



**CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y DE ESTUDIOS
AVANZADOS DEL INSTITUTO POLITÉCNICO
NACIONAL**

**UNIDAD ZACATENCO
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA
SECCIÓN DE MECATRÓNICA**

**"Diseño, Construcción y Análisis Estructural
de una Grúa tipo Torre a Escala"**

TESIS

Que presenta

Ing. Irvin Isaías Martínez Díaz

Para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS

En la especialidad de:

Ingeniería Eléctrica

Directores de Tesis:

Dr. Gerardo Silva Navarro

Dr. Josué Enríquez Zárate

Ciudad de México

Febrero de 2017

Agradecimientos

Al Doctor Gerardo Silva Navarro y al Doctor Josué Eríquez Zárate por darme la oportunidad de trabajar a su a lado, gracias por su tiempo, por sus enseñanzas y su apoyo incondicional.

A mi familia por presionarme a buscar ser mejor y crecer, a mi madre por apoyarme hasta lo ultimo y a mis hermanos por confiar en mi y llevarme en sus oraciones.

A mis amigos y compañeros de CINVESTAV, gracias por enseñarme de la vida, por cada momento que compartimos de logros, frustraciones, cansancio pero también de alegrías que siempre llevare en mi memoria.

A mis amigos y compañeros de Elim, los cuales me dieron palabras de aliento para seguir adelante con este proyecto.

Al Consejo Nacional de Ciencias y Tecnologías CONACYT, por haberme otorgado una beca para poder realizar mis estudios de maestría en el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del I.P.N.

Al Ing. Julio Ramirez por ayudarme a dar el primer paso con el proyecto de Tesis y a cada uno de los profesores, investigadores que me incentivaron a terminar este proyecto.

Y por ultimo, pero no menos importante, a DIOS quien me permitió concluir con esta fase de mi vida.

Resumen

En este trabajo de tesis se aborda el diseño, construcción y análisis estructural de una Grúa Torre a escala, con la motivación principal de estudiar el comportamiento de las estructuras flexibles, las cuales se encuentran sobre las plataformas de petróleo o en barcos en alta-mar, estas al estar sometidas a los movimientos marítimos o ráfagas de vientos, vibran, por lo cual se da a la tarea de Diseñar primeramente una estructura para la Grúa tipo torre, buscando que esta sea lo mas parecida a una grúa torre real, por o cual se piensa en diseñar estructuras de tipo Celosías, pensando en ligera y flexibilidad, ademas de que esta tiene tres grados de libertad los cuales son perfectamente controlables mediante motores de C.D.

Una vez diseñada y construida la Grúa Torre, se monta sobre una estructura tipo edificio compuesta de dos placas y cuatro columnas, a la cual se le excita por medio de un generador de vibraciones armonicas del tipo electromagnéticas, gracias a esto podemos obtener los primeros experimentos del comportamiento de la estructura ante la vibraciones, mediante el análisis modal experimental. Para poder corroborar estos datos se simula el sistema mediante el software *ANSYS WORKBENCH*

Abstract

This thesis deals with the design, construction and structural analysis of a Tower Crane with scale, with the main motivation to study the behavior of flexible structures, which are found on oil platforms and boats in high Sea, These when being subjected to the maritime movements or the gust of wind, vibrate, reason why they do of the task of Designing first a structure for the tower Type tower, looking for that this sea as much as a tower crane real, By Which it is thought to design the structures of type Clays, thinking in lightness and flexibility, besides that it has three degrees of freedom which are perfectly controllable with the motors of CD Unesdoc.unesco.org unesdoc.unesco.org

Once designed and built in the Torre de la Torre, it is mounted on a building-type structure composed of two plates and four columns, one of which is the excitation by means of a generator of harmonious vibrations of the electromagnetic type, thanks to this can To obtain the first experiments of the behavior of the structure before the vibrations, through the experimental modal analysis. In order to corroborate this data the system is simulated by the software textit ANSYS WORBENCH

Índice general

1. Introducción	1
1.1. Introducción general	1
1.2. Motivación	2
1.3. Objetivos de la tesis	3
1.3.1. Objetivo General	3
1.3.2. Objetivos Específicos	4
1.4. Organización de la tesis	4
2. Antecedentes de las Grúas	7
2.1. Historia de las Grúas	7
2.2. Tipos de Grúas	9
2.3. Grúa Torre	14
2.4. Modelo Dinámico	15
3. Diseño de la Grúa Torre	19
3.1. Técnicas de Diseño	19
3.2. Diseño para la Excelencia	20
3.3. Diseño, fabricación e Ingeniería asistida por Computadora	22
3.4. Diseño de la Estructura de la Grúa Torre	23
3.5. Selección de material	24
3.5.1. Desde el punto de vista del material flexible	26
3.5.2. Desde un punto de vista de un material ligero	27
3.5.3. Aplicando las Gráficas de Ashbby	29
3.6. Dimensiones	30
3.7. Estructura	31
3.7.1. Celosías planas estáticamente determinadas	32
3.7.2. Las celosías tridimensionales	33
3.8. Torre	34
3.9. Pluma	35
3.10. Contra-Pluma	37
3.11. Centro de la Grúa Torre	39

4. Manufactura y Construcción de la Grúa Tipo Torre	45
4.1. Manufactura	45
4.2. Construcción	46
4.2.1. Torre	46
4.2.2. Pluma	47
4.2.3. Contrapluma	48
4.2.4. Centro de la Grúa Torre	50
4.3. Ensamble de la Grúa Torre	51
4.4. Grados de Libertad de la Grúa Torre	53
4.4.1. Giro de la Pluma	54
4.4.2. Movimiento del carro sobre la pluma	54
4.4.3. El acenso y descenso de la carga	55
4.5. Grúa Torre Final	56
5. Análisis Estructural de la Grúa Tipo Torre	61
5.1. Introducción	61
5.2. Análisis de estructuras	62
5.2.1. Análisis estático de estructuras	62
5.2.2. Análisis dinámico de estructuras	63
5.2.3. Aplicaciones del análisis modal	64
5.3. Análisis modal aplicado a la grúa tipo torre a escala	65
5.3.1. Análisis teórico por medio de simulaciones	65
5.3.2. Análisis Experimental	75
6. Conclusiones y Trabajo a Futuro	79
A. Especificaciones Técnicas de Materiales	81
B. Especificaciones Electrónica	85
C. Planos del Diseño de la Grúa Torre	95

Índice de figuras

1.1. Grúas en diferentes tipo de plataformas de petróleo.	3
1.2. Grúas offshore manejando cargas.	3
1.3. Grúas Torre en obra.	4
2.1. Grúa Tripastos.	8
2.2. Grúa móvil de Leonardo Da Vinci.	8
2.3. Dibujo a escala Grúa Torre Kroll K10000.	9
2.4. Grúa sobre cadenas u orugas.	10
2.5. Grúa sobre ruedas.	10
2.6. Autogrúa.	10
2.7. Camión Grúa.	11
2.8. Grúa horquilla.	11
2.9. Grúa Derrick.	12
2.10. Grúas puente o grúas pórtico.	12
2.11. Grúa Torre.	13
2.12. Grúa auto-desplegable.	13
2.13. Grúas en barcos.	14
2.14. Grúa Libhher TK-10.	14
2.15. Cuerpo Rígido.	16
3.1. Fase del proceso de Resolución de Problemas.	20
3.2. Gráfica de Ashby Densidad-Módulo de Young.	30
3.3. Celosías.	34
3.4. Celosía Plana propuesta.	35
3.5. Celosía Plana propuesta.	35
3.6. Torre.	36
3.7. Simulación de la Torre.	37
3.8. Celosía Plana propuesta.	38
3.9. Celosía Plana propuesta.	38
3.10. Pluma.	39
3.11. Simulación de la Pluma.	40
3.12. Torre.	40
3.13. Celosía Plana propuesta.	40

3.14. Torre.	41
3.15. Celosía Plana propuesta.	41
3.16. Contra-Pluma.	41
3.17. Simulación de la Contra-Pluma.	42
3.18. Centro de la Grúa Torre.	42
3.19. Simulación Centro de la Grúa Torre.	43
4.1. Partes de la Torre.	45
4.2. Partes de la torre.	45
4.3. Partes de la torre.	46
4.4. Torre Construida	47
4.5. Partes de la Pluma.	48
4.6. Pluma construida	48
4.7. Partes de la contrapluma	49
4.8. Contrapluma Construida	49
4.9. Partes de la Estructura Central de la Grúa Torre	50
4.10. Centro de la Grúa Torre.	51
4.11. Unión de la Pluma, el Centro de la Grúa Torre y la Contrapluma.	52
4.12. Cuerdas tensoras.	53
4.13. Union Pluma, Centro de la Grúa Torre, Contrapluma y Torre.	53
4.14. Mecanismo de Giro de la Pluma.	54
4.15. EL carro y el Riel.	55
4.16. EL carro y el Riel.	55
4.17. EL carro y el Riel.	56
4.18. Grúa Torre Final a Escala.	57
4.19. Grúa Torre Final a Escala.	57
4.20. Grúa Torre Final a Escala.	58
4.21. Grúa Torre Final a Escala, acercamiento del centro.	58
4.22. Grúa Torre Final a Escala, vista trasera.	59
4.23. Grúa Torre Final a Escala, vista inferior.	59
5.1. Caso 1. Deformación máxima en el Modo 1, Modo 2 y Modo 3	66
5.2. Caso 2. Deformación máxima en el Modo 1, Modo 2 y Modo 3	67
5.3. Caso 3. Deformación máxima en el Modo 1, Modo 2 y Modo 3	68
5.4. Caso 4. Deformación máxima en Modo 1, Modo 2 y Modo 3	69
5.5. Caso 5. Deformación máxima en Modo 1, Modo 2 y Modo 3	70
5.6. Caso 6. Deformación máxima en Modo 1, Modo 2 y Modo 3	71
5.7. Caso 7. Deformación máxima en Modo 1, Modo 2 y Modo 3	72
5.8. Caso 8. Deformación máxima en Modo 1, Modo 2 y Modo 3	73
5.9. Caso 9. Deformación máxima en Modo 1, Modo 2 y Modo 3	74
5.10. Caso 1,2 y 3 Experimental	75
5.11. Caso 4,5 y 6 Experimental	76
5.12. Caso 7,8 y 9 Experimental	77

Índice de tablas

3.1. Requerimientos de Manufactura.	23
3.2. Requerimientos de Operación.	23
3.3. Requerimientos de Rendimiento.	24
3.4. Metales comunes y su Modulo de Young.	27
3.5. Metales comunes y su Modulo de Young.	28
3.6. Indices para selección de Materiales.	29
3.7. Extremos de los materiales a elegir.	29
4.1. Estructuras que componen a la Grúa Torre a escala.	56
5.1. Datos obtenidos simulación caso 1	66
5.2. Datos obtenidos simulación del Caso 2.	67
5.3. Datos Obtenidos simulación caso 3.	68
5.4. Datos Obtenidos simulación caso 4.	69
5.5. Datos Obtenidos simulación caso 5.	70
5.6. Datos Obtenidos simulación caso 6.	71
5.7. Datos Obtenidos simulación caso 7.	72
5.8. Datos Obtenidos simulación caso 8.	73
5.9. Datos Obtenidos simulación caso 9.	74
5.10. Especificaciones del Acelerometro.	75
5.11. Modos Caso 1, 2 y 3 Experimental	76
5.12. Modos Caso 4, 5 y 6 Experimental	77
5.13. Modos Caso 7, 8 y 9 Experimental	78

Capítulo 1

Introducción

1.1. Introducción general

Hoy en día, es muy común encontrar un tipo de Grúa en cualquier obra o construcción, las cuales son de gran utilidad, rápidas, confiables y seguras, gracias a que las grandes empresas las diseñan para dar un buen servicio. Estas van desde lo más simple como polipastos, hasta grandes y complejas estructuras, con el único fin de levantar cargas enormes.

Actualmente se encuentran en servicio desde grúas que levantan un gran peso, las que permiten moverse a una gran velocidad, las que ocupan poco espacio hasta las que mueven cargas a mayores distancias, es decir, hay una gran variedad de Grúas según la necesidad de la obra.

Al final, cada una de estas grúas cumple con ciertas características importantes, una de ellas es su estructura, aquello que nos permitirá soportar cargas pesadas y que además debe buscar ligereza, flexibilidad y a su vez rigidez. También se deben tomar en cuenta los motores, las formas de transmisión, como lo son los engranes, las poleas, las cuerdas, etc. Tanto si se trata de un espacio reducido para trabajar o terrenos alpinos muy elevados, si deban ser fijas o móviles, etc.

Se debe de pensar en que, a la hora de diseñar estas estructuras, algunas de ellas gigantes-cas, estarán sometidas tanto a fuerzas externas como lo son el viento, movimientos sísmicos o al movimiento de olas, para las grúas que están sobre botes o torres de petróleo en alta mar, es decir, sometidas a fuerzas que ejercerán una vibración en su estructura, reflejándose en su carga, la cual si no es sometida, reducida o prevenida, puede causar accidentes tanto estructurales como incidentes humanos.

El diseño de este tipo de máquinas con estructuras tan enormes, debe ser un proceso pulido con los años, sometido a muchas pruebas para así asegurar confiabilidad y seguridad al usuario, al trabajador. El desarrollo de productos más potentes se ha convertido en un

factor clave para el éxito empresarial. Todo producto diseñado tiene que satisfacer o cumplir varios objetivos, satisfacer el deseo del cliente, cumplir con la necesidad por la cual se diseña, ser fácil de ensamblar, de mantener y de reparar, de probar, de disponer del equipo y de tantos como se deseen. Con el paso de los años se buscan técnicas para cumplir con el diseño, entre ellas una de las mas conocidas es el denominado Diseño para la Excelencia o *Design for Excellence* (DFE), cuyo objetivo es gestionar la calidad, el coste y el tiempo de entrega de un nuevo producto.

En este proyecto se busca el diseño y la construcción de una grúa tipo torre a escala, con el único fin de analizar tanto se pueda de este sistema, empezando con su diseño y construcción y finalmente con el objetivo a futuro de poder controlar o reducir las vibraciones presentadas o simuladas por un sistema externo.

El diseño presentado busca una estructura ligera y lo suficientemente rígida, para dar la forma a la grúa torre, buscar materiales aptos para su fabricación, de bajo costo y a la mano, después propone motores que se adapten a los pesos fijos más los pesos generados por las cargas, y de igual manera de bajo costo y a la mano, se busca una manera de transmitir movimientos por medio de engranes y poleas, bandas dentadas y poleas dentadas, con el fin de presentar una grúa tipo torre lo más cercanamente posible a la realidad pero a escala.

1.2. Motivación

Como se ha mencionado, podemos encontrar cualquier tipo de Grúas en casi todas aquellas construcciones donde se necesiten levantar y mover cargas, o en aquellos lugares donde se necesite levantar y mover equipo, materia prima, refacciones o productos, como lo es en el caso de los puertos o de un barco a otro o de un barco a plataforma de petróleo, y es aquí donde surge la principal motivación para este proyecto.

Observando, el trabajo de estas grúas localizadas en puertos marítimos, o en alta mar, se observa que el poder del viento o del oleaje, incitan al barco, y esta a su vez a la grúa que está montada sobre este, y esta grúa lo trasmite a la carga que mueve, y es ahí donde se comprende, lo altamente peligroso que puede ser si no se reducen estos movimientos en la carga.

Pensando que de igual manera, esto pasa en tierra, donde se edifican estructuras como edificios, también hay grúas, las cuales también presentan estos movimientos en las cargas debidos al movimiento sísmico de la tierra o al viento. De igual manera se busca reducir estos movimientos erráticos o movimiento pendular.

Analizar el sistema, desde la estructura, comprender su modelo dinámico, y buscar reducir, o controlar las vibraciones presentes en su carga, es el fin del proyecto, de igual manera

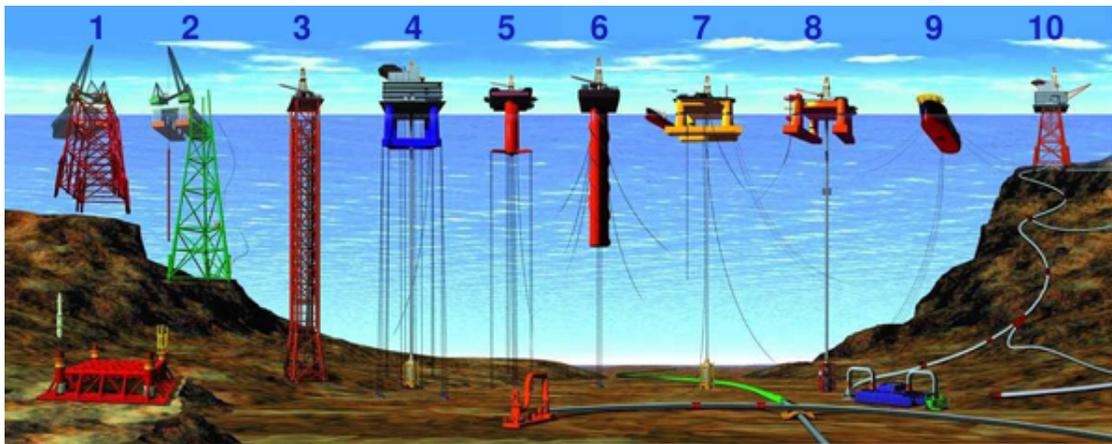


Figura 1.1: Grúas en diferentes tipo de plataformas de petróleo.



Figura 1.2: Grúas offshore manejando cargas.

contar con una plataforma experimental en la cual se puedan aplicar diversas metodologías de control.

1.3. Objetivos de la tesis

1.3.1. Objetivo General

El objetivo principal de este trabajo consiste en diseñar, construir y analizar el comportamiento de la estructura flexible de una Grúa torre a escala, el cual se abordara desde un modelado de cuerpo rígido a un análisis por elemento finito y análisis modal experimental.



Figura 1.3: Grúas Torre en obra.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Diseñar una estructura mecánica lo más parecida a una grúa torre básica, de bajo costo, fácil de manufacturar y ensamblar.
- Construir el prototipo
- Obtener el modelo dinámico de cuerpo rígido de la Grúa Torre
- Analizar la estructura por medio de Elemento finito
- Analizar la estructura experimentalmente

1.4. Organización de la tesis

En el capítulo uno podemos encontrar una introducción acerca de las Grúas tipo torre, la razón por la cual son tan importantes hoy en día, las motivaciones del proyecto y los objetivos principales particulares que se construyen en este trabajo de Tesis.

En el capítulo dos se presenta la historia de las Grúas, los tipos y sus diferentes fusiones, de lo cual se toma la Grúa Torre básica para seguir con el proyecto, también se aborda el tema del modelo dinámico de este sistema desde un punto de vista de cuerpo rígido y como es llevado a observarlo como un sistema de cuerpo flexible.

Para el capítulo tres se presenta el diseño y la construcción de la grúa tipo torre, tomando en cuenta la selección del material, pensando en que debe tener dos características importantes, la flexibilidad y la ligereza, se establecen dimensiones de escala, se establecen las estructuras de la torre, la pluma, la contra-pluma y el centro de la Grúa Torre a escala, se

realizan simulación para mostrar que son diseños viables.

La manufactura y la construcción se presenta en el capítulo cuatro, cada una de las piezas que componen cada una de las estructuras, además la forma en la que se ensambla el sistema y también como es que cada uno de los grados de libertad presentes en una grúa tipo torre cobran vida.

Finalmente en el capítulo cinco se presenta el análisis estructural, las simulaciones mediante software y los experimentos para validar las mismas. Las conclusiones y el trabajo a futuro se presentan en el capítulo 6. Las especificaciones de los motores, la electrónica usada y planos de la Grúa Torre a escala se presentan en los apéndices correspondientes.

Capítulo 2

Antecedentes de las Grúas

Una Grúa es una máquina de elevación de movimiento discontinuo, llámese maquina a un objeto construido por un conjunto de piezas ajustadas entre sí que se usa para facilitar o realizar un trabajo determinado, generalmente transformado una forma de energía en movimiento o trabajo.

La función de una Grúa es la de levantar mecánicamente determinadas cargas, en general se pueden observar en obras de construcción, donde es de vital importancia el levantamiento de cargas de gran peso. Por regla general cuentan con poleas acanaladas, las cuales aseguran cierta ventaja mecánica, contrapesos, mecanismos simples como engranajes y estructuras en tipo celosía.

Una ventaja muy importante es que este tipo de maquinas, es que pueden levantar una carga superior a la de sus mismo peso.

2.1. Historia de las Grúas

Las primeras grúas fueron inventas y construidas en la antigua Grecia, hechas con madera y accionas por animales o por hombres, principalmente usadas para la construcción. Esta primera grúa constaba de una polea y un tipo manubrio, las cuales podían levantar entre quince y veinte toneladas.

Más tarde, esta grúa fue adoptada por los romanos los cuales la desarrollaron aún más y con el invento de las poleas compuestas se hizo posible elevar mayores cargas, para el levantamiento de enormes edificios, circos, viaductos, etc. La grúa más simple usada por los romanos fue el Tripastos, que constaba de una solo viga o puntal, un tipo manubrio y una soga que pasaba alrededor de las tres poleas, lo cual permitía la capacidad de elevar tres veces la potencia aplicada [1].



Figura 2.1: Grúa Tripastos.

Con el paso del tiempo otras grúas más potentes surgieron, como lo es el Pentaspastos, con cinco poleas, o los Polipastos, con un conjunto de tres poleas combinadas con otras cinco, los cuales al ser manejados por pocos hombres podían levantar tres toneladas, en comparación con las rampas usadas en la construcción de las pirámides, donde eran necesarios 50 hombres para mover un bloque de piedra de 2.5 toneladas.

Otro ejemplo de grúas a través de la historia, son las grúas diseñados por Leonardo Da Vinci [2]. Eran de tres tipos: Grúas de pluma a través de una combinación de tornillos con pesos y contrapesos, logró levantar catedrales y otros edificios de gran envergadura, Grúas de poleas, las cuales disponían de ocho poleas para dividir la fuerza de la carga a levantar, Grúas de engranaje y tornillos, esta era una grúa con un trípode para elevar grandes pesos. Finalmente se sabe también una grúa móvil primitiva que desgraciadamente no fue construida.

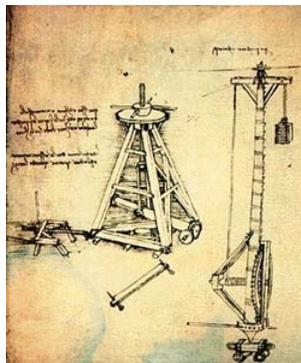


Figura 2.2: Grúa móvil de Leonardo Da Vinci.

Más adelante, durante la Edad Media, la grúa de rueda fue introducida a gran escala, en general, el transporte de cargas se puede hacer de forma más segura y económica, por medio de este tipo de grúas. Las áreas más comunes para su uso eran en los puertos, en las minas y también en los sitios de construcción.

Para el siglo XVII, la primera energía mecánica fue proporcionada por máquinas de vapor, para el siglo XIX, aparecía el acero, lo cual revolucionó a las grúas.

Hoy en días las grúas modernas utilizan, generalmente motores de combustión interna o los sistemas de motor eléctrico e hidráulico, para proporcionar una mayor fuerza, además de ser enormes, por ejemplo la Grúa Torre Kroll K10000 fabricada en Dinamarca por Kroll Giant Crane [3], la cual puede levantar un peso de 120 toneladas, a una altura de 126 metros y mover la carga una distancia de 82 metros, es considerada por Discovery Max como una de las más grandes del mundo.

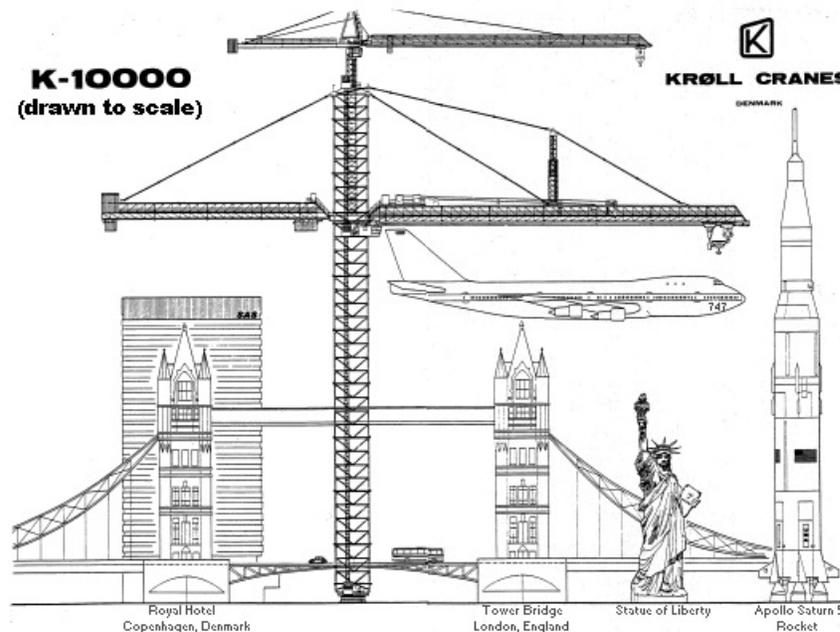


Figura 2.3: Dibujo a escala Grúa Torre Kroll K10000.

2.2. Tipos de Grúas

Estas se pueden clasificar en dos tipos:

1. Grúas Móviles

Las cuales se caracterizan por estar constituidas por un vehículo colocado sobre ruedas, teniendo así movilidad y dirección propia. Estas grúas son muy utilizadas en edificaciones como por ejemplo hospitales y aquellas grúas, que son de un gran tamaño son utilizadas para cargar las grúas de tipo torre.

De las grúas de tipo móvil se pueden tener los siguientes tipos generalmente:

- Sobre cadenas u orugas.



Figura 2.4: Grúa sobre cadenas u orugas.

- Sobre ruedas.



Figura 2.5: Grúa sobre ruedas.

- Autogrúas, de gran tamaño y situadas convenientemente sobre vehículos especiales.



Figura 2.6: Autogrúa.

- Camión grúa.



Figura 2.7: Camión Grúa.

- Grúa horquilla.



Figura 2.8: Grúa horquilla.

2. Grúas Fijas

Cambian la movilidad de la grúa móvil con la capacidad para soportar mayores cargas y conseguir alturas incrementando la estabilidad. Se caracterizan por quedar ancladas al suelo, durante el periodo de uso.

De las grúas fijas se pueden tener los siguientes tipos generalmente:

- Grúas Derrick.

Es una grúa formada por un mástil de estructura de celosía, es decir un estructura reticular de barras rectas interconectadas en nodos formando triángulos planos (en celosías planas) o pirámides tridimensionales (en celosías espaciales), un brazo de la misma estructura unido al mástil por un extremo inferior y sujeto al mismo mediante clavos por su extremo superior, un cabrestante situado en el suelo un cable que se reenvía a través de poleas situada en el brazo, de este modelo tan sencillo existen muchas variaciones



Figura 2.9: Grúa Derrick.

- Grúas puente o grúas pórtico.

Comúnmente empleadas en las construcción y en los pabellones industriales, estas apilas y acomodan los contenedores, por lo cual deben ser manejadas con precisión, también son llamadas grúas RTG (Rubber Tyred Ganty)



Figura 2.10: Grúas puente o grúas pórtico.

- Grúa tipo torre.

Son un tipo de grúa moderna de balance, esta queda unida al suelo y debida al alcance y a la altura que puede desarrollar se utilizan mucho en la construcción de estructuras alta. La viga horizontal de celosía se le llama plumas y el pilar vertical se le llama torre. Al final de la torre esta la corona donde gira la pluma. La pluma tiene unos contrapesos en un extremo para generar el balance y también va cargada en el cimientto para conseguir el momento de empotramiento necesario para funcionar.

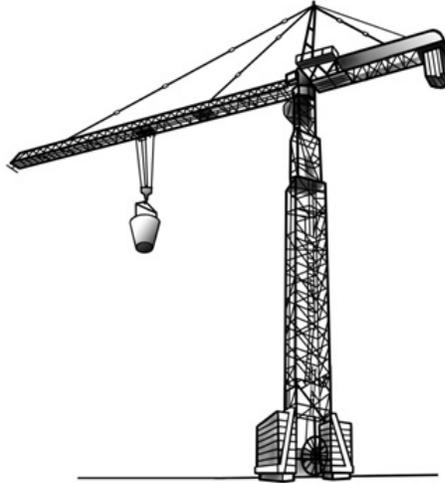


Figura 2.11: Grúa Torre.

- Grúa auto-desplegable

Estas son capaces de desmontarse por sí mismas sin necesidad de requerir otra grúa para el montaje, son rápidas y más caras que las grúas torre. Además su alcance puede ser más limitado.



Figura 2.12: Grúa auto-desplegable.

No hay que olvidar que, podemos encontrar a las grúas funcionando tanto en tierra como en altamar, donde son empleadas para trasportar cargas de un bote a otro bote, o de un bote a una plataforma de petroleo, o viceversa.



Figura 2.13: Grúas en barcos.

2.3. Grúa Torre

Las grúas torre empezaron a producirse en Europa durante el siglo XX. Las calles de las ciudades Europeas eran estrellas, así que este tipo de grúas eran bastante ventajosas [3]. La primera generación de Grúas torre, llamo en extremo la atención básicamente a aquellos dedicados ala construcción de edificios, pero también a los constructores de barcos, los cuales las instalaron en sus astilleros y muelles.

Entre los primeros constructores de Grúas tipo torre se encuentra la empresa Liebherr [4]. En 1949, Hans Liebherr se dio cuenta que en el mercado no existían las grúas torre con capacidad de armamiento rápido, por lo cual decidió construir una grúa torre que se pudiera girar y que tuviera un brazo horizontal, la cual podría cargar materiales levantándolos del suelo, balanceándolos y llevándolos a donde se requería, una característica que hasta el momento ninguna grúa ofrecía. Así Liebherr presento su primera grúa, la TK-10 en la feria del comercio Frankfurt en Alemania durante el otoño de 1949. Así comenzó una revolución en la industria de las grúas torre.

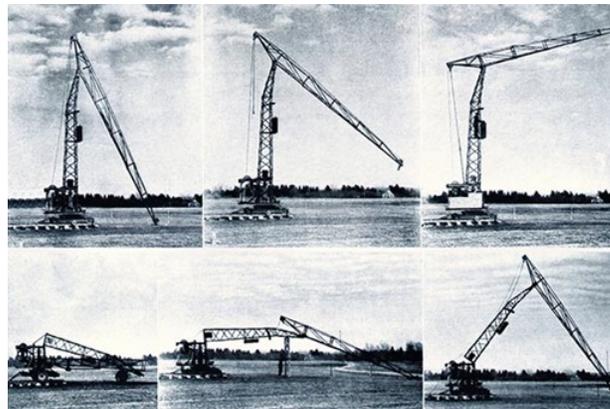


Figura 2.14: Grúa Libhher TK-10.

Para los años venideros, los diseños alcanzaron numerosas formas principalmente para la construcción de bloques de departamentos y oficinas, formas ventajosas en las cuales, a la torre de la grúa podían agregarse módulos, los cuales harían crecer a la torre juntos con la construcción, además, se montaron sobre rieles para hacerlas móviles a medida que la eficiencia para operarlas iba en crecimiento.

Existen diferentes tipos de grúas torre, muchas de ellas dependen de la capacidad de carga o la longitud de alcance, entre estas se clasifican como sigue:

1. Según su movilidad.

- Fijas.
 - Apoyadas: Sobre losa de hormigón, zapata corrida, muretes, etc.
 - Empotradas en una zapata de hormigón
- Móviles.
 - Sobre carriles por medio de rodamientos
 - Trepadora, apoyándose en la estructura de la obra, crecen con ella.

2. Según su Pluma

- De pluma horizontal: como su nombre lo indica es aquella cuya pluma se encuentra perpendicular a la torre o mástil
- De pluma abatible: este tipo de grúa permite variar la geometría de empleo de la pluma, pudiendo utilizarse en forma horizontal, Angulo obtuso o recto. Esta característica la hace especialmente indicada para determinadas construcciones como por ejemplo, torres de refrigeración y torres de televisión

Hoy en día, como ya se ha mencionado, la Grúa torre más grande del mundo, es la diseñada por la compañía Danés, la grúa K-10000. Este tipo de grúas sigue siendo una de las más usadas, por su facilidad para moverse, levantar cargas y el gran espacio de trabajo que tiene a su disposición.

2.4. Modelo Dinámico

Antes de comenzar el modelo dinámico para la Grúa tipo torre es necesario dejar claro que aunque se hace un modelado en cuerpo rígido, la Grúa torre es un cuerpo flexible gracias al tipo de estructura que la compone, sin embargo es de gran interés, adquirir el modelo dinámico de está por medio del modelado de cuerpo rígido.

Como se sabe, el cuerpo rígido es aquel cuya forma no varía a pesar de ser sometido a la acción de fuerzas externas. Eso básicamente supone que la distancia entre las diferentes partículas que lo componen no varía a lo largo del tiempo.

El cuerpo rígido es un modelo ideal que se utiliza para realizar estudios de cinemática y de mecánica. Sin embargo, en la práctica todos los cuerpos se deforman, aunque sea de forma mínima, por lo tanto, las máquinas y estructuras reales nunca podrán ser consideradas absolutamente rígidas.

Se usa la aproximación de *Lagrange* para derivar las ecuaciones de movimiento de la grúa torre, de la siguiente figura

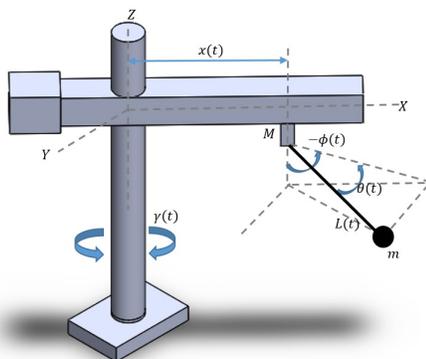


Figura 2.15: Cuerpo Rígido.

La posición de la carga \vec{r}_L y la posición de la carro \vec{r}_T pueden escribirse como:

$$\vec{r}_L = [x - L \cos \theta \sin \phi \quad L \sin \theta \quad -L \cos \theta \cos \phi]$$

$$\vec{r}_T = [x \quad 0 \quad 0]$$

Las velocidades del carro y de la carga pueden ser calculadas usando:

$$\vec{r}' = \frac{d\vec{r}}{dt} + \vec{\omega} \times \vec{r}$$

donde $\vec{\omega} = [0 \quad 0 \quad \gamma']$ es la velocidad angular de la torre.

La energía cinética T y la energía potencial V están dadas por:

$$T = \frac{1}{2}m(\vec{r}'_L) \cdot (\vec{r}'_L) + \frac{1}{2}M(\vec{r}'_T) \cdot (\vec{r}'_T) + \frac{1}{2}J_0 (\gamma')^2$$

$$V = -mgL(1 - \cos \theta \cos \phi)$$

donde J_0 es el momento de inercia de la torre y el brazo o la pluma sobre el eje Z.

El vector de fuerzas correspondientes \vec{F} y vector de desplazamiento \vec{q} están dados por:

$$\vec{F} = [F_x \quad 0 \quad T_\gamma \quad 0 \quad F_L]$$

$$\vec{q} = [x \quad \phi \quad \gamma \quad \theta \quad L]$$

Construyendo el Lagrangiano $\mathcal{L} = T - V$ y sometiéndolo a las ecuacion de Lagranje dada por:

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \dot{q}_j} \right) - \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial q_j} = F_j \quad j = 1, 2, 3, 4$$

Se obtiene las cinco ecuaciones que rigen el sistema:

$$\left(\begin{array}{c} (M + m) x'' + mL(\gamma')^2 \cos \theta \sin \phi - (M + m) x(\gamma')^2 \\ -2mL\theta'\gamma' \cos \theta + Lm(\theta')^2 \cos \theta \sin \phi + 2mL\theta'\phi' \cos \phi \sin \theta \\ -2m\gamma'L' \sin \theta + mL(\phi')^2 \cos \theta \sin \phi + 2m\theta'L' \sin \theta \sin \phi \\ -2m\phi'L' \cos \theta \cos \phi - mL'' \cos \theta \sin \phi - mL\gamma'' \sin \theta \\ +mL\theta'' \sin \theta \sin \phi - Lm\phi'' \cos \theta \cos \phi \end{array} \right) = F_x$$

$$\left(\begin{array}{c} L\phi'' \cos^2 \theta + g \cos \theta \sin \phi - L(\gamma')^2 \cos^2 \theta \cos \phi \sin \phi \\ +x(\gamma')^2 \cos \theta \cos \phi - x'' \cos \theta \cos \phi + 2L\theta'\gamma' \cos^2 \theta \cos \phi \\ -2L\theta'\phi' \cos \theta \sin \theta + 2\gamma'L' \cos \theta \cos \phi \sin \theta + 2\phi'L' \cos^2 \theta \\ +L\gamma'' \cos \theta \cos \phi \sin \theta \end{array} \right) = 0$$

$$\left(\begin{array}{c} J_0\gamma'' + (M + m) x^2\gamma'' + mL^2 \sin^2 \theta \gamma'' + mL^2 \cos^2 \theta \sin^2 \phi \gamma'' \\ -2mLx \cos \theta \sin \phi \gamma'' + 2mxL'\theta' \cos \theta - mLx(\theta')^2 \sin \theta \\ -2mL^2\theta'\phi' \cos \phi \sin^2 \theta - mL^2(\phi')^2 \cos \theta \sin \theta \sin \phi \\ +mL\phi'L' \cos \phi \sin 2\theta - 2mLL'\theta' \sin \phi - 2mL'x \cos \theta \sin \phi \gamma' \\ +2(M + m) xx'\gamma' + m\gamma'L^2\theta' \cos^2 \phi \sin 2\theta + mL^2\phi'\gamma' \cos^2 \theta \sin 2\phi \\ +2m\gamma'L'L \sin^2 \theta + 2m\gamma'L'L \cos^2 \theta \sin^2 \phi \\ -2mx'L \cos \theta \sin \phi \gamma' + 2mLx\theta' \sin \theta \sin \phi \gamma' \\ -2mLx\phi' \cos \phi \cos \theta \gamma' + mxL'' \sin \theta - mLx'' \sin \theta \\ -m\theta''L^2 \sin \phi + m\theta''Lx \cos \theta + mL^2\phi'' \cos \phi \cos \theta \sin \theta \end{array} \right) = T_\gamma$$

$$\left(\begin{array}{c} +L\theta'' + g \cos \phi \sin \theta + 2x'\gamma' \cos \theta - \frac{1}{4}L(\gamma')^2 \sin 2\theta \\ -\frac{1}{4}L(\gamma')^2 \sin 2\theta \cos^2 \phi - x(\gamma')^2 \sin \theta \sin \phi + \frac{1}{4}L(\gamma')^2 \sin 2\theta \sin^2 \phi \\ -2\gamma'L' \sin \phi + 2\theta'L' - L\gamma'\phi' \cos \phi - L\gamma'\phi' \cos^2 \theta \cos \phi \\ +L\gamma'\phi' \sin^2 \theta \cos \phi + L(\phi')^2 \cos \theta \sin \theta \\ +x'' \sin \theta \sin \phi - \gamma''L \sin \phi + x\gamma'' \cos \theta \end{array} \right) = 0$$

$$\begin{pmatrix} -Lm(\theta')^2 + 2Lm\theta'\gamma' \sin \phi - Lm(\gamma')^2 \cos^2 \theta \sin^2 \phi \\ -Lm(\gamma')^2 \sin^2 \theta + mx(\gamma')^2 \cos \theta \sin \phi \\ -2Lm\gamma'\phi' \cos \theta \sin \theta \cos \phi + 2mx'\gamma' \sin \theta \\ -Lm(\phi')^2 \cos^2 \theta - mx'' \cos \theta \sin \phi \\ -gm(1 - \cos \phi \cos \theta) + mx\gamma'' \sin \theta + mL'' \end{pmatrix} = F_L$$

Estas cinco ecuaciones, describen el sistema Grúa torre como un sistemas de cuerpo rígido, podemos ver que el sistema es no lineales y complejo, estas ecuaciones podrían usarse para simulaciones o para proponer un control. Sin embargo, la idea principal de obtener este modelo dinámico de cuerpo rigido es mostrar que si desde un punto de vista de un cuerpo rigido es pesado, lo es aun mas desde el punto de vista de cuerpo flexible.

Hay que entender que al menos la estructura de la Grúa Torre es flexible y en cierto punto presentan una tendencia ortotropica, es decir, sus propiedades mecánicas y térmicas son las mismas al menos en una dirección, sin embargo, no pasa lo mismo con la cuerda que permite el ascenso y descenso de la carga, esta cuerda es de un polímero compuesto tejido, el cual presenta propiedades anisotropicas, es decir, sus propiedades no son las mismas en todas sus dirección.

Como tal, establecer un modelo dinámico de cuerpo flexible, supondrá el análisis del sistema con materiales que presenten no linealidades en sus deformaciones.

Por otro lado, en comparación con el Modelo Dinámico presentado en [5], este modelo toma en cuenta cinco grados de libertad, tomando en cuanto que la cuerda tiene una distancia variable. Con el modelos obtenido podemos obtener simulaciones del sistema, ademas de proponer un control, tal vez sin tomar en cuenta la vibraciones, y así plantear un control como se propone en [5].

Capítulo 3

Diseño de la Grúa Torre

3.1. Técnicas de Diseño

La obtención y el desarrollo de nuevos productos se ha convertido en un factor importante para el éxito de cualquier empresa. Ya para los años ochenta las empresas se centraban en reducir el ciclo de fabricación al igual que hacerlo flexible, para los años noventa se busca más la reducción del tiempo empleado en el diseño, en el cual se busca reducir el tiempo de la creación hasta la plantación de su vida en el mercado como fuera de él.

La fase de diseño pueden definirse siguiendo los trabajos de la *London Business School* y el *Bosto Design Institute* como "Aquella fase en la que se planifica, decide y gestiona el conjunto de actividades que determinan las funciones y características de un producto terminado o de un proces" [6].

El proceso conlleva la realización de un conjunto de actividades, en las que deben intervenir la mayoría de las áreas funcionales de la organización. Generalmente este proceso de desarrollo se suele dividir en ciertas etapas principales.

1. Identificación de oportunidades.
2. Evaluación y selección.
3. Desarrollo e ingeniería del producto y del proceso.
4. Pruebas de evolución.
5. Comienzo de la producción.

Como tal, este proyecto se centra, desde el primer paso hasta el cuarto paso, como tal el quinto paso solo se aplica a un producto que saldrá al mercado.

En la primera fase, se obtiene información de las necesidades del mercado, para este caso, se obtienen los requerimientos del proyecto o al menos los posibles.

En la segunda fase se seleccionan aquellas ideas que presentan mayores posibilidades de éxito, este proceso de evaluación implica un análisis de la viabilidad del producto desde un punto de vista de facilidad de armado y construcción.

Una vez aprobado el proyecto, se pasa a la Ingeniería del producto y del proceso. En esta tercera fase se realizan la mayoría de las actividades de diseño a detalle y de desarrollo del producto, así como de los procesos para la fabricación y construcción.

En muchas ocasiones, de forma paralela o simultánea, comienza la cuarta fase, las pruebas y evaluación, en la que se realizan las pruebas y evaluación correspondiente a los diseños de la tercera fase, para lo cual se procede a la fabricación de prototipos y a la simulación del proceso de fabricación, tratando de detectar posibles deficiencias tanto del nuevo producto como de su proceso de fabricación.

El proceso de desarrollo se realiza de forma iterativa hasta alcanzar del diseño más adecuado, en cada iteración a resolver ya las alternativas existentes hasta que se converge al diseño final y se completan las especificaciones detalles inicialmente. A este proceso iterativo se le conoce como Ciclo de diseño-Fabricación o Design-Build-Test.

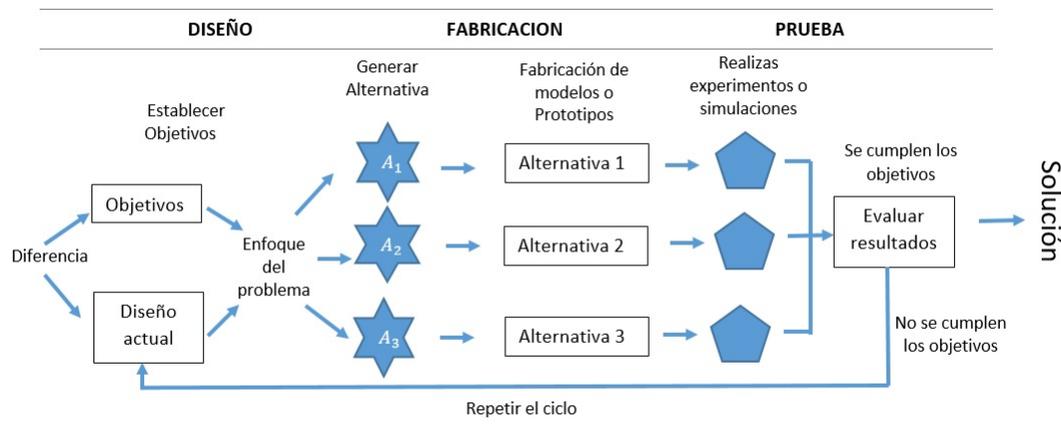


Figura 3.1: Fase del proceso de Resolución de Problemas.

3.2. Diseño para la Excelencia

Todo producto tiene que satisfacer alguna necesidad para la cual se hayan planteado objetivos; por ejemplo, que cumpla con las exigencias del cliente, que sea fácil de ensamblar, de

mantener, de reparar, de fabricar, de disponer de piezas de refacción, etc.

Para alcanzar este objetivo surge el denominado Diseño para la Excelencia o Design For Excellence (DFE), que engloba una serie de técnicas de diseño, cuyo objetivo es gestionar todo lo relacionado a la realización del proyecto.

El diseño para la Exelencia (DFE) comprende las siguientes técnicas:

- Diseño para el ensamblaje o Design for Assembly(DFA)
- Diseño para la fabricación o Design for Manufacture (DFM).
- Diseño para las pruebas o Design for Testability (DFT).
- Diseño para el servicio o Design for Service (DFS).
- Diseño para la internacionalización o Design for International.
- Diseño para el medio ambiente o Design for Environment (DFE).
- Diseño para facilitar las operaciones o Design for operability (DFO)

El diseño para el ensamblaje o Design for Assembly se centra en simplificar el poceso de ensamblaje, con lo que se reduce el ciclo de fabricación y se mejora la calidad. Para ello, esta técnica permite a diseñadores evaluar sistemáticamente los componentes y ensamblajes, de forma que resulten fáciles de ensamblar y de fabricar.

El diseño para la fabricación, trata de facilitar el proceso de fabricación, simplificando el diseño del nuevo producto por medio de una reducción de los componentes que la integran. Diseño para las pruebas es una técnica que permite diseñar un producto de forma que las pruebas, a las que va a ser sometido antes de su lanzamiento y fabricación, puedan realizarse fácilmente y en el menor tiempo, esto atraves de un diseño modular.

Diseño para el servicio, permite rener en cuenta en el diseño del producto aquellos factores que facilitan la prestación delos servicios asociados al uso del producto. Buscando que se le de mantenimientos cierto tiempo o si sucede una falla, poder repararla en el menor tiempo posible.

El objetivo del diseño de internacionalización, es gestionar el proceso de diseño de modo que el producto resultante pueda ser adaptado con facilidad a las características particulares de cada país donde vaya a ser introducido.

El Diseño para el medio ambiente, permite integrar factores medioambientales en el proceso de díselo de nuevos productos. En concreto, los factores ambientales, que han de tener en cuenta son:

- Uso de materiales.- Usar materiales renovables.
- Consumo de energía.-Reducir el consumo de energía necesaria para la fabricación del producto o usar fuentes de energía renovables y limpias
- Prevención de la contaminación.- Reducir las emisiones toxicas
- Residuos sólidos.- Tratar de reducir al máximo el volumen de residuos sólidos generados al terminar la vida útil del producto, asi como de su proceso de fabricación. Además de pensar que cada componente pueda ser reutilizado o reciclable

3.3. Diseño, fabricación e Ingeniería asistida por Computadora

Los recientes avances en de las tecnologías de la información han hecho posible la aparición de numerosas aplicaciones informáticas que facilitan de forma considerable las operaciones de Diseño, entre ellas están:

- Diseño Asistido por Computadora (CAD)

Se trata de un sistema de diseño, bastante conocido y utilizado que permite ampliar de forma relevante las posibilidades de los sistemas tradicionales de dibujo y cuya principal ventaja radica en la rapidez con que permite efectuar modificaciones en el diseño.

Las posibilidades del sistema CAD son enormes, pudiendo realizar un amplia gama de tarea, entre las que podemos destacar:

- Visualizar en pantalla un modelo cualquiera en tres dimensiones
- Usar distinto colores, para diferencia piezas.
- Obtener cualquier tipo de secciones.
- Cálculos de volumen, superficie, centro de gravedad inercia, de cada pieza.

- Ingeniería asistida por Ordenador (CAE)

Este conjunto de aplicaciones informáticas permite analizar como se comportan las piezas diseñadas por el sistema CAD ante cambios de temperatura, esfuerzo de compresión, tracción, vibraciones, etc. Permite seleccionar el material mas adecuado para la pieza, como el efectuar las modificaciones necesarias para mejorar el rendimiento de la misma.

- Las Fabricación asistida por ordenador (CAM)

Una vez que se ha concluido el diseño de la pieza y se ha realizado las simulaciones sobre su comportamiento, ante situaciones extremas, se procede a su fabricación. Es en este

punto donde la fabricación asistida por computadora entra, y como tal se encarga de los dispositivos de control numérico que controlaran el trabajo de las diferentes máquinas.

3.4. Diseño de la Estructura de la Grúa Torre

Para comenzar con el diseño de la estructura de la grúa torre, veamos cuales son algunas de las especificaciones que debe cumplir en todo momento, para esto nos ayudaremos de los requerimientos PDS (Product Design Specifications), es decir, los requerimientos de manufactura Tabla 3.1, de operación Tabla 3.2 y de rendimiento Tabla 3.3.

Procesos	A lo mas, cortes rectos, ranuras o doblajes al material, solo se cuenta con fresadora, torno y dobladora.
Materiales	Material flexible, de bajo costo, disponibilidad inmediata y ligero .
Ensamblés	Modular
Empaque y envío	N/A
Producción	Una Grúa Torre a escala
Tiempo de entrega	Septiembre de 2016

Tabla 3.1: Requerimientos de Manufactura.

Modo de operación	Manual y semiautomático
Instalación	Sobre una estructura compuesta de cuatro barras y dos placas de aluminio, tipo edificio básico.
Operación	Manejado por una persona
Mantenimiento	Una vez al año
Equipo existente	Grúa Torre de Meccano 15308
Nivel de automatización	Nivel de dispositivos(sensores, actuadores, etc.)
Seguridad	El area de trabajo de la Grua Torre a escala debe ser 1.5 ²
Riesgos	N/A

Tabla 3.2: Requerimientos de Operación.

Funcion	Que la Grúa Torre a escala tenga los mismos movimientos de una Grua torre real, es decir, que pueda girar la pluma sobre la torre, que se desplacer un carro sobre la pluma y que la carga pueda ascender y descender.
Apariencia	Que sea lo mas parecido a una Grúa Torre .
Fiabilidad	Que se comporte como Grúa torre, desde los movimientos básicos causados por los motores, las inercias generadas por el movimiento de la pluma sobre la carga y también aquellas dinámicas generadas por vibraciones o el soplo del viento.
Ambiente	Que traaje bajo temperaturas ambiente de 25°C aproximadamente y a presion atmosferica de 680 mmHg
Ergonomia	N/A
Calidad	Que cumpla con los requisitos de función
Peso	Menor a 10 kilogramos

Tabla 3.3: Requerimientos de Rendimiento.

3.5. Selección de material

Uno de los principales aspectos a tomar en cuenta es el material con el cual se construirá la estructura de la Grúa Torre. Un diseñador busca encontrar el material ideal, tomando en cuenta entre ciertas características como por ejemplo:

- Inagotable y siempre disponible a su reemplazo.
- Barato para refinar y producir.
- Fuerte, rígido y dimensionalmente estable a diferentes temperaturas.
- Ligero, flexible.
- Resistente a la corrosión y al desgaste.
- Respetuoso con el medio ambiente y las personas.
- Biodegradable

Estos requisitos podrían dificultar la selección del material ideal, por lo cual como diseñador se debe determinar cuales con las propiedades mas relevantes para la aplicación que se requiere y en base a ellas, hacer la selección.

Para este proyecto, tomando los requerimientos de manufactura, este material debe tener al menos dos características principales, debe ser flexible y ligero, esto aplicable a las grúas de tamaño normal, ya que estas deben poder responder adecuadamente a diferentes factores como lo son los movimientos vibratorios causados por pequeños sismos, por el oleaje en caso de las grúas montadas en barcos y los movimientos causados por el aire, pensando que aunque no estén en servicio, están no se desmontan de su lugar de trabajo hasta que se haya completado el trabajo.

Hay diferentes métodos para seleccionar el material. [19]

Método tradicional: Con este método el diseñador escoge el material que cree que es más adecuado con base en la experiencia de partes que tienen funcionamiento similar y que han mostrado buenos resultados. Este método es conocido como materiales de ingeniería de partes similares.

Método gráfico: Este método se apoya en graficas o mapas de materiales denominados Diagramas de Ashby, en las que relaciona por pares ciertas propiedades de los materiales. El método fue diseñado exclusivamente para ser utilizado durante la etapa conceptual de la selección de materiales. En estos mapas se puede hacer una aproximación del material más adecuado, con base en la relación de las propiedades más importantes que debe poseer el componente.

Como es de esperar rara vez el comportamiento de un componente depende solo de una propiedad, estos mapas muestran que las propiedades de las diferentes clases de materiales pueden variar en diferentes intervalos, formando grupos que se ubican en áreas cerradas, zonas o campos. En estos mapas se relacionan entre otras propiedades como resistencia, modulo de elasticidad, densidad tenacidad conductividad térmica, etc.

Método apoyándose en base de datos: En internet existen una amplia gama de bases de datos sobre materiales, estas bases de datos son el resultado de investigaciones y en ensayos de materiales, dentro de las más importantes bases de datos están las de ASTM, SAE, ASM, AISI, NASA. También se dispone de software específico en el mercado para la selección de materiales, por ejemplo CES-EduPack, uno de los más conocidos y empleado en el mundo del diseño e ingeniería. La selección de materiales con ayuda de estas bases de datos parte del conocimiento de las principales propiedades que el material debe tener para un fin específico.

Apoyándonos del método de las graficas de Ashby y del software CES-EduPack, seleccionamos el material a usar para este proyecto.

3.5.1. Desde el punto de vista del material flexible

Se sabe que un material flexible es aquel que presenta una deformación elásticamente (de forma reversible) al someterlo a un esfuerzo de flexión o torsión.

El módulo de Young o módulo de elasticidad longitudinal es un parámetro que caracteriza el comportamiento de un material elástico, según la dirección en la que se aplica la fuerza. Para un material elástico lineal el módulo de elasticidad longitudinal es una constante (para valores de tensión dentro del rango de reversibilidad completa de deformaciones). En este caso, su valor se define como el cociente entre la tensión y la deformación que aparecen en una barra recta estirada o comprimida fabricada con el material del que se quiere estimar el módulo de elasticidad

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} \quad (3.1)$$

Donde:

E es el módulo de elasticidad longitudinal.

σ es la presión ejercida sobre el área de sección transversal del objeto.

ϵ es la deformación unitaria en cualquier punto de la barra.

La ecuación anterior se puede expresar también como:

$$\sigma = E\epsilon \quad (3.2)$$

Con lo cual podemos decir que al someter dos barras geoméricamente idénticas pero de materiales elásticos diferentes a deformaciones idénticas, se inducirá mayor tensión cuando mayor sea el módulo de elasticidad. De manera análoga, si reescribimos la ecuación anterior como:

$$\epsilon = \frac{\sigma}{E} \quad (3.3)$$

Sabremos que las deformaciones resultan menores para la barra con mayor módulo de elasticidad. En este caso, se dice que el material es más rígido.

Añadiendo información al problema, es decir se sabe que las grúas actuales, están formadas por estructuras de metal, de antemano elijamos, aquellos materiales metálicos que presenten un menor módulo de elasticidad, ya que esto asegura una deformación lineal mayor, y no caer en un material metálico con tendencia a la rigidez.

Entre los metales más comunes tenemos los mostrados en la Tabla 3.4.

Material	Modulo de Young (MPa)
Plomo	16
Aluminio	70
Latón	90
Cobre	110
Acero	200
Hierro	210
Niquel	210

Tabla 3.4: Metales comunes y su Modulo de Young.

3.5.2. Desde un punto de vista de un material ligero

Aunque toda la materia posee una masa y volumen, la misma masa de diferentes sustancias ocupan distintos volúmenes. La propiedad que nos permite medir la ligereza o pesadez de una sustancia recibe el nombre de densidad, dada por:

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (3.4)$$

Donde:

ρ es la densidad
 m es la masa.
 v es el volumen.

Si reescribimos la ecuación anterior en función de la masa se tiene que:

$$m = \rho v \quad (3.5)$$

Es decir, cuanto mayor sea la densidad de un cuerpo más pesado será, si buscamos ligereza, entonces busquemos aquellos metales que tiene una densidad baja, para esto tenemos la Tabla 3.5.

Recabado estos datos, aquellos relacionados con el módulo de Young y con la densidad de los metales más conocidos, nos auxiliaremos del método de Ashby para seleccionar el material mas adecuado.

Este método fue desarrollado por M.F. Ashby en 1992, y radica en la selección mas apropiada del material para cierta aplicación establecida.

Material	Densidad (Kg/m^3)
Plomo	11300
Aluminio	2700
Latón	8600
Cobre	9000
Acero	7850
Hierro	7900
Niquel	8900

Tabla 3.5: Metales comunes y su Modulo de Young.

Según el método, existe un índice de rendimiento, el cual dependerá de los requerimientos funcionales, la geometría y las propiedades del material. El índice de rendimiento P esta formulado como:

$$P = f(F, G, M) \quad (3.6)$$

Donde:

F son los requerimientos de función.

G son los parámetros geométricos.

M son las propiedades del material.

Los tres grupos de parámetros en la ecuación se dice que son separables cuando la ecuación se puede como :

$$P = f_1(F)f_2(G)f_3(M) \quad (3.7)$$

Donde $f_1(F)f_2(G)$ y $f_3(M)$ son funciones separadas y gracias a esto, la selección más adecuada del material se vuelve independiente de los detalles del diseño. Entonces el subconjunto más adecuado de los materiales se puede identificar sin resolver completamente el problema de diseño, o incluso los detalles de F y G . Esto permite una simplificación enorme, el rendimiento de todos los F y G se minimizan y se maximiza la función $f_3(M)$ el cual se denomina coeficiente de eficiencia de los materiales o el índice de material. Ejemplos de índices de materiales los podemos ver en la tabla 3.6.

Funcion, Objetivo y Restricciones	Indice
Lazo, Peso mínimo, Rigidez	E/ρ
Viga, Peso mínimo, Rigidez	$E^{1/2}/\rho$
Viga, Peso mínimo, Tensión	$(\sigma_y)^{2/3}/\rho$
Viga, Coste mínimo, Rigidez	$E^{1/2}/C_m\rho$
Viga, Coste mínimo, Tensión	$(\sigma_y)^{2/3}/C_m\rho$
Columna, Costo mínimo, Carga de pandeo	$E^{1/2}/C_m\rho$

Tabla 3.6: Indices para selección de Materiales.

3.5.3. Aplicando las Gráficas de Ashbby

El siguiente paso será buscar, un subconjunto de materiales que cumplen con ciertos límites dados por los aspectos, de ligereza y flexibilidad, por lo cual no auxiliaremos del mapa de materiales el cual grafica el módulo de Young contra la densidad a los materiales.

Calculando el índice, con los datos de la tabla 3.7

Material	$E(GPa)$	$\rho(Kg/m^3)$
Niquel	210	8900
Aluminio	70	2700

Tabla 3.7: Extremos de los materiales a elegir.

Calculando la pendiente de la pendiente de la recta, dada por

$$\frac{E}{\rho} = P \longrightarrow \log E = \log \rho + \log P \quad (3.8)$$

Dado que nuestra gráfica de Ashby esta en escala logarítmica se tiene que la pendiente m estará dada por:

$$m = \frac{\log \rho_{niquel} - \log \rho_{Aluminio}}{\log E_{niquel} - \log E_{Aluminio}} 1.085 \quad (3.9)$$

Trazando sobre la gráfica de Ashby la recta con pendiente $m = 1.085$

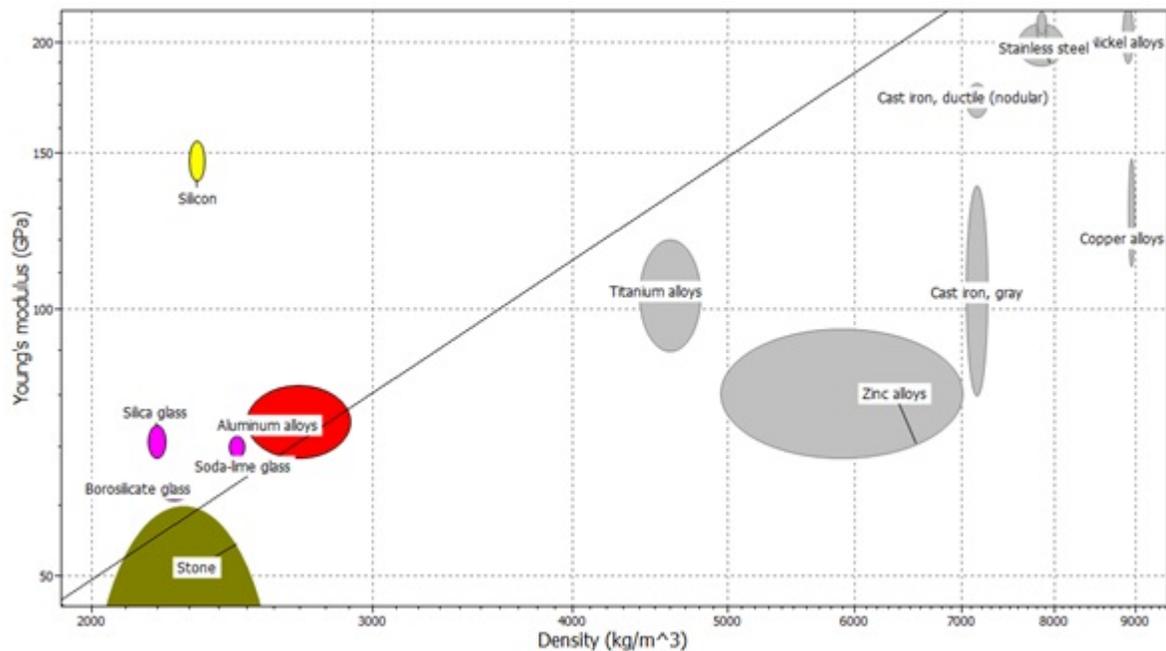


Figura 3.2: Gráfica de Ashby Densidad-Módulo de Young.

Se obtiene que nuestra curva pasa por dos grupos de materiales, pero uno queda descartado por no ser metal, por lo cual el material seleccionado es alguna aleación de aluminio.

Tomando en cuenta que debe ser de bajo costo y también de tenerlo a la mano, se busca el aluminio más comercial, el cual sería:

ALUMINIO ALEACIÓN 6063 T-5

3.6. Dimensiones

Para comenzar con el diseño de la grúa torre, nos auxiliaremos de una Grúa Torre de Meccano modelo 15308, la cual fue adquirida con el único propósito de darnos una idea de que partes constituyen a una real, ya que no se contaban con conocimientos previos de una real, más aquellos vistos en libro, Internet y vídeos.

De igual manera, al ser una grúa a escala de juguete para niños, se busca construir una grúa a escala más robusta, con cualidades más específicas y necesarias para poder cumplir con todos los objetivos planteados tanto para este parte de la tesis como para aquellos objetivos planteados a futuro.

Para comenzar con el diseño de la Grúa Torre, primeramente veamos las dimensiones de esta, es decir tratemos de reproducir alguna grúa torre real a escala, sin caer en la copia

exacta a escala, por lo cual se propone la grúa mas alta del mundo la ya mencionada antes Grúa Torre Kroll K10000, la cual puede levantar un peso de 120 toneladas, a una altura de 126 metros y mover la carga una distancia de 82 metros.

Tomando en cuenta que el campo de trabajo no debe superar un espacio cuadrado de 1.5 metros, se propone la escala de 1:160.

Así, la grúa torre a diseñar tendrá una altura de 75 cm y podrá mover la carga a una distancia de 50 cm aproximadamente.

3.7. Estructura

Si miramos a nuestro alrededor, todo objeto, en cualquier forma, posee una estructura, o esqueleto que soporta su propio peso y también fuerzas con las cuales interactúa este, además, mantiene unidas entre si los elementos que la conforman. Una estructura tiene diferentes funciones, como soportar pesos, resistir fuerzas externas, dar forma, sirven de protección, etc.

Existen una gran variedad de estructuras, entre las que más nos interesan se encuentran las estructuras de armazón o armaduras. Estas, formadas por barras, tubos, pilares, vigas o cables unidos entre, para formar un armazón. Según la disposición de sus elementos puede ser:

- Triangulares: Se forman por la unión de barras que van formando triángulos, comúnmente usadas en torres de luz, grúas, puentes.
- Entramadas, las cuales tiene elementos verticales y horizontales que se unen entre sí, formando una especie de mallas.
- Colgadas: El peso es soportado por cables que están unido a otros elementos más robustos como muros o torres resistentes. Este tipo es comúnmente usado para puentes colgantes.

Estas estructuras, están sometidas a diferentes tipos de esfuerzos como lo son de tensión, compresión, flexión, cortadura y tensión. Por lo cual a la hora de diseñar, se debe pensar a que esfuerzos se someterá nuestra estructura.

Para las estructuras de gran tamaño, como torres, puentes, cubiertas de edificios, se utilizan normalmente barras de metal, las cuales entre sí forman triángulos. El triángulo, es el único polígono que no se deforma, cuando se le aplica una fuerza. Cualquier otra forma geométrica que tengan los elementos de una estructura no será rígida hasta que no se triangulase.

En la ingeniería estructural, una celosía es una estructura reticular de barras rectas o interconectadas en nodos formando triángulo planos (en celosías planas) o pirámides tridimensionales (en celosías espaciales). El interés en este tipo de estructuras es que las barras trabajan predominantemente a compresión y tensión presentando comparativamente.

Las celosías planas de nudos articulados pueden dividirse en:

- Celosías simples, las cuales son estáticamente determinadas (Estructura que puede ser analizada mediante los principios de la estática; la supresión de cualquiera de sus ligaduras conduce al colapso), en el que el número de barras y el número de nudos satisface que $b+3=2n$.
- Celosías compuestas, son también celosías estáticamente determinadas con $b+3=2n$ que pueden construirse uniendo dos o más celosías simples. De tal manera que cada par comparta una de sus articulaciones y se añade alguna barra adicional entre cada par de modo que cualquier movimiento de una respecto de la otra este impedido.
- Celosías complejas, las cuales engloban a cualquier celosía plana que no sea de los tipos anteriores, son estructuras hiperestáticas (una estructura es hiperestática o estáticamente indeterminada cuando está en equilibrio pero las ecuaciones de la estática resultan insuficientes para determinar todas las fuerzas internas o las reacciones).

3.7.1. Celosías planas estáticamente determinadas

Una celosía se llama estáticamente determinada o totalmente isostática si se aplican sucesivamente las ecuaciones de equilibrio mecánico, primero al conjunto de la estructura, para determinar sus reacciones, y luego a las partes internas, para determinar los esfuerzos sobre cada uno de los elementos que la integran, estas dos condiciones se llaman:

- Isostaticidad externa, cuando es posible calcular las reacciones usando exclusivamente las ecuaciones de la estática. Para que esto suceda el número de grados de libertad eliminados por los anclajes varios de la celosía debe ser a lo sumo de tres, puesto que solo existen tres ecuaciones independientes de la estática aplicables al conjunto de la estructura.
- Isostaticidad interna, cuando es posible determinar los esfuerzos internos de cada una de las barras que forman la estructura, como veremos para que se de esta condición se requiere una cierta relación entre el número de barras y nudos.

Una celosía plana, solo podrá ser isostática si está formada por nudos articulados y las barras solo transmiten esfuerzos a otras barras en la dirección de su eje. Como una estructura de barras articuladas solo puede comportarse rígidamente si cada región mínima encerrada por las barras es triangular, las celosías planas estáticamente determinadas están formadas

por barras que forman regiones triangulares adyacentes unas a otras.

Además, la condición de estar estéticamente determinada conlleva, como vamos a ver, una relación entre el número de barras y nudos. Llamemos b =numero de barras y n =numero de nudos. La condición de Isostaticidad interna y externa requieren que el número de ecuaciones estáticas linealmente independientes iguale al número de incógnitas:

1. Empecemos contando el número de incógnitas: si la estructura es externamente isostática las reacciones totales dependerían de tres valores incógnitas, por otro lado la condición de Isostaticidad interna requeriría que determinemos el valor del esfuerzo axial de cada barra. Esto nos da $b+3$ incógnitas.
2. En cuanto al número de ecuaciones de la estática, al no existir momentos flectores y ejercer cada barra solo esfuerzo según su eje, se puede ver que en cada uno de los n nudos de la estructura las fuerzas verticales y horizontales deben anularse, eso nos da dos ecuaciones por nudo. En total podemos plantear el equilibrio de cada nudo independientemente por lo que el número de ecuaciones totales es de $2n$.

La condición de la Isostaticidad de la celosía requerida por tanto es:

$$b + 3 = 2n \tag{3.10}$$

3.7.2. Las celosías tridimensionales

Las celosías tridimensionales isostáticas se forma a partir de tetraedros. Otra posibilidad común para las celosías tridimensionales es hacerlas de base cuadrada y rigidez de algún modo en el plano de las bases. Una celosía espacial es internamente isostáticas si el número de barras b que la forman y el número de nudos n que forman las barras entre si satisface que:

$$b + 6 = 3n \tag{3.11}$$

En la actualidad se utilizan las columnas en celosías en las plumas de las grúas y en las torres de televisión o radio. En esas aplicaciones se pueden substituir los miembros de cuatro ángulos, junto con las barras de la celosía por barras solidas redondeadas con conexiones de extremo soldadas, que ayudan a reducir las cargas de viento de hielo en los miembros expuesto[20].

Las barras de las celosías no soportan ninguna carga de la columna, pero cumplen con las siguientes funciones:

1. Mantienen en su posición a las partes componentes de la columna en celosía para conservar la forma de la sección trasversal de la columna. Para el mismo propósito, se

debe proveer en forma intermitente un arriostramiento cruzado en un plano normal al eje de la columna.

2. La celosía proporciona soporte lateral a los segmentos componentes de las columnas en cada punto de conexión. La relación l_0/r_0 de cada ángulo individual entre los puntos de soporte, debe ser menor que la relación general l/r del miembro completo, ver figura ??

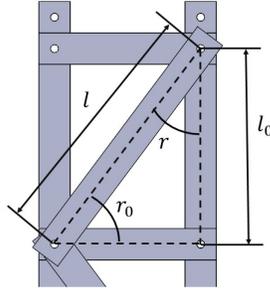


Figura 3.3: Celosías.

3. La celosía actúa como un remplazo de alma para resistir el cortante y permitir la transferencia correspondiente de las variaciones longitudinales de esfuerzos en los elementos longitudinales. Las barras de celosía se pueden diseñar como miembros secundarios pero deben actuar en tensión o compresión y se deben diseñar para las dos condiciones de carga.

3.8. Torre

Analizando lo referente a la estructuras en celosías, conociendo las dimensiones se propone el siguiente diseño para la torre de la Grúa Torre.

Proponiendo una estructura en celosica sencilla plana, primeramente veamos si cumple con la condición de la Isostaticidad de la celosía requerida dada por $b + 3 = 2n$, donde $b = 25$ barras y $n = 14$ nodos por lo cual se observa que se cumple muy bien la condición de Isostaticidad.

Ahora veamos si se cumple la relación l_0/r_0 es menor que la relación general l/r del miembro completo.

$$\frac{l_0}{r_0} = \frac{99.10}{53.21} = 1.86 \frac{l}{r} = \frac{123.74}{36.79} = 3.36 \quad (3.12)$$

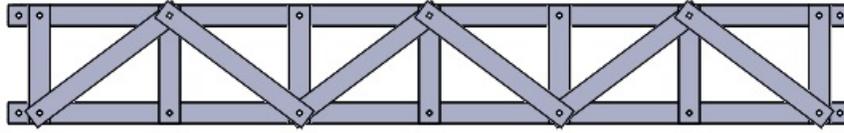


Figura 3.4: Celosía Plana propuesta.

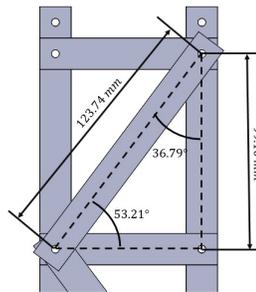


Figura 3.5: Celosía Plana propuesta.

La relación $l/r > l_0/r_0$ se cumple. Por lo tanto este diseño es viable, y con base a esto podemos construir un primer diseño de la torre compuesta por cuatro caras de celosía simple, mostradas en la figura ??.

Como se forma una celosía tridimensional veamos si es internamente isostática, es decir, el número de barras b que la forman y el número de nudos n que forman las barras entre si satisface que $b + 6 = 3n$, con $b = 78$ barras y $n = 28$ se cumple la condición de isostaticidad interna para una celosía tridimensional.

Veamos por medio de una simulación como se comporta la estructura estéticamente cuando se le aplica una fuerza aproxima 2 Kg-F.

Con esta simulación podemos concluir al menos dos cosas, la primera es que en comparación con el modulo de young del aluminio de $69GPa$ y el esfuerzo equivalente máximo de la simulación igual a $66.034KPa$, la deformación que presenta esta dentro de la deformación lineal que presenta el material, y en segundo lugar como vemos la deformación de la figura según la tabla de colores, este esfuerzo equivalente apenas si toca el valor de $7.337 KPa$. Por tanto es diseño es viable.

3.9. Pluma

Se propone una estructura de una solo cara. Primeramente veamos si cumple con la condición de la Isostaticidad de la celosía requerida dada por $b + 3 = 2n$, donde $b = 23$ barras y

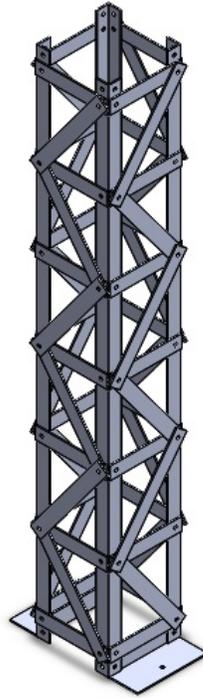


Figura 3.6: Torre.

$n = 13$ nodos por lo cual se observa que se cumple muy bien la condición de Isostaticidad.

Veamos si se cumple si la relación l_0/r_0 es menor que la relación general l/r del miembro completo.

$$\frac{l_0}{r_0} = \frac{90}{74.79} = 1.2 \frac{l}{r} = \frac{174.10}{56.21} = 3.09 \quad (3.13)$$

La relación $l/r > l_0/r_0$ se cumple. Por lo tanto este diseño es viable, y con base a esto podemos construir un primer diseño de la torre compuesta por tres caras de celosía simple, por lo cual se obtiene.

Como se forma una celosía tridimensional veamos si es internamente isostática, es decir, el número de barras b que la forman y el número de nudos n que forman las barras entre si satisface que: $b + 6 = 3n$, con $b = 54$ barras y $n = 20$, se cumple la condición de isostaticidad interna para una celosía tridimensional.

Ahora bien, veamos el comportamiento de la pluma en un simulación, suponiendo que tolera una fuerza de $1kg - F$ en su extremo, recordemos que esta pluma sera conectada al centro de la grúa torre y ademas también se sujeta por medio de una cuerda al centro de la la grúa torre.

De igual manera podemos concluir dos cosas de esta simulación, la primera que en comparación con el modulo de Young del aluminio de $69GPa$ y el esfuerzo máximo equivalente

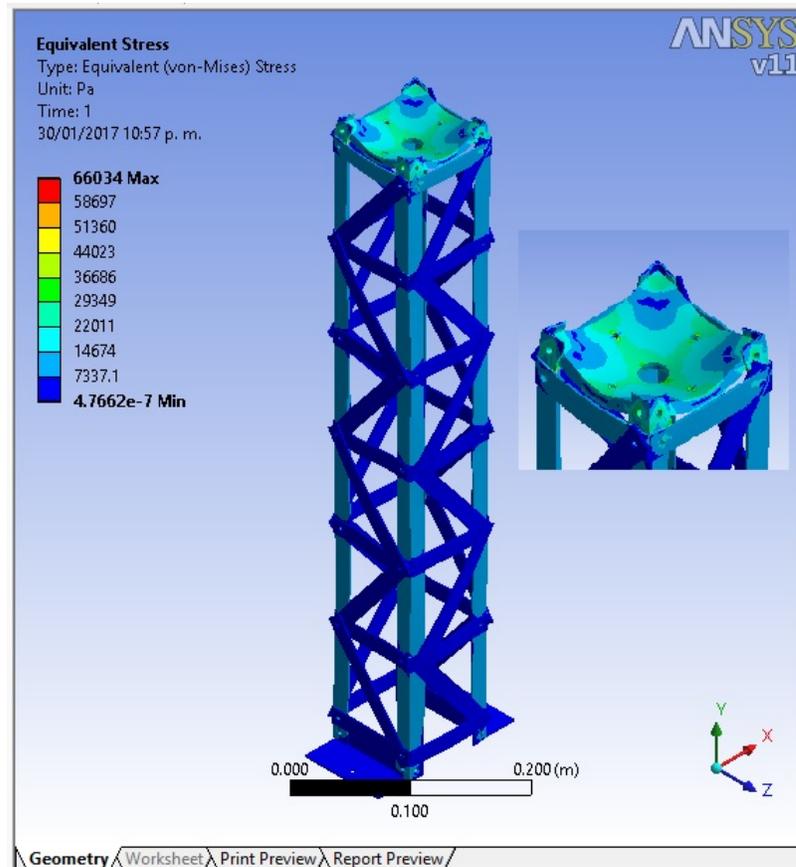


Figura 3.7: Simulación de la Torre.

de 4.54MPa la deformación que presenta esta dentro de la deformación lineal que presenta el material, y en segundo lugar como vemos la deformación de la figura según la tabla de colores, este esfuerzo equivalente apenas si toca el valor de 0.05 Pa . Muy probablemente esto quiere decir que antes de que falle la estructura, fallara la cuerda que sujeta la pluma con el centro de la grúa torre y por tanto este diseño es viable.

3.10. Contra-Pluma

La contra-pluma esta compuesta de de tres caras, dos de ellas similares, primero revisemos la cara que sirve de base.

Como en los casos anteriores veamos si cumple con la condición de la Isostaticidad de la celosía requerida dada por $b + 3 = 2n$, con $b = 21$ barras y $n = 12$ nodos lo cual se observa que se cumple muy bien la condición de Isostaticidad.

Veamos si se cumple la relación l_0/r_0 es menor que la relación general l/r del miembro

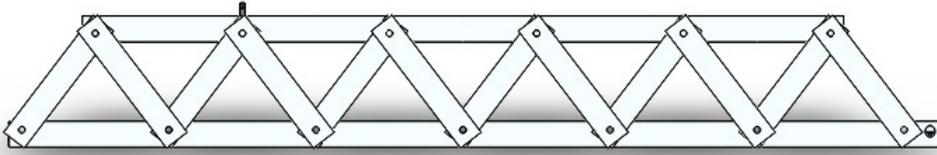


Figura 3.8: Celosía Plana propuesta.

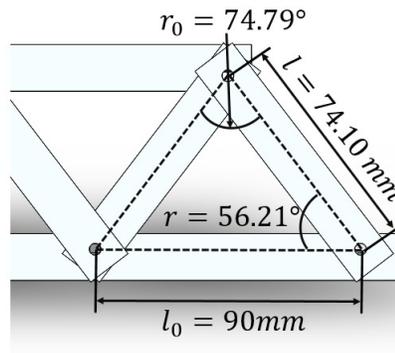


Figura 3.9: Celosía Plana propuesta.

completo.

$$\frac{l_0}{r_0} = \frac{60}{43.1} = 1.39 \frac{87.8}{46.85} = 1.8 \quad (3.14)$$

Para las caras laterales de la Contra-Pluma se propone la cara en celosía de la siguiente figura.

Ahora veamos si cumple con la condición de la Isostaticidad de la celosía requerida dada por $b + 3 = 2n$, con $b = 19$ barras y $n = 11$ nodos lo cual se observa que se cumple la condición de Isostaticidad.

Veamos si se cumple la relación l_0/r_0 es menor que la relación general l/r del miembro completo.

$$\frac{l_0}{r_0} = \frac{60}{85.73} = 0.69 \frac{l}{r} = \frac{44.1}{47.14} = 0.93 \quad (3.15)$$

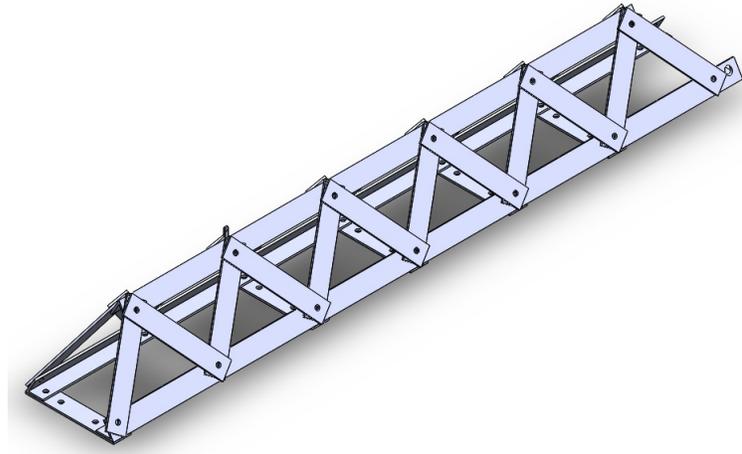


Figura 3.10: Pluma.

La relación $l/r > l_0/r_0$ se cumple. Por lo tanto este diseño es viable, y con base a esto podemos construir un diseño de la Contra-Pluma compuesta por la cara base y dos carras laterales de celosía simple, por lo cual se obtiene.

Podemos observar que es una estructura abierta en comparación con la Torre o la Pluma, por lo cual veremos cual es su comportamiento en simulaciones, probando con un peso de 0.5 Kg-F y de igual manera tomando en cuenta que esta estructura también se sostendrá de dos cuerdas las cuales irán en el centro de la Grúa torre

Como podemos observar, que si comparamos el modulo de Young del aluminio de $69GPa$ y el esfuerzo máximo equivalente de $0.552MPa$ la deformación que presenta esta dentro de la deformación lineal que presenta el material, y por otro lado vemos la deformación de la figura según la tabla de colores, este esfuerzo equivalente apenas si toca el valor de $0.08Pa$, por tanto este diseño es viable.

3.11. Centro de la Grúa Torre

Finalmente, para completar la estructura de la Grúa Torre se procede a proponer una estructura central, compuesta por una estructura tipo cubo y una estructura piramidal

De esta estructura compuesta vamos su comportamiento en simulaciones, tomando en cuenta que cargara con el peso de la pluma, la contra pluma, veamos como se podría comportar, de igual manera con un peso de $2.5kg - F$

Observando la simulación podemos comparar el modulo de Young del aluminio de $69GPa$ y el esfuerzo máximo equivalente de $2.03MPa$ la deformación que presenta esta dentro de la deformación lineal que presenta el material, y por otro lado vemos la deformación de la figura según la tabla de colores, este esfuerzo equivalente apenas si toca el valor de $0.452MPa$, por tanto este diseño es viable.

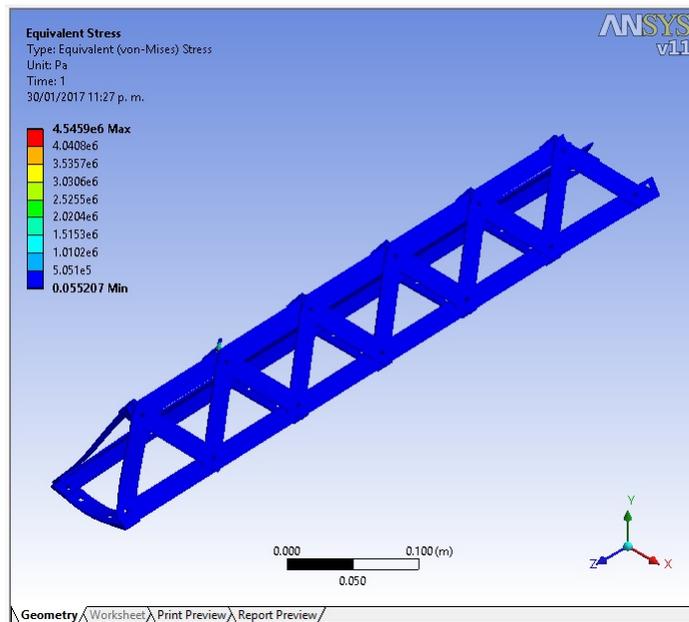


Figura 3.11: Simulación de la Pluma.

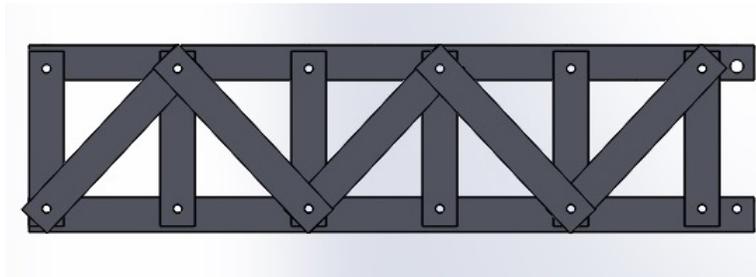


Figura 3.12: Torre.

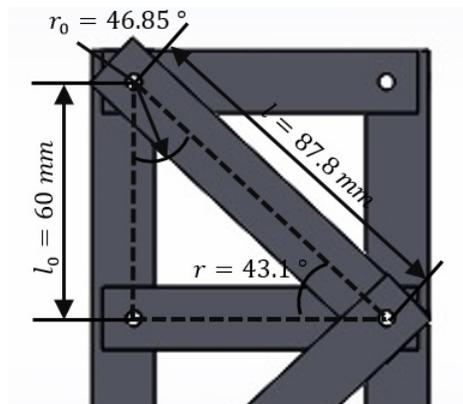


Figura 3.13: Celosía Plana propuesta.

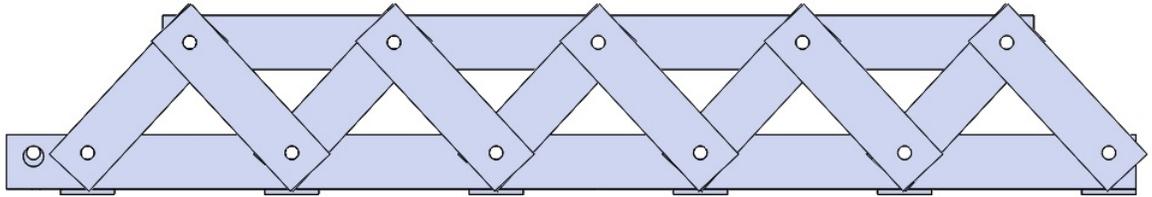


Figura 3.14: Torre.

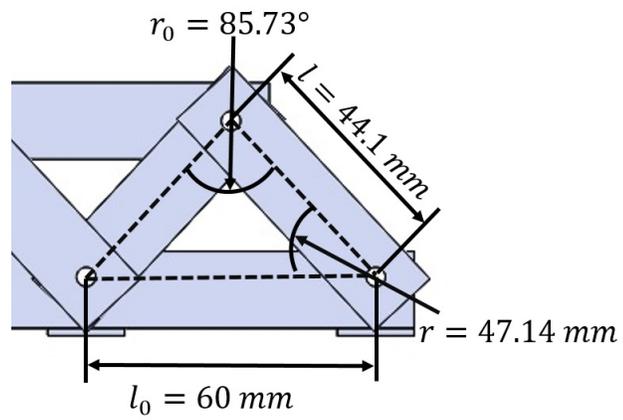


Figura 3.15: Celosía Plana propuesta.

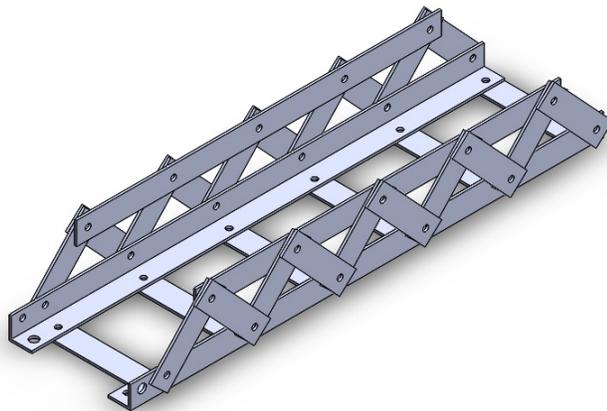


Figura 3.16: Contra-Pluma.

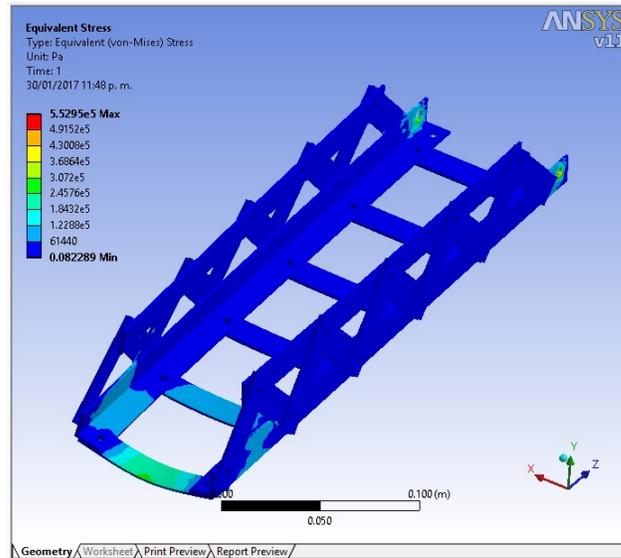


Figura 3.17: Simulación de la Contra-Pluma.

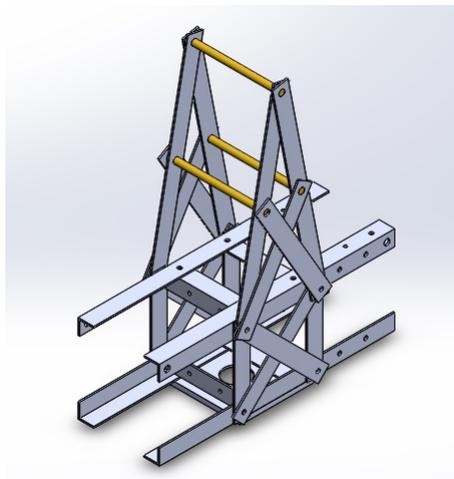


Figura 3.18: Centro de la Grúa Torre.

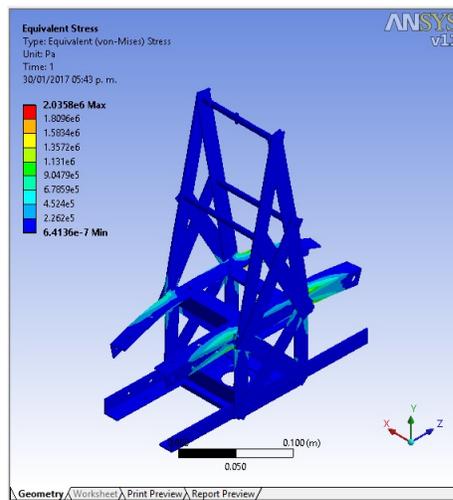


Figura 3.19: Simulación Centro de la Grúa Torre.

Capítulo 4

Manufactura y Construcción de la Grúa Tipo Torre

4.1. Manufactura

Para poder manufacturar el diseño propuesto se contó con el siguiente equipo de manufactura

Una fresadora de la serie Kenta zx40a como la mostrada en la figura, datos técnicos en el Apéndice B.



Figura 4.1: Partes de la Torre.

Un torno de la serie BV20EL-1 como la mostrada en la figura, los datos técnicos se presenten en el Apéndice B.



Figura 4.2: Partes de la torre.

4.2. Construcción

4.2.1. Torre

Una vez propuesto el diseño para la torre, se decide construirlo a base de angulo y solera de aluminio. La torre se puede construir de cuatro componentes principales:

1. Columna de Torre
2. Unión Horizontal de Torre
3. Unión Angular de Torre
4. Unión a Base de Torre

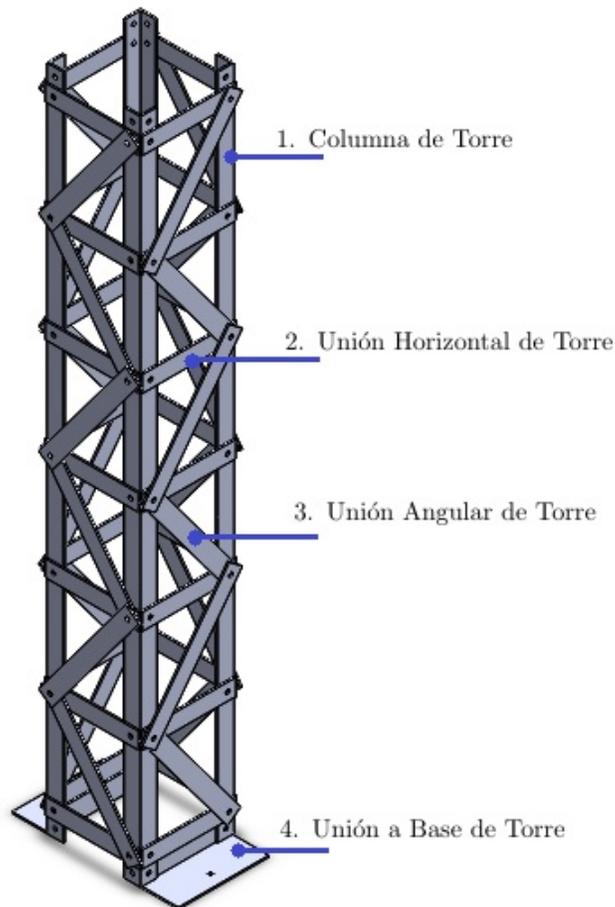


Figura 4.3: Partes de la torre.

Cada plano de las piezas que conforman la torre, se encuentra en el apéndice D, al igual de las propiedades del material, las cuales se encuentran en el apéndice B.

Finalmente se obtiene la torre construida, mostrada en la siguiente imagen:

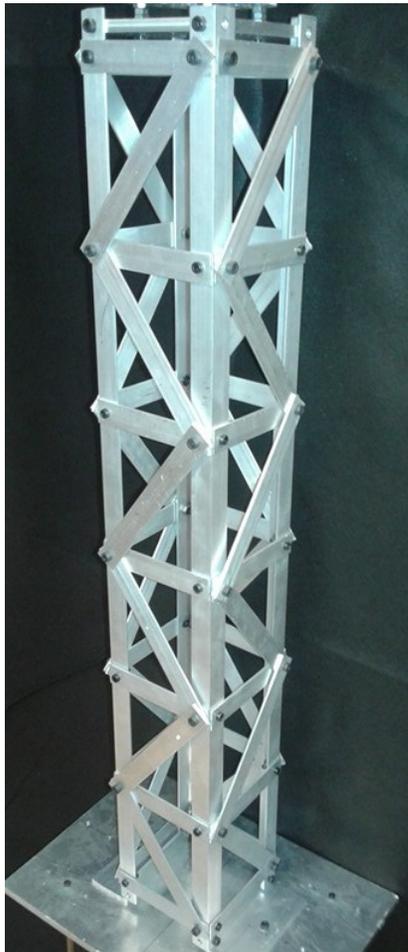


Figura 4.4: Torre Construida

4.2.2. Pluma

Para seguir con la construcción de la grúa torre, el siguiente paso es la construcción de la pluma la cual esta compuesta por:

1. Viga principal de pluma
2. Viga secundaria de pluma
3. Unión horizontal de Pluma
4. Unión angular de pluma

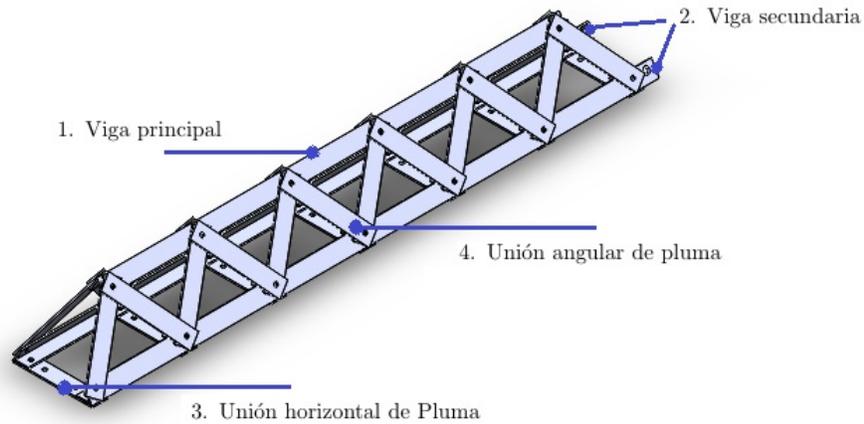


Figura 4.5: Partes de la Pluma.

De igual manera, los planos de cada una de las piezas de la estructura se encuentran en el apéndice D y las especificaciones del material en el apéndice.

Finalmente se obtiene la Pluma construida, mostrada en la siguiente imagen:

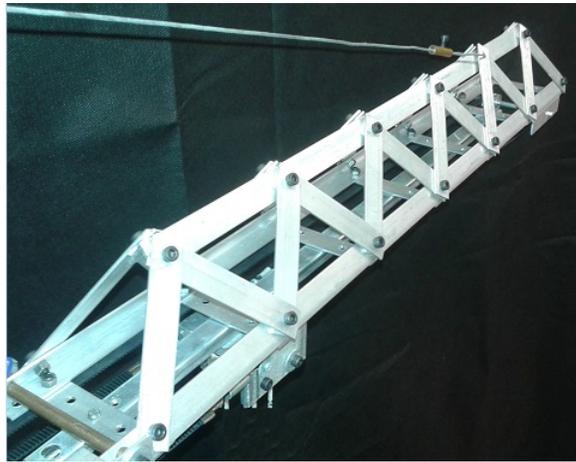


Figura 4.6: Pluma construida

4.2.3. Contrapluma

Para seguir con la construcción de la estructura de la Grúa Torre, se procede a construir la contrapluma la cual está compuesta por:

1. Viga principal de Contrapluma

2. Barandal de Contrapluma
3. Unión horizontal de Contrapluma
4. Unión angular de Contrapluma

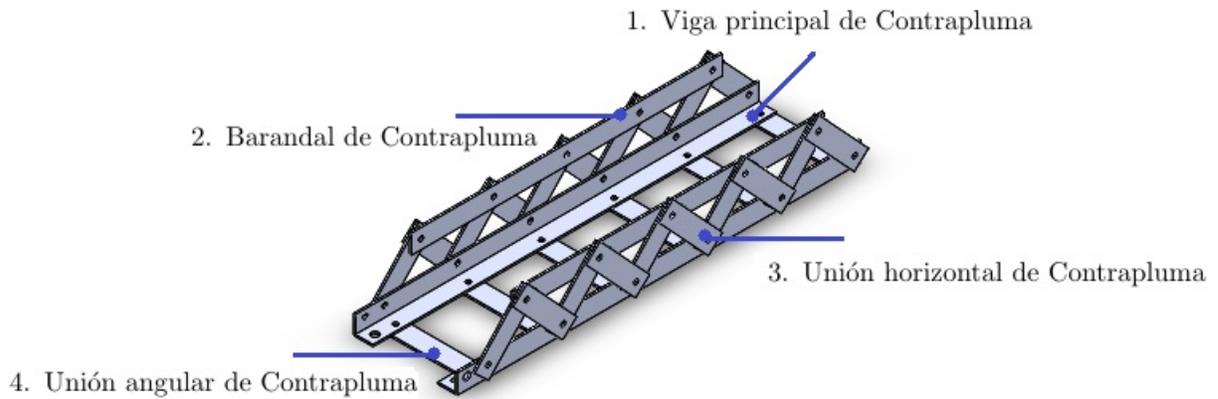


Figura 4.7: Partes de la contrapluma

Los planos de cada una de las piezas de la contrapluma están en el apéndice D, y las propiedades del material en el apéndice B..

Finalmente se obtiene la Pluma construida, mostrada en la siguiente imagen

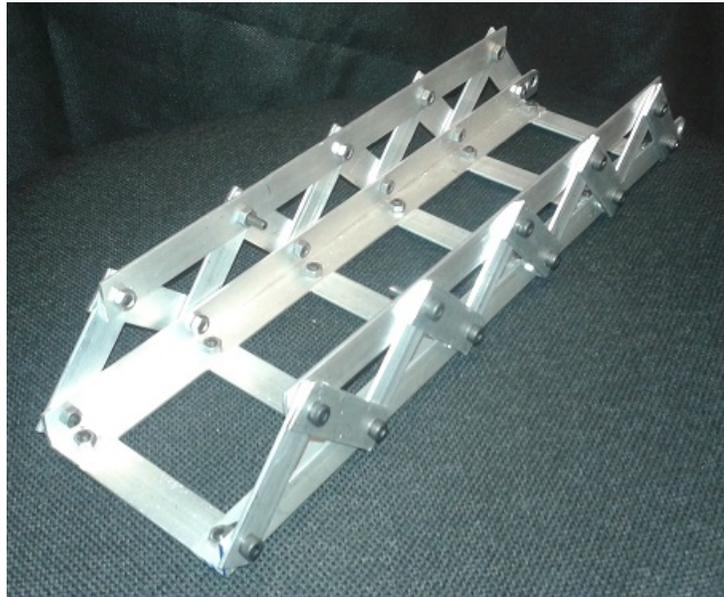


Figura 4.8: Contrapluma Construida

4.2.4. Centro de la Grúa Torre

Finalmente para concluir con la estructura de la Grúa Torre, se procede a construir el centro de la Grúa Torre, la cual sera la principal unión de la torre, la pluma y la contrapluma, esta compuesta por:

1. Base de balero superior
2. Base A1, A2, A3 y A4
3. Unión vertical
4. Unión angular
5. Unión Horizontal C1 Y C2
6. Columna
7. Unión angular de Columna
8. Eje superior
9. Eje medio

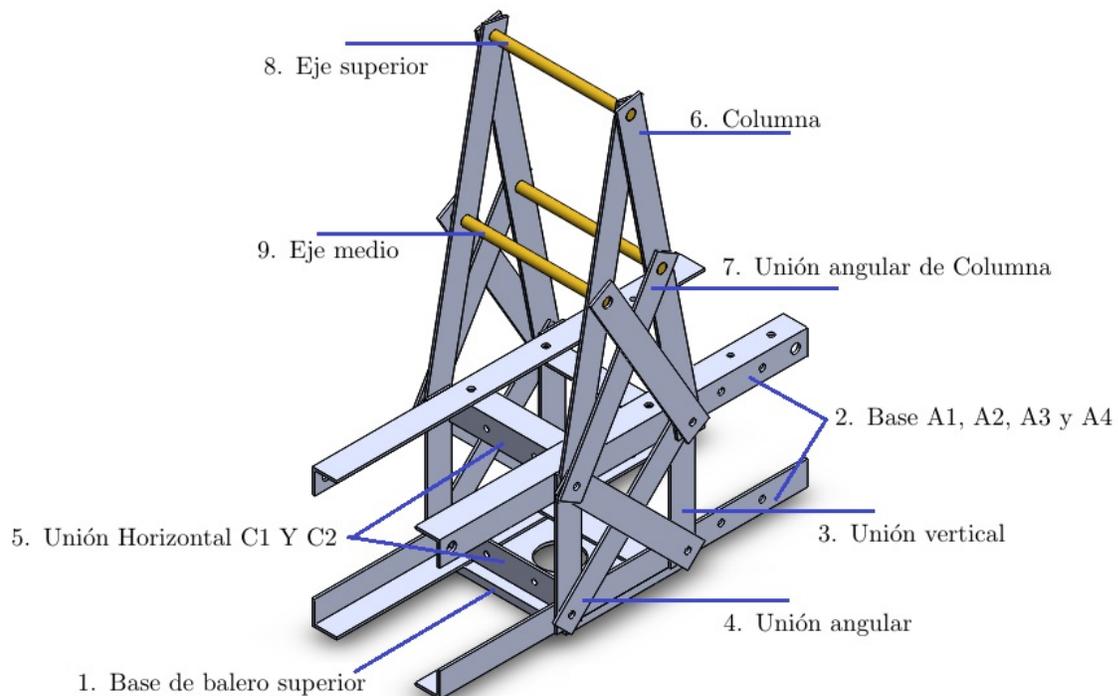


Figura 4.9: Partes de la Estructura Central de la Grúa Torre

Los planos de las piezas de la cuales se forma el centro de la grua se presentan en el apendice D y el material de estas piezas se presenta en el apendice B. Finalmente, se presenta la estructura central, manufacturada y construida como se muestra en la siguiente imagen:

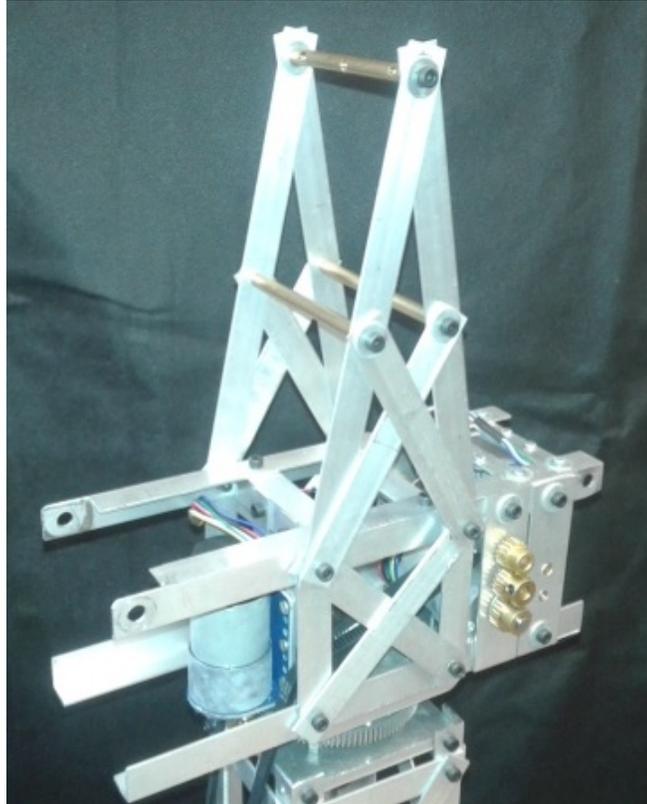


Figura 4.10: Centro de la Grúa Torre.

4.3. Ensamble de la Grúa Torre

Para seguir con el diseño de la Grúa Torre, ahora se muestra la forma en que se acoplan o ensamblan cada una de las partes de la estructura, además de cual es el mecanismo de cada uno de los tres grados de libertad controlables de una Grúa Torre.

Se acopla la Pluma, la Contrapluma al Centro de la Grúa Torre por medio de un par de ejes, como se muestra en la siguiente figura:

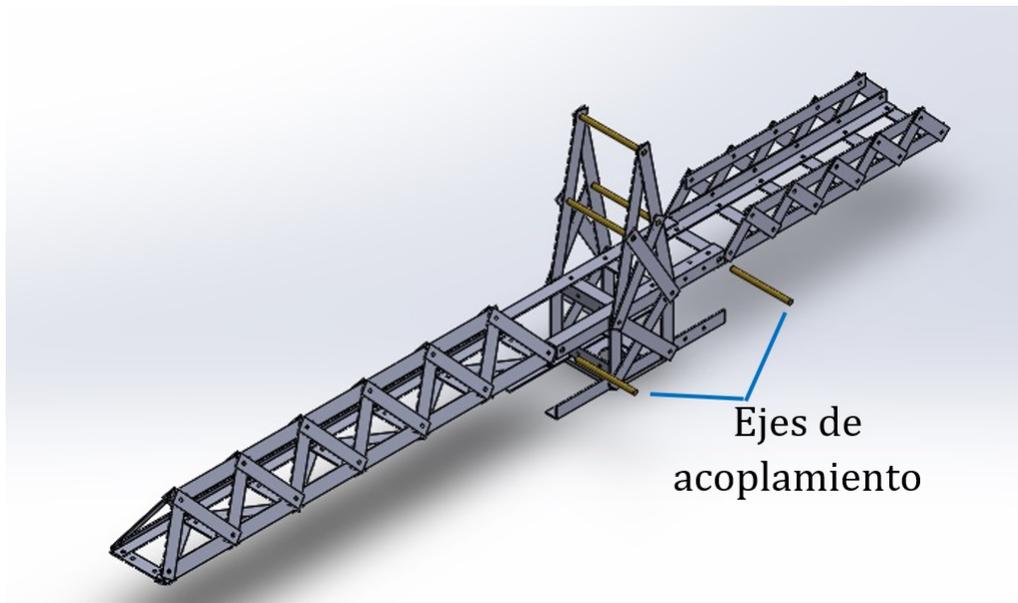


Figura 4.11: Unión de la Pluma, el Centro de la Grúa Torre y la Contrapluma.

Para continuar con este ensamble, es necesario sujetar a la pluma y a la contrapluma al centro de la grúa, además de los ejes, por medio de tres cuerdas tensoras como se muestran en la siguiente imagen:

Para unir esta estructura formada con la torre nos auxiliaremos, de una base donde puede descansar la pluma, la estructura formada anteriormente, esta base está conformada por un engrane fijo con base, un eje y un balero. ver siguiente figura:

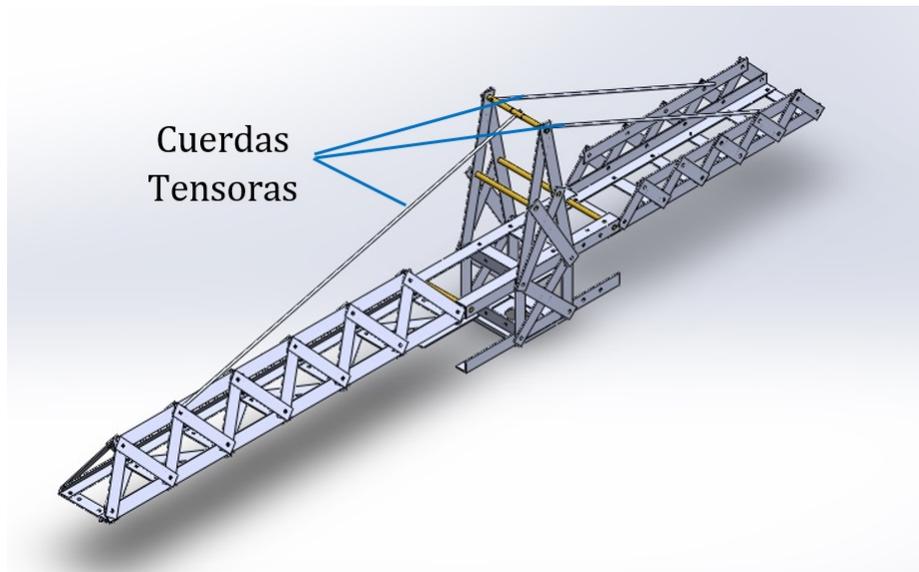


Figura 4.12: Cuerdas tensoras.

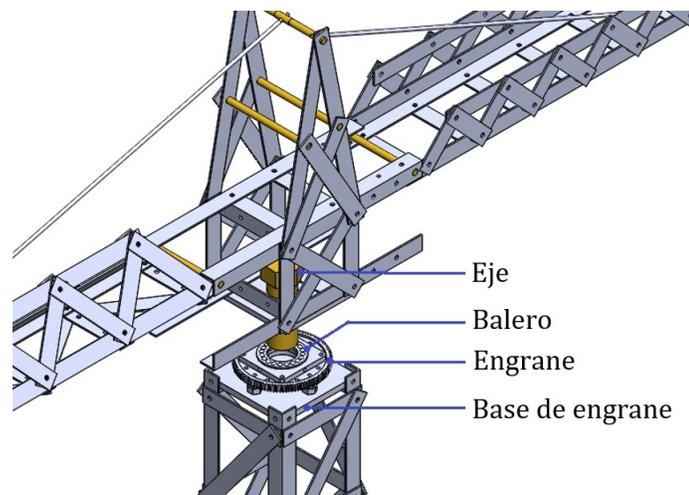


Figura 4.13: Unión Pluma, Centro de la Grúa Torre, Contrapluma y Torre.

4.4. Grados de Libertad de la Grúa Torre

Una vez acoplada, toda la estructura de la Grúa Torre, el siguiente paso es darle movilidad a cada uno de sus grados de libertad, los cuales son el Giro de la pluma, el desplazamiento del carro por la pluma y poder subir y bajar la carga.

4.4.1. Giro de la Pluma

Primeramente, para el giro de la pluma, nos auxiliaremos del engrane fijo, el cual es de aluminio con 100 dientes accionado por un piñón de de 20 dientes el cual esta acoplado a un motor de CD con una reducción de 30:1 sujetado al Centro de la Grúa Torre.

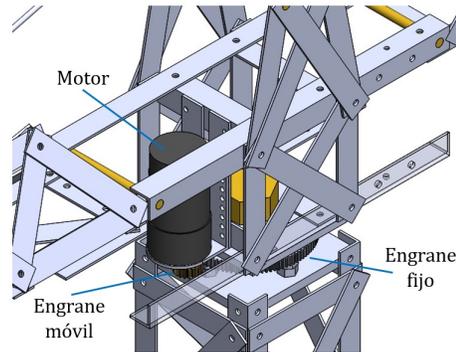


Figura 4.14: Mecanismo de Giro de la Pluma.

4.4.2. Movimiento del carro sobre la pluma

Para poder hacer que el carro se mueva sobre la pluma, se necesitan de tres partes muy importantes las cuales son

1. El carro y el Riel
2. Bandas dentadas
3. Trasmisión de motor a engranes y bandas

El carro y el Riel

El carro y el riel estan montados sobre la parte inferior de la pluma, el carro por medio de baleros lineales, permite que se mueve sobre todo el riel como se muestra en la siguiente figura

Bandas dentadas

Esta parte consta de un par de bandas dentadas de aproximadamente 1.5 metros de largo, las cuales son accionadas por un un par de poleas dentadas por cada banda, estas están sujetas al carro, lo cual permitira el movimiento traslacional sobre la pluma.

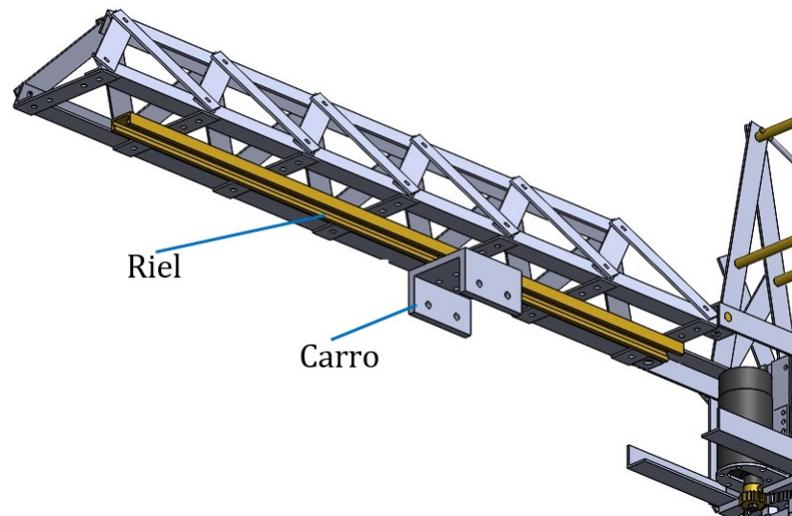


Figura 4.15: EL carro y el Riel.

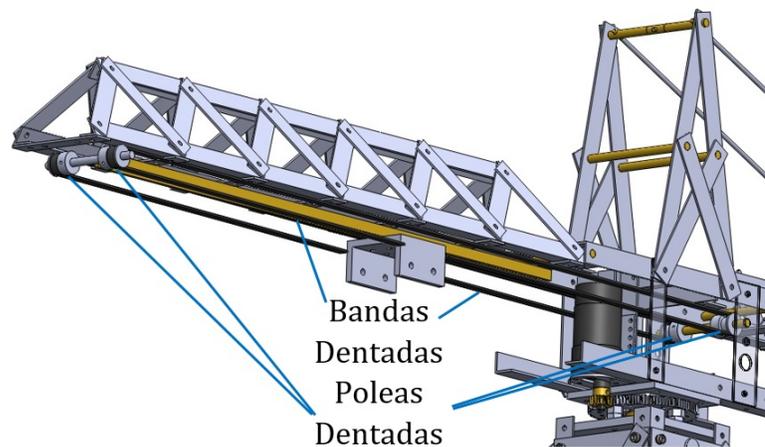


Figura 4.16: EL carro y el Riel.

Trasmisión de motor a engranes y bandas

Finalmente, el movimiento traslación de la Grúa torre, es accionada por un motor de C.D. con una reducción 30:1 la cual necesita de una combinación de engranes externos para poder transmitir el movimiento.

4.4.3. El ascenso y descenso de la carga

El ascenso y descenso de la carga esta a cargo de un juego de poleas y cuerdas, las cuales aseguran cierta ventaja mecánica y permiten levantar o bajar la carga.

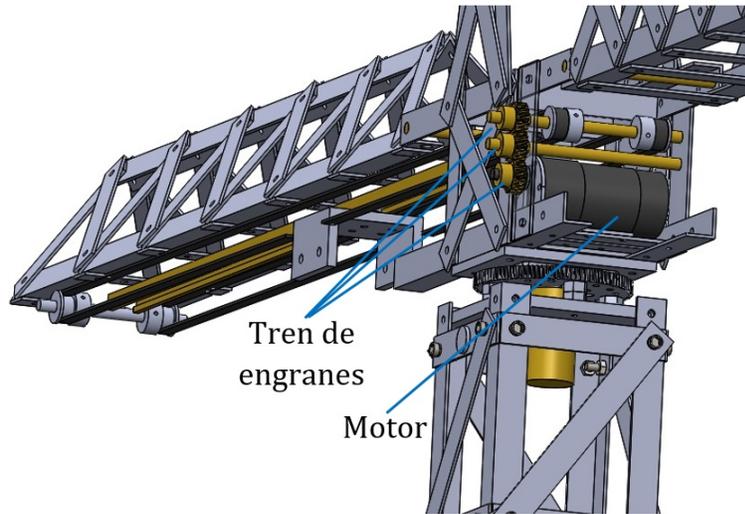


Figura 4.17: EL carro y el Riel.

De igual manera, este movimiento esta a cargo de una motor de C.D. con una reducción de 30:1 la cual necesita de una combinación de engranes externos para poder transmitir el movimiento.

4.5. Grúa Torre Final

Finalmente obtenemos las siguientes características físicas de la Grúa torre Terminada, la cual presenta los pesos mostrados en la Tabla 4.1

Estructura	Peso ($kg - F$)	Material
Base	2.1	Aluminio y Latón
Torre	0.96	Aluminio
Pluma	0.8	Aluminio
Contrapluma	0.3	Aluminio
Centro de Grúa	2.43	Aluminio y Latón

Tabla 4.1: Estructuras que componen a la Grúa Torre a escala.



Figura 4.18: Grúa Torre Final a Escala.



Figura 4.19: Grúa Torre Final a Escala.



Figura 4.20: Grúa Torre Final a Escala.



Figura 4.21: Grúa Torre Final a Escala, acercamiento del centro.



Figura 4.22: Grúa Torre Final a Escala, vista trasera.

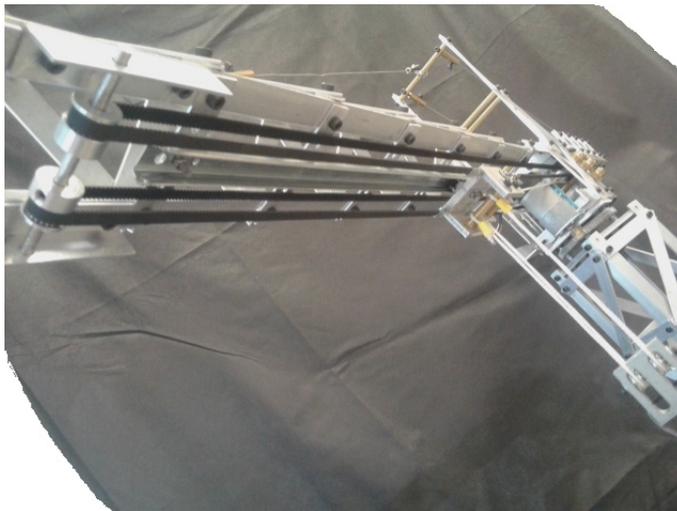


Figura 4.23: Grúa Torre Final a Escala, vista inferior.

Capítulo 5

Análisis Estructural de la Grúa Tipo Torre

5.1. Introducción

Como sabemos la Mecánica es una rama de las ciencias físicas que estudia el estado de reposo o movimiento de los cuerpos que están sometidos a la acción de fuerzas. En general, esta rama de las ciencias puede dividirse en tres subramas: mecánica de cuerpos rígido, mecánica de cuerpos deformables y mecánica de fluidos. Estudiar la mecánica de cuerpos rígidos y deformables nos permite tener la base para un diseño y análisis de muchos tipos de elementos estructurales, componentes mecánicos, etc.

La mecánica de cuerpos rígidos se divide en dos áreas muy importantes, el estudio de la dinámica y la estática. La estática estudia el equilibrio de los cuerpos, ya sean de cuerpos en reposo o en movimiento con velocidad constante. Por otra parte, la dinámica estudia el movimiento de los cuerpos con aceleración.

Tanto el estudio de la dinámica o estática se aplican, en este caso, a una armadura o estructura. Se define a la armadura en mecánica como una estructura compuesta de elementos esbeltos, unidos entre sí. En particular, las armaduras planas se sitúan en un solo plano y con frecuencia se usan para soportar techos y puentes. Por otro lado, si tres elementos se conectan entre sí mediante pasadores en sus extremos, forman una armadura triangular que sera rígida; al unir dos elementos más y conectar a una junta, se forma una armadura más grande. Este procedimiento puede repetirse todas las veces que se desee para formar una armadura aún más grande. Si una armadura se puede construir expandiendo de este modo la armadura triangular básica se denomina armadura simple.

Por otro lado, tenemos una armadura espacial, que consiste en elementos unidos en sus extremos para formar una estructura tridimensional estable. La forma más simple de una armadura espacial es un tetraedro, formado al conectar seis elementos entre sí. Una armadura

espacial simple puede construirse a partir de este tetraedro básico.

En la actualidad hay armaduras mas complejas, tal es el caso de los bastidores y máquinas, las cuales están compuestas por elementos sometidos a varias fuerzas. Los bastidores se usan para soportar cargas mientras que las máquinas contienen partes móviles y están diseñadas para transmitir y modificar el efecto de las fuerzas.

Siempre que un bastidor o una máquina no contengan más soportes o elementos que los necesarios para evitar el colapso, las fuerzas que actúan en las uniones y soportes pueden determinarse si se aplican las ecuaciones de equilibrio a cada uno de sus elementos.

5.2. Análisis de estructuras

EL análisis estructural, sera todo aquello que nos lleve a saber como se comportara nuestra estructura tanto dinamicamente como estéticamente. Es decir, llegar a conocer los esfuerzos internos, deformaciones y tension, ademas de estudiar aquellos casos en los cuales se presentaran vibraciones y los efectos que estas tendrán, sobre una estructura ya sea de edificaciones, esqueletos o maquinas.

5.2.1. Análisis estático de estructuras

El método empleado para el análisis estructural estático difiere según la complejidad y precisión requerida por los cálculos.

El método clásico, es usado para estructuras muy sencillas, entre los que se encuentra la teoría de vigas de Euler-Bernoulli, el cual es aplicable solo a barras esbeltas sometidas a flexión y esfuerzos axiales. Cabe aclarar que no todas las estructuras se dejan analizar por este método, cuando existen elementos estructurales bidimensionales en general deben emplearse métodos basados en resolver ecuaciones diferenciales.

También hay métodos programables, así para determinar esfuerzos sobre un marco, un pórtico, una torre, etc. Se usa frecuentemente el método matricial de la rigidez o cuando se trata de analizar elementos mas pequeños o conforma irregular donde pueden producirse concentraciones de tensiones, suelen usarse métodos numéricos mas complejos como el Métodos de elementos finitos.

Análisis de armaduras Isostáticas

El método de los nodos consiste en el planteamiento de equilibrio mecánico de cada uno de los nodos en una armadura simple, un nodo es cada unos de los puntos donde concurren

dos o mas barras. El equilibrio global de la estructura implica que el equilibrio local de cada uno de los nodos. Para que el métodos de los nodos sea aplicable a una estructura concreta deben cumplirse algunas condiciones geométricas entre ellas

- Que la estructura tenga nodos articulados
- Que se satisfaga
 - Para armaduras bidimensionales con fuerzas de trabajo en un solo plano, el numero de nodos n y el numero de barras b debe satisfacer $2n - 3 = b$, si el numero de barras es inferior se tiene un mecanismo para el cual puede no existir el equilibrio, y si el número de barras es superior el número de esfuerzos incógnita supera al de las ecuaciones de la estática lineal mente independiente
 - Para estructuras tridimensionales se debe cumplir la relación $3n - 4 = b$.

Cabe aclarar que esto fue aplicado en el diseño de la estructura, pero también tomando en cuando a los elementos de fuerza cero, lo cual simplifica de manera considerable el análisis de armaduras por el método de nodos, pero principalmente usados para incrementar la estabilidad de la armadura durante la construcción y proporcionar un soporte adicional para cuando se modifique la carga.

Análisis de armaduras hiperestáticas

Este tipo de estructuras no pueden ser analizadas únicamente por las ecuaciones de estática, ya que estas ultimas proporcionan un número insuficiente de ecuaciones. Los problemas hiperestáticos requieren condiciones adicionales usualmente llamadas ecuaciones de compatibilidad que involucran fuerzas o esfuerzos internos y desplazamiento de puntos de la estructuras. Existen vario métodos generales que pueden proporcionar estas ecuaciones:

- Método Matricial de la Rigidez
- Teorema de Castigliano
- Teoremas de Mohr
- Teoremas de los tres momentos

5.2.2. Análisis dinámico de estructuras

Es de gran importancia el análisis de vibraciones y diseño sísmico de cualquier armadura, buscando las respuestas máximas de aceleraciones, desplazamientos, esfuerzos, deformaciones, etc. los cuales se pueden producir en la armadura bajo ciertas cargas dinámicas o variables con el tiempo. Este es el principal análisis en el cual no enfocaremos, al hacer el análisis estructural a la Grúa tipo torre construida. Para esto no auxiliaremos del análisis modal.

Análisis Modal

El sonido que escuchamos de una campana es el resultado de resonancias y del sonido radiado resultante de la energía de alta vibración en frecuencias de resonancia.

Podemos describir el comportamiento dinámico de cualquier estructura mecánica lineal en término de parámetros que describen su resonancia estructural, estos parámetros modales son la frecuencia de resonancia, el amortiguamiento y el patrón de vibración o forma modal de la resonancia.

El modelo matemático basado en estos parámetros es un modelo lineal que da una descripción completa del comportamiento lineal de la estructura. El análisis modal es entonces un método experimental que determina las características de un sistema dinámico y permite validar un modelo dinámico de una estructura.

Ya que el resultado de un análisis modal es un modelo matemático del comportamiento dinámico de la estructura bajo prueba, podemos simular la respuesta de vibración a algunas fuerzas que suponemos podrían actuar sobre la estructura en su entorno de trabajo.

También podemos ocupar este modelo para simular modificaciones en la estructura con el fin de obtener los parámetros de la estructura modificada, definimos dichas modificaciones en términos de adición o reducción de masas en ciertos puntos o mediante la adición o reducción de rigidez o amortiguamiento en ciertos puntos, entonces podremos simular la respuesta de vibración de la estructura modificada.

Si realizamos un análisis modal en diferentes subestructuras (o componentes) podemos usar los modelos para describir como se puede comportar la estructura ya ensamblada.

5.2.3. Aplicaciones del análisis modal

- Solución de problemas de ruido y vibración.

Primero encontramos la fuente del problema usando mediciones de vibración bajo condiciones de operación. Si el problema es causado por la resonancia de la estructura podemos realizar modificaciones al modelo dinámico y buscar alternativas para remediarlo

- Optimizar el diseño

El análisis modal en los prototipo de la estructura permite optimizar el diseño mediante la simulación de la respuesta del prototipo y de esa manera hacer modificaciones al modelo dinámico.

- Monitoreo estructural

Los parámetros modales pueden ser usado para monitorear las condiciones de las estructuras, como pueden ser imperfecciones o defectos; por ejemplo, el desarrollo de las grietas; esto permitirá modificar los parámetros modales de la estructura

- Verificar modelos analíticos

Podemos usar los métodos analíticos en la etapa inicial de diseño de aviones, aeronaves espaciales y otros vehículos. Estos modelos usualmente obtenidos desde la técnica de elemento finito son usados para la simulación y optimización. Una vez que ya hemos creado un prototipo de la estructura se hace un análisis modal y se compara el modelo resultante con el modelo analítico.

5.3. Análisis modal aplicado a la grúa tipo torre a escala

El análisis modal puede ser teórico o experimental. El teórico se basa en técnicas analíticas o simulaciones. El experimental se basa en ensayos y consta de 4 pasos fundamentales: 1) excitación de la estructura, 2) medición mediante acelerómetros u otra instrumentación, 3) procesamiento digital de los datos y estimación de parámetros modales, y 4) análisis de las señales y aplicación de modelos.

Esta metodología también se utiliza como método de monitorización de la vida estructural. Así, cuando una estructura se daña, su rigidez cambia y eso afecta a sus frecuencias y sus modos naturales, es decir, afecta su manera de vibrar. Este cambio es detectable y comparable con cierto registro o estado de referencia inicial de la estructura libre de daño. Además, mediante técnicas de análisis modal es posible detectar la localización e intensidad de los daños, y en un futuro, incluso prever el resto de la vida en servicio del componente o estructura.

5.3.1. Análisis teórico por medio de simulaciones

Para hacer el análisis teórico a través de simulaciones nos auxiliaremos del software *Ansys Workbench* registrado. De esta manera, analizaremos 9 casos, cada caso dependiendo de la posición de la carga sobre el área de trabajo de la grúa torre a escala.

5.3. ANÁLISIS MODAL APLICADO A LA GRÚA TIPO TORRE A ESCALA

Caso 1

Para el caso 1 la posición de la carga está en el extremo más cercano de la pluma al centro de la grúa y más alto de la torre.

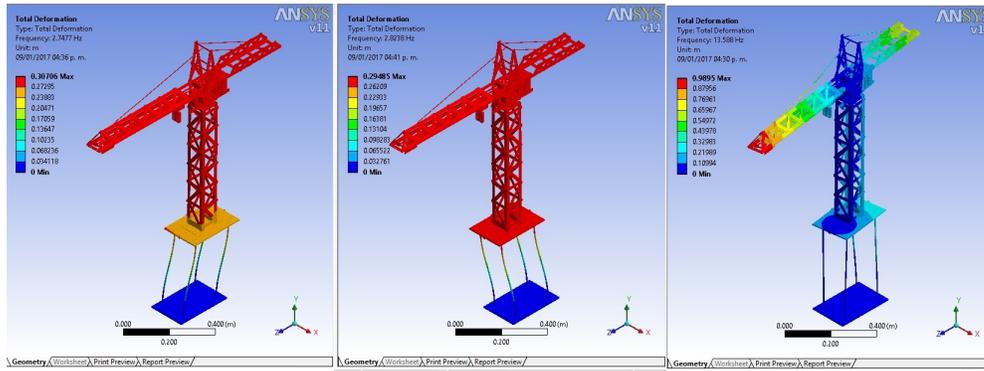


Figura 5.1: Caso 1. Deformación máxima en el Modo 1, Modo 2 y Modo 3

Los modos obtenidos de la simulación son los siguientes:

Modo	Frecuencia (Hz)	Deformación Máx (m)
1	2.7477	0.42253
2	2.8283	0.42023
3	13.588	0.3773

Tabla 5.1: Datos obtenidos simulación caso 1

Caso 2

Para el caso 2 la posición de la carga está en el extremo más cercano de la pluma al centro de la grúa y a la mitad de la torre en altura.

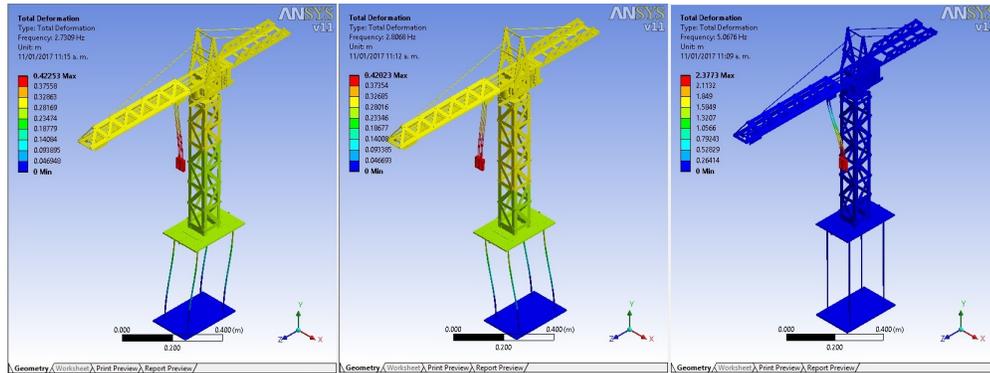


Figura 5.2: Caso 2. Deformación máxima en el Modo 1, Modo 2 y Modo 3

Los modos obtenidos de la simulación son los siguientes:

Modo	Frecuencia (Hz)	Deformación Max (m)
1	2.7309	0.42253
2	2.8068	0.42023
3	5.0676	2.3773

Tabla 5.2: Datos obtenidos simulación del Caso 2.

5.3. ANÁLISIS MODAL APLICADO A LA GRÚA TIPO TORRE A ESCALA

caso 3

Para el Caso 3, la posición de la carga está en el extremo más alejado de la pluma, a la altura de la base inferior de la torre.

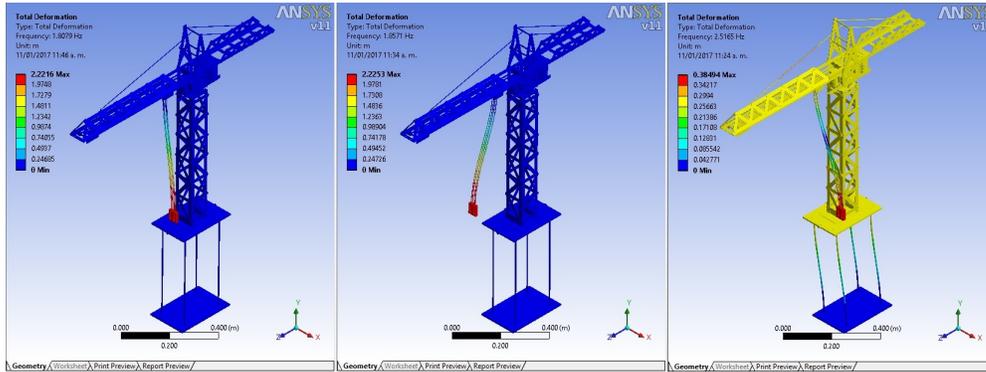


Figura 5.3: Caso 3. Deformación máxima en el Modo 1, Modo 2 y Modo 3

Los modos obtenidos de la simulación son:

Modo	Frecuencia (Hz)	Deformacion Max (m)
1	1.8079	2.2216
2	1.8571	2.2253
3	2.5165	0.3849

Tabla 5.3: Datos Obtenidos simulación caso 3.

Caso 4

Para el caso 1 la posición de la carga está en centro de la pluma y en la parte más alta de la torre.

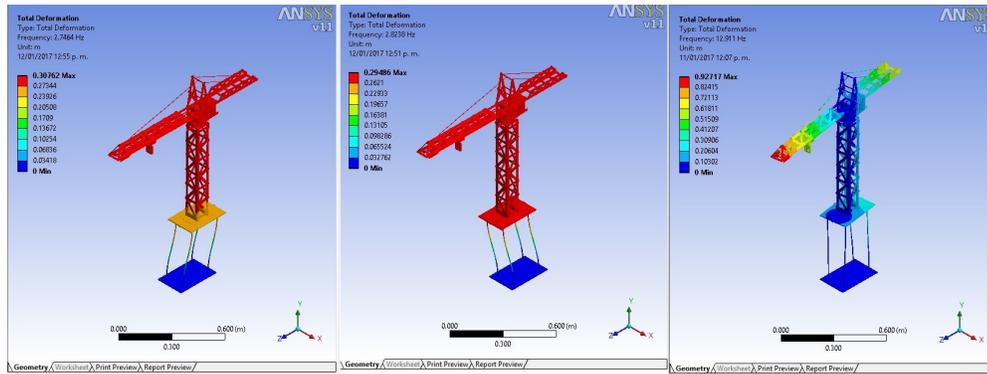


Figura 5.4: Caso 4. Deformación máxima en Modo 1, Modo 2 y Modo 3

Los modos obtenidos de la simulación son

Modo	Frecuencia (Hz)	Deformación Max (m)
1	2.7464	0.30762
2	2.8238	0.29486
3	12.911	0.92717

Tabla 5.4: Datos Obtenidos simulación caso 4.

Caso 5

Para el caso 1 la posición de la carga en el centro de la pluma al centro de la grúa y a la mitad de la Torre en altura.

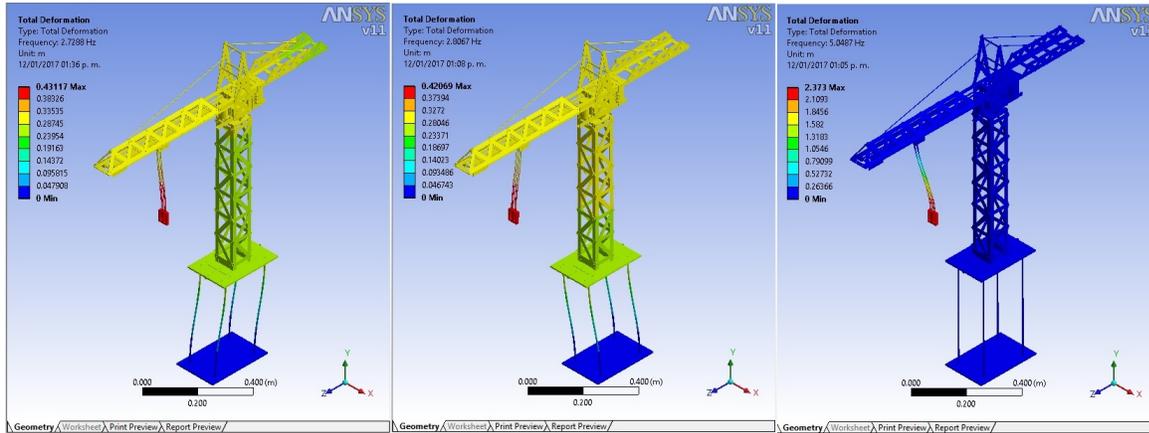


Figura 5.5: Caso 5. Deformación máxima en Modo 1, Modo 2 y Modo 3

Los modos obtenidos de la simulación son

Modo	Frecuencia (Hz)	Deformación Max (m)
1	2.7288	0.43117
2	2.8067	0.42069
3	5.0487	2.373

Tabla 5.5: Datos Obtenidos simulación caso 5.

Caso 6

Para el caso 6 la posición de la carga está a la mitad de la pluma de la grúa y a la misma altura que la base inferior de la Torre.

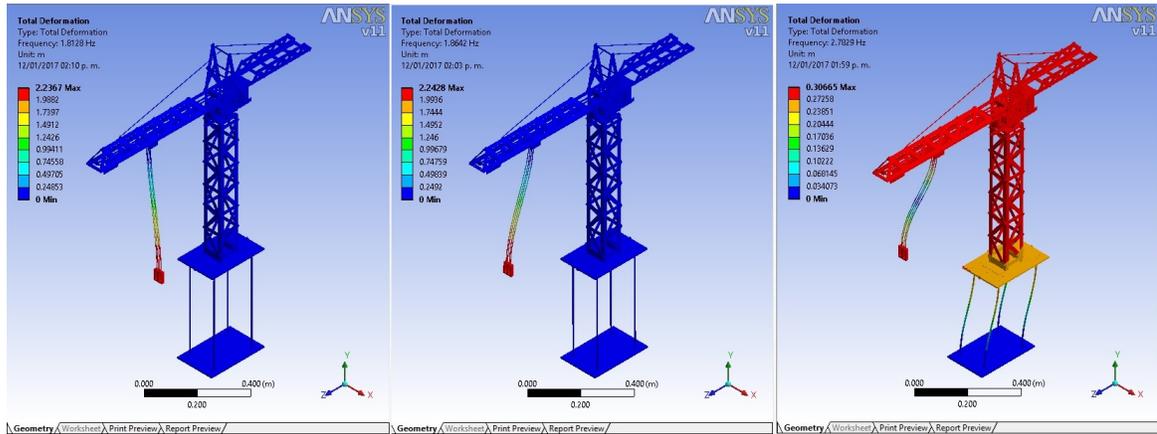


Figura 5.6: Caso 6. Deformación máxima en Modo 1, Modo 2 y Modo 3

Los modos obtenidos de la simulación son

Modo	Frecuencia (Hz)	Deformación Max (m)
1	1.8128	2.2367
2	1.8642	2.2428
3	2.7829	0.30665

Tabla 5.6: Datos Obtenidos simulación caso 6.

Caso 7

Para el caso 7 la posición de la carga está en el extremo mas lejano de la pluma al centro de la grúa y a a la altura de la base superior de la Torre.

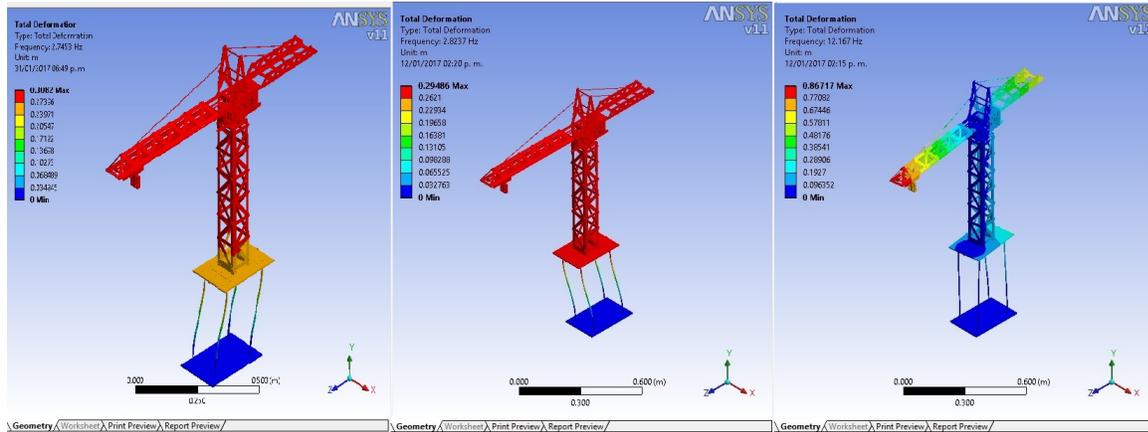


Figura 5.7: Caso 7. Deformación máxima en Modo 1, Modo 2 y Modo 3

Los modos obtenidos de la simulación son

Modo	Frecuencia (Hz)	Deformación Max (m)
1	2.7453	0.3082
2	2.8237	0.29486
3	12.167	0.86717

Tabla 5.7: Datos Obtenidos simulación caso 7.

Caso 8

Para el caso 8 la posición de la carga está en el extremo más lejano de la pluma al centro de la grúa y a la mitad de la Torre en altura.

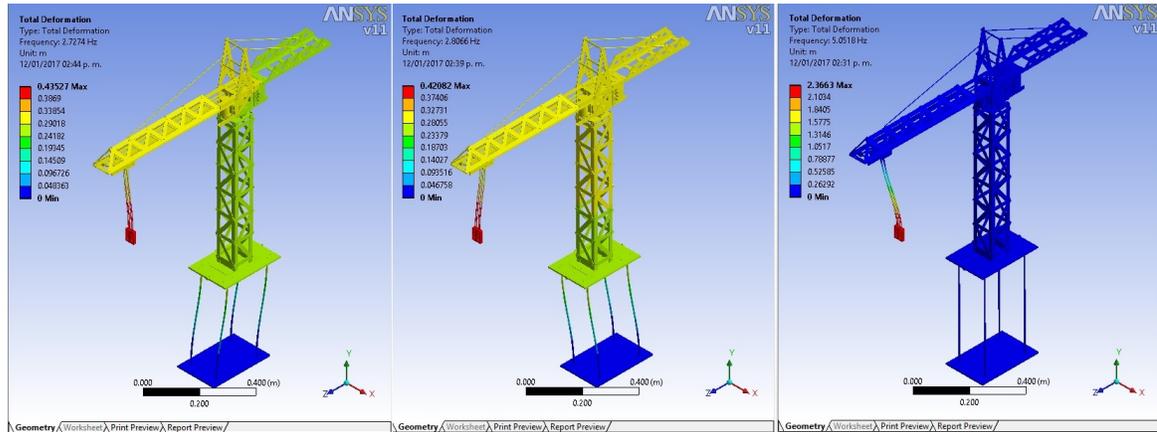


Figura 5.8: Caso 8. Deformación máxima en Modo 1, Modo 2 y Modo 3

Los modos obtenidos de la simulación son

Modo	Frecuencia (Hz)	Deformación Max (m)
1	2.7274	0.425527
2	2.8066	0.42082
3	5.0518	2.3663

Tabla 5.8: Datos Obtenidos simulación caso 8.

Caso 9

Para el caso 9 la posición de la carga está en el extremo más lejano de la pluma al centro de la grúa y a la altura de la base inferior de la Torre.

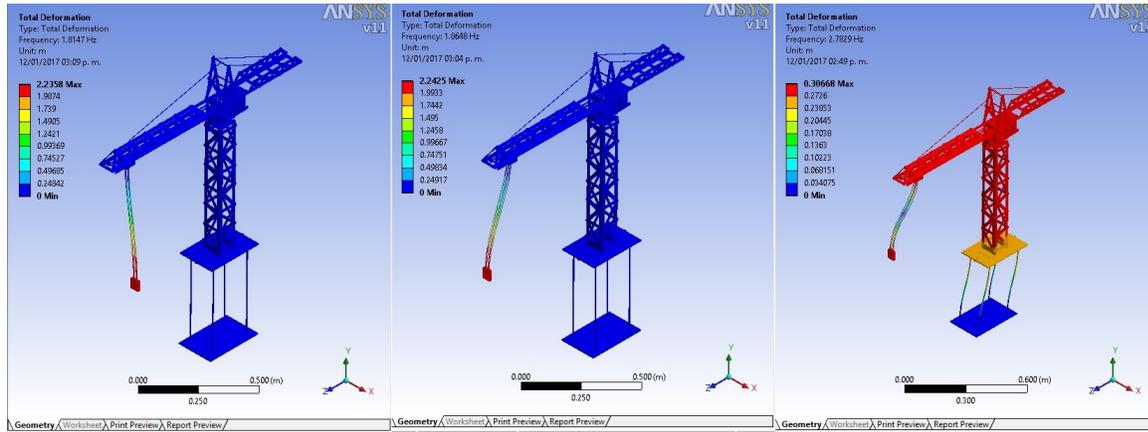


Figura 5.9: Caso 9. Deformación máxima en Modo 1, Modo 2 y Modo 3

Los modos obtenidos de la simulación son

Modo	Frecuencia (Hz)	Deformación Max (m)
1	1.8147	2.2358
2	1.8648	2.4248
3	2.2425	0.30668

Tabla 5.9: Datos Obtenidos simulación caso 9.

5.3.2. Análisis Experimental

Para hacer el análisis dinámico estructural experimentalmente nos auxiliaremos de una plataforma experimental, la cual consta de un excitador o Shaker, el cual recibe una señal entre 0 y 20 Hz, para las adquisición de datos nos auxiliamos de un un acelerometro el cual tiene la siguientes características:

Kistle Measure	type 8640A10
Measuring range	$\pm 10g$
Sensitivity	$489mV/g$
Tranverse sens	3.0
Reasonant Freg	$17Hz$

Tabla 5.10: Especificaciones del Acelerometro.

Sumado a esto obtendremos estos datos por medio del sistema NIcDAQ9174 de National Instrument para luego auxiliarnos del software generado en [21] el cual permite analizar los datos obtenidos a partir de la técnica de *Peak Picking*. De igual manera veremos la respuesta a la excitación en cada unos de los 9 casos, pero con 4 experimentos por caso, cada experimento por caso depende de la ubicación del sensor, este puede ser ubicado en la Base, en la cima de la torre, en la punta de la pluma y finalmente en la carga. El comportamiento de los 36 experimentos se muestran a continuación

Por el momento observemos el análisis experimental en los casos 1, 2 y 3, con el fin de comparar su comportamiento

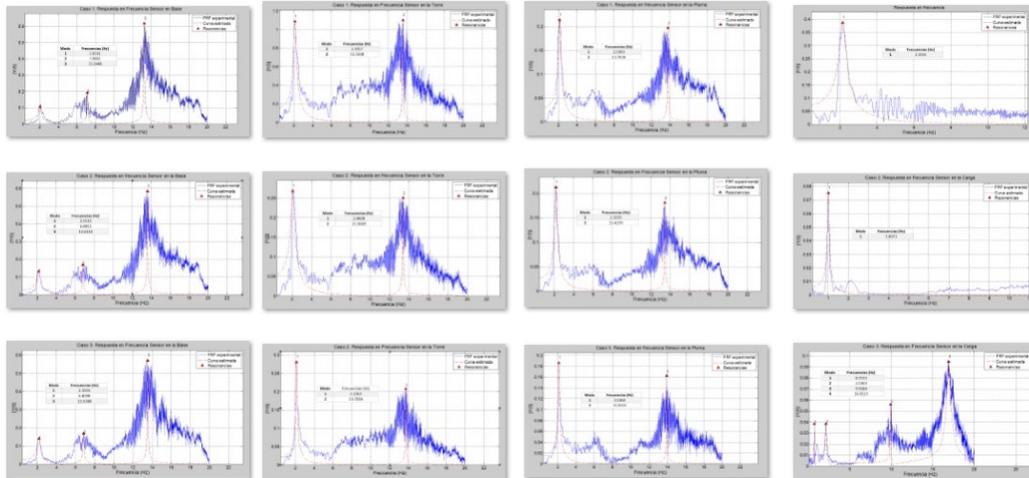


Figura 5.10: Caso 1,2 y 3 Experimental

Como se observa tienen un comportamiento parecido, ahora analicemos su Modos de vibración, observemos que de las gráficas podemos concluir que algunos modos coincidirán.

5.3. ANÁLISIS MODAL APLICADO A LA GRÚA TIPO TORRE A ESCALA

Modos caso 1	Sensor Base (Hz)	Sensor Torre (Hz)	Sensor Pluma(Hz)	Sensor Carga(Hz)
1	2.0142	2.1015	2.1363	2.1515
2	7.0802	13.5500	13.7636	
3	13.2448			
Modos caso 2	Sensor Base (Hz)	Sensor Torre (Hz)	Sensor Pluma(Hz)	Sensor Carga(Hz)
1	2.1515	2.06	2.1515	1.071
2	6.8055	13.3669	13.4279	
3	13.6110			
Modos caso 3	Sensor Base (Hz)	Sensor Torre (Hz)	Sensor Pluma(Hz)	Sensor Carga(Hz)
1	2.1515	2.1363	2.1363	2.1363
2	6.8208	13.7026	13.7026	13.9315
3	13.5348			

Tabla 5.11: Modos Caso 1, 2 y 3 Experimental

Por el momento observemos el análisis experimental en los casos 4, 5 y 6, con el fin de comparar su comportamiento

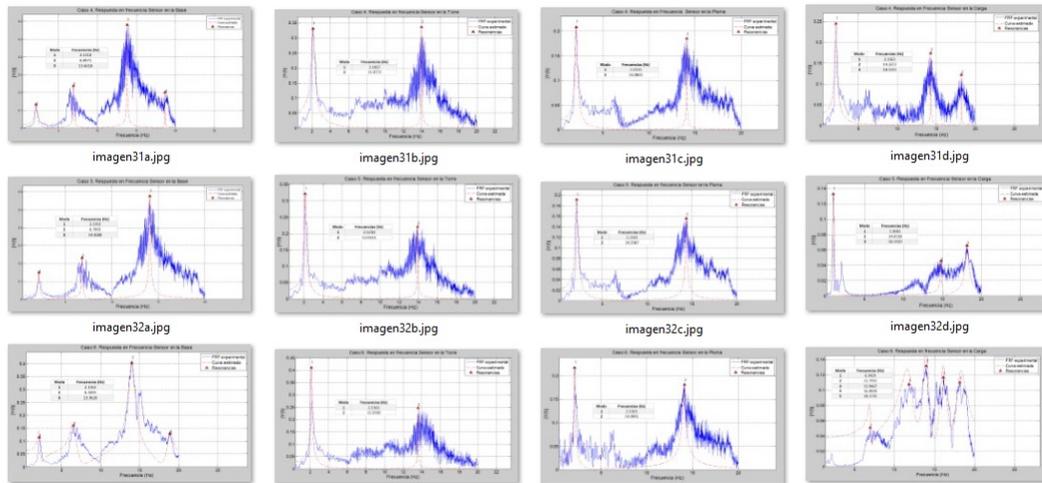


Figura 5.11: Caso 4,5 y 6 Experimental

Como se observa tienen un comportamiento similar, ahora analicemos su Modos de vibración, observemos que de las gráficas podemos concluir que algunos modos coincidirán.

CAPÍTULO 5. ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LA GRÚA TIPO TORRE

Modos caso 4	Sensor Base (Hz)	Sensor Torre (Hz)	Sensor Pluma(Hz)	Sensor Carga(Hz)
1	2.1210	2.1057	2.1515	2.1363
2	6.8971	13.9773	14.0841	14.2673
3	13.6618			18.2193
Modos caso 5	Sensor Base (Hz)	Sensor Torre (Hz)	Sensor Pluma(Hz)	Sensor Carga(Hz)
1	2.1363	2.12	2.1363	1.0681
2	6.7903	13.9315	14.3587	14.8318
3	14.0688			18.1430
Modos caso 6	Sensor Base (Hz)	Sensor Torre (Hz)	Sensor Pluma(Hz)	Sensor Carga(Hz)
1	2.1363	2.1363	2.1363	6.0429
2	6.5003	13.500	14.0841	11.7952
3	13.9620		18.1735	

Tabla 5.12: Modos Caso 4, 5 y 6 Experimental

Por el momento observemos el análisis experimental en los casos 7, 8 y 9, con el fin de comparar su comportamiento

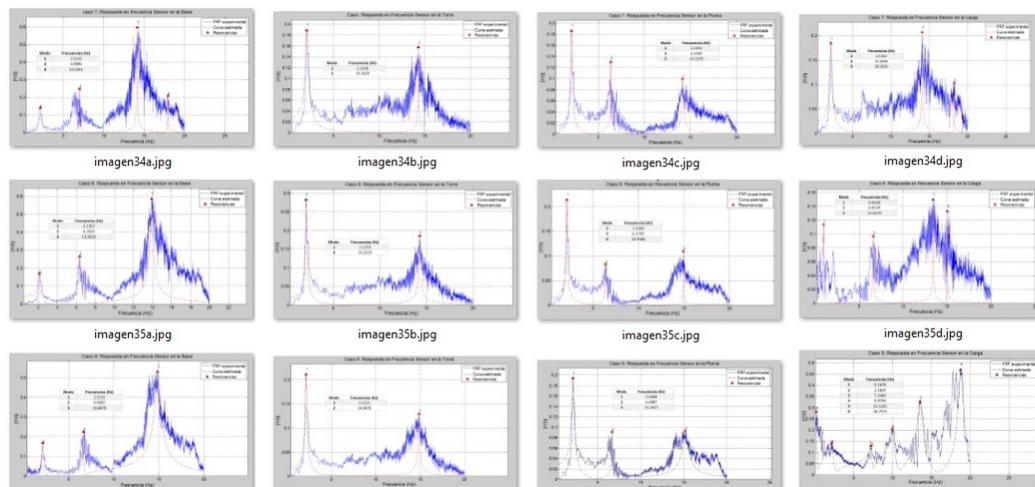


Figura 5.12: Caso 7,8 y 9 Experimental

De igual manera se observa tienen un comportamiento similar, ahora analicemos su Modos de vibración, observemos que de las gráficas podemos concluir que algunos modos coincidirán.

5.3. ANÁLISIS MODAL APLICADO A LA GRÚA TIPO TORRE A ESCALA

Modos caso 7	Sensor Base (Hz)	Sensor Torre (Hz)	Sensor Pluma(Hz)	Sensor Carga(Hz)
1	2.1515	2.1210	2.1363	2.1363
2	6.9886	14.2824	6.3783	14.0688
3	14.1451		14.1299	18.2650
Modos caso 8	Sensor Base (Hz)	Sensor Torre (Hz)	Sensor Pluma(Hz)	Sensor Carga(Hz)
1	2.1363	2.1210	2.1363	0.9918
2	6.3630	14.2519	6.3783	6.6529
3	13.9010		14.9386	13.4279
Modos caso 9	Sensor Base (Hz)	Sensor Torre (Hz)	Sensor Pluma(Hz)	Sensor Carga(Hz)
1	2.1515	2.1515	2.1668	0.1678
2	6.6682	14.8470	6.6987	2.1820
3	14.8470		15.1827	7.2480

Tabla 5.13: Modos Caso 7, 8 y 9 Experimental

Comparando los resultados obtenidos en las simulaciones, con los datos obtenidos experimentalmente, hablando del análisis modal, no importa donde la carga este en el área de trabajo, hay tres modos dominantes, entre estos valores están 2Hz, 6Hz y 13 Hz aproximadamente.

Capítulo 6

Conclusiones y Trabajo a Futuro

En este trabajo de tesis se presenta el diseño, la construcción y análisis estructural experimental de una Grúa Torre a escala.

El sistema completo está formado por una estructura tipo celosía, con la cual aseguramos una disminución de peso y flexibilidad, con esto podemos ver que se cumple una característica importante relacionada a los robots de tipo flexible, la cual debe asegurar que su peso sea mucho menor a la carga que pueda levantar o mover. Comparando el peso de la grúa torre a escala que es de 4.5 kg, y el peso para la cual fue diseñada es de al menos 10 kg, por lo tanto, podemos ver se cumple esta característica de los robots tipo flexibles.

Por otro se manejan los tres grados de libertad presentes en una grúa torre básica mediante transmisiones de tipo engrane para la rotación de la pluma sobre la torre, se utilizan poleas y bandas dentadas para que un pequeño carro pueda desplazarse sobre la pluma, y por ultimo se usa una transmisión de engranes, cuerdas y poleas para que la carga pueda ascender y descender en el espacio de trabajo de la Grúa tipo Torre.

Se inyecta movimiento a través de tres motores de CD con reducción de 1:30, el cual nos permite posicionar a la carga según se desee.

Finalmente podemos concluir con este proyecto dejando un sistema en el cual podemos observar diferentes fenómenos que presentan este tipo de Grúas en un ambiente, en el cual pueda vibrar la grúa tipo torre. Se busca presentar un primer experimento analizando el comportamiento de la grúa torre cuando es puesta sobre un piso tipo edificio (base o plataforma móvil), compuesto de dos placas y cuatro columnas, en el cual se somete a vibraciones.

Con este experimento se obtiene un análisis modal, en el cual se encuentran cierta tendencia donde se pueden observar al menos tres modos de vibración dominantes en la estructura, esto comprobado mediante simulación en el software ANSYS WORKBENCH.

Pensando en que la plataforma se pueda excitar debido a las corrientes marítimas, el

oleaje, el viento, o sismos, se podrían presentar diferentes fenómenos, para este primer experimento se observaron dos fenómenos, el primero es que la pluma empieza a generar una especie de chicoteo, el cual se transmite a la carga lo cual en Grúas tipo torre reales puede causar accidentes, otro fenómeno es el doble péndulo cuando se le agrega carga.

Evidentemente, este tipo de problemas deben resolverse mediante técnicas de control de posición o seguimiento de trayectorias para cuerpo rígidos, complementado con esquemas de control activo o semiactivo de vibraciones que emplean dispositivos como amortiguadores magnetoreológicos, piezoeléctricos, etc.

Hay que dejar en claro que este sistema tiene mucho que analizar, por lo cual se ha dividido en diferentes partes, que como primer parte, solo se centra en el Diseño, la construcción y el análisis estructural del sistema a escala.

Como trabajo a futuro queda esta parte de experimentar, buscar fenómenos y tratar de reducir los efectos de las vibraciones sobre el sistema.

Apéndice A

Especificaciones Técnicas de Materiales

Aluminum, Al

Categories: [Metal](#); [Nonferrous Metal](#); [Aluminum Alloy](#); [Pure Element](#)

Material Notes: Aluminum is a silver-colored, low density (2.7 g/cc) metal that finds use in a huge variety of commercial applications. Unalloyed aluminum is ductile, exhibits moderate strength, and is very resistant to corrosion under most circumstances. Aluminum can be strengthened by the addition of appropriate alloying elements (Cu, Mg, Mn, Si, etc.) and subsequent heat/work treatments. Aluminum is commonly used in both wrought and cast forms.

The low density of aluminum results in its extensive use in the aerospace industry, and in other transportation fields. Its resistance to corrosion leads to its use in food and chemical handling (cookware, pressure vessels, etc.) and to architectural uses.

Physical Properties	Metric	English	Comments
Density	2.6989 g/cc	0.097504 lb/in ³	

Chemical Properties	Metric	English	Comments
Atomic Mass	26.98154	26.98154	26.981538 - 1995
Atomic Number	13	13	
Thermal Neutron Cross Section	0.215 barns/atom	0.215 barns/atom	
X-ray Absorption Edge	7.9511 Å	7.9511 Å	K
	142.48 Å	142.48 Å	L _I
	172.16 Å	172.16 Å	L _{II}
	172.16 Å	172.16 Å	L _{III}
Electrode Potential	-1.69 V	-1.69 V	
Electronegativity	1.61	1.61	Pauling
Ionic Radius	0.510 Å	0.510 Å	Crystal Ionic Radius for Valence +3
Electrochemical Equivalent	0.3354 g/A/h	0.3354 g/A/h	

Mechanical Properties	Metric	English	Comments
Hardness, Vickers	15	15	Annealed
Modulus of Elasticity	68.0 GPa	9860 ksi	
Poissons Ratio	0.36	0.36	calculated
Shear Modulus	25.0 GPa	3630 ksi	

Some of the values displayed above may have been converted from their original units and/or rounded in order to display the information in a consistent format. Users requiring more precise data for scientific or engineering calculations can click on the property value to see the original value as well as raw conversions to equivalent units. We advise that you only use the original value or one of its raw conversions in your calculations to minimize rounding error. We also ask that you refer to

MatWeb's [terms of use](#) regarding this information. [Click here](#) to view all the property values for this datasheet as they were originally entered into MatWeb

Brass (Latón)

Categories: [Metal](#); [Nonferrous Metal](#); [Copper Alloy](#); [Brass](#)

Material Notes: This property data is a summary of similar materials in the MatWeb database for the category "Brass". Each property range of values reported is minimum and maximum values of appropriate MatWeb entries. The comments report the average value, and number of data points used to calculate the average. The values are not necessarily typical of any specific grade, especially less common values and those that can be most affected by additives or processing methods.

Physical Properties	Metric	English	Comments
Density	7.60 - 8.86 g/cc	0.275 - 0.320 lb/in ³	Average value: 8.52 g/cc Grade Count:367

Mechanical Properties	Metric	English	Comments
Hardness, Brinell	55.0 - 73.0	55.0 - 73.0	Average value: 65.1 Grade Count:6
Hardness, Rockwell B	22.0 - 133	22.0 - 133	Average value: 69.3 Grade Count:183
Hardness, Rockwell F	54.0 - 100	54.0 - 100	Average value: 69.1 Grade Count:66
Hardness, Rockwell 30T	8.00 - 240	8.00 - 240	Average value: 54.7 Grade Count:153
Tensile Strength, Ultimate	159 - 1030 MPa	23000 - 150000 psi	Average value: 435 MPa Grade Count:380
Tensile Strength, Yield	34.5 - 683 MPa	5000 - 99100 psi	Average value: 259 MPa Grade Count:345
Elongation at Break	1.00 - 68.0 %	1.00 - 68.0 %	Average value: 32.2 % Grade Count:375
Reduction of Area	40.0 - 60.0 %	40.0 - 60.0 %	Average value: 52.4 % Grade Count:53
Modulus of Elasticity	82.0 - 117 GPa	11900 - 17000 ksi	Average value: 106 GPa Grade Count:340
Flexural Yield Strength	345 - 483 MPa	50000 - 70000 psi	Average value: 414 MPa Grade Count:4
Poissons Ratio	0.280 - 0.375	0.280 - 0.375	Average value: 0.318 Grade Count:237
Fatigue Strength	22.0 - 360 MPa	3190 - 52200 psi	Average value: 106 MPa Grade Count:98
Machinability	20.0 - 106 %	20.0 - 106 %	Average value: 46.8 % Grade Count:323
Shear Modulus	35.0 - 44.0 GPa	5080 - 6380 ksi	Average value: 38.8 GPa Grade Count:284
Shear Strength	205 - 415 MPa	29700 - 60200 psi	Average value: 273 MPa Grade Count:208

Some of the values displayed above may have been converted from their original units and/or rounded in order to display the information in a consistent format. Users requiring more precise data for scientific or engineering calculations can click on the property value to see the original value as well as raw conversions to equivalent units. We advise that you only use the original value or one of its raw conversions in your calculations to minimize rounding error. We also ask that you refer to MatWeb's [terms of use](#) regarding this information. [Click here](#) to view all the property values for this datasheet as they were originally entered into MatWeb.

Apéndice B

Especificaciones Electrónica

1. Motor

Manorreductor 37D 30:1 con encoder



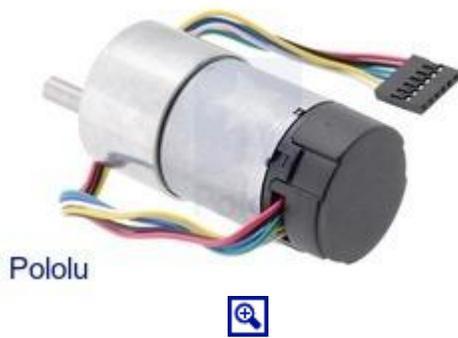
1.1. Especificaciones

Voltaje	12 V
Corriente (sin torque)	300 mA
Corriente Máxima (con torque)	5 A
Velocidad (RPM)	350 RPM
Torque	8 Kg-cm
Características adicionales	- relación 30:1 - Motor con encoder (1920 pulsos por revolución) - accesorios para montaje (ver en productos relacionados)

This gearmotor is a powerful 12V brushed DC motor with a **30:1** metal gearbox and an integrated quadrature encoder that provides a resolution of 64 counts per revolution of the motor shaft, which corresponds to **1920 counts per revolution** of the gearbox's output shaft. These units have a 0.61"-long, 6 mm-diameter D-shaped output shaft. This gearmotor is also available without an encoder ([Motorreductor 37D 29:1](#))

Key specs at **12 V**: 350 RPM and 300 mA free-run, 110 oz-in (8 kg-cm) and 5 A stall.

These motors are intended for use at 12 V, though in general, these kinds of motors can run at voltages above and below the nominal voltage (they can begin rotating at voltages as low as 1 V). Lower voltages might not be practical, and higher voltages could start negatively affecting the life of the motor.



These gearmotors are functionally identical to the previous versions we carried without end caps (they use the same motor, encoder, and gearboxes). The black plastic end cap is easily removable if you need to access the encoder or want to slightly reduce the overall gearmotor size, but there is a little bit of base plastic that will remain, as shown in the pictures below:

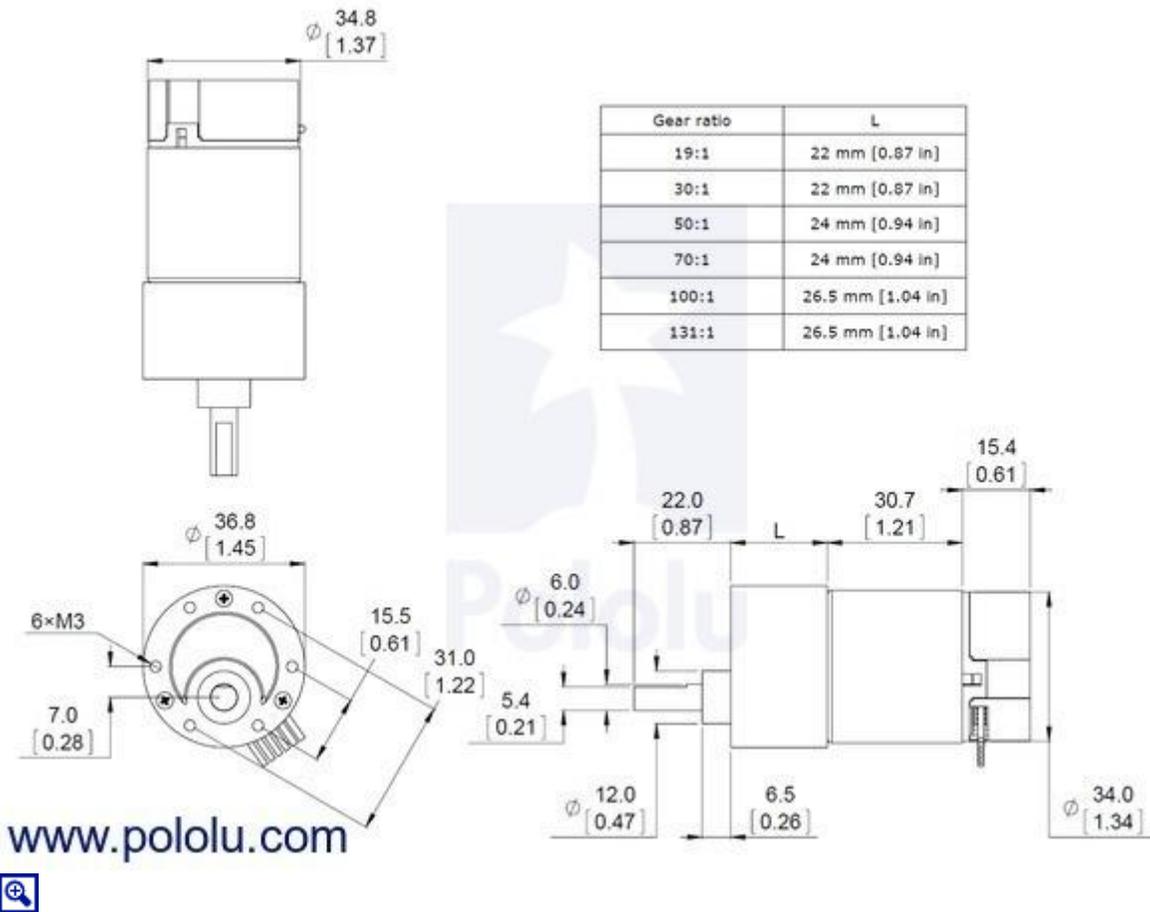


Details for item #2823

Exact gear ratio: $25 \times 30 \times 40 \times 10 \times 10 = 30:1$

April 2014 update: We have changed the gear ratio in this product's name from "29:1" to "30:1" so the name more accurately reflects the product. The product itself has not changed.

1.2. Dimensions



Dimensions of the 37D mm metal gearmotor with 64 CPR encoder. Units are mm over [inches].

This diagram is also available as a [downloadable PDF](#) (194k pdf).

Warning: Do not screw too far into the mounting holes as the screws can hit the gears. We recommend screwing no further than 3mm (1/8") into the screw hole.



Pololu



37D mm metal gearmotor with 64 CPR encoder (with end cap removed).

1.3. Using the Encoder

A two-channel Hall effect encoder is used to sense the rotation of a magnetic disk on a rear protrusion of the motor shaft. The quadrature encoder provides a resolution of 64 counts per revolution of the motor shaft when counting both edges of both channels. To compute the counts per revolution of the gearbox output, multiply the gear ratio by 64. The motor/encoder has six color-coded, 11" (28 cm) leads terminated by a 1×6 female header with a 0.1" pitch, as shown in the main product picture. This header works with standard 0.1" male headers and our male jumper and precrimped wires. If this header is not convenient for your application, you can pull the crimped wires out of the header or cut the header off. The following table describes the wire functions:

Color	Function
Red	motor power (connects to one motor terminal)
Black	motor power (connects to the other motor terminal)
Green	encoder GND
Blue	encoder Vcc (3.5 – 20 V)
Yellow	encoder A output
White	encoder B output

The Hall sensor requires an input voltage, Vcc, between 3.5 and 20 V and draws a maximum of 10 mA. The A and B outputs are square waves from 0 V to Vcc approximately 90° out of phase. The frequency of the transitions tells you the speed of the motor, and the order of the transitions tells you the direction. The following oscilloscope capture shows the A and B (yellow and white) encoder outputs using a motor voltage of 12 V and a Hall sensor Vcc of 5 V:

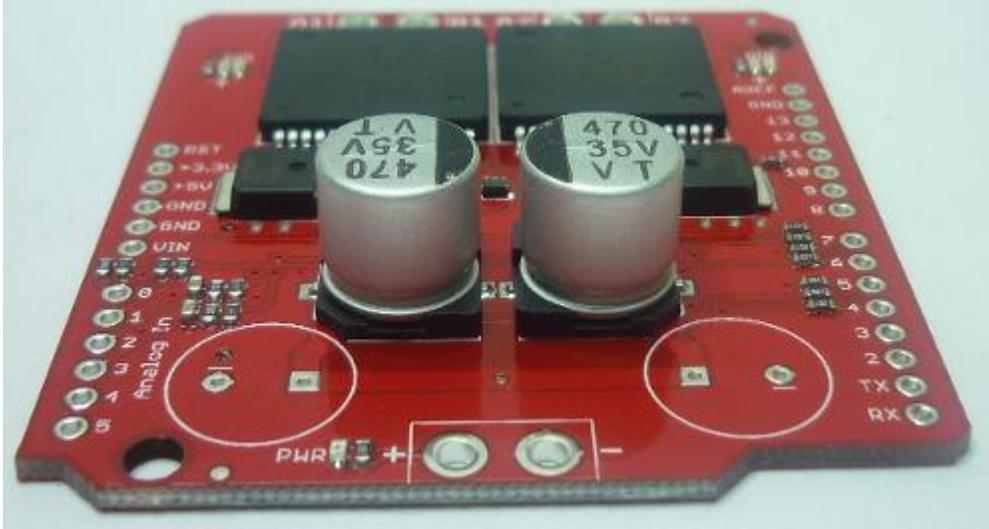


Encoder A and B outputs for 37D mm metal gearmotor with 64 CPR encoder (motor running at 12 V).

By counting both the rising and falling edges of both the A and B outputs, it is possible to get 64 counts per revolution of the motor shaft. Using just a single edge of one channel results in 16 counts per revolution of the motor shaft, so the frequency of the A output in the above oscilloscope capture is 16 times the motor rotation frequency.

2.Driver para controlar los motores

Monster moto shield 30A tecnología mosfet



Shield para arduino compatible con mega, duo, uno, leonardo

Puente h doble con tecnología mosfet

- Voltaje máximo: 16v
- Corriente máxima pico: 30A
- Corriente de trabajo continua: 14A
- Maxima frecuencia de pwm: 20khz
- Protección térmica
- Protección contra sobre y bajo voltaje
- Resistencia mosfet: 19mohms
- Pin para sensar la corriente con arduino

3.ARDUINO UNO



Tarjeta UNO R3 Generica c/cable USB.

Technical specs:

- Microcontroller ATmega328P
- Operating Voltage 5V
- Input Voltage (recommended) 7-12V
- Input Voltage (limit) 6-20V
- Digital I/O Pins 14 (of which 6 provide PWM output)
- PWM Digital I/O Pins 6
- Analog Input Pins 6
- DC Current per I/O Pin 20 mA
- DC Current for 3.3V Pin 50 mA
- Flash Memory 32 KB (ATmega328P) of which 0.5 KB used by bootloader
- SRAM 2 KB (ATmega328P)
- EEPROM 1 KB (ATmega328P)
- Clock Speed 16 MHz
- Length 68.6 mm -Width 53.4 mm

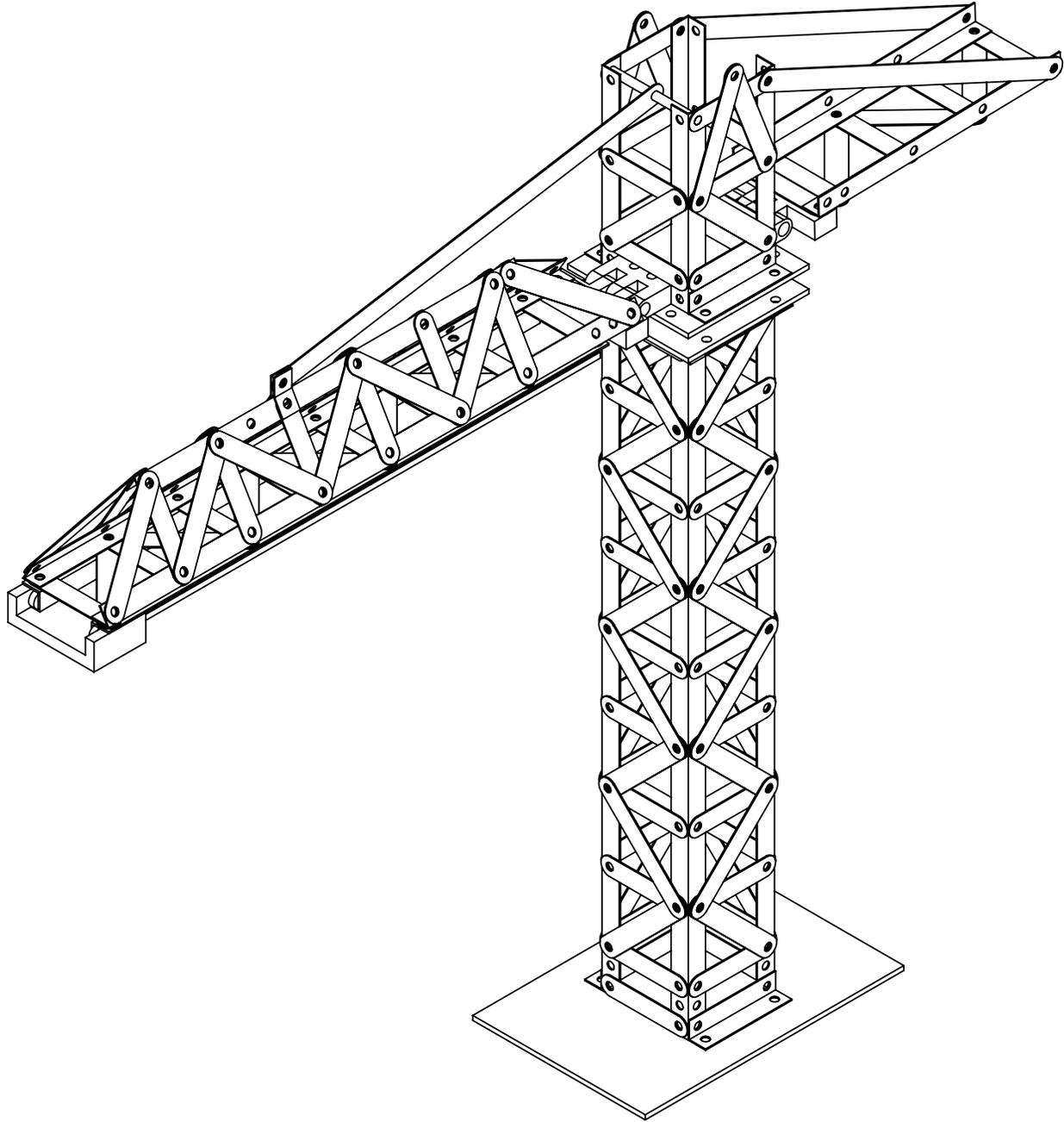
4. Programa para controlar el sentido de giro de los motores

```
/*Control por PWM de un motor por medio de un potenciometro*/

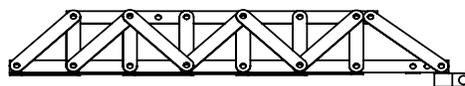
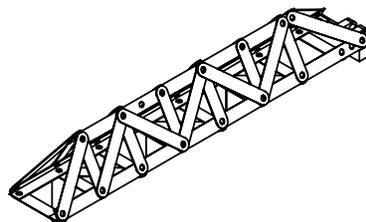
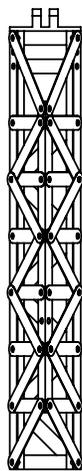
// Declarar variables, entradas y salidas
int motor1=5; //declara pin del motor
int motor2=6; //declara pin del motor
int motor3=3;
//funcion principal
void setup ()
{
  Serial.begin(9600);
}
//funcion ciclica
void loop ()
{
  int valor=analogRead(A5);
  int velocidad=map(valor,0,1023,0,255);
  Serial.println(valor);
  analogWrite(motor1,velocidad);
  analogWrite(motor2,velocidad);
  analogWrite(motor3,velocidad);
  if (velocidad==0 || velocidad==255)
  {
    delay(30);
  }
}
```

Apéndice C

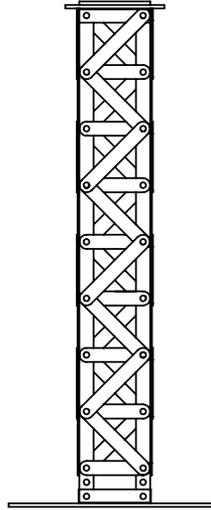
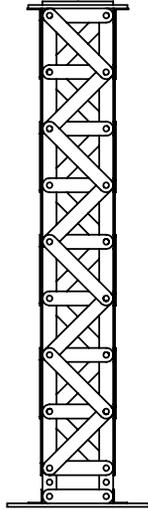
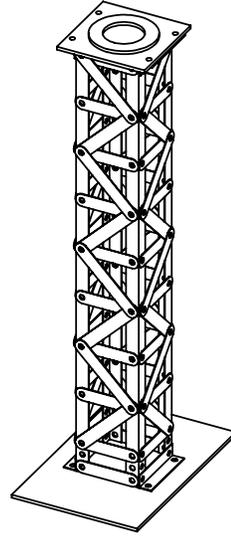
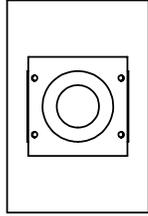
Planos del Diseño de la Grúa Torre



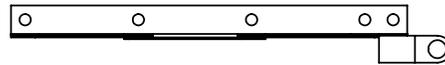
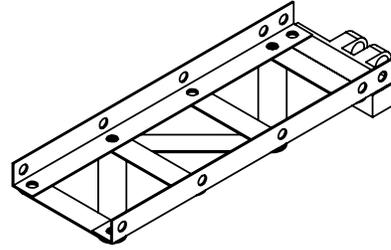
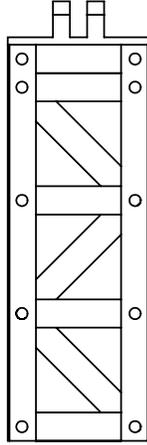
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
NOMBRE		FIRMA	FECHA	TÍTULO:	
DIBUJ.					
VERIF.					
APROB.					
FABR.					
CALID.			MATERIAL:	N.º DE DIBUJO	Grua torre
			PESO:	ESCALA:1:20	HOJA 1 DE 1
					A4



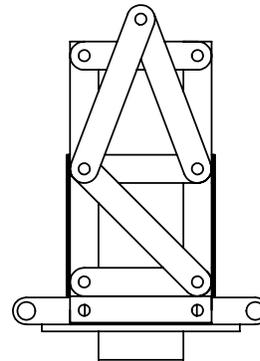
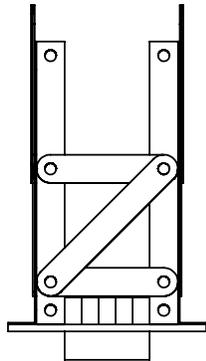
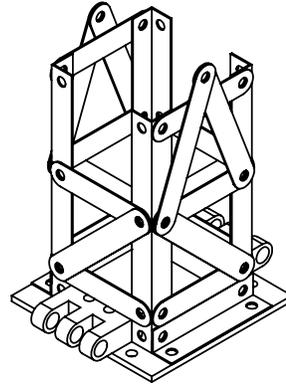
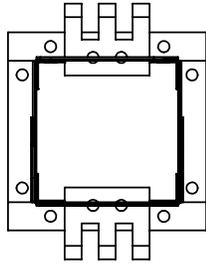
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
NOMBRE		FIRMA		FECHA		TÍTULO:			
DIBUJ.									
VERIF.									
APROB.									
FABR.									
CALID.				MATERIAL:		N.º DE DIBUJO		Ensemblaje pluma	
								A4	
				PESO:		ESCALA:1:20		HOJA 1 DE 1	



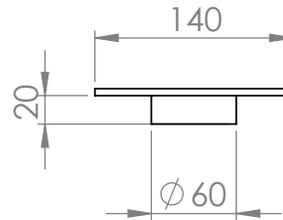
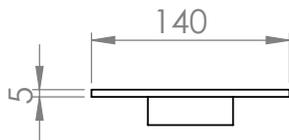
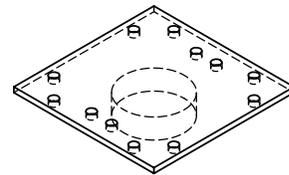
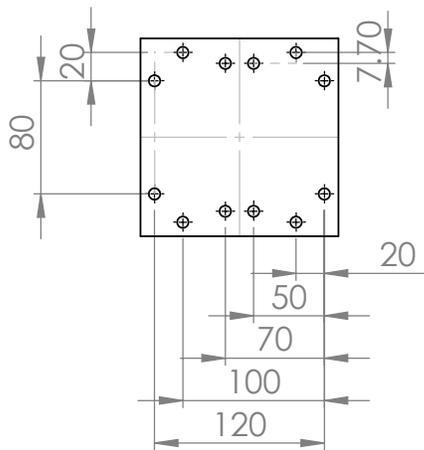
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
NOMBRE		FIRMA		FECHA		TÍTULO:			
DIBUJ.									
VERIF.									
APROB.									
FABR.									
CALID.				MATERIAL:		N.º DE DIBUJO		Ensablaje base y torre	
						ESCALA:1:10		A4	
				PESO:		ESCALA:1:10		HOJA 1 DE 1	



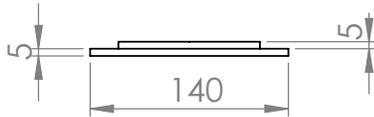
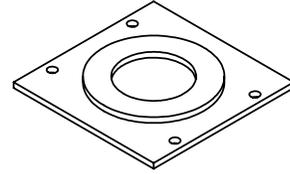
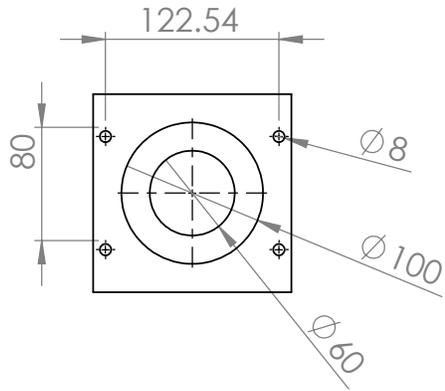
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
NOMBRE		FIRMA		FECHA		TÍTULO:			
DIBUJ.						<p style="text-align: center; font-size: 1.2em; margin: 0;">Ensamblaje contrapluma</p>			
VERIF.									
APROB.									
FABR.									
CALID.				MATERIAL:		N.º DE DIBUJO		A4	
						Ensamblaje contrapluma			
				PESO:		ESCALA: 1:10		HOJA 1 DE 1	



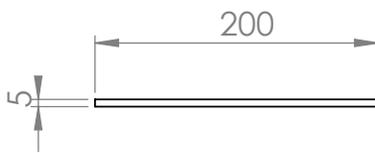
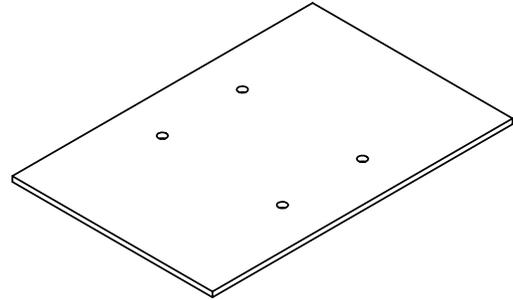
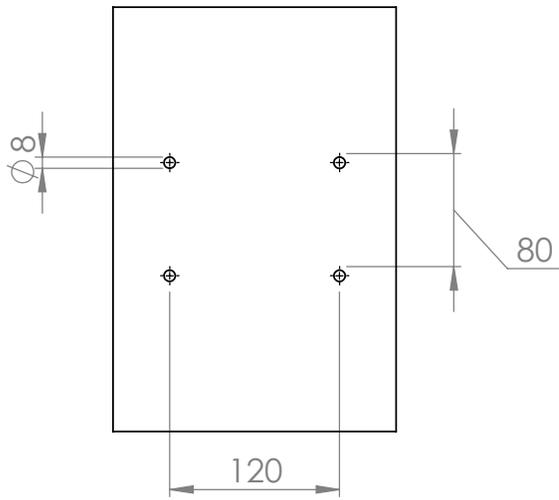
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
NOMBRE		FIRMA		FECHA		TÍTULO:			
DIBUJ.									
VERIF.									
APROB.									
FABR.									
CALID.				MATERIAL:		N.º DE DIBUJO		A4	
						Ensablaje torre superior			
				PESO:		ESCALA:1:5		HOJA 1 DE 1	



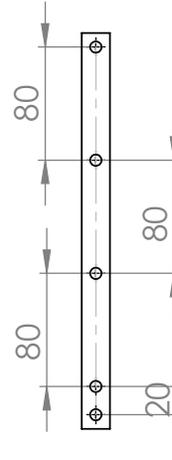
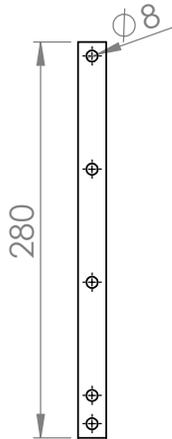
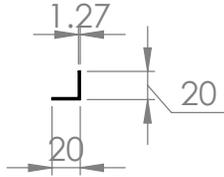
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
NOMBRE		FIRMA		FECHA		TÍTULO:			
DIBUJ.		VERIF.		APROB.		N.º DE DIBUJO			
FABR.		CALID.		MATERIAL:					
						base giratoria		A4	
				PESO:		ESCALA:1:5		HOJA 1 DE 1	



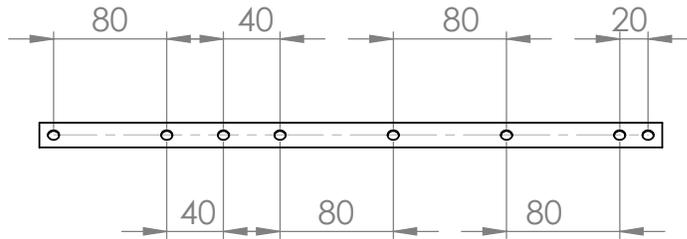
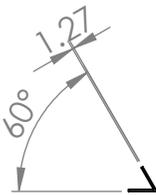
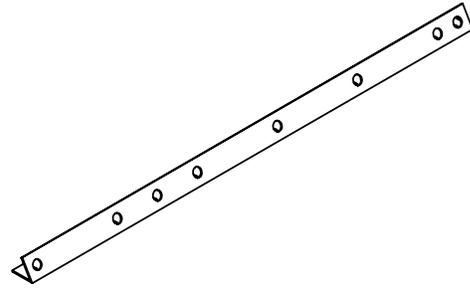
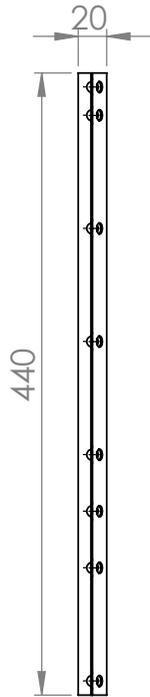
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
NOMBRE		FIRMA		FECHA		TÍTULO:			
DIBUJ.						base superior			
VERIF.									
APROB.									
FABR.									
CALID.				MATERIAL:		N.º DE DIBUJO		A4	
				PESO:		ESCALA:1:5		HOJA 1 DE 1	



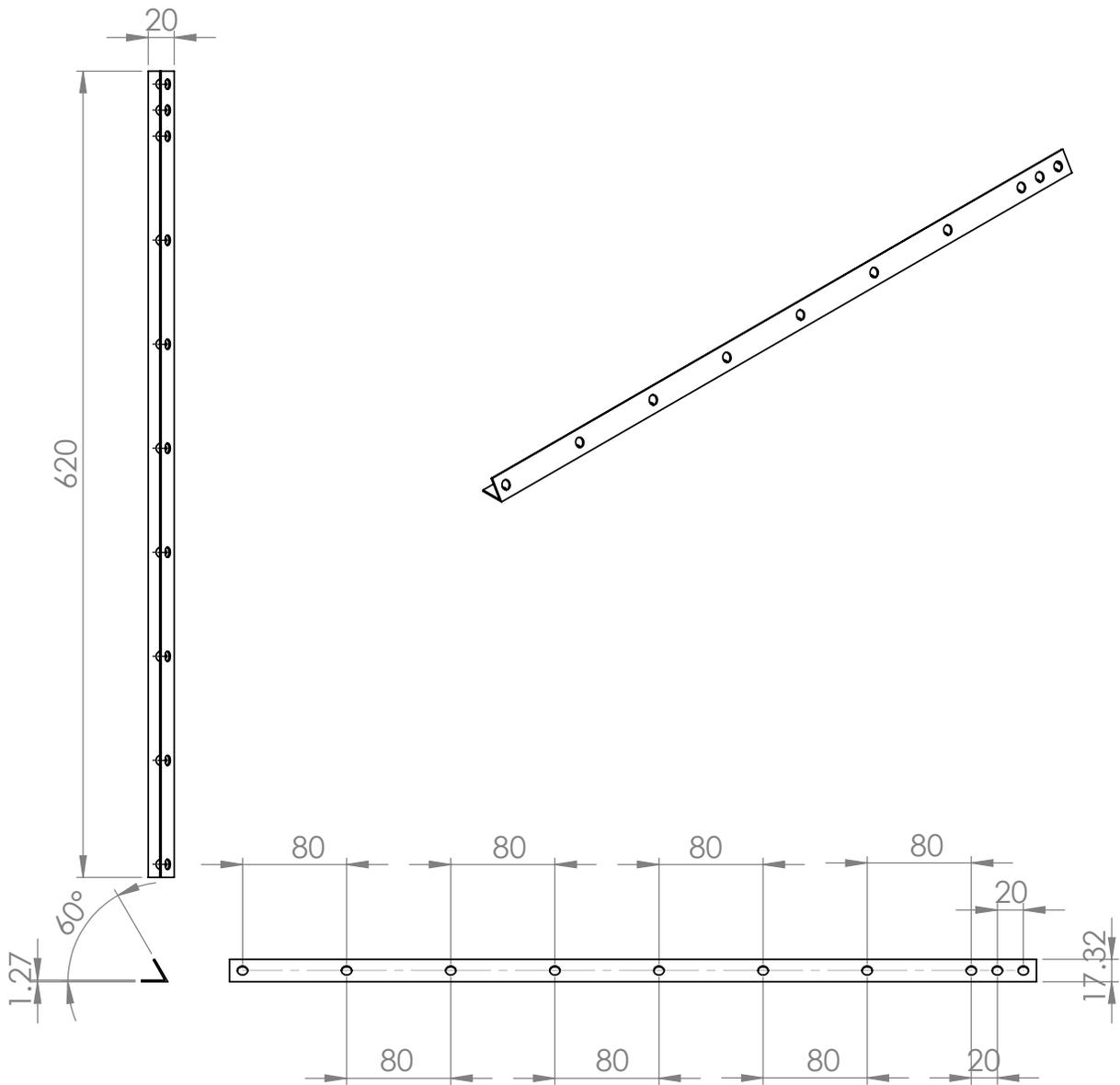
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
NOMBRE		FIRMA		FECHA		TÍTULO:			
DIBUJ.						base			
VERIF.									
APROB.									
FABR.									
CALID.				MATERIAL:		N.º DE DIBUJO		A4	
				PESO:		ESCALA:1:5		HOJA 1 DE 1	



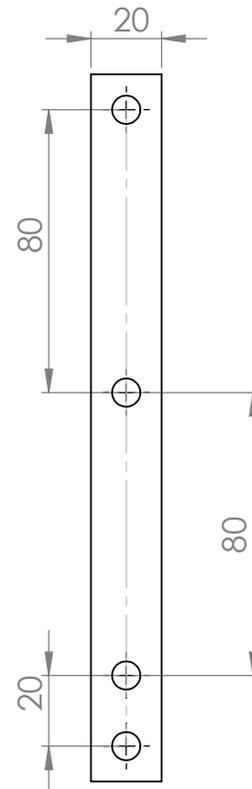
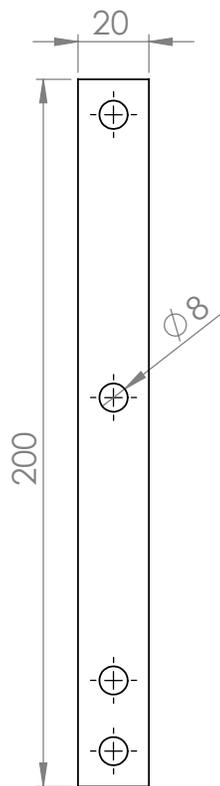
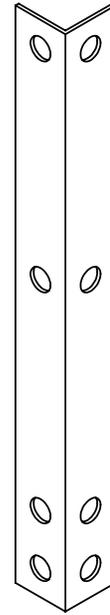
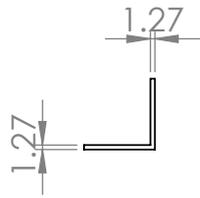
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
NOMBRE		FIRMA		FECHA		TÍTULO:			
DIBUJ.		VERIF.		APROB.		N.º DE DIBUJO escuadra contrapluma			
FABR.		CALID.		MATERIAL:					
PESO:		ESCALA: 1:2		HOJA 1 DE 1					



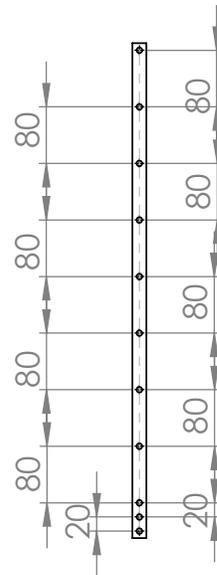
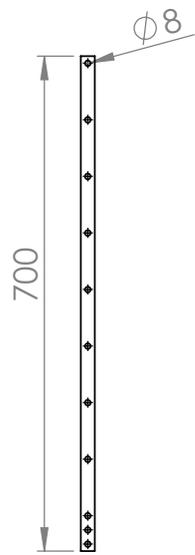
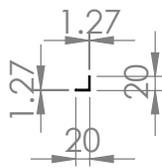
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
NOMBRE		FIRMA		FECHA		TÍTULO:			
DIBUJ.						N.º DE DIBUJO escuadra pluma superior			
VERIF.									
APROB.									
FABR.									
CALID.				MATERIAL:		ESCALA:1:5		HOJA 1 DE 1	
				PESO:				A4	



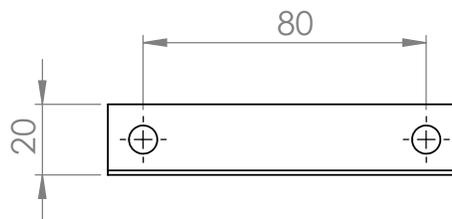
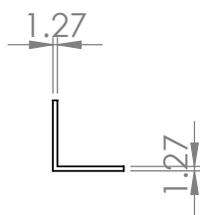
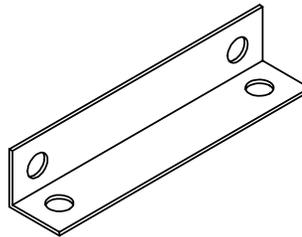
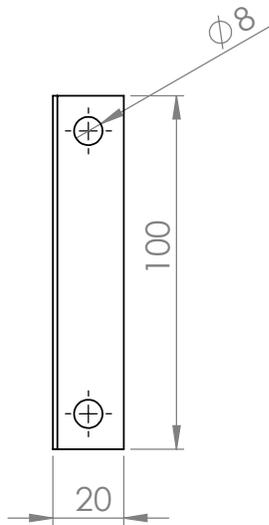
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
NOMBRE		FIRMA		FECHA		TÍTULO:			
DIBUJ.						<div style="text-align: center; font-size: 24px; font-weight: bold;">escuadra pluma</div>			
VERIF.									
APROB.									
FABR.									
CALID.				MATERIAL:		N.º DE DIBUJO		A4	
				PESO:		ESCALA: 1:10		HOJA 1 DE 1	



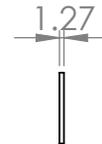
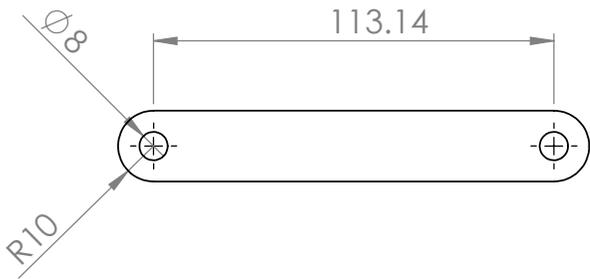
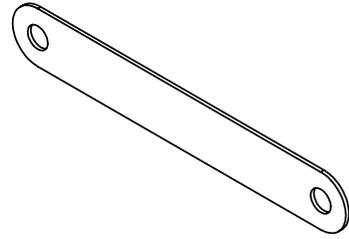
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
NOMBRE		FIRMA		FECHA		TÍTULO:			
DIBUJ.						N.º DE DIBUJO escuadra torre superior			
VERIF.									
APROB.									
FABR.									
CALID.				MATERIAL:		ESCALA: 1:2		A4	
				PESO:		ESCALA: 1:2		HOJA 1 DE 1	



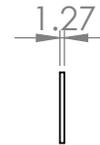
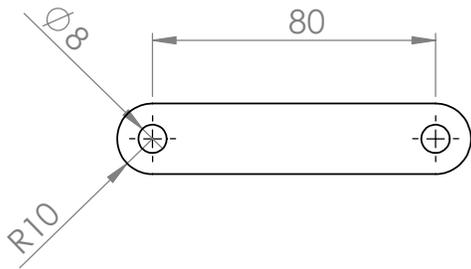
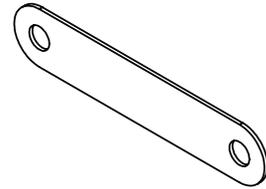
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
NOMBRE		FIRMA		FECHA		TÍTULO:			
DIBUJ.						N.º DE DIBUJO			
VERIF.									
APROB.									
FABR.									
CALID.				MATERIAL:		escuadra torre		A4	
				PESO:		ESCALA:1:5		HOJA 1 DE 1	



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:			ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN		
NOMBRE			FIRMA		FECHA		TÍTULO:				
DIBUJ.											
VERIF.											
APROB.											
FABR.											
CALID.					MATERIAL:		N.º DE DIBUJO		A4		
					PESO:		ESCALA: 1:2		HOJA 1 DE 1		
							union a base				



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
NOMBRE		FIRMA		FECHA		TÍTULO:			
DIBUJ.									
VERIF.									
APROB.									
FABR.									
CALID.				MATERIAL:		N.º DE DIBUJO		A4	
						union angular torre			
				PESO:		ESCALA:1:2		HOJA 1 DE 1	



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
NOMBRE		FIRMA		FECHA		TÍTULO:			
DIBUJ.		VERIF.		APROB.		N.º DE DIBUJO union horizontal torre			
FABR.		CALID.		MATERIAL:					
PESO:		ESCALA:1:2		HOJA 1 DE 1					
						A4			

Bibliografía

- [1] http://www.gruasbarragan.es/Web_old/gruas-madrid-tecnicas.html, pág. 74
- [2] http://www.acta.es/medios/articulos/cultura_y_sociedad/036065.pdf
- [3] http://www.es.ritchiewiki.com/wikies/index.php/Grúa_torre
- [4] <http://www.liebherr.com/es/deu/sobre-liebherr/historia/1949-1960.html>
- [5] Hanafy M. Omar: *Control of Gantry and Tower Crane* 2003
- [6] Alicia , A. M. y Francisco Javier, M. G.: *Diseño para la Excelencia: Una nueva forma de entender el proceso de nuevos productos* Universidad de Extremadura España
- [7] Andrade, R. S. de.: *Preliminary evaluation of the needs in the design process* International Conference on Engineering Design, ICED91, Zurich, 1991.
- [8] Barba, E.: *La Excelencia en el proceso de desarrollo de nuevos productos* Ed. EADA Gestión, Barcelona, 1993.
- [9] Barius, B.: *Simultaneous Marketing: A Holistic Marketing Approach to Shorter Time to Market* Industrial Marketing Management, n° 23, 1994.
- [10] Charney, C.: *Time to Market: Reducing product lead time.* Society of Manufacturing Engineers, Dearborn, MI 1991.
- [11] Griffin, A.: *Metrics for Measuring Product Development Cycle Time.* Journal of Product Innovation Management, n° 12, 1993.
- [12] Iansiti, M.: *Shooting the Rapids: Managing Product Development in Turbulent Environments.* California Management Review, vol. 38, n° 1, 1995.
- [13] Reinertsen, D. G.: *Streamlining the fuzzy front end.* World Class Design to Manufacture, vol. 1, n° 5, 1994.
- [14] Stoll, H. W.: *Design for Manufacture: An overview.* Applied Mechanics Review, vol. 39, n° 9, 1986.

- [15] Vesey, J.T.: *Time-to-Market: Put Speed in Product Development*. Industrial Marketing Management, n° 21, 1992.
- [16] Wheelwright, S. C. y Clark, K. B.: *Accelerating the design-build-test cycle for effective product development* International Marketing Review, vol. 11, n° 1, 1994. Youssef, M.: *Design for Manufacturability and Time-to-Market (I)* International Journal of Operations and Production Management, vol.. 14, n° 12, 1994.
- [17] Youssef, M.: *Design for Manufacturability and Time-to-Market(II)*. International Journal of Operations and Production Management, vol.. 15, n° 1, 1995.
- [18] Zairi, M. y Youssef, M. A.: *Quality function deployment: a main pillar for successful total quality management and product development*. International Journal of Quality and Reliability Management, vol. 12, n° 6, 1995.
- [19] Michael F. Ashby: *Material Selection In Mechanical Design* Third Edition
- [20] Bruce G. Johnston, F. J. Lin y T.V. Galambos *Diseño basico de Estrcturas*
- [21] Trujillo Franco, Luis Gerardo.: *Evaluación experimental de técnicas de identificación de parámetros modales en sistemas mecánicos* CINVESTAV, Ingeniería Eléctrica.