



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

Diseño de grúa Cantiléver giratoria

Rotary Cantilever crane design

Autor

Javier Bravo Francés

Director

Mónica Remacha Andrés

Escuela Universitaria Politécnica La Almunia
2018



**Escuela Universitaria
Politécnica - La Almunia**
Centro adscrito
Universidad Zaragoza

**ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA
DE LA ALMUNIA DE DOÑA GODINA (ZARAGOZA)**

MEMORIA

Diseño de grúa Cantiléver giratoria

Rotary Cantilever crane design

[424.17.53]

Autor: Javier Bravo Francés

Director: Mónica Remacha Andrés

Fecha: 07/02/2018

INDICE DE CONTENIDO

1. RESUMEN	7
1.1. PALABRAS CLAVE	7
2. ABSTRACT	8
3. INTRODUCCIÓN	9
4. ESTADO DEL ARTE	10
4.1. INTRODUCCION A LAS GRÚAS ^{[1][2][3][4][5][6][7]}	10
4.1.1.1. GRUA PICO PATO	11
4.1.1.2. PÓRTICOS AUTOMONABLES SOBRE NEUMATICOS	12
4.1.1.3. GRÚAS PÓRTICO Y SEMIPÓRTICO	12
4.1.1.3.1. STS (Ship to Shore)	13
4.1.1.3.2. RTG (Rubber Tyred Gantry)	14
4.1.1.3.3. VLG (Vessel Lift Grantry)	14
4.1.1.3.4. MDBC (Multipurpose Double Boom Crane)	15
4.1.1.4. GRÚAS TORRE	15
4.1.1.4.1. GRÚA DE TORRE TREPADORA	16
4.1.1.4.2. GRÚA DE TORRE DESMONTABLE	16
4.1.1.4.3. GRÚA DE TORRE ESTACIONARIA	16
4.1.1.4.4. GRÚA AUTODESPLEGABLE	17
4.1.1.5. SIDELIFTER (ELEVADOR LATERAL)	17
4.1.1.6. GRÚAS PUENTE	17
4.1.1.7. GRÚAS FLOTANTES	18
4.2. CORONAS DE ORIENTACION ^{[8][9]}	19
4.2.1. Coronas de orientación de una hilera de bolas	20
4.2.2. Coronas de orientación de una hilera de rodamientos	20
4.2.3. Coronas de orientación de dos hileras de rodillos	21
4.2.4. Coronas de orientación de tres hileras	21
4.2.5. Otros tipos de coronas	21
4.3. INTEGRACIÓN DEL PLC (PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER) ^{[10][11]}	23
4.3.1. Definición de PLC (Programmable Logic Controller)	23
4.3.2. Funcionamiento	24
4.3.3. SIEMENS LOGO	25
4.3.3.1. Definición y aplicaciones	25
4.3.3.2. Ventajas e inconvenientes	25

INDICES

4.3.3.3.	Características Siemens LOGO	26
4.4.	CELULA DE CARGA [12][13][14]	27
4.4.1.	ORIGENES	27
4.4.2.	PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO	28
4.4.2.1.	Célula de tensión en cable de acero	29
4.4.3.	MEDICIÓN Y ACONDICIONAMIENTO DE LA SEÑAL	30
4.4.3.1.	Excitación del puente	30
4.4.3.2.	Ampliación de la señal	30
4.4.3.3.	Equilibrado del puente	30
5.	CALCULO TEÓRICO DE LA ESTRUCTURA	32
5.1.	RESUMEN DE LAS DIMENSIONES Y CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LA GRÚA	32
5.2.	TEORÍA DEL CÁLCULO DE LA ESTRUCTURA	34
5.3.	DETERMINACIÓN DE LAS SOLICITACIONES	34
5.3.1.	<i>Clasificación de la grúa según servicio</i>	34
5.3.1.1.	Vida del mecanismo	34
5.3.1.2.	Estado de carga	35
5.3.1.3.	Clasificación del aparato	35
5.3.2.	<i>Solicitaciones a tener en cuenta</i>	36
5.3.2.1.	Solicitaciones principales.	37
5.3.2.2.	Solicitaciones debidas a movimientos verticales.	37
5.3.2.3.	Solicitaciones debidas a movimientos horizontales.	38
5.3.2.3.1.	Efectos de la fuerza centrífuga	38
5.3.2.3.2.	Efectos de choque de topes	38
5.3.2.4.	Solicitaciones debidas a efectos climáticos.	38
5.3.2.4.1.	Acción del viento	38
5.3.2.4.2.	Sobrecarga de nieve	43
5.3.2.4.3.	Variaciones de temperatura	43
5.3.2.5.	Solicitaciones diversas.	43
5.3.3.	<i>Determinación de combinaciones de solicitaciones.</i>	44
5.3.3.1.	Caso I. Aparato en servicio SIN viento.	44
5.3.3.2.	Caso II. Aparato en servicio CON viento.	44
5.3.3.3.	Caso III. Aparato sometido a solicitaciones excepcionales.	45
5.3.4.	<i>Resolución de cálculo de solicitaciones</i>	46
6.	CALCULOS EN SOFTWARE	52
6.1.	PREDIMENSIONAMIENTO CON WINEVA8	52
6.2.	ANÁLISIS POR ELEMENTOS FINITOS INVENTOR 2016	56
7.	CONCLUSIONES	61



8. BIBLIOGRAFÍA	63
------------------------	-----------

INDICE DE ILUSTRACIONES

- Figura 1. Grúa giratoria sobre raíles pico de pato.**
- Figura 2. Grúas pórtico sobre neumáticos.**
- Figura 3. Grúa pórtico y medidas generales.**
- Figura 4. Grúa semipórtico.**
- Figura 5. Grúa Ship to Shore.**
- Figura 6. Detalle de un spreader.**
- Figura 7. Grúa RTG.**
- Figura 8. Grúa VLG.**
- Figura 9. Un tipo de grúa MDBC.**
- Figura 10. Grúa torre.**
- Figura 11. Grúas trepadoras.**
- Figura 12. Grúas torre estacionarias en la construcción de la Sagrada Familia, Barcelona.**
- Figura 13. Grúas autodesplegables.**
- Figura 14. Grúa de elevación de carga lateral.**
- Figura 15. Grúas monorraíl y birraíl.**
- Figura 16. Carro del polipasto.**
- Figura 17. Grúa flotante.**
- Figura 18. Perfil de corona de una hilera de bolas.**
- Figura 19. Perfil corona de una hilera de rodillos.**
- Figura 20. Perfil de corona de dos hileras de rodillos.**
- Figura 21. Perfil de corona de tres hileras.**
- Figura 22. Excavadora de industria minera.**
- Figura 23. Resumen ciclo scan.**
- Figura 24. Autómata Siemens LOGO.**
- Figura 25. Célula para la medición de la tensión en cable de acero.**

Figura 26. Dimensiones principales de una grúa sin contrapeso.

Figura 27. Parámetros del coeficiente de sombra.

Figura 28. Estructura WinEva8.

Figura 29. Perfil tubular hueco.

Figura 30. Datos perfil tubular hueco.

Figura 31. Perfil IPE600.

Figura 32. Datos perfil IPE600.

Figura 33. Perspectivas diseño Invertor.

Figura 34. Detalle contacto rodamiento.

Figura 35. Detalle fijación de la base.

Figura 36. Configuración de la malla.

Figura 37. Vista de malla.

Figura 38. Detalle de la vista de malla.

Figura 39. Vista deformación eje Z.



INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Definición de la vida del mecanismo.

Tabla 2. Definición del estado de carga.

Tabla 3. Clasificación de aparatos.

Tabla 4. Equivalencia clasificación aparatos FEM-DIN.

Tabla 5. Representación de los valores de ξ .

Tabla 6. Valores de velocidades y presiones del viento.

Tabla 7. Determinación del coeficiente de "sombra", η .

Tabla 8. Valores de C para distintos tipos de estructuras.

Tabla 9. Determinación del coeficiente η .

Tabla 10. Valores de M en función del grupo.

1. RESUMEN

El objeto del proyecto es realizar el diseño de una grúa en voladizo giratoria, capaz de levantar el peso de embarcaciones pequeñas, tales como yates privados o pequeños pesqueros y balsas, cuyo peso nunca sea superior a 4.000 Kg.

La instalación de dicha grúa se llevará a cabo en el puerto de Barcelona, puesto que por volumen de trabajo, necesitan aumentar en una su número de grúas para sacar los barcos del puerto para su arreglo y mantenimiento habitual.

Una vez realizado el diseño de la estructura, con sus cálculos justificativos a través de software de diseño como Inventor, WinEva o Abaqus; se implementará una célula de carga controlada por PLC con el objeto de controlar los movimientos de la grúa así como mejorar la seguridad, puesto que si la carga que se quiere elevar es superior a la indicada, la grúa no funcionará.

1.1. Palabras clave

- Pluma: Es la viga horizontal sobre la cual se desliza el polipasto y que soporta el peso de la carga a levantar, puede ser fija o abatible en ciertos tipos de grúas.
- Polipasto: Es un conjunto de poleas fijas y/o móviles sobre las cuyas gargantas pasa una cuerda, cable o cadena, permitiendo levantar una carga con una gran ventaja mecánica, aplicando una fuerza menor que el peso a elevar.
- Corona de orientación: Uniones metálicas basadas en la tecnología de rodamientos. Soportan cargas axiales, radiales o movimientos de vuelco.
- PLC: Es la abreviatura de Programmable Logic Controller, se trata de una computadora utilizada para la automatización de procesos industriales sensorizados que indican el estado del proceso, permitiendo al autómatas ordenar a través de sus salidas (ya sean analógicas o digitales) realizar cambios en el mismo a través de actuadores

Actuador: Dispositivo capaz de transformar energía neumática, hidráulica o eléctrica en la activación de un proceso industrial con la finalidad de modificarlo.

2. ABSTRACT

The aim of the project is the design of a rotating cantilever crane, capable of lifting the weight of small vessels, such as private yachts or small fishing boats and rafts, whose weight never exceeds 4.000 Kg.

The installation of the crane will be held at Barcelona's port, the crane is needed because of the increment in the volume of work, the crane's work is to remove boats from the port for your arrangement and regular maintenance.

Once the design of the structure has been made, with its supporting calculations through design software such as Inventor, WinEva or Abaqus; a load cell controlled by PLC will be implemented in order to control the movement of the crane, as well as improve safety, because if the load that is going to be raised is higher than indicated, the crane will not work

3. INTRODUCCIÓN

La elección de este proyecto como TFG, viene dado a que su desarrollo requiere aplicar conocimientos de mecánica, elasticidad y resistencia de materiales, diseño de máquinas y el uso de software de diseño como Inventor, entre otros. Además, al implementar el PLC para el control de la grúa y la célula de carga, permite incluir también los campos de control y automatización.

El peso de este TFG se encuentra en el diseño y cálculo de la estructura y sus componentes, así como la implementación del PLC. Sin embargo, no se entrará en profundidad en el presente trabajo en el cálculo de los motores necesarios para el movimiento de la pluma de la grúa ni en la cimentación.

4. ESTADO DEL ARTE

4.1. INTRODUCCION A LAS GRÚAS [1][2][3][4][5][6][7]

La grúa es el principal elemento que se utiliza para la elevación de cargas en construcciones o instalaciones industriales. Pueden cargar una gran variedad de pesos, desde unos cientos de kilos, hasta miles de toneladas.

Las grúas han evolucionado enormemente desde los primeros dispositivos para elevar pesos, como poleas, palancas o planos inclinados, hasta la actualidad, donde hay muchos tipos diferentes según el tipo de mecanismo que utilicen, la cantidad de peso que soportan y la movilidad de la misma.

4.1.1. TIPOS DE GRUAS

Como se ha dicho anteriormente, existen diversos tipos de grúas en base a diversos criterios según la norma UNE 58-531-89.

Según sea la base sobre la que se monta:

- Montada sobre ruedas: aquella cuya base está equipada de ruedas para su desplazamiento, que puede ser de desplazamiento rápido, todoterreno o mixta.
- Montada sobre cadenas: aquella cuya base está equipada de cadenas para su desplazamiento.
- Montada sobre bases especiales: aquella cuya base está equipada para su desplazamiento de otros distintos de ruedas o cadenas.

Según su estructura:

- De estructura giratoria: aquella cuya estructura superior completa, incluida pluma y equipo de mando, gira sobre su base.
- De pluma giratoria: aquella cuya estructura superior, incluida la pluma, sin equipo de mando, gira sobre su base.
- De pluma fija: aquella cuya estructura superior, incluida la pluma, es fija respecto a su base.
- Grúa articulada: aquella cuya estructura superior, incluida la pluma, es fija respecto a una base articulada.

Según los tipos de plumas:

- Pluma de longitud fija: pluma de longitud de funcionamiento fija que puede variarse con la incorporación o eliminación de elementos, pero no puede modificarse durante el ciclo de trabajo.

- Pluma de celosía: pluma de longitud fija de estructura de tipo de celosía.
- Pluma telescópica: formada por varias secciones que permiten variar su longitud por un procedimiento telescópico.
- Pluma sobre mástil: montaje compuesto de una pluma dispuesta en, o cerca de, la cabeza de un mástil vertical o casi vertical.

4.1.1.1. GRUA PICO PATO

Estas grúas de puerto mantienen la cota de la carga por medio de un sistema de articulaciones que hace que la pluma de la grúa funcione como un mecanismo.

El giro se consigue mediante un grupo moto-reductor fijado en el lateral del castillete y una corona dentada fija en la parte superior del pivote. Éste dispositivo permite un giro de 360° controlado por la botonera de mando. Este mecanismo además de hacer girar la superestructura de la grúa, debe controlar el momento de vuelco debido a la excentricidad de la carga y peso propios.



Figura 1. Grúa giratoria sobre raíles pico de pato.

El mecanismo que mantiene la cota de la carga es automático, de forma que no es necesario actuar sobre el cable de elevación. El movimiento de cambio de alcance, al igual que el resto de movimientos que caracterizan este modelo de grúa, se realiza mediante manipuladores progresivos y electroválvulas proporcionales dotando a la grúa de movimientos con velocidad variable y controlada.

4.1.1.2. PÓRTICOS AUTOMONABLES SOBRE NEUMATICOS

Es un sistema cuya estructura es parecida a las grúas pórtico, compuesto por 4 columnas apoyadas sobre neumáticos de gran resistencia, pueden elevar cargas de hasta 1.000 toneladas. Existen las sumergibles y las terrestres.

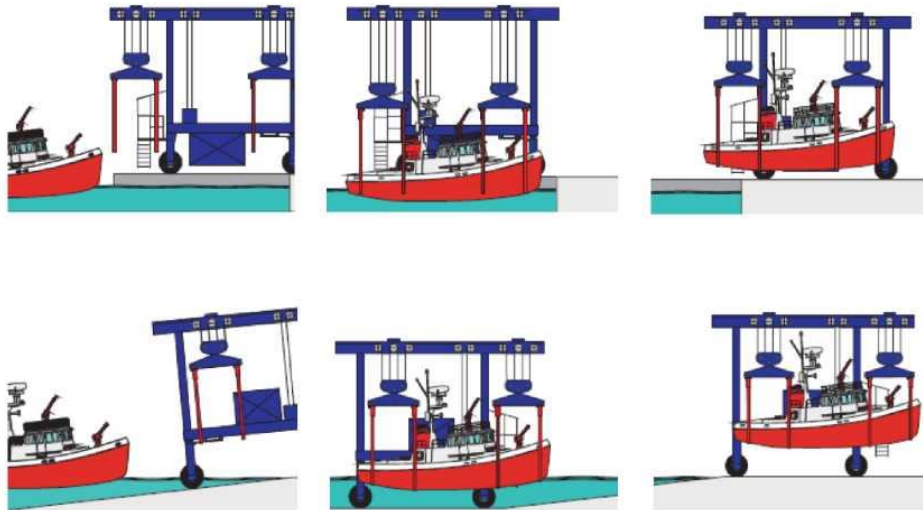
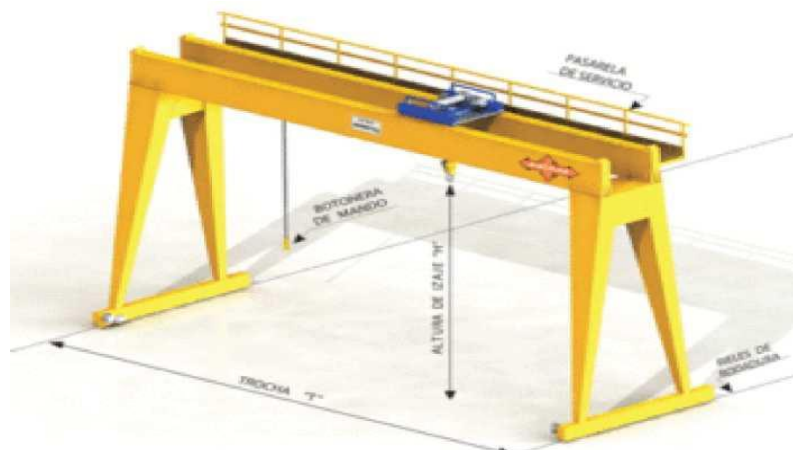


Figura 2. Grúas pórtico sobre neumáticos.

4.1.1.3. GRÚAS PÓRTICO Y SEMIPÓRTICO

A las grúas pórtico se les denomina así por su forma, están fabricadas en acero o aluminio. Constan de un puente elevado soportado por dos extremos creando un arco. Pueden desplazar las cargas horizontal, vertical y lateralmente con la ayuda de sus guinchos (cabestrante, dispositivo mecánico, impulsado por un motor eléctrico, destinado a levantar y desplazar grandes cargas). Se mueven sobre raíles y se sustentan sobre sus cuatro patas, ubicadas en las zonas de maniobra, para efectuar los movimientos de traslación y elevación. Pueden levantar cargas de hasta 15 toneladas.

Figura 3. Grúa pórtico y medidas generales.



En el caso de las grúas semipórtico, uno de sus caminos de maniobra permanece unido a rieles, mientras que el otro se mueve con ruedas. Éste último es el punto de apoyo que permanece en el suelo. Los otros dos están elevados sobre pilares o columnas. Se pueden ver tanto en exteriores como en la industria.



Figura 4. Grúa semipórtico.

4.1.1.3.1. STS (Ship to Shore)

Están diseñadas para la carga y descarga de mercancías del buque al muelle y viceversa. Sus principales características son la precisión, la rapidez y su fácil manejo. Su tamaño dependerá de las características del muelle, el barco y las mareas. Su potencia puede ser regulada según el peso de la carga a trasladar.



Figura 5. Grúa Ship to Shore.

4.1.1.3.2. RTG (Rubber Tyred Gantry)

Grúa semipórtico cuya energía la produce un generador con motor diésel, lo que evita utilizar cables. Pueden trasladar contenedores de 6, 12 y 14 metros gracias a su sistema de elevación (spreader) telescópico, incluso dos contenedores de 6 metros al mismo tiempo, siendo la carga máxima de 40 a 60 toneladas. Tienen una capacidad de apilamiento de contenedores de 4 a 6 verticalmente y de 6 a 8 horizontalmente.



Figura 6. Detalle de un spreader.



Figura 7. Grúa RTG.

4.1.1.3.3. VLG (Vessel Lift Grantry)

Se trata de las grúas pórtico que se emplean en los puertos con el objetivo de varar las embarcaciones que está en reparación. Estas hacen uso de eslingas, las cuales se emplean para agarrar las cargas y así levantarlas y trasladarlas a un lugar determinado. No necesariamente requieren un camino de rodadura para sus ruedas, que pueden girar hasta en un ángulo de 90°.

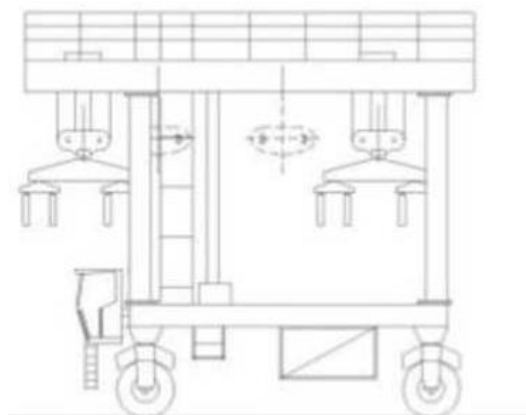


Figura 8. Grúa VLG.

4.1.1.3.4. MDBC (Multipurpose Double Boom Crane)

Como su nombre indica, sus aplicaciones son múltiples, su alcance y carga máxima son variables en función del uso que se le vaya a dar, al igual que su diseño, ya que pueden ser transportadas incorporadas a medios de transporte o ser fijas, con brazos articulados o telescópicos, etc.



Figura 9. Un tipo de grúa MDBC.

4.1.1.4. GRÚAS TORRE

Grúa con pluma, ubicada en la parte superior de una torre vertical. Realiza su función de carga y descarga con la ayuda de un gancho suspendido de un cable. Es muy utilizada en el sector de la construcción.



Figura 10. Grúa torre.

Están compuestas principalmente por un gancho, lastre, base, torre corona de giro, soporte giratorio, contrapeso, pluma, carro de pluma y contrapluma. Las grúas torre son muy sensibles al viento, si éste sobrepasa la velocidad de 64km/h se debe parar el trabajo, para que no halla riesgos de volcamiento.

4.1.1.4.1. GRÚA DE TORRE TREPADORA

Se suele instalar sobre una de las plantas de una obra que está en construcción. Suele dar movimientos verticales ya sea en descenso o en ascenso a medida que avanza la construcción.

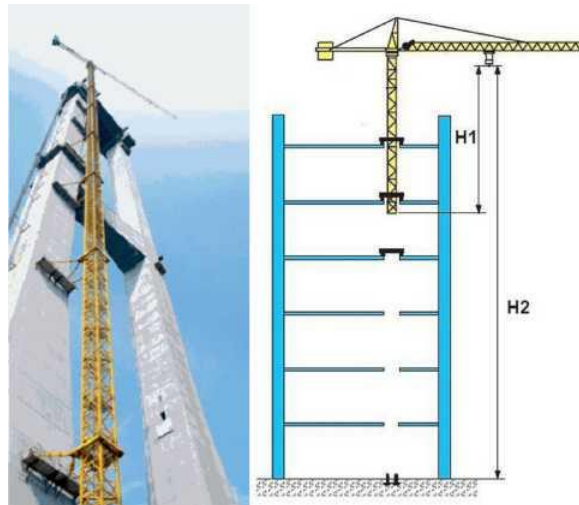


Figura 11. Grúas trepadoras.

4.1.1.4.2. GRÚA DE TORRE DESMONTABLE

Empleadas para cargar y descargar pesos de forma consecutiva y repetitiva.

4.1.1.4.3. GRÚA DE TORRE ESTACIONARIA

No permiten movimientos de traslación ya que su base está fija o no se puede ser desplazada debido al emplazamiento donde se encuentran.



Figura 12. Grúas torre estacionarias en la construcción de la Sagrada Familia, Barcelona.

4.1.1.4.4. GRÚA AUTODESPLEGABLE

Es aquella cuya torre está constituida por un solo bloque y que no requiere elementos estructurales adicionales para su instalación y que puede ir provista de ruedas para facilitar su desplazamiento.

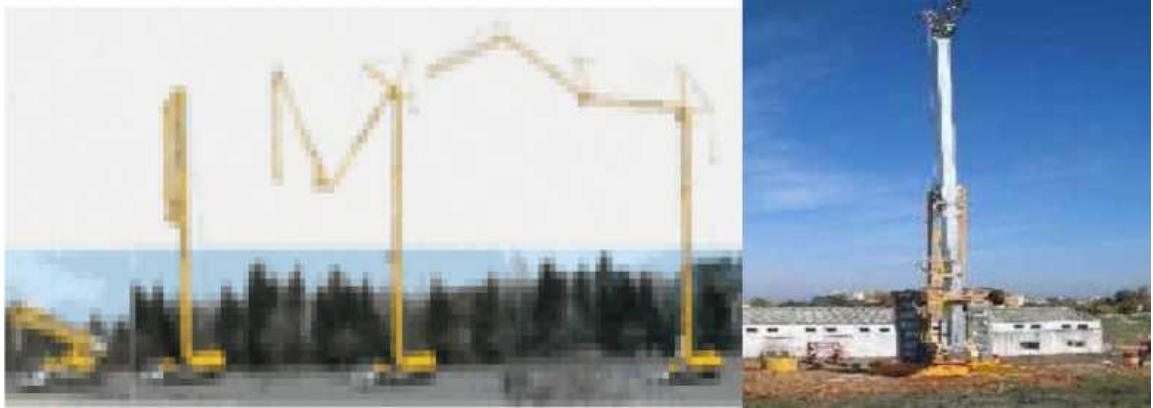


Figura 13. Grúas autodesplegables.

4.1.1.5. SIDELIFTER (ELEVADOR LATERAL)

Su uso está más vinculado al ferrocarril. Se utiliza tanto en trenes como en camiones, apoyándose sobre el lateral de estos así como en el suelo, para cargar y descargar los contenedores de manera lateral.



Figura 14. Grúa de elevación de carga lateral.

4.1.1.6. GRÚAS PUENTE

Es muy utilizado en la industria debido a que ocupa poco espacio y se puede mover fácilmente en todo el espacio de la planta. El polipasto o mecanismo de elevación se

apoya sobre el suelo o sobre uno (monorraíl) o dos caminos de rodadura (birraíl). Puede instalarse también en el techo de una nave.



Figura 15. Grúas monorraíl y birraíl.



Figura 16. Carro del polipasto.

4.1.1.7. GRÚAS FLOTANTES

Es la grúa con mayor capacidad de elevación y puede soportar más de 10.000 toneladas. Se emplean generalmente para la construcción de puertos y puentes. Algunas son fijas, como es el caso de plataformas marítimas en las que se realicen trabajos constantes, otras se incorporan a barcos especiales para transportarlas a donde sean requeridas.

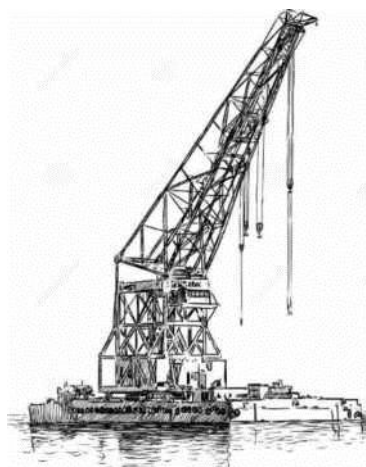


Figura 17. Grúa flotante.

4.2. CORONAS DE ORIENTACION [8][9]

Las coronas de orientación son rodamientos de gran tamaño especialmente diseñados para soportar las oscilaciones. Constan de un aro interior y un aro exterior, uno de los cuales suele incorporar un engranaje. Los caminos de rodadura de la corona, junto con los elementos rodantes (y las jaulas o distanciadores), están diseñados para soportar las cargas, actuando individualmente o en combinación, y en cualquier dirección.

Unas obturaciones integrales de caucho sintético protegen la corona eficazmente de la entrada de contaminantes, además de evitar los escapes de grasa. Comparadas con la disposición de giro tradicional, las coronas de orientación ofrecen muchas ventajas funcionales y de diseño.

El conjunto es mucho más compacto y su centro hueco permite la instalación de mecanismos de transmisión y el paso de diversos dispositivos de control, mientras que las superestructuras de la parte giratoria son más accesibles. La pequeña diferencia de altura entre el aro dentado y el aro sin dentado permite que el piñón de ataque sobresalga menos.

Las coronas de orientación se utilizan en infinidad de aplicaciones comprendidas en la generación eólica, la industria minera, la del acero como así también en la naval y la ferroviaria.

Son rodamientos de rodillos cilíndricos o de bolas (o combinaciones de ambos), capaces de absorber cargas axiales, radiales y cargas puntuales que actúen individualmente o en combinación y en cualquier sentido. Las coronas de orientación se diferencian de los rodamientos convencionales por no estar montados sobre un eje ni en un soporte; son atornilladas sencillamente a las superficies de asiento. Con este fin, los aros exterior e interior cuentan con orificios que sirven para acomodar los tornillos de fijación. Estos orificios pueden estar roscados.

4.2.1. Coronas de orientación de una hilera de bolas

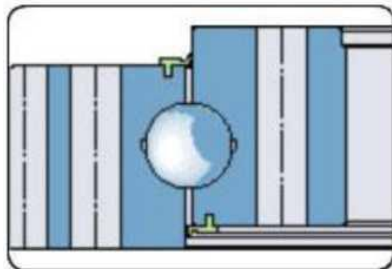


Figura 18. Perfil de corona de una hilera de bolas.

Las coronas de orientación de una hilera de bolas son rodamientos de bolas con cuatro puntos de contacto. Un ejemplo de aplicación para este tipo de coronas es en palas mecánicas o retroexcavadoras.

4.2.2. Coronas de orientación de una hilera de rodillos

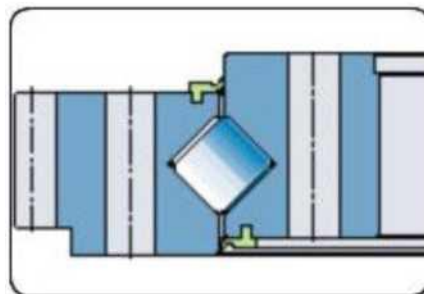


Figura 19. Perfil corona de una hilera de rodillos.

Las coronas de orientación de una hilera de rodillos son rodamientos de rodillos cilíndricos cruzados. Pueden solicitarse con o sin engranajes integrales. Un ejemplo de aplicación para este tipo de coronas es en algunos modelos de grúas.

4.2.3. Coronas de orientación de dos hileras de rodillos

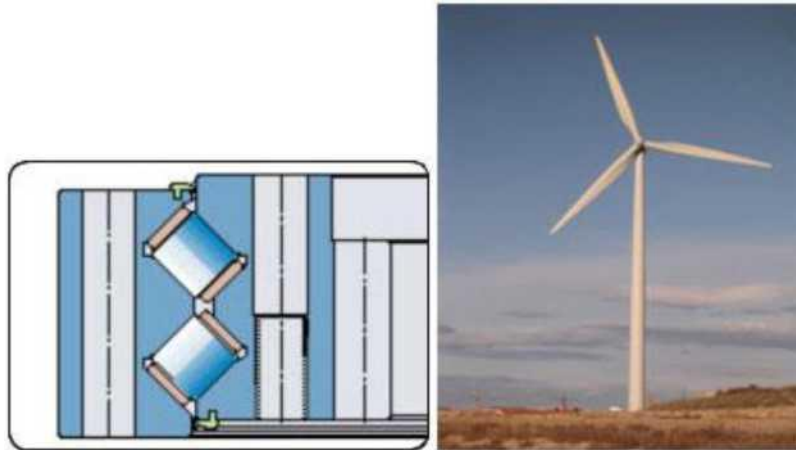


Figura 20. Perfil de corona de dos hileras de rodillos.

Estas coronas de orientación son rodamientos de rodillos cilíndricos con contacto angular. Pueden solicitarse con o sin engranajes integrales. Existe gran variedad de coronas de doble hilera de bolas precargadas ampliamente utilizadas en generadores eólicos.

4.2.4. Coronas de orientación de tres hileras

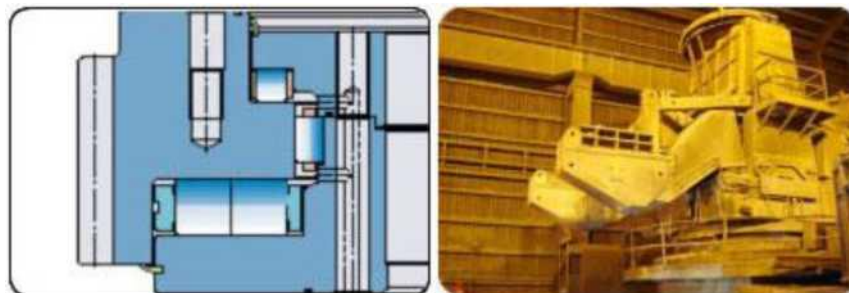


Figura 21. Perfil de corona de tres hileras.

Las coronas de orientación de tres hileras son rodamientos de rodillos cilíndricos radiales y axiales combinados, para cargas muy elevadas con un aro enterizo y otro segmentado. Una aplicación típica de estas coronas es, por ejemplo, en tolvas de llenado en la industria del acero.

4.2.5. Otros tipos de coronas

- Coronas de orientación de rodamientos de bolas.
- Coronas de orientación como rodamientos de dos hileras de bolas con contacto angular.
- Coronas de orientación de deslizamiento en seco.

- Coronas de orientación con accionamiento integral. Las coronas de orientación con accionamiento integral se aplican en excavadoras en la industria minera.



Figura 22. Excavadora de industria minera.

4.3. INTEGRACIÓN DEL PLC (PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER)^{[10][11]}

Una vez realizado el estudio de los PLC's del mercado, sabiendo que sólo se ha de controlar 3 movimientos, subir o bajar carga, desplazar la misma hacia adelante o hacia atrás y lateralmente a derecha o izquierda, se ha optado por uno sencillo, el SIEMENS LOGO.

4.3.1. *Definición de PLC (Programmable Logic Controller)*

El PLC es un dispositivo de estado sólido, diseñado para controlar procesos secuenciales (una etapa después de la otra) que se ejecutan en un ambiente industrial. Es decir, que van asociados a la maquinaria que desarrolla procesos de producción y controlan su trabajo.

Es un sistema, porque contiene todo lo necesario para operar, y es industrial, por tener todos los registros necesarios para operar en los ambientes hostiles que se encuentran en la industria.

Un PLC realiza, entre otras, las siguientes funciones:

- Recoger datos de las fuentes de entrada a través de las fuentes digitales y analógicas.
- Tomar decisiones en base a criterios pre-programados.
- Almacenar datos en la memoria.
- Generar ciclos de tiempo.
- Realizar cálculos matemáticos.
- Actuar sobre los dispositivos externos mediante las salidas analógicas y digitales.
- Comunicarse con otros sistemas externos.

Los PLC se distinguen de otros controladores automáticos, en que pueden ser programados para controlar cualquier tipo de máquina, a diferencia de otros controladores (como por ejemplo un programador o control de la llama de una caldera) que, solamente, pueden controlar un tipo específico de aparato.

Además de poder ser programados, son automáticos, es decir son aparatos que comparan las señales emitidas por la máquina controlada y toman decisiones en base a las instrucciones programadas, para mantener estable la operación de dicha máquina.

Puedes modificar las instrucciones almacenadas en memoria, además de monitorizarlas.

4.3.2. Funcionamiento

Una vez que se pone en marcha, el procesador realiza una serie de tareas según el siguiente orden:

- a) Al encender el procesador ejecuta un auto-chequeo de encendido y bloquea las salidas. A continuación, si el chequeo ha resultado correcto, el PLC entra en el modo de operación normal.
- b) El siguiente paso lee el estado de las entradas y las almacena en una zona de la memoria que se llama tabla de imagen de entradas.
- c) En base a su programa de control, el PLC actualiza una zona de la memoria llamada tabla de imagen de salida.
- d) A continuación el procesador actualiza el estado de las salidas "copiando" hacia los módulos de salida el estado de la tabla de imagen de salidas (de este modo se controla el estado de los módulos de salida del PLC, relay, triacs, etc.).
- e) Vuelve a ejecutar el paso b).

Cada ciclo de ejecución se llama ciclo de barrido (scan), el cual normalmente se divide en:

- Verificación de las entradas y salidas
- Ejecución del programa

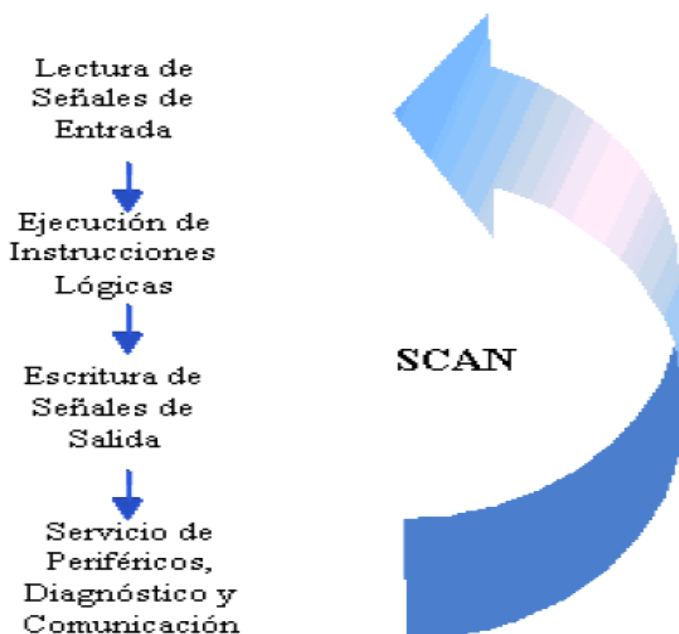


Figura 23. Resumen ciclo scan.

4.3.3. SIEMENS LOGO

4.3.3.1. Definición y aplicaciones

Es un módulo lógico, es decir, un controlador programable que permite que sin intervención humana, las máquinas hagan un trabajo. Es necesario programar el LOGO para que este haga una tarea.

Básicamente funciona de la siguiente manera: al LOGO le das como datos de entrada una serie de señales, las cuales van a ser procesadas en el programa, y el LOGO! va a dar unos datos de salida.

Esto en el mundo real se traduce en unos pulsadores, manetas, sensores etc (datos de entrada), un procesamiento en el LOGO y una activación o no de salidas de relé (datos de salida).

Principalmente sirve para pequeñas automatizaciones y domótica. Se trata de un autómatas de poca potencia en comparación con otros modelos de SIEMENS como las series 200, 300, 1200 o 1500. Eso no implica que no se puedan hacer pequeñas automatizaciones, sino que está mucho más limitado su poder de procesamiento, su número de entradas y su número de salidas.

Es típico para automatizar sistemas de riego, parking, arranque de motores, alumbrado, calefacción etc. Es decir, instalaciones sencillas o pequeñas máquinas.

Todo aquello que no lleve más de 15 entradas y no mucho más de media docena de salidas seguramente pueda ser programado con un LOGO. Si tiene más requerimientos, probablemente haya que ir a autómatas de mayor capacidad.

4.3.3.2. Ventajas e inconvenientes

Las ventajas son muchas:

- Son aparatos asequibles en precio.
- Por ser programable, es flexible y versátil. Puedes hacer muchas cosas con ellos.
- Ahorra mucho cableado.
- Es mucho más fácil de mantener en caso de tener que realizar modificaciones.
- Es escalable: se pueden añadir más o menos entradas y salidas.
- Puede tener una pantalla asociada de mando.

La principal desventaja de este producto es el limitado número de entradas y salidas de los que dispone, aunque para el uso que se le va a dar, serán, en principio más que suficientes.



Figura 24. Autómata Siemens LOGO.

4.3.3.3. Características Siemens LOGO

- Rango de temperaturas de funcionamiento de -20 a 55°C.
- Comunicación integrada Modbus TCP/IP, sincronización de fecha y hora a través de NTP (Network Time Protocol).
- 8 unidades básicas para todos los voltajes, con o sin display.
- Todas las unidades integran interfaz Ethernet.
- Web Server integrado en todas las unidades.
- 7 módulos de ampliación digital y 3 analógicos.
- Se incrementa el número de salidas digitales a 20 y 8 salidas analógicas.
- Comunicaciones a través de la red de telefonía móvil.

4.4. CELULA DE CARGA [12][13][14]

Las células de carga (o celda de carga) es un transductor que convierte la fuerza aplicada sobre él en una señal eléctrica medible. A pesar de existir varios tipos de sensores, las células de carga son el sensor de fuerza más común del mercado.

4.4.1. ORIGENES

Antes de que las células de carga a base de galgas extensiométricas se convirtieran en el método de elección para aplicaciones de pesaje industriales, las básculas de palanca mecánicas fueron ampliamente usadas. Las básculas mecánicas pueden pesar de todo, desde pastillas hasta vagones de ferrocarril, y pueden hacerlo con precisión y fiabilidad si están debidamente calibradas y mantenidas. El método de funcionamiento puede implicar el uso de un mecanismo de equilibrio de peso o la detección de la fuerza desarrollada por palancas mecánicas. Los primeros sensores de fuerza incluyeron diseños hidráulicos y neumáticos.

En 1843, el físico inglés Sir Charles Wheatstone diseñó un circuito de puente que podía medir resistencias eléctricas. El circuito de puente de Wheatstone es ideal para medir los cambios en la resistencia que se producen en medidores de deformación. Aunque el primer indicador de tensión de alambre de resistencia pegado se desarrolló en la década de 1940, no fue hasta que la electrónica moderna se puso al día, que la nueva tecnología se volvió técnicamente y económicamente viable. Desde ese momento, sin embargo, los medidores de deformación han proliferado tanto como componentes de báscula mecánicos así como células de carga independientes.

Hoy en día, a excepción de determinados laboratorios donde todavía se utilizan las balanzas mecánicas de precisión, las células de carga medidores de deformación dominan la industria de pesaje. Las células de carga neumáticas se utilizan a veces cuando se desea la higiene y seguridad intrínseca, y las células de carga hidráulicas se consideran en lugares remotos, ya que no requieren una fuente de alimentación. Las células de carga extensométricas ofrecen precisiones desde 0,03% a 0,25% de la escala completa y son adecuadas para casi todas las aplicaciones industriales.

En aplicaciones que no requieren una gran precisión, como en la manipulación de material de granel y el pesaje de camiones, las balanzas de plataforma mecánicas son todavía ampliamente utilizadas. Sin embargo, incluso en estas aplicaciones, las fuerzas transmitidas por las palancas mecánicas a menudo son detectadas por las células de carga, debido a su compatibilidad inherente con la instrumentación informatizada digital.

4.4.2. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO

Los diseños de células de carga se pueden distinguir de acuerdo con el tipo de señal de salida generada (neumático, hidráulico, eléctrico) o de acuerdo con la forma en que detectan el peso (flexión, cizalladura, compresión, tensión, etc).

Las células de carga hidráulicas son dispositivos de equilibrio de fuerza que miden el peso como un cambio en la presión del fluido de llenado interno. En una célula de carga hidráulica de tipo diafragma, una carga o fuerza actúa sobre una cabeza de carga que se transfiere a un pistón el cual a su vez comprime un fluido de llenado confinado dentro de una cámara de diafragma elastomérico. A medida que aumenta la fuerza, la presión del fluido hidráulico se eleva. Esta presión puede ser indicada o transmitida a nivel local para una indicación o control remoto. La salida es lineal y relativamente no afectada por la cantidad del fluido de llenado o por su temperatura. Si las células de carga han sido correctamente instaladas y calibradas, la precisión puede ser de 0,25% a escala completa o mejor, lo que resulta aceptable para la mayoría de las aplicaciones de pesaje de proceso. Debido a que este sensor no tiene componentes eléctricos, es ideal para uso en áreas peligrosas.

Un inconveniente es que el diafragma elastomérico limita la fuerza máxima que puede ser ejercida sobre el pistón a aproximadamente 70kg/cm². Todas las células de carga de metal también están disponibles y pueden adaptarse a presiones mucho más altas. Las células de carga de metal especiales han sido construidas para detectar un peso de hasta 5000 toneladas.

Las aplicaciones típicas de células de carga hidráulicas incluyen el peso de tanques y recipientes. Para una máxima precisión, el peso del tanque debe ser obtenido localizando una célula de carga en cada punto de soporte, y sumando sus salidas. Como tres puntos definen un plano, el número ideal de puntos de soporte es tres. Las salidas de las células pueden ser enviadas a un totalizador hidráulico que resume las señales de las células de carga y genera una salida que representa la suma. Los totalizadores electrónicos también pueden ser utilizados.

Las células de carga neumáticas también operan en el principio de equilibrio de fuerzas. Estos dispositivos utilizan múltiples cámaras amortiguadoras para proporcionar una mayor precisión que un dispositivo hidráulico. En algunos diseños, la primera cámara del amortiguador se usa como una cámara de tara. Las células de carga neumáticas se utilizan a menudo para medir pesos relativamente pequeños en las industrias donde la limpieza y la seguridad son la principal preocupación.

Las ventajas de este tipo de célula de carga incluyen su resistencia a explosiones y su insensibilidad a las variaciones de temperatura inherentes. Además, no contienen líquidos que puedan contaminar el proceso en el caso de que la membrana se rompiera. Las desventajas incluyen la velocidad de respuesta relativamente lenta y la necesidad de aire limpio, seco, regulado o de nitrógeno.

Las células de carga extensométricas convierten la carga que actúa sobre ellas en señales eléctricas. Los propios medidores están unidos a una viga o elemento estructural que se deforma cuando se le aplica un peso. En la mayoría de los casos, se utilizan cuatro medidores de deformación para obtener la máxima sensibilidad y compensación de temperatura. Dos de los medidores están por lo general en tensión, y dos en compresión, y se conectan con ajustes de compensación (como se muestra abajo, izquierda). Cuando se aplica un peso, la tensión cambia la resistencia eléctrica de los medidores en proporción a la carga.

4.4.2.1. *Célula de tensión en cable de acero*

Se trata de un tipo de célula capaz de medir la tensión existente en un cable de acero, permitiendo de esta manera conocer la carga a la que se ve sometido.

Tienen un amplio rango de medida, 2.000, 4.000, 10.000, 20.000 y 40.000 kg, y es fácilmente acoplable en cables de diámetros de 6 a 36 mm debido a que dispone de un montaje rápido, incluso en sistemas de elevación ya diseñados.

Tiene una precisión de $\pm 2\%$ de su fondo de escala, con un grado de protección IP67, fabricadas con un acero especial-



Figura 25. Célula para la medición de la tensión en cable de acero.

4.4.3. MEDICIÓN Y ACONDICIONAMIENTO DE LA SEÑAL

4.4.3.1. *Excitación del puente*

Los acondicionadores de señal de las células de carga proporcionan normalmente una fuente de tensión constante para alimentar el puente. Si bien no existe un nivel de tensión estándar que sea reconocido ampliamente en la industria, la tensión de excitación se haya generalmente en torno a unos niveles de 3 a 10V. Si bien, una mayor tensión de excitación genera proporcionalmente una mayor tensión de salida, una tensión mayor puede causar también mayores errores debidos al auto-calentamiento. Es muy importante que la tensión de excitación sea muy precisa y estable.

4.4.3.2. *Ampliación de la señal*

La salida de las células de carga y de los puentes es relativamente pequeña. En la práctica, la mayoría de células de carga y de los transductores basados en células de carga proporcionan una salida de menos de 10mV/V (10mV de salida por voltio de tensión de excitación). Con una tensión de excitación de 10V, la señal de salida es de 100mV. Por lo tanto, un acondicionador de señal de una célula de carga incluye generalmente un amplificador para amplificar la señal y así incrementar el nivel de resolución de la medida y mejorar la relación señal-ruido.

4.4.3.3. *Equilibrado del puente*

Cuando se instala un puente es muy poco probable que el puente de cómo salida exactamente 0V cuando no se aplica tensión. Por el contrario, ligeras variaciones en la resistencia entre las ramas del puente y la resistencia de los cables pueden generar una tensión inicial distinta de 0V (tensión de 'offset'). Existen distintos modos en que un sistema puede manejar esta tensión inicial de 'offset':

- **Compensación por Software:** Compensa la tensión inicial de 'offset' mediante software. Con este método, se toma una medida inicial antes de aplicar la tensión de entrada. Esto también se conoce como auto-cero. Este método es simple, rápido y no requiere ajustes manuales. La desventaja del método de compensación por software es que no se eliminará la tensión real de 'offset' del puente. Si el 'offset' es lo suficientemente grande, se limitará la ganancia que el amplificador puede aplicar la tensión de salida, por lo tanto limitará el rango dinámico de la medida.

- **Circuito de anulación del 'offset':** Utiliza una resistencia regulable, o potenciómetro, para ajustar físicamente la salida del puente a 0V. Al variar la posición del potenciómetro se puede controlar el nivel de la salida del puente - ajuste inicial de la salida a 0V.
- **Anulación del 'offset' mediante 'buffer':** Al igual que el método de equilibrado por software, no afecta al puente directamente. Con un buffer de anulación, un circuito de anulación añade una tensión ajustable a la salida del amplificador de instrumentación.

5. CALCULO TEÓRICO DE LA ESTRUCTURA

5.1. RESUMEN DE LAS DIMENSIONES Y CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES DE LA GRÚA

DIMENSIONES Y CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES	
Capacidad de carga (Tn)	4
Alcance máx. (m)	3,5
Alcance mín. (m)	2
Altura total (m)	8
Longitud de la columna (m)	7
Altura bajo gancho (m)	6,5
Cota de polipasto (m)	0,5
Longitud de la pluma (m)	3,6 (3,5+0,1)
Longitud de la contrapluma (m)	2
Recorrido del gancho (m)	10
Velocidad de elevación (m/min)	0,16
Velocidad de traslación (m/min)	0,25
Velocidad de giro (rpm)	0,5
Ángulo cubierto (°)	360°
Peso del polipasto (kg)	600
Estructura	Metálica
Sistema de elevación y traslación	Polipasto eléctrico
Sistema de giro	Eléctrico por botonera
Corriente de alimentación (V)	Corriente alterna trifásica 220/380 V, 50 Hz.
Mando	Por botonera
Grupo FEM	Ver página 3-5 (M6)
Peso del contrapeso (kg)	6000

En el siguiente esquema de una estructura general de una grúa, se especifican visualmente las cotas mencionadas anteriormente:

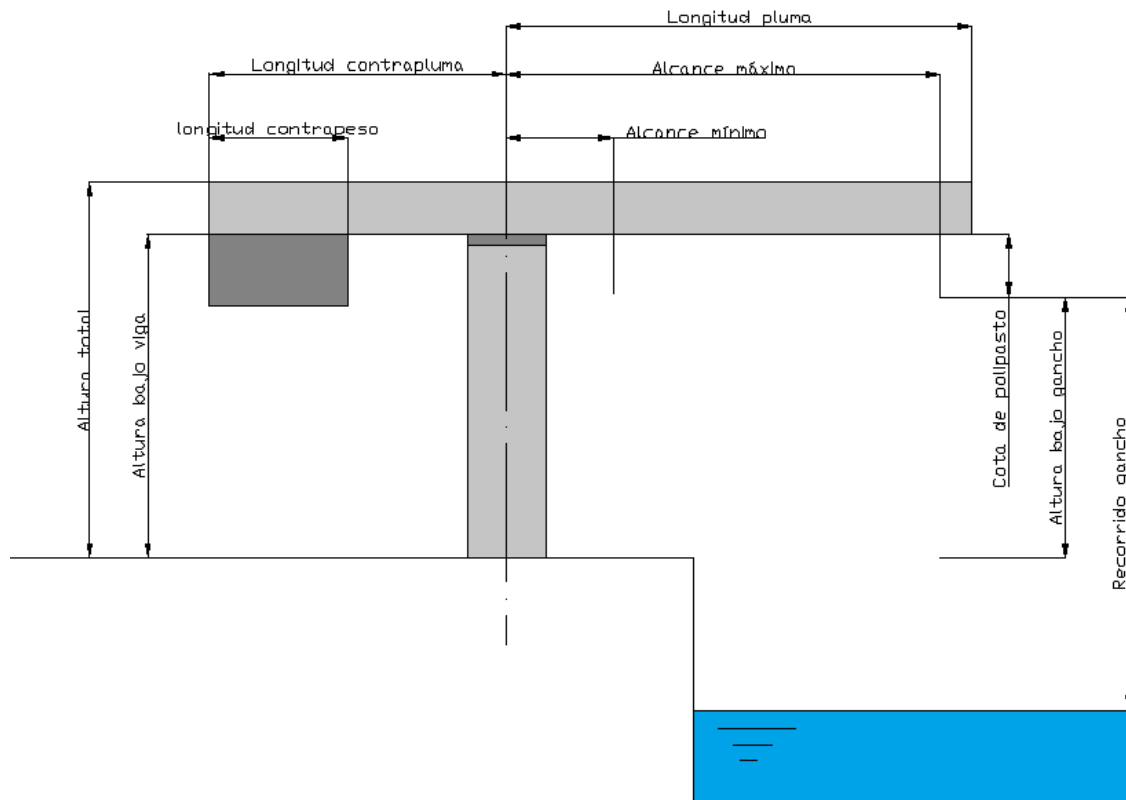


Figura 26. Dimensiones principales de una grúa con contrapeso.

5.2. TEORÍA DEL CÁLCULO DE LA ESTRUCTURA

Para el cálculo de la estructura y sus diferentes componentes, se va a seguir el proceso de diseño de grúas del libro "GRÚAS" de Emilio Larrodé y Antonio Miravete, según las normas FEM.

Según el mencionado libro, la técnica de cálculo de una estructura se compone de varias fases:

- a) Determinación de solicitudes, y combinaciones de ellas que actúan en la estructura.
- b) Obtención de los desplazamientos, esfuerzos, tensiones y reacciones existentes en cada uno de los elementos resistentes mediante el proceso de cálculo correspondiente.
- c) Comprobación de los valores obtenidos con los valores de elasticidad, resistencia y estabilidad.

Para poder obtener la estructura, debemos partir en primer lugar de una hipótesis como la forma de la grúa, lo que permite sacar una aproximación del peso para el cálculo y los prediseños de los perfiles y secciones a emplear.

Una vez el diseño de la grúa esté completo, se puede comprobar el comportamiento de la estructura mediante elementos finitos.

5.3. DETERMINACIÓN DE LAS SOLICITACIONES

Las solicitudes existentes sobre una estructura de un aparato de elevación se van a calcular mediante la normativa de la norma de la Federación Europea de la Manutención (FEM).

5.3.1. *Clasificación de la grúa según servicio*

Para la aplicación de la norma, los aparatos están clasificados en diferentes grupos en función del servicio.

Los dos factores que se consideran para determinar el grupo son la vida del mecanismo y el estado de carga.

5.3.1.1. *Vida del mecanismo*

La vida del mecanismo representa el número de horas de funcionamiento real que se estima va a tener el mecanismo a lo largo de su servicio. Al ser desconocido este número de horas, se han definido siete grupos, que aparecen en la siguiente tabla:

Tabla 1. Definición de la vida del mecanismo.

Grupo	A	B	C	D	E	F	G
Vida en horas	800	1600	3200	6300	12500	25000	50000

Se define el grupo D al estimar un uso de 3 horas al día, durante 150 días al año, para 14 años.

5.3.1.2. Estado de carga

El estado de carga representa en qué medida, el aparato levanta la carga máxima o una carga reducida.

Esta idea está caracterizada por un espectro de cargas elevadas, indicando el número de ciclos para los cuales el aparato es capaz de levantar una fracción de la carga máxima. En la práctica, se consideran 4 estados de carga, caracterizadas por el valor k , representando la frecuencia de la carga máxima durante el servicio de un número de ciclos determinado.

$$k = \frac{N^{\circ} \text{ de veces de elevación de la carga máxima}}{N^{\circ} \text{ de veces de elevación de cargas pequeñas, medianas y máximas}}$$

Tabla 2. Definición del estado de carga.

Estado de carga	Servicio	Factor k
1	Frecuencia muy reducida de la carga máxima	0.125
2	Frecuencia reducida de la carga máxima	0.250
3	Frecuencia aproximada igual de cargas pequeñas, medianas y máximas.	0.500
4	Frecuencia elevada de la carga máxima.	1.000

Se considera que la grúa va a levantar cargas de diversos pesos, suponiendo una frecuencia de pesos pequeños, cargas medias, y cargas pesadas sea parecida.

5.3.1.3. Clasificación del aparato

A partir de los dos conceptos definidos anteriormente, los aparatos se clasifican en seis grupos según la normativa FEM, ver tabla 4.

Tabla 3. Clasificación de aparatos.

		Vida del Mecanismo						
		A	B	C	D	E	F	G
Estado de Carga	1			M3	M4	M5	M6	M7
	2		M3	M4	M5	M6	M7	M8
	3	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M8
	4	M4	M5	M6	M7	M8	M8	M8

En la siguiente tabla, se puede ver la equivalencia entre la clasificación FEM y la DIN:

Tabla 4. Equivalencia clasificación aparatos FEM-DIN.

ESTADO DE CARGA		VIDA EN HORAS DE FUNCIONAMIENTO REAL DEL MECANISMO													
Factor K	SERVICIO	800		1600		3200		6300		12500		25000		50000	
0,125	Frecuencia muy reducida de la carga máxima					M3	1 Bm	M4	1 Am	M5	2m	M6	3m	M7	4m
0,250	Frecuencia reducida de la carga máxima			M3	1 Bm	M4	1 Am	M5	2m	M6	3m	M7	4m	M8	5m
0,500	Frecuencia aproximada igual de cargas pequeñas, medianas y máximas.	M3	1 Bm	M4	1 Am	M5	2m	M6	3m	M7	4m	M8	5m	M8	5m
1,000	Frecuencia elevada de la carga máxima	M4	1 Am	M5	2m	M6	3m	M7	4m	M8	5m	M8	5m	M8	5m

5.3.2. Solicitaciones a tener en cuenta

Para realizar el cálculo de la estura estas son los tipos de sollicitaciones que debemos tener en cuenta:

- Solicitaciones principales que se ejercen sobre la estructura del aparato supuesto inmóvil, en el estado de carga más desfavorable.
- Solicitaciones debidas a movimientos verticales.
- Solicitaciones debidas a movimientos horizontales.
- Solicitaciones debidas a efectos climáticos.

e) Solicitaciones diversas.

5.3.2.1. Solicitaciones principales.

Las sollicitaciones principales son las siguientes:

- Solicitaciones debidas a la carga de servicio, o peso de la carga útil, más el peso de los elementos accesorios, como el polipasto.
- Solicitaciones debidas al peso propio, o peso de todos los elementos que componen la grúa a excepción de la carga en servicio.

5.3.2.2. Solicitaciones debidas a movimientos verticales.

Estas sollicitaciones provienen de la manipulación de la carga de servicio, aceleraciones o deceleraciones sobre el movimiento de elevación y choques verticales debidos al rodamiento sobre las vías.

Las sollicitaciones debidas a la manipulación de la carga de servicio se tienen en cuenta multiplicando la carga de servicio por un factor denominado *coeficiente dinámico*, ψ .

$$Q_{LC} = Q_L * \psi$$

Este coeficiente está definido por:

$$\psi = 1 + \xi * V_L$$

Donde:

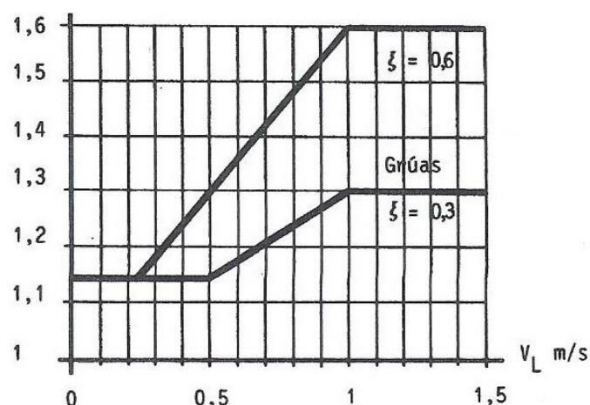
V_L =Velocidad de elevación (m/s)

ξ =Coeficiente experimental

- 0,6 para puentes grúa y pórticos
- **0,3 para grúas.**

Los valores de este coeficiente vienen dados por la siguiente tabla.

Tabla 5. Representación de los valores de ξ .



El coeficiente dinámico ψ tiene en cuenta la manipulación de la carga de servicio, que constituye el choque más importante. Por tanto, las solicitaciones debidas a aceleraciones o deceleraciones sobre el movimiento vertical son despreciables.

5.3.2.3. Solicitaciones debidas a movimientos horizontales.

Son las siguientes:

5.3.2.3.1. Efectos de la fuerza centrífuga

Se tiene en cuenta el esfuerzo horizontal que genera la aceleración debida al movimiento de giro de la grúa. La fuerza de inercia viene dada por:

$$F_{in} = a_G$$

5.3.2.3.2. Efectos de choque de topes

Esta solicitación solo se considera cuando el choque se produce sobre la estructura, o cuando se produce sobre la carga suspendida.

Para el caso de choque sobre estructura, éste se tiene en consideración cuando la velocidad de desplazamiento es superior a 0,7 m/s. Los esfuerzos resultantes sobre la estructura se calculan en función de la deceleración que el tope impone al aparato. Se admite que el tope es capaz de absorber la energía cinética del aparato correspondiente a 0,7 de la velocidad de translación.

Para el caso de choque de la carga suspendida, se consideran las solicitaciones debidas al choque de carga, cuando ésta está rígidamente guiada.

En este caso, la carga va a estar libremente suspendida, por lo que no se tendrá en cuenta esta solicitación.

5.3.2.4. Solicitaciones debidas a efectos climáticos.

Las solicitaciones debidas a los efectos climáticos son las resultantes de la acción del viento, sobrecarga de nieve y variaciones de temperatura.

5.3.2.4.1. Acción del viento

Se debe resaltar que todos los cálculos relacionados con el viento son aproximados, debido a su propia naturaleza. Sin embargo, es necesario tenerlos en cuenta y si se les da un tratamiento matemático adecuado, los resultados que se obtienen serán mucho más aproximados y útiles.

El contacto del viento con la superficie de la tierra ejerce un efecto de arrastre similar al rozamiento. Es evidente que este efecto de arrastre es diferente en zonas abiertas, como llanuras, que en zonas cerradas o en obstáculos, como zonas de

bosques, o concentrados núcleos urbanos. Esta variación en el arrastre causa que la velocidad del viento varíe en función de la altura y del tipo de terreno. Además, accidentes topográficos como colinas o valles producen variaciones en la dirección del viento.

El aire a nivel del mar ejerce una presión uniforme de 101,4 kPa. Cuando el aire está en movimiento, sin embargo, esta presión se modifica. La fuerza del viento ejerce sobre una superficie en su camino una presión y una fuerza negativa o succión en la superficie opuesta debido a los cambios de presión locales. Por ejemplo, un cambio de un 1% de cambio en la presión normal, equivale a una variación de 1,014 KPa.

La presión estática equivalente inducida por el viento es función de la densidad del aire, que varía con la temperatura, altura y presión barométrica. Estas variaciones son pequeñas, y son normalmente ignoradas a la hora de realizar cálculos prácticos de viento.

La relación de la presión estática viene dada por:

$$q = \frac{1}{2} \rho v_w^2$$

Donde ρ es la densidad del aire. Si la velocidad se expresa en m/s y la presión en Pa, la expresión queda:

$$q = \frac{5}{8} v_w^2$$

En la siguiente tabla se representan diferentes valores de velocidad y presión del viento.

Tabla 6. Valores de velocidades y presiones del viento.

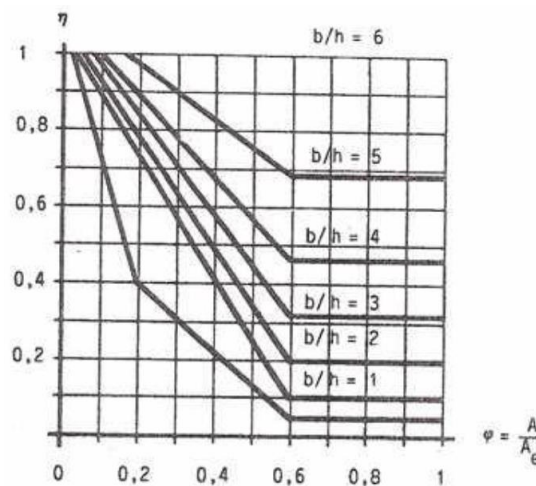
Altura del elemento por encima del suelo		Viento limite de servicio					Viento máximo				
m	ft	Velocidad v_w			Presión aerodinámica		Velocidad v_w			Presión aerodinámica	
		m/s	km/h	miles p h	kgf/m ² o daN/m ²	Ibs/sq.ft	m/s	km/h	miles p h	kgf/m ² o daN/m ²	Ibs/sq.ft
0 a 20	0 a 65	20	72	45	25	5	36	130	80	80	16
20 a 100	65 a 325						42	150	95	110	22
más de 100	más de 325						46	165	105	130	26

Las expresiones anteriores de la presión del viento son para objetos de formas indefinidas. Evidentemente, un objeto cortante originará menores perturbaciones o cambios de presión en la corriente de viento que la que ocasionará una gran superficie plana. A través de ensayos e investigaciones, se han obtenido datos que relacionan la forma de los objetos con la resistencia que ellos inducen. En la tabla 7 se dan valores de coeficientes para estas fuerzas de oposición para una serie de formas típicas utilizadas en construcciones de grúas.

Cuando un objeto está enfrente de otro idéntico al primero, se debe considerar el efecto "sombra". Este parámetro está relacionado con la forma y la distancia entre los objetos. La gráfica da valores del coeficiente de sombra, η , el cual representa qué parte del viento sobre el primero de los dos objetos actúa sobre el segundo. El coeficiente puede ser aplicado sucesivamente a cuerpos adicionales. Además, los efectos de la presión del viento disminuyen si éste no incide normal a la superficie. La presión efectiva del viento se traduce en la presión del viento multiplicada por el cuadrado del seno del ángulo con el que el viento incide el viento sobre la superficie en cuestión.

En la siguiente tabla aparecen los valores del coeficiente de sombra, η .

Tabla 7. Determinación del coeficiente de "sombra", η .



En este caso, en la pluma habrá dos vigas con perfiles idénticos, a la segunda de ellas no le llegará el mismo valor de viento, pero la superficie expuesta es la misma en los dos casos.

La fuerza que ejerce el viento sobre un objeto se expresa como:

$$F = q * A * C * \eta$$

Donde:

- F=fuerza sobre la superficie actuando en la dirección del viento.

- q =presión estática a la altura h del objeto.
- A =área del objeto sobre la que actúa el viento.
- C = coeficiente de forma (definido en la tabla 8):
 - C_f para viento normal a la superficie.
 - $C_f \cdot \eta_m$ para consecutivos e idénticos objetos equidistantes:

Donde:

- C_f = coeficiente de forma.
- η_m =efecto acumulado de sobra sobre m objetos idénticos.
- η = coeficiente de sombra (definido en la tabla 7)

El coeficiente de sombra η viene definido en la tabla según dos parámetros:

- $\varphi = \frac{A}{A_e}$ donde A es la superficie expuesta al viento, y A_e es la superficie expuesta mayorada con superficies de posibles agujeros interiores, en casos de calosías y grúas aligeradas, para este caso, $A=A_e$.
- $\frac{b}{h}$ donde b es la distancia entre las caras de las figas en paralelo y h es la altura de la viga.

Tabla 8. Valores de C para distintos tipos de estructuras.

	f/b	C_f
Perfiles, angulares, vigas cajón (pequeños)	50	1,90
	40	1,70
	30	1,65
	20	1,60
	10	1,35
	5	1,30

	f/d	C_f	
Tubos	$d \cdot v_w < 4,5 \text{ m/s}^2$	50	1,10
	$v_w = \text{velocidad del viento (m/s}^2)$	40	1,00
	$d = \text{diámetro (m)}$	30	0,95
		20	0,90
		10	0,80
		5	0,75

$d \cdot v_w \geq 4,5 \text{ m/s}^2$	50	0,80
	40	0,75
	30	0,70
	20	0,70
	10	0,65
	5	0,60

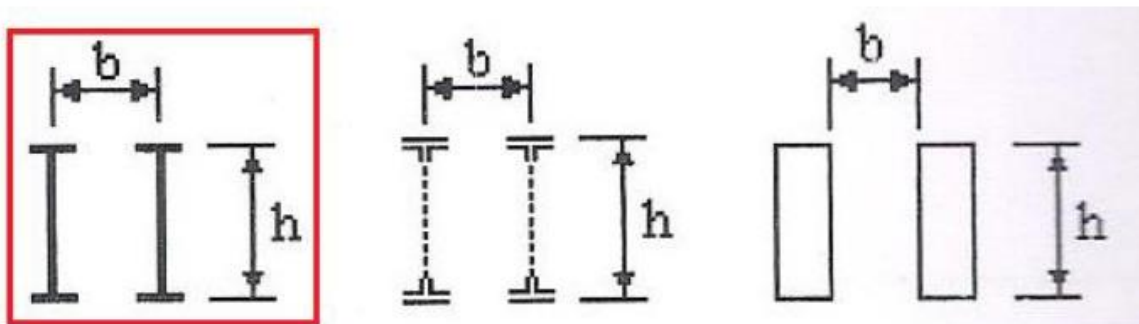


Figura 27. Parámetros del coeficiente de sombra.

Tabla 9. Determinación del coeficiente η .

$\varphi = \frac{A}{A_e}$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1
$\frac{b}{h} = 0,5$	0,75	0,4	0,32	0,21	0,15	0,05	0,05	0,05
$\frac{b}{h} = 1$	0,92	0,75	0,59	0,43	0,25	0,1	0,1	0,1
$\frac{b}{h} = 2$	0,95	0,8	0,63	0,5	0,33	0,2	0,2	0,2
$\frac{b}{h} = 4$	1	0,88	0,76	0,66	0,55	0,45	0,45	0,45
$\frac{b}{h} = 5$	1	0,95	0,88	0,81	0,75	0,68	0,68	0,68

La acción del viento sobre la carga se calcula teniendo en cuenta la mayor superficie posible de exposición al viento y tomando como valor del coeficiente aerodinámico $C=1$.

Para cargas inferiores a 25.000 daN (10^1 N), en las que el cálculo de la superficie expuesta al viento es de difícil resolución, se pueden tomar a título orientativo los siguientes valores:

- 1 m²/1000 daN para cargas de hasta 5.000 daN.
- 0,5 m²/1000 daN para cargas desde 5.000 daN hasta 25.000 daN.

5.3.2.4.2. Sobrecarga de nieve

No se tienen en cuenta sobrecargas de nieve en el cálculo de puentes-grúas, pórticos o grúas.

5.3.2.4.3. Variaciones de temperatura

Las solicitaciones debidas a variación de temperatura no se consideran, excepto en casos particulares, por ejemplo, cuerpos que no puedan dilatarse libremente, pero no es nuestro caso.

5.3.2.5. Solicitaciones diversas.

Estas son las solicitaciones para le dimensionamiento de pasarelas o barandillas, en nuestro caso no existen, por lo que no se tienen en cuenta en los cálculos.

5.3.3. Determinación de combinaciones de solicitaciones.

Partiendo de la fórmula general de cálculo, podemos distinguir tres casos posibles. La fórmula general de cálculo es:

$$[M * (S_G + \psi * S_L + S_H) + S_W] * C_S$$

Donde:

- M=coeficiente según la clasificación de la grúa.
- S_G =solicitaciones verticales debidas a la estructura.
- Ψ =coeficiente dinámico.
- S_L =solicitaciones verticales debidas a la carga y accesorios.
- S_H =solicitaciones horizontales debidas a la aceleración de la carga.
- S_W =solicitaciones debidas a la acción del viento.
- C_S =coeficiente de seguridad (según el caso).

5.3.3.1. Caso I. Aparato en servicio SIN viento.

Para este caso, la fórmula tiene la siguiente forma:

$$[M * (S_G + \psi * S_L + S_H)] * C_S$$

Donde C_S es el coeficiente de seguridad, 1,5.

M es el coeficiente variable con el grupo al que pertenece la grúa, tal como aparate en la siguiente tabla.

Tabla 10. Valores de M en función del grupo.

Grupo (Tabla 10.3)	M3	M4	M5	M6	M7	M8
M	1	1	1	1,06	1,12	1,2

5.3.3.2. Caso II. Aparato en servicio CON viento.

Para este caso, la fórmula tiene la siguiente forma:

$$[M * (S_G + \psi * S_L + S_H) + S_W] * C_S$$

En este caso, el coeficiente de seguridad C_S es de 1,33, cogiendo el valor de M de la tabla anterior.

5.3.3.3. Caso III. Aparato sometido a solicitaciones excepcionales.

Para este caso, se adoptan como variables:

a) Viento en tempestad:

$$(S_G + S_{W \text{ máx}}) * C_S$$

b) Efecto de choque con los topes de fin de carrera:

$$(S_G + S_L + S_T) * C_S$$

c) Ensayos estático y dinámico:

$$(S_G + \psi * \rho_1 * S_L) * C_S$$

$$(S_G + \rho_2 * S_L) * C_S$$

En este caso $C_S=1,1$.

Donde:

- $S_{W \text{ máx.}}$ =ver tabla 7: 36m/s.
- S_T =solicitud de choque en los topes de fin de carrera.
- ρ_1 =coeficiente de mayoración de la carga nominal prevista en los ensayos dinámicos: 1,2.
- ρ_2 =coeficiente de mayoración de la carga nominal prevista en los ensayos dinámicos: 1,4.

5.3.4. Resolución de cálculo de solicitaciones

SOLICITACIONES PRINCIPALES

Carga de servicio (S_L)

	kg	N
Capacidad de carga	4.000	39.200
Peso accesorios (Elingas+Palonier)	250	2.450
$Q_C = \text{Capacidad de carga} + \text{Peso accesorios}$	4.250	41.650

Peso propio de los elementos (S_G)

	kg	N
Pluma (Q_{plu})	878,4	8.608,32
Contrapluma ($Q_{contraplu}$)	488	4.782,40
Columna (Q_{col})	15.225	149.205
Contrapeso ($Q_{contrapeso}$)	6.000	58.800
Polipasto (Q_{poli})	600	5.880
Mecanismo de giro (rodamiento+motor) (Q_{mg})	800	7.840
$Q_G = Q_{plu} + Q_{col} + Q_{met} + Q_{mg}$	23.991,40	235.115,72

SOLICITACIONES DEBIDAS A MOVIMIENTOS VERTICALES (S_V)

Levantamiento de la carga de servicio (S_L)

Coef. Experimental para grúas (ξ)	0,3	
Velocidad de elevación (V_L)	0,05	m/s
$\psi = 1 + \xi * V_L$	1,015	
$Q_{LC} = Q_C * \psi$	42.274,75	N

Aceleración y deceleración de la carga

Despreciables ya que el coeficiente dinámico (ψ) ya lo tiene en cuenta

SOLICITACIONES DEBIDAS A MOVIMIENTOS HORIZONTALES (S_H)

Efecto de la fuerza centrífuga

Velocidad de giro máxima ($\omega_{m\acute{a}x}$)	0,0523	rad/s
Tiempo mínimo en alcanzar la velocidad máxima ($t_{m\acute{i}n}$)	3	s
Aceleración angular $\alpha = \omega/t$	0,01745	rad/s ²

Sobre la PLUMA

Fuerza de inercia (F_{inplu})

$r_{Gplu} = L_{plu}/2$	1,8	m
Aceleración (a_{plu})	0,03141	m/s^2
m_{plu}	878,4	kg
F_{inplu}	27,59	N

Sobre la CONTRAPLUMA

Fuerza de inercia ($F_{incontraplu}$)

$r_{Gcontraplu} = L_{contraplu}/2$	1	m
Aceleración ($a_{contraplu}$)	0,01745	m/s^2
$m_{incontraplu}$	488	kg
$F_{incontraplu}$	8,5156	N

Sobre la CARGA

Fuerza de inercia ($F_{incarga}$)

$r_{Gcarga} = \text{Alcance máx.}/2$	1,75	m
Aceleración (a_{carga})	0,03053	m/s^2
$m_{incarga}$	7.000	kg
$F_{incarga}$	213,71	N

Sobre el CONTRAPESO

Fuerza de inercia ($F_{incontrapeso}$)

$r_{Gcontrapeso} = L_{contraplu}/2$	1	m
Aceleración ($a_{contrapeso}$)	0,1745	m/s^2
$m_{incontrapeso}$	6.000	kg
$F_{incontrapeso}$	104,7	N

Fuerza de inercia total ($F_{intotal}$)	354,5156	N
---	-----------------	----------

Efecto de choque de topes

Sólo se considera cuando choque sobre la estructura o sobre la carga suspendida. Solo se considera en casos de cargas rígidamente guiada. Como no es el caso, **no se considera.**

SOLICITACIONES DEBIDAS A EFECTOS CLIMÁTICOS

Acción del viento (S_w)

Ver tabla (figura 7)

Altura por encima del suelo (0-20m)	0-20	m
Viento límite de servicio	20	m/s
Viento máximo fuera de servicio	36	m/s
Presión aerodinámica en límite de servicio ()	25	daN/m ²
Presión aerodinámica fuera de servicio ()	80	daN/m ²

Sobre la PLUMA (IPE 600)

Coeficiente de forma para viento normal a la superficie (C_f)

Longitud (f)	3,6	m
Altura (b)	0,6	m
f/b	6	
C_f Tabla 9, interpolando	1,31	

Coeficiente de sombra (η)

Distancia entre caras de los perfiles (b)	0,9	m
Altura (h)	0,6	m
b/h	1,5	
Superficie expuesta al viento (A)	1	m ²
Superficie expuesta al viento mayorada (A_e)	1	m ²
$\varphi = A/A_e$	1	
η Tabla 11	0,15	

Caso A: Viento con grúa en servicio

Área	2,1	m ²
Presión estática (q_A)	25	daN/m ²
Coeficiente de sombra (η)	1,31	
Coeficiente de forma (C_f)	0,15	

Sobre la 1ª viga

$F_{VA1} = q_A * A * C_f$	68,775	daN
---	---------------	------------

Sobre la 2ª viga

$F_{VA2} = q_A * A * C_f * \eta$	10,316	daN
--	---------------	------------

Caso B: Viento con grúa fuera de servicio

Área	2,1	m ²
Presión estática (q_B)	80	daN/m ²
Coeficiente de sombra (η)	1,31	
Coeficiente de forma (C_f)	0,15	

Sobre la 1ª viga

$F_{VB1} = q_B * A * C_f$	220,08	daN
---	---------------	------------

Sobre la 2ª viga

$F_{VB2} = q_B * A * C_f * \eta$	33,012	daN
--	---------------	------------

Sobre la CONTRAPLUMA (IPE 600)

Coeficiente de forma para viento normal a la superficie (C_f)

Longitud (f)	2	m
Altura (b)	0,6	m
f/b	3,33	
C_f Tabla 9, interpolando	1,175	

Coeficiente de sombra (η)

Distancia entre caras de los perfiles (b)	0,9	m
Altura (h)	0,6	m
b/h	1,5	
Superficie expuesta al viento (A)	1	m ²
Superficie expuesta al viento mayorada (A_e)	1	m ²
$\varphi = A/A_e$	1	
η Tabla 11	0,15	

Caso A: Viento con grúa en servicio

Área	1,2	m
Presión estática (q_A)	25	daN/m ²
Coeficiente de sombra (η)	1,175	
Coeficiente de forma (C_f)	0,15	

Sobre la 1ª viga

$$F_{VA1} = q_A * A * C_f \quad \mathbf{35,25} \quad \mathbf{daN}$$

Sobre la 2ª viga

$$F_{VA2} = q_A * A * C_f * \eta \quad \mathbf{5,2875} \quad \mathbf{daN}$$

Caso B: Viento con grúa fuera de servicio

Área	1,2	m ²
Presión estática (q_B)	80	daN/m ²
Coeficiente de sombra (η)	1,175	
Coeficiente de forma (C_f)	0,15	

Sobre la 1ª viga

$$F_{VB1} = q_B * A * C_f \quad \mathbf{112,8} \quad \mathbf{daN}$$

Sobre la 2ª viga

$$F_{VB2} = q_B * A * C_f * \eta \quad \mathbf{16,92} \quad \mathbf{daN}$$

Sobre la COLUMNA (Perfil tubular hueco)

 Coeficiente de forma para viento normal a la superficie (C_f)

Longitud (f)	7	m
Altura (b)	1,422	m
f/b	4,9226	
En servicio	28,44	m ² /s
Fuera de servicio	51,192	m ² /s

Como en ambos casos al multiplicar la velocidad del viento por el diámetro de la columna es mayor que 4,5 debemos interpolar en la tabla 9, para casos superiores a 4,5

C_f Tabla 9, interpolando 0,6

Caso A: Viento con grúa en servicio

Área	9,954	m ²
Presión estática (q_A)	25	daN/m ²
Coeficiente de forma (C_f)	0,6	
$F_{VA1} = q_A * A * C_f$	149,31	daN

Caso B: Viento con grúa fuera de servicio

Área	9,954	m ²
Presión estática (q_B)	80	daN/m ²
Coeficiente de forma (C_f)	0,6	
$F_{VB1} = q_B * A * C_f$	477,79	daN

Sobre la CARGA

 Coeficiente de forma para viento normal a la superficie (C_f)

Se tiene en cuenta la mayor superficie posible de exposición $C_f = 1$

Para cargas inferiores a 25.000 daN:

Para cargas de hasta 5.000 daN 1 m²/1.000daN

Para cargas de 5.000 a 25.000 daN 0,5 m²/1.000daN

Área (A)

Área	0,5	m ²
Carga unitaria	1.000	daN/m ²
Carga útil	6.860	daN
A	3,43	m²

Caso A: Viento con grúa en servicio

Área	3,43	m ²
Presión estática (q_A)	25	daN/m ²
Coeficiente de forma (C_f)	1	
$F_{VA1} = q_A * A * C_f$	85,75	daN

Caso B: Viento con grúa fuera de servicio

No hay carga estando fuera de servicio

Sobre el CONTRAPESO

Coeficiente de forma para viento normal a la superficie (C_f)

Se tiene en cuenta la mayor superficie posible de exposición $C_f = 1$

Para cargas inferiores a 25.000 daN:

Para cargas de hasta 5.000 daN $1 \text{ m}^2/1.000\text{daN}$

Para cargas de 5.000 a 25.000 daN $0,5 \text{ m}^2/1.000\text{daN}$

Área (A)

Área	0,5	m^2
Carga unitaria	1.000	daN/m^2
Carga útil	5.880	daN
A	2,94	m^2

Caso A: Viento con grúa en servicio

Área	2,94	m
Presión estática (q_A)	25	daN/m^2
Coeficiente de forma (C_f)	1	
$F_{VA1} = q_A * A * C_f$	12,5	daN

Caso B: Viento con grúa fuera de servicio

Área	2,94	m
Presión estática (q_B)	80	daN/m^2
Coeficiente de forma (C_f)	1	
$F_{VB1} = q_B * A * C_f$	40	daN

Sobrecarga por nieve

No se considera en el diseño de grúas

Variaciones de temperatura

No se considera, solo se hace en el caso de elementos que no pueden dilatarse libremente

Tabla 11. Fuerzas debidas al viento sobre la estructura en N.

Elementos		Caso A: Viento con grúa en servicio	Caso B: viento con grúa fuera de servicio
Pluma	1ª viga	687,75	2.200,80
	2ª viga	103,16	330,12
	Total	790,91	2.530,92
Contrapluma	1ª viga	352,5	112,8
	2ª viga	52,875	169,2
	Total	405,375	282
Columna		1.493,10	4.777,90
Carga		857,5	No hay carga
Contrapeso		125	400

6. CALCULOS EN SOFTWARE

6.1. PREDIMENSIONAMIENTO CON WINEVA8

Una vez realizados los cálculos manualmente, procedemos a comprobar en WinEva8 que los resultados obtenidos son viables, para ello debemos meter cada elemento calculado por separado en diferentes hipótesis, que luego sumaremos las hipótesis en diferentes combinadas. Primero debemos dar forma a la estructura:

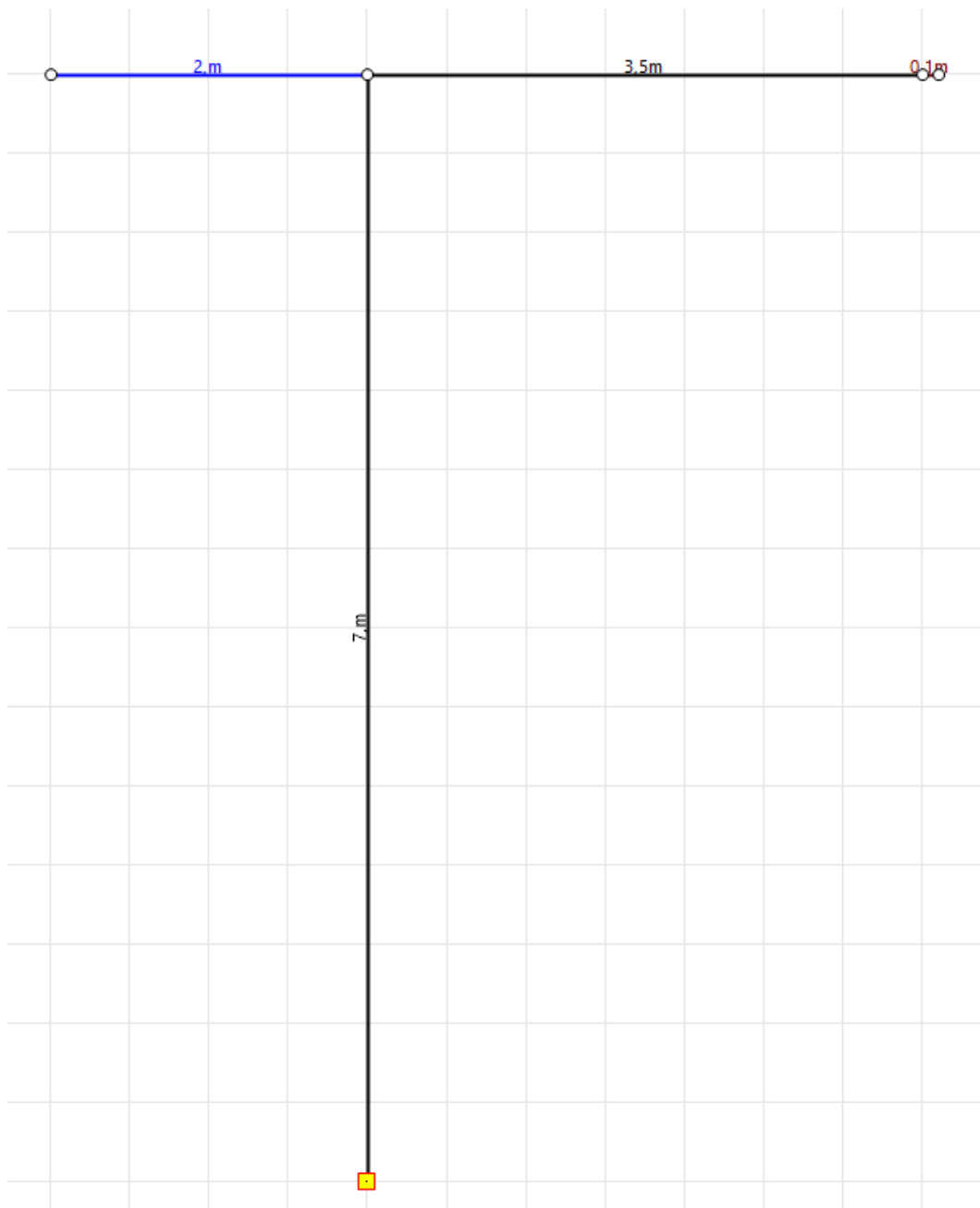


Figura 28. Estructura WinEva8.

Aplicamos en el nodo inferior una restricción fija para evitar la libertad de movimiento en ninguno de los tres ejes.

Asignamos ahora a cada barra el perfil elegido:

- Columna:

Edición de los datos de las barras

Barras: 1

Nudo izquierdo: 1

Nudo derecho: 2

Longitud de pandeo (m): 8
L bar = 7.000 m

Tipo: 00-Rígida

Material: Acero

$T\phi 1422*65mm\#1$

B * H / A / I / Perfil predeterminado / Circular / Tubo redondo / Tubo rectangular

Diámetro: 1422. m

Espesor: 65. cm

mm

Uts.: 1

ATENCIÓN: Si modifica los nudos extremos revise las acciones aplicadas en la barra.

-----Info-----

A = 277104.2 mm² I = 63930504024.0 mm⁴ W = 89916318.7 mm³

It = 63930504024.0 mm⁴ Wt = 89916318.7 mm³

B = 1422.0 mm H = 1422.0 mm

Cancelar Ok

Figura 29. Perfil tubular hueco.

Barra 1 (Tø1422*65mm#1)

N1 = 1 N2 = 2 Tipo = 00-Rígida

Material = Acero

Sección = 2771.04 cm²

Inercia = 6393050.4 cm⁴ (6393050.4 cm⁴)

Módulo resistente = 89916.32 cm³ (89916.32cm³)

Radio mínimo de giro = 48.03 cm (48.03 cm)

Longitud = 7.0 m Peso propio = 15.227 T

HIPÓTESIS 1 - Acciones sobre la barra:

Peso propio = 15.227 T

Imprimir Guardar Ok

Figura 30. Datos perfil tubular hueco.

- Pluma:

Figura 31. Perfil IPE600.

Figura 32. Datos perfil IPE600.

A continuación, y según las cargas calculadas, aplicamos las cargas a cada una de las cuatro hipótesis, que son las siguientes:

- Hipótesis I: Grúa sin carga (Peso propio estructura más contrapeso)
- Hipótesis II: Peso de la carga útil (Carga más polipasto)
- Hipótesis III: Fuerza centrífuga.
- Hipótesis IV: Acción del viento (Viento en tempestad)

Las combinaciones son las siguientes:

- Combinada I: Grúa en funcionamiento con carga útil máxima sin viento (Suma de hipótesis I, II y III)
- Combinada II: Grúa en funcionamiento con carga útil máxima con viento (Suma de hipótesis I, II, III y IV)

Una vez tenemos las dos posibilidades de funcionamiento de la grúa, elegimos la más desfavorable, esto es, la combinada I, ya que la fuerza del viento actúa en la pluma como una fuerza en dirección vertical y sentido contrario a la de la carga, empujando la pluma hacia arriba.

Por ley, en la construcción de grúas no se puede deformar la estructura en ningún punto más de la milésima parte de su longitud total, en este caso, el punto que más sufre es el extremo de la pluma, cuando la carga se encuentra más lejos en su recorrido del centro de la columna.

Siendo esa distancia de 3,5 metros, el extremo de la pluma nunca se podrá deformar más de 3,5 milímetros. Una vez realizada la simulación (ver anejos) comprobamos que la deformación en este punto es de 3,1 mm por tanto, los la estructura es factible.

6.2. ANÁLISIS POR ELEMENTOS FINITOS INVENTOR 2016

Una vez comprobado que la grúa no va a colapsar, diseñamos la estructura en inventor:

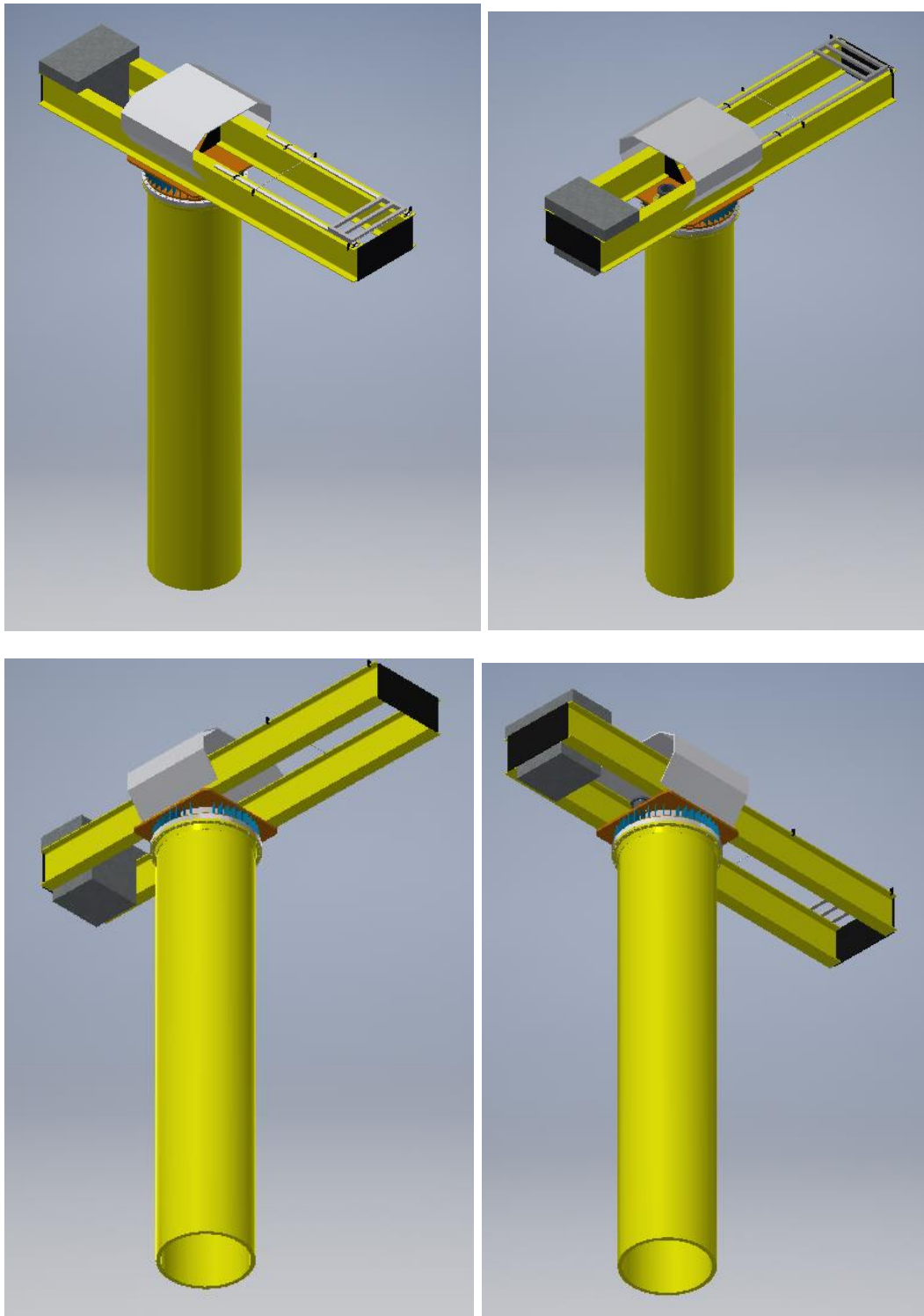


Figura 33. Perspectivas diseño Inventor.

Procedemos al análisis por elementos finitos, para ello debemos ir al menú Entornos -> Iniciar análisis de tensión.

Antes de ejecutar los cálculos, debemos determinar las condiciones del mismo, esto es: indicar el tipo de contacto entre cada elemento que conforma la grúa, las fuerzas que actúan sobre la misma, y la restricción de la base.

- Contactos entre los elementos:

Cuando se realizan las restricciones para diseñar en Inventor, estas se tienen en cuenta como contactos fijos una vez entramos en el análisis de tensión, sólo debemos añadir un contacto deslizante en el rodamiento:

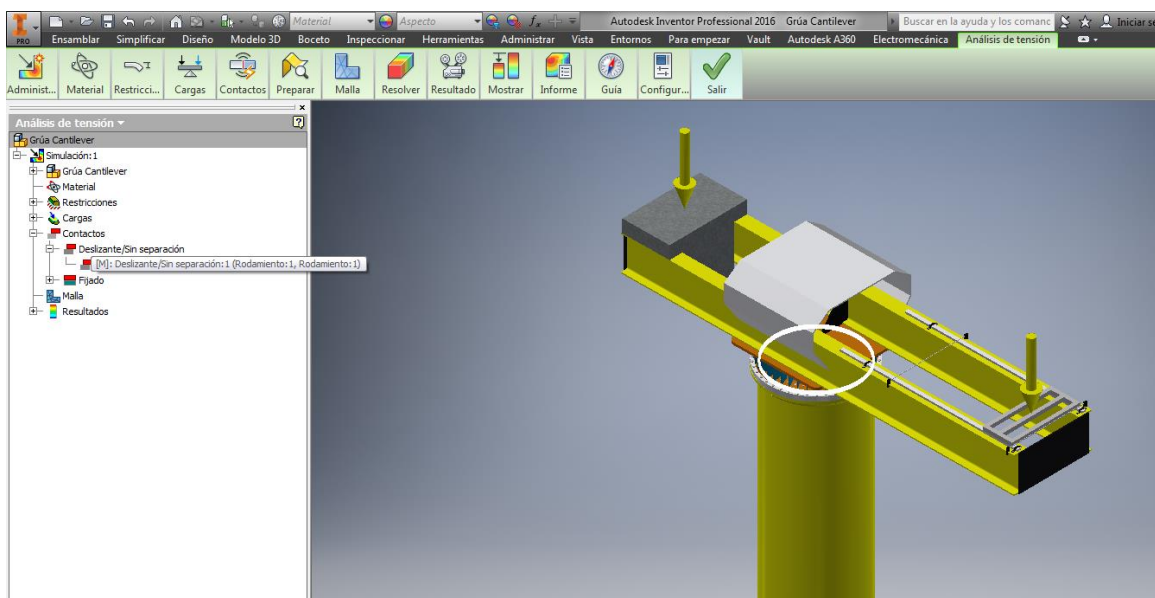


Figura 34. Detalle contacto rodamiento.

- Fuerzas que actúan sobre la grúa:

Estas son las que actúan en la combinada I que hemos tenido en cuenta como la situación más desfavorable, sabiendo que en Inventor se tiene en cuenta el peso propio de los elementos una vez le hemos asignado el material a cada uno de ellos, sólo debemos añadir el peso de la carga y el contrapeso.

CALCULOS EN SOFTWARE

- Restricción de la base:

Por último, debemos aplicar una restricción fija en la base de la grúa, tal como hemos hecho en WinEva8, para evitar que la estructura se “hunda”:

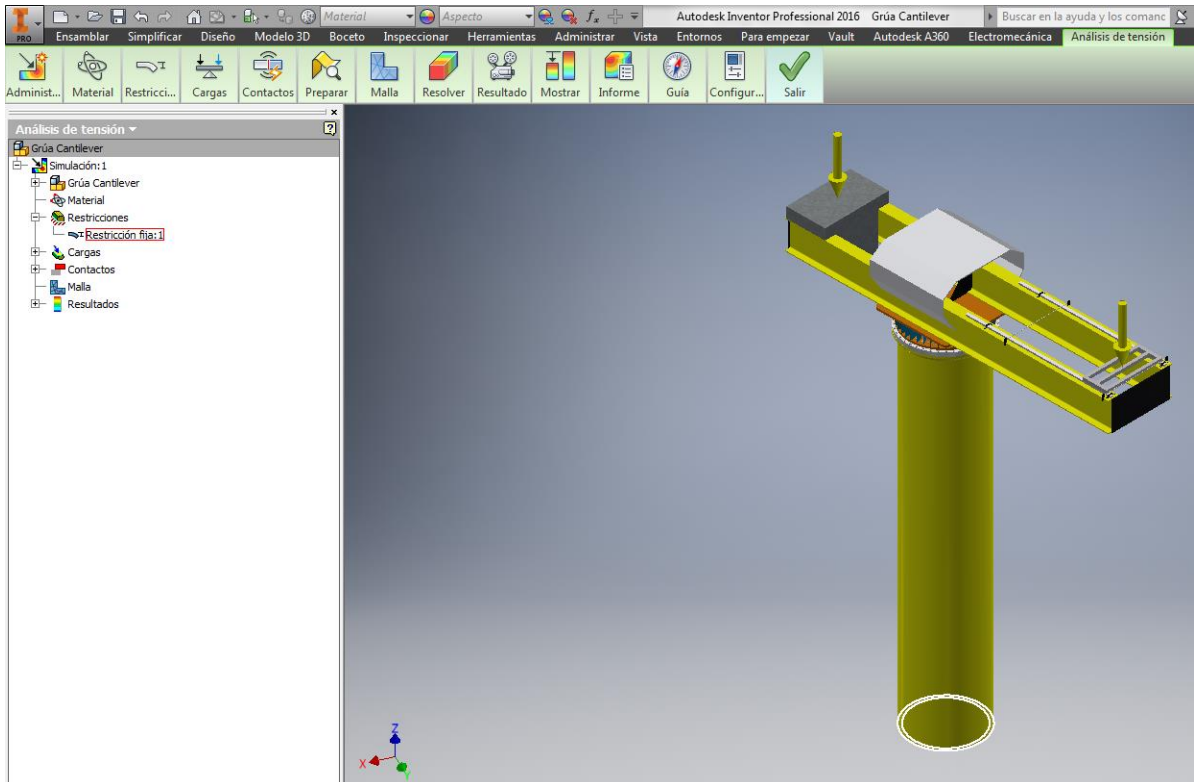


Figura 35. Detalle fijación de la base.

Una vez tenemos los puntos anteriores aplicados, podemos aplicar la vista de malla que el programa va a utilizar para realizar los cálculos, y modificarla en caso de que lo consideremos necesario:

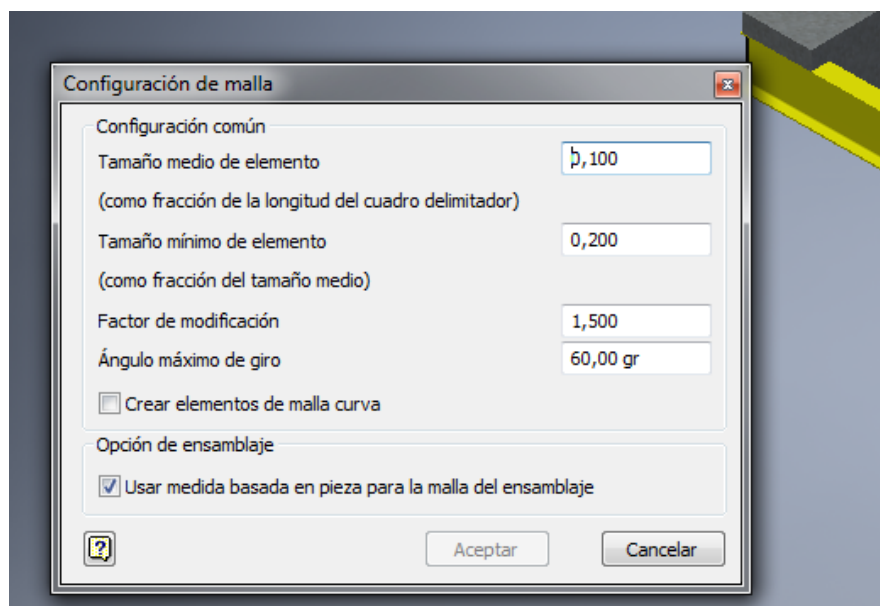


Figura 36. Configuración de la malla.

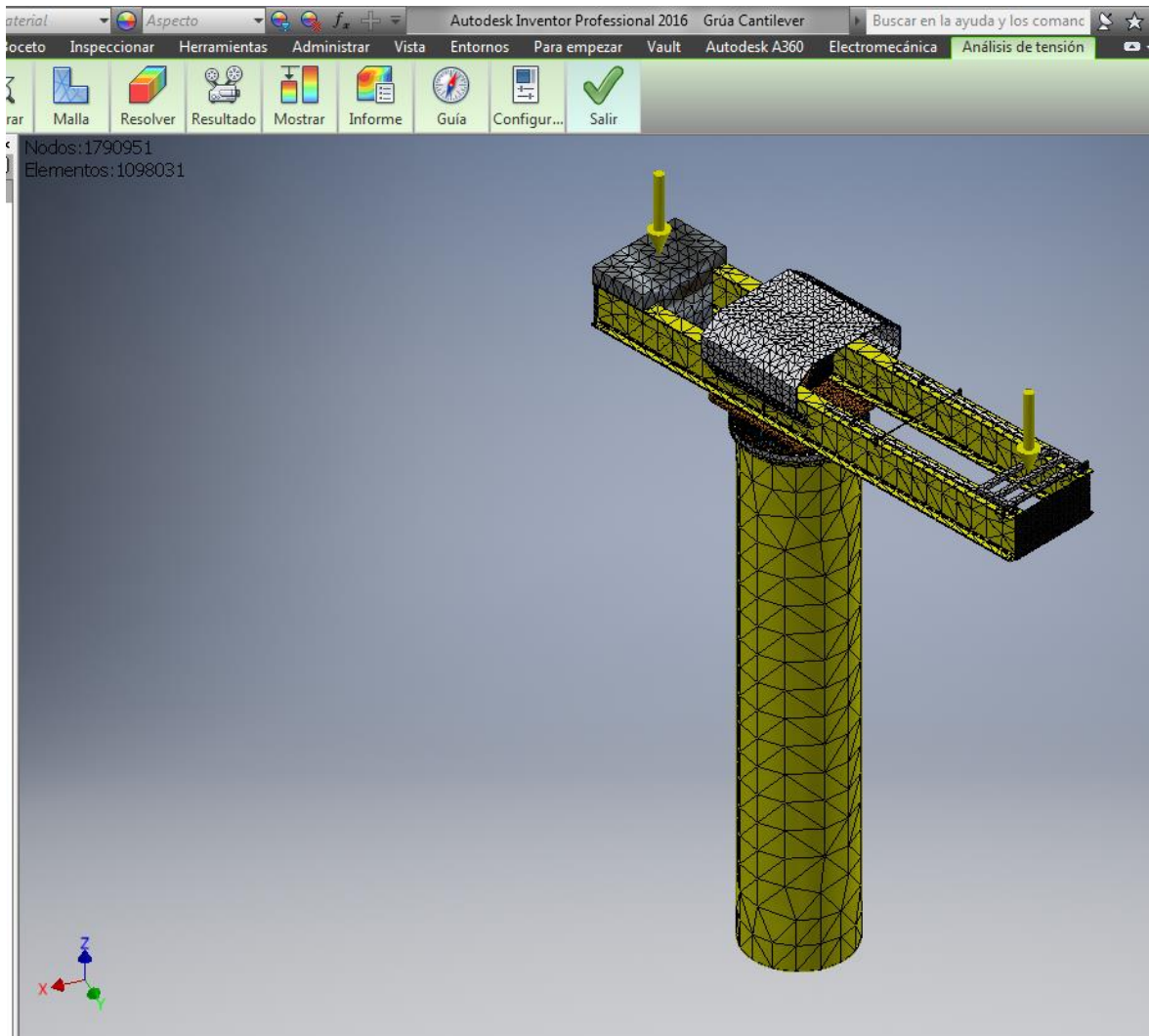


Figura 37. Vista de malla.

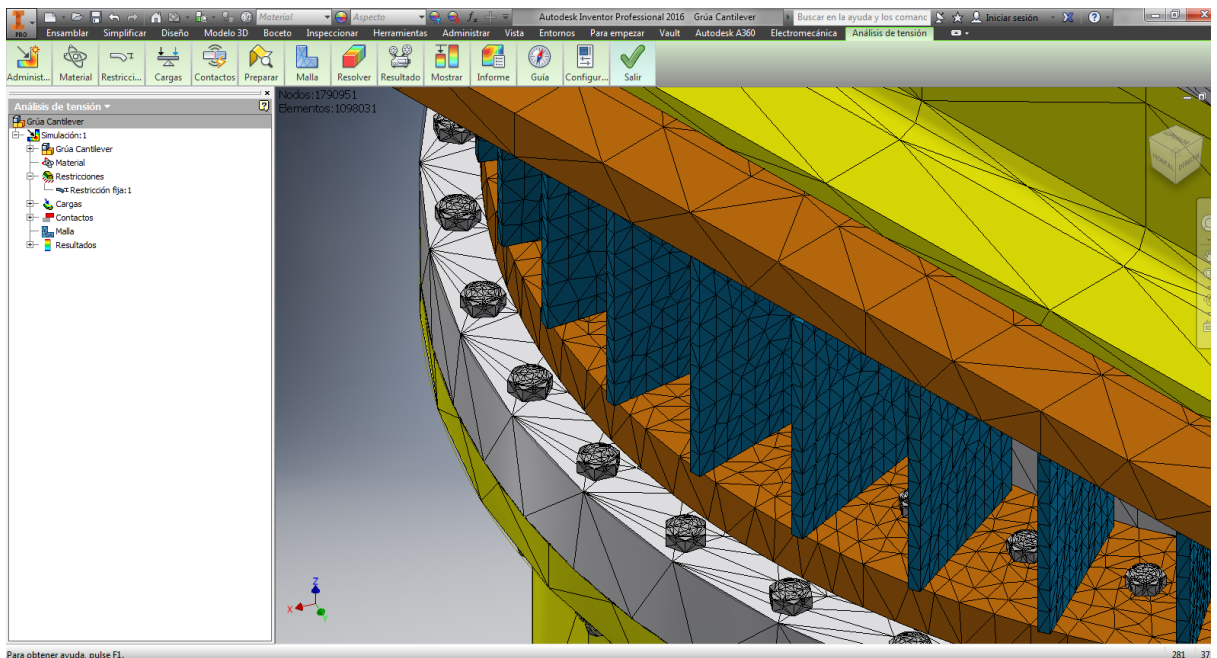


Figura 38. Detalle de la vista de malla.

Ahora podemos ejecutar los cálculos, cuyos resultados nos muestran que la estructura finalmente diseñada no colapsa, llegando su punto de mayor deformación en la pluma a 2,189 mm.

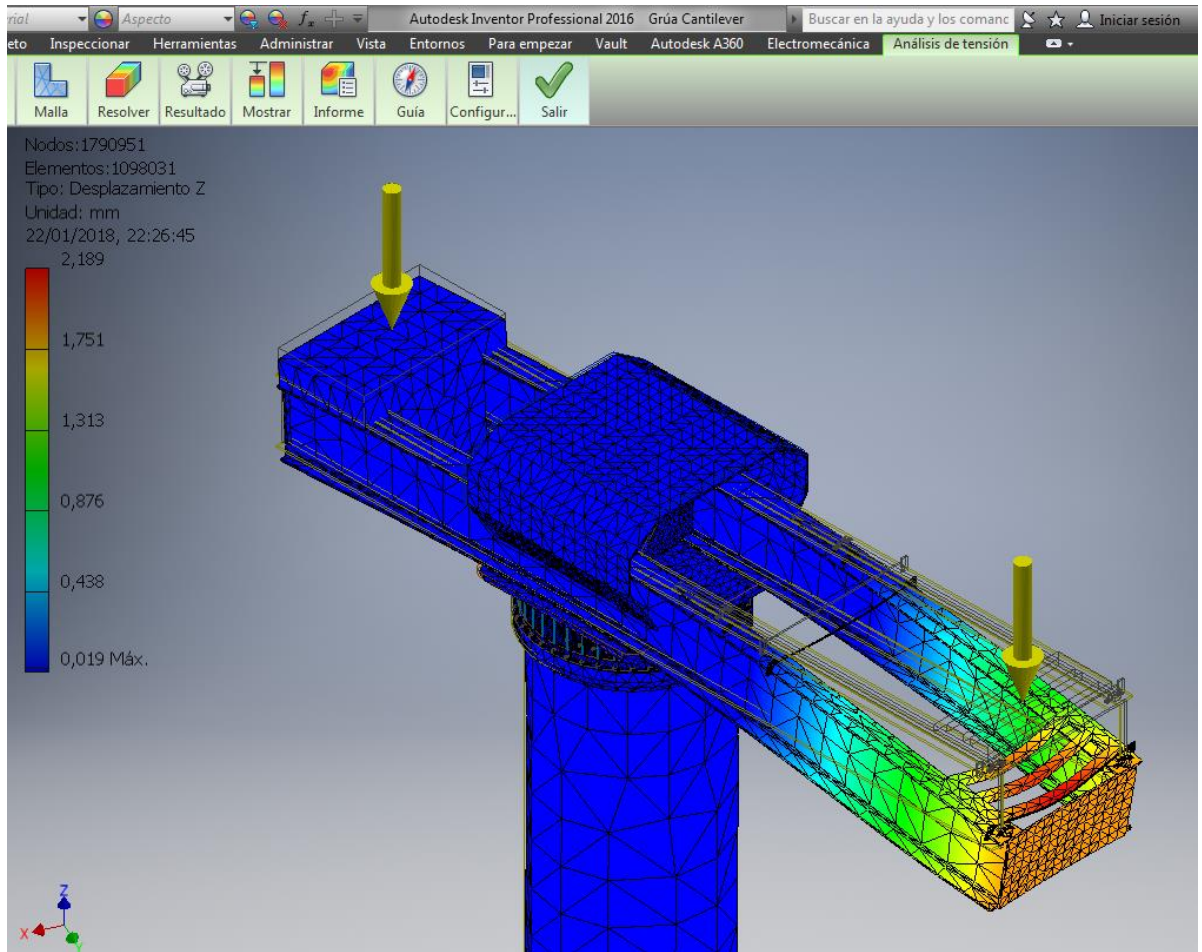


Figura 39. Vista deformación eje Z.

7. CONCLUSIONES

Tras analizar los resultados obtenidos en Inventor, se comprueba que la estructura diseñada, definitivamente no va a colapsar, por lo que el diseño es válido.

Una vez finalizado el trabajo, se puede analizar el nivel de resolución de los objetivos planteados al inicio del mismo.

Desde el punto de vista mecánico, se han realizado en primer lugar los cálculos de la estructura manualmente, corroborando luego los resultados iniciales de dimensionamiento con la herramienta de cálculo de estructuras de WinEva8. Se ha comprobado que las estimaciones iniciales de carga máxima a elevar (7 Tn) y la longitud de la pluma (8 m) son imposibles de implementar a un diseño real.

Para solucionarlo, se reduce la carga máxima (4 Tn) y la longitud de la pluma (3.6m), incluyendo una contrapluma (2m) con un contrapeso adecuado (ya que inicialmente no se tenía previsto incluir una contrapluma) para que al volver a ejecutar los cálculos en WinEva8, la deformación máxima no supere la milésima parte de la longitud total de ningún elemento, pues por normativa tiene que ser así. Este segundo diseño cumple con todas las normativas, dando por correcto el predimensionamiento, con ello se puede empezar a diseñar la grúa en Inventor.

Una vez finalizado el diseño, el mismo programa permite realizar un análisis por elementos finitos, para verificar la viabilidad de la estructura diseñada. Comparando los resultados de WinEva8 (predimensionamiento) y de Inventor (diseño final), se puede ver que existe una diferencia de 1 mm en la deformación de la pluma (3,10 de WinEva8 por 2,19 de Inventor) esta diferencia se debe a diversos motivos, tales como el método de cálculo matemático que utilizan cada software, matricial y elementos finitos respectivamente.

Además, en el análisis por elementos finitos, hay que asignar a cada elemento de la grúa el material correcto (elementos de diseño que no tiene en cuenta WinEva) además, el polipasto empleado en el diseño final, no es real, ya que se trata de una pieza que aunque era necesaria para realizar el cálculo por elementos finitos, no tiene las características exactas al polipasto comercial elegido.

En la parte mecánica se han cumplido todos los objetivos planteados satisfactoriamente.

Por otro lado se han realizado planos de potencia de los motores (corona de orientación, movimiento del polipasto y elevador de la carga) aunque solamente el estudio se ha centrado en el plano de mando del motor de la corona de orientación, tal como aparece en la propuesta del trabajo.

Conclusiones

En este plano de mando, entra en juego el autómatas elegido para controlar el motor anteriormente mencionado, es el SIEMENS LOGO un autómatas muy sencillo ya que no hace falta más para la función que va a tener.

Este autómatas será también el encargado de monitorizar la célula de carga que se ha colocado como elemento de seguridad, estará instalado en el cable de acero sobre el cual colgará la carga, si ésta es mayor del peso máximo para el cual se ha diseñado la grúa, el autómatas lo detectará, activando un interruptor de seguridad y deteniendo el motor para evitar posibles daños a la estructura.

Esta parte de automatización y de potencia sería una línea futura de trabajo, con ello todos los objetivos planteados al inicio se cumplen.

8. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Introducción a las grúas:

<http://blog.caiaeco.com/principales-tipos-de-gruas/>

- [2] Clasificación grúas según normativa:

<http://www.imcprl.net/NORMATIVA/RD837-03%20GRUAS.HTM>

<http://www.mastiposde.com/gruas.html>

- [3] Grúa pico-pato:

<http://victorvepes.blogs.upv.es/2016/04/05/grua-de-puerto-giratoria-pico-de-pato/>

- [4] Grúa puente::

<https://es.slideshare.net/ARTRmichael12/grua-puente>

<http://dim.usal.es/areaim/guia%20P.%20I/puente%20grua.htm>

- [5]: Grúa torre fija estacionaria:

<http://www.diccionariodelaconstruccion.com/estructuras/maauinaria-de-carga-v->

[elevacion/grua-torre-fiia-estacionaria](http://www.diccionariodelaconstruccion.com/estructuras/maauinaria-de-carga-v-elevacion/grua-torre-fiia-estacionaria)

- [6] Grúa autodesplegable:

<http://www.diccionariodelaconstruccion.com/estructuras/maauinaria-de-carga-v->

[elevacion/grua-torre-autodesplegable-monobloc](http://www.diccionariodelaconstruccion.com/estructuras/maauinaria-de-carga-v-elevacion/grua-torre-autodesplegable-monobloc)

- [7] Tipos de grúas:

<http://blog.caiaeco.com/principales-tipos-de-gruas/>

<http://www.arahvs.com/construccion/grua.html>

<http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/11845/1/CD-6552.pdf>

https://addi.ehu.es/bitstream/handle/10810/14947/2_MEMORIA.pdf?seauence=3&isAlowed=v

- [8] Qué son las coronas de orientación:

<http://www.skf.com/es/industry-solutions/oil-gas/transportation-and-storage/pipelines/valves/slewing-bearing.html>

- [9] Qué son las coronas de orientación:

<http://www.lbservice.com.ar/subconjuntos/9/coronas-de-orientacion-o-giro/>

- [10] Qué son las coronas de orientación:

<http://recursostic.educacion.es/observatorio/web/gl/component/content/article/502-monografico-lenguajes-de-programacion?start=2>

- [11] Siemens LOGO:

<https://www.solucionesvservicios.biz/Controladores-SIMATIC/Controladores-Modulares/LOGO> <http://siemenslogo.com/que-es-un-siemens-logo/>

<https://nergiza.com/logo-de-siemens-todo-lo-aue-tenes-aue-saber/>

<http://w5.siemens.com/spain/web/es/industry/automatizacion/simatic/controladores-modulares/logo/pages/default.aspx>

- [12] Células de carga:

<http://es.omega.com/prodinfo/celulas-de-carga.html>

- [13] Célula de carga medición de la tensión de los cables de acero:

http://www.dailymotion.com/video/x1tfgt5_fun-celulas-de-carga-para-medicion-de-la-tension-del-cable-de-acero-laumas [tech](http://www.tech)

<https://www.youtube.com/watch?v=vo99VNUmv2M>

<https://www.laumas.com/es/producto/fun-celulas-para-la-medicion-de-la-tension-del-cable-de-acero/>

- [14] Ajuste de la señal de las células de carga:

<http://www.ni.com/tutorial/7138/es/>

<https://librarv.e.abb.com/public/4012fe537266a561c1256ddd00346dd6/52-59%20M720%20-%20SPA.pdf>



Relación de documentos

<input type="checkbox"/> Memoria	65	páginas
<input checked="" type="checkbox"/> Anexos	177	páginas
<input type="checkbox"/> Planos	35	páginas

La Almunia, a 07 de 02 de 2018

Firmado: Javier Bravo Francés





**Escuela Universitaria
Politécnica - La Almunia**
Centro adscrito
Universidad Zaragoza

Nº TFG:
[424.17.53]

Director:

Fdo:
Mónica Remacha
Andrés

Título TFG:
Diseño de grúa Cantiléver giratoria

Autor:
Javier Bravo Francés

07/02/2018



**Escuela Universitaria
Politécnica - La Almunia**
Centro adscrito
Universidad Zaragoza

Nº TFG:
[424.17.53]

Director:

Fdo:
Mónica Remacha
Andrés

Título TFG:
Diseño de grúa Cantiléver giratoria

Autor:
Javier Bravo Francés

07/02/2018



**Escuela Universitaria
Politécnica - La Almunia**
Centro adscrito
Universidad Zaragoza

**ESCUELA UNIVERSITARIA POLITÉCNICA
DE LA ALMUNIA DE DOÑA GODINA (ZARAGOZA)**

Diseño de grúa Cantiléver giratoria

Rotary Cantilever crane design

[424.17.53]

Autor: Javier Bravo Francés
Director: Mónica Remacha Andrés
Fecha: 07/02/2018

-----INDICACIONES PARA LA ENTREGA FINAL-----

-----IMPORTANTE-----

Las dos páginas anteriores están diseñadas para imprimir en hoja adhesiva de tamaño A4, para recortar y pegar en el CD/DVD y en el frontal de la carpeta de entrega.