soportar.

2.9 PLANIFICACIÓN DEL DESARROLLO DEL PROYECTO

En este apartado se deberán describir las tareas a realizar en la ejecución del proyecto. Una vez evaluada la posibilidad de realización y el estudio de mercado, y una vez realizados todos los cálculos para su elaboración, solo queda la planificación de las diferentes etapas de construcción de los elementos desarrollados y su ensamblaje. Será necesario estimar los tiempos de duración para los trabajos a realizar.

2.9.1 DESCRIPCIÓN DE TAREAS

Dentro de las tareas a realizar se encuentran las siguientes.

- Fabricación de la pluma: Como se ha mencionado anteriormente la fabricación de este tipo de plumas se construyen en dos partes; Parte superior y parte inferior. Lo primero consiste en el corte de las piezas en una punzonadora laser y un posterior doblado para dotarla de la forma estudiada. Después se soldarán las dos partes. Conlleva bastante tiempo debido a las numerosas operaciones y a que se han de fabricar 6 tramos diferentes. Esta tarea debe ser realizada por una empresa externa con máquinas que sean capaces de realizar dichas operaciones. La soldadura, al ser especial, también deberá ser realizada por gente cualificada para dicha operación.
- Fabricación de los bulones: Los bulones serán fabricados partiendo de un tocho de material mediante operaciones de arranque de viruta. La máquina encargada de ello podría ser un torno. Tras ello se le realizarán las roscas y las tuercas necesarias para ello.
- Fabricación de celosía: La celosía estará construida mediante tubos de sección circular hueca soldados entre sí. Se deben cortar los tubos en las medidas establecidas y después ir soldando todas las piezas una a una. Esta tarea la deberá llevar a cabo un soldador experimentado.
- Realización de pedidos: Para acelerar el proceso de construcción y realizar una optimización del tiempo habrá que lanzar un pedido para los elementos normalizados como los cilindros hidráulicos, el rodamiento ROTHE ERDE o el gancho de la pluma. También habría que pedir los elementos restantes que no son objeto de este proyecto, por lo que se deberán tener en cuenta para la construcción.
- Vehículo y motores: Para la construcción del vehículo grúa completo es necesario disponer de todos los circuitos hidráulico, eléctricos, motores y el vehículo. Como todo esto no forma parte del alcance del proyecto se hará una aproximación teniendo en cuenta que casi todo lo mencionado está disponible. Además podríamos deducir que se realiza la compra del vehículo y tras ello se realiza el

acoplamiento de la superestructura, siendo muchos de sus componentes objeto del proyecto.

- **Ensamblaje:** Tras realizar la construcción por separado y el pedido de todos los elementos necesarios para la construcción se procede al ensamblaje de todas ellas. Este es un proceso muy complicado por las características de los elementos a ensamblar y deberá ser llevado a cabo mediante grúas y personal experimentado.

2.9.2 PLANIFICACIÓN DE EJECUCIÓN

Se realiza una planificación de las tareas a realizar para que el montaje y construcción de los elementos del vehículo grúa sea lo más satisfactorio posible. Como se ha mencionado anteriormente siempre es importante realizar una correcta optimización del tiempo de montaje del vehículo y por ello se ha intentado solapar varias tareas.

Para que todo se cumpla es necesario disponer del compromiso por parte de los proveedores necesarios para la correcta entrega de los elementos necesarios, tanto en calidad como en fecha de entrega. Se debe insistir en este aspecto ya que el retardo en alguno de los componentes puede derivar en el retraso del conjunto del montaje del vehículo, impidiendo la colocación de otros componentes. Esto se debe a que muchos componentes no pueden ensamblarse o construirse hasta que el montaje o construcción del elemento que precede no ha sido realizado por completo, es decir que hay ciertos componentes o funciones que pueden ser un cuello de botella en la construcción de la grúa.

La planificación de este proyecto se realizará en semanas, existiendo la posibilidad de un margen de error en las fechas. Para que no exista una alta presión habrá que contar con un margen de uno o dos días en la realización de las diferentes tareas.

- **Semana 1:** Contacto con las empresas que elaborarán la construcción de los diferentes elementos y se dará orden de comenzar con la construcción. Habrá que tener en cuenta el suministro de piezas tras recibir la señal de comenzar la construcción. Durante esa semana se contactará también con los proveedores de las piezas normalizadas para tener una estimación de fechas para recibir el material requerido.
- **Semana 2:** Se irá recepcionando todo el material normalizado a medida que vaya llegando. Sabiendo que lo más importante y crítico es la pluma, también lo que posiblemente más tiempo tarde en su elaboración, se irán haciendo vistas periódicas para constatar que se están realizando todos los procesos necesarios y verificando su correcta operación. Se prevé que la pluma esté cortada y realizando

el doblado de la misma para adaptar la forma requerida. Se estima también que la celosía esté en su proceso de soldadura.

- **Semana 3:** Se entiende que ha pasado el tiempo necesario para recibir todos los elementos que componen el sistema de telescopado y por tanto se comenzará el montaje del mismo para avanzar operaciones. La celosía también deberá ser recibida para comenzar a lijarla y comenzar su pintado. Los tramos de la pluma deberán estar en su proceso de soldadura por arco sumergible.
- **Semana 4:** Se dejará ensamblada la celosía y se recibirán todos los tramos de la pluma que serán lijados y pintados. En el primer tramo se soldará el elemento de unión de la pluma con el cilindro hidráulico antes de pintarse.
- **Semana 5:** El sistema de telescopado estará ya ensamblado por lo que se introducirá en el interior de los tramos y se procederá al montaje de todos los tramos para completar la instalación de la pluma. Se dejará la pluma montada con todos sus componentes esa misma semana.
- **Semana 6:** Al estar la pluma completamente realizada se procederá a la colocación del sistema tanto de elevación como de rotación y se fijará de esta manera a la superestructura. Tras ello se harán todas las conexiones eléctricas, electrónicas e hidráulicas y se montarán los motores necesarios para ellas.
- **Semana 7:** Dejaremos una semana como margen ya que puede que los trabajos programados para la semana anterior se demoren en el tiempo, pero la idea es que dentro de esta semana se pueda finalizar el montaje de la grúa telescópica autopropulsada. Se realizarán también los ensayos pertinentes.

Con la realización de estas funciones se dará por finalizado el montaje de la grúa y por lo tanto la planificación del proyecto.

2.9.3 CRONOGRAMA DE GANT

Tareas a realizar	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	Semana 6	Semana 7
Contacto con proveedores	■						
Recepción del material	■						
Corte a medida de pluma	■	■					
Doblado de pluma		■					
Construcción celosía		■					
Montaje del telescopado							
Pintado de celosía			■				
Soldadura pluma			■				
Ensamblado de celosía			■				
Recepción de pluma y pintado de la misma			■				
Soldadura de la unión cilindro-pluma				■			
Montaje de la pluma completa				■			
Colocación de la pluma en el vehículo grúa					■		
Instalación de las conexiones eléctricas, electrónicas e hidráulicas						■	
Ensayo validación							■