

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ

Colegio de Ciencias e Ingeniería

Diseño, Construcción y Montaje de Puente Grúa Tipo Pórtico

Automatizado

Diego Esteban Arcos del Castillo

Oswaldo Nicolás Tamayo Endara

Sebastián Alejandro Arroyo Mena

Ingeniería Mecánica

Trabajo de fin de carrera presentado como requisito

para la obtención del título de

Ingeniero Mecánico

Quito, 14 de mayo de 2020

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO

USFQ

Colegio de Ciencias e Ingeniería

HOJA DE CALIFICACIÓN

DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA

Diseño, Construcción y Montaje de Puente Grúa Tipo Pórtico Automatizado

Diego Esteban Arcos del Castillo

Oswaldo Nicolás Tamayo Endara

Sebastián Alejandro Arroyo Mena

Calificación

B

Juan Sebastián Proaño, PhD. En Ingeniería Mecánica y Recursos

Bio-Renovables

Quito, 14 de mayo de 2020

DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Firmas de los estudiantes:

Nombres y apellidos:

Nicolás Tamayo, Sebastián Arroyo, Diego Arcos

Código:

00116500, 00022046, 00117362

Cédula de identidad:

1717344715, 1716495948, 1750580035

Lugar y fecha:

Quito, 14 de mayo de 2020

ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN

Nota: El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en <http://bit.ly/COPETheses>.

UNPUBLISHED DOCUMENT

Note: The following capstone project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on <http://bit.ly/COPETheses>.

RESUMEN

Dentro del siguiente reporte de proyecto integrador se podrá encontrar las directrices para poder construir, montar y automatizar un puente grúa. Dicho puente grúa se propone como respuesta a la dificultad de poder transportar desechos resultantes de los experimentos realizados dentro del laboratorio de Ingeniería Civil de la Universidad San Francisco de Quito. El informe consta de una introducción donde se detalla el problema y las diferentes soluciones analizadas llegando a ser la más factible un diseño tipo pórtico que será útil para diferentes tareas dentro del laboratorio. Una sección de metodología donde se especifica el proceso de selección de materiales y el diseño para la manufactura del proyecto. Un reporte de diseño donde es posible encontrar cálculos y simulaciones realizadas para determinar los componentes a utilizar en el diseño. Una sección de resultados y conclusiones donde se puede encontrar los resultados de simulaciones y cálculos previos y conclusiones de los mismo, además de sugerencias para el montaje de la estructura. El portafolio también cuenta con una guía de operación de la grúa para el uso del profesor encargado de las prácticas dentro del laboratorio.

Palabras Clave: Puente, grúa, trolley, viga, columna, base, suelda.

ABSTRACT

Inside the next report of integrator project, it can be found the guidelines in order to build, mount and automatize a crane bridge. The mentioned crane bridge is proposed as an answer to the problem the lab of Civil Engineering of San Francisco University has to transport the waste result of the experiments made with concrete. The report is composed of an introduction where the problem is detailed and the respective solutions that were analyzed in order to select the best alternative that is the construction of a porch type bridge crane, which will be useful for different tasks inside the laboratory. Then is presented a methodology section where is specified the manufacturing process and the materials chosen for its construction. Also, it's possible to find a design report where simulations and calculations were made in order to determine the components that will be used to build the bridge. A section with results, conclusions and discussion where recommendations that verify the previous calculations, besides suggestions for the implementation of the crane bridge. Finally, the report indexes an operation guide for the instructor that will use it in the laboratory.

Key Words: Bridge, crane, trolley, beam, column, base, weld.

INDICE

INDICE	7
Índice de Figuras.....	9
Índice de Tablas	12
INTRODUCCIÓN	14
1.1 Lista de Requerimientos.....	15
1.2 Objetivos	15
1.3 Concepto de Diseño y Soluciones.....	16
1.3.1 Diseño 1: Viga simple empotrada.....	16
1.3.2 Diseño 2: Viga con soporte lateral.....	17
1.3.3 Diseño 3: Grúa Pórtico Fijo	18
1.3.4 Diseño 4: Grúa Pórtico móvil.....	20
1.3.5 Sketches.....	21
1.4 Manejo del Proyecto.....	23
1.4.1 Presupuesto	23
1.4.2 Cronograma	24
1.5 Estándares Ingenieriles.....	25
METODOLOGÍA.....	27
2.1 Selección de Material y componentes	27
2.1.1 Selección de diseño de tipo de grúa.....	27
2.1.2 Selección de arranque.....	29
2.2 Diseño para Manufactura	30
2.2.1 Flujogramas de diseño de manufactura.....	31
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	34
3.1 Reporte de Diseño.....	34
3.2 Plan de experimentación y de pruebas.....	35
3.3 Seguridad a través del diseño.....	37
3.3.1 Análisis de Riesgos	38
3.3.2 Lista de Riesgos	38
3.3.3 Análisis de la importancia de riesgos.....	39

3.3.4	Manejo de riesgos	40
3.4	Manual de operaciones.....	41
3.5	Resultados, Conclusión y Discusión	42
3.5.1	Resultados y Discusión	42
3.5.2	Conclusiones.....	51
3.6	Trabajo Futuro.....	52
REFERENCIAS.....		54
ANEXO A: PLANOS.....		55
ANEXO B: DIAGRAMA DE GANTT COMPLETO Y PRESUPUESTO		60
ANEXO C: CÁLCULOS Y ANÁLISIS.....		62
ANEXO D: MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO		95
ANEXO E: TABLAS DE SELECCIÓN.....		101

Índice de Figuras

FIGURA 1. VIGA SIMPLE EMPOTRADA.....	16
FIGURA 2. VIGA CON SOPORTE LATERAL	17
FIGURA 3. GRÚA PÓRTICO FIJO	18
FIGURA 4. GRÚA PÓRTICO MOVIBLE.....	20
FIGURA 5. VFD (VARIABLE FREQUENCY DRIVE).....	21
FIGURA 6. ARRANCADOR SUAVE	21
FIGURA 7 CAJAS DE REDUCCIÓN DE VELOCIDAD	22
FIGURA 8. SISTEMA DE REDUCCIÓN POR POLEAS	22
FIGURA 9. DIAGRAMA DE GANTT.....	24
FIGURA 10. VIGA PRINCIPAL PERFIL W 6 X 9 ACERO	42
FIGURA 11. TENSION DE VON MISES VIGA PRINCIPAL	43
FIGURA 12. FACTOR DE SEGURIDAD VIGA PRINCIPAL.....	43
FIGURA 13. TENSION DE VON MISES SOPORTE	44
FIGURA 14. COEFICIENTE DE SEGURIDAD	45
FIGURA 15. SIMULACIÓN ESTRUCTURA DESPLAZAMIENTOS CARGA CENTRAL	45
FIGURA 16. SIMULACIÓN ESFUERZOS SOBRE ESTRUCTURA	46
FIGURA 17. SIMULACIÓN ESTRUCTURA DESPLAZAMIENTOS CARGA A 500 MM DE CUALQUIER EXTREMO.....	47
FIGURA 18. SIMULACIÓN DE ESFUERZOS EN ESTRUCTURA CON CARGA A 500 MM DE UN EXTREMO	48
FIGURA 19. PUENTE GRÚA TIPO PÓRTICO	62
FIGURA 20. TABLA DE DIMENSIONES Y PROPIEDADES PERFIL H AMERICANO ALA ANCHA DE LA NORMA ASTM A 6/A 6M -07. EXTRAÍDO DE	

HTTPS://WWW.GERDAU.COM/AR/ES/PRODUCTSSERVICES/PRODUCTS/DOCUMENT%20GALLERY/MUESTRA_GER_TABLAPERFIL.PDF	63
FIGURA 21. DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE DE VIGA PRINCIPAL.....	64
FIGURA 22. DIAGRAMA DE MOMENTO DE VIGA PRINCIPAL.....	65
FIGURA 23. DIAGRAMA DE FUERZA CORTANTE	66
FIGURA 24. COLUMNA	66
FIGURA 25. VALORES DE K PARA TIPOS DE APOYOS. EXTRAÍDO DE HTTPS://WWW.GERDAU.COM/GERDAUCORSA/ES/PRODUCTSSERVICES/PRODUCTS/DOCUMENT%20GALLERY/AYUDAS-DE-DISE%C3%B1O.PDF	68
FIGURA 26. TABLA DE TUBERÍA ESTRUCTURAL CUADRADA IPAC. EXTRAÍDO DE HTTP://WWW.IPAC-ACERO.COM/PRODUCTO-DETALLE.PHP?ID=9	70
FIGURA 27. DIAGRAMA DE SOPORTE INFERIOR	71
FIGURA 28. DIAGRAMA DE CORTE DE SOPORTE PUENTE GRÚA	71
FIGURA 29. MOMENTO FLECTOR SOPORTE	72
FIGURA 30. PROPIEDADES DE TUBO CUADRADO IPAC.....	73
FIGURA 31. DIMENSIONES DE VIGA TIPO W. EXTRAÍDO DE HTTPS://WWW.GERDAU.COM/AR/ES/PRODUCTSSERVICES/PRODUCTS/DOCUMENT%20GALLERY/MUESTRA_GER_TABLAPERFIL.PDF	74
FIGURA 32. UBICACIÓN DE LA CARGA A TRAVÉS DE LA VIGA PRINCIPAL	75
FIGURA 33. REPRESENTACIÓN DE ESFUERZOS FLUCTUANTES A TRAVÉS DEL TIEMPO (SHIGLEY,2010).....	76
FIGURA 34. ECUACIÓN DE FACTOR DE SUPERFICIE (SHIGLEY,2010)	77
FIGURA 35. ECUACIÓN DE FACTOR DE TAMAÑO (SHIGLEY,2010)	78
FIGURA 36. ECUACIÓN DE FACTOR DE CARGA. (SHIGLEY,2010).....	79

FIGURA 37. ESFUERZOS PERMITIDOS DE ACUERDO CON EL TIPO DE CARGA (SHIGLEY,2010).....	80
FIGURA 38. ESQUEMA DEL PÓRTICO	81
FIGURA 39. FÓRMULAS DE INERCIA Y ÁREA SEGÚN PERFIL DE SOLDADURA (SHIGLEY,2010).....	81
FIGURA 40. PROPIEDADES DE MATERIAL DE APORTE (SHIGLEY,2010).....	82
FIGURA 41. INFORMACIÓN DE LOS ESFUERZOS PERMITIDOS SEGÚN EL MATERIAL Y EL ESPESOR DEL CORDÓN (SHIGLEY,2010).....	83
FIGURA 42. ESQUEMA DE SUELDA	84
FIGURA 43. ESQUEMA DE SOLDADURA	86
FIGURA 44. ECUACIÓN DE FALLA POR FATIGA DE GERBER (SHIGLEY,2010)	89
FIGURA 45. NOMENCLATURA DE ENGRANE (SHIGLEY,2010).....	90
FIGURA 46. ILUSTRACIÓN DE FUERZAS SOBRE ENGRANE RECTO (SHIGLEY, 2010)	90
FIGURE 47. APLICACIÓN DE FUERZAS SOBRE EL DIENTE (SHIGLEY,2010).....	91
FIGURA 48. VALORES DEL FACTOR DE LEWIS PARA ÁNGULO NORMAL DE PRESIÓN DE 20° (SHIGLEY,2010)	92
FIGURA 49. PROPIEDADES MECÁNICAS DE ACEROS VARIOS (SHIGLEY,2010) ..	93
FIGURA 50. ANÁLISIS DE TENSIÓN DE VON MISES ENGRANE DIENTE.....	94

Índice de Tablas

TABLA 1. PRESUPUESTO.....	23
TABLA 2. CRITERIOS DE SELECCIÓN PARA TIPO DE GRÚA.....	27
TABLA 3. PONDERACIÓN DE CRITERIOS.....	27
TABLA 4. TABLAS DE SOLUCIONES Y CONCLUSIÓN.....	28
TABLA 5. PLAN DE CONSTRUCCIÓN DE PUENTE GRÚA MONORRIEL TIPO PÓRTICO	33
TABLA 6. PLAN DE PRUEBAS	35
TABLA 7. PLAN DE EXPERIMENTACIÓN Y PRUEBAS.....	36
TABLA 8. ANÁLISIS DE IMPORTANCIA DE RIESGOS	39
TABLA 9. MANEJO DE RIESGOS	41
TABLA 10. RESUMEN DE RESULTADOS CÁLCULOS ESTRUCTURALES	49
TABLA 11. FACTORES DE SEGURIDAD A FATIGA.....	49
TABLA 12. FACTORES DE SEGURIDAD DE ELECTRODOS	50
TABLA 13. PROPIEDADES DEL ACERO A 36. EXTRAÍDO DE HTTPS://WWW.GERDAU.COM/GERDAUCORSA/ES/PRODUCTSSERVICES/PRO DUCTS/DOCUMENT%20GALLERY/ELECCION-TIPO-DE-ACERO.PDF	72
TABLA 14. PARÁMETROS DE CONDICIÓN DE SUPERFICIE (SHIGLEY,2010).....	77
TABLA 15. TABLA DE ÁREAS AL 95% DE PERFILES NO ROTATIVOS (SHIGLEY,2010).....	78
TABLA 16. FACTORES DE CONFIABILIDAD (SHIGLEY,2010)	79
TABLA 17. FACTORES DE SEGURIDAD DE FATIGA	80
TABLA 18. SELECCIÓN SEGÚN FACTORES DE SEGURIDAD.....	87
TABLA 19 EVALUACIÓN DEL PESO DE CADA CRITERIO	101
TABLA 20. EVALUACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO DEL CRITERIO COSTO.....	101

TABLA 21. EVALUACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO DEL CRITERIO REDUCCIÓN DE POTENCIA.....	102
TABLA 22. EVALUACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO DEL CRITERIO IMPLEMENTACIÓN.....	102
TABLA 23. EVALUACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO DEL CRITERIO IMPLEMENTACIÓN.....	103
TABLA 24. CONCLUSIONES.....	103

INTRODUCCIÓN

Actualmente dentro del laboratorio de Ingeniería Civil no existe una manera eficiente y fácil de transportar el material que resulta de los experimentos con hormigón. por esta razón deshacerse de los residuos de material se convierte en una tarea complicada y tediosa. Es por esta razón que se ha decidió realizar el diseño, construcción e implementación de un puente grúa dentro de dicho laboratorio.

Dentro de la parte de cálculos que pertenecen al proyecto se realizará el diseño y elección de viga y soportes adecuados para la estructura de acero en la que se montará los motores para el desplazamiento horizontal y vertical. También se realizará el diseño estático y dinámico de la misma para evitar fallas por carga o por fatiga.

El informe también cuenta con una simulación de las cargas que estarán presentes en la viga para verificar que los cálculos sean correctos. Además, una vez montada las estructuras también se realizarán pruebas para verificar si los resultados teóricos y de la simulación fueron realizados correctamente. El informe también contará con los cálculos de la potencia del motor necesario para levantar la carga de 1000 kg.

El presente informe tiene anexo un manual de operación para el instructor que vaya a operar el puente grúa dentro del laboratorio y este manual podrá ser usado por cualquiera de los encargados del laboratorio en caso de fallas o dudas.

Para el proyecto nuestro cliente principal es el profesor Juan José Recalde de Ingeniería Civil, quién es el encargado del laboratorio.

1.1 Lista de Requerimientos

- Debe tener la capacidad de levantar un peso máximo de 300kg.
- Debe utilizar una grúa ya adquirida para levantar el material.
- Debe estar dentro del presupuesto acordado.
- Debe tener un display electrónico con opciones claras y de fácil operación.
- El puente grúa debe ser automatizado mediante un controlador electrónico.
 - Automatización de movimiento horizontal de la carga.
 - Automatización del movimiento vertical de la carga.
 - Controlar la velocidad de arranque del sistema.
- Debe ser móvil y poder ser transportado dentro del laboratorio de suelos Ingeniería Civil.
- Debe tener un sistema para sujetar el saco donde se encuentra el hormigón y transportarlo una distancia de 3 metros.

1.2 Objetivos

- Realizar el diseño de un puente grúa para el laboratorio de Ingeniería Civil.
- Elegir la estructura que se ajuste más a la comodidad y sea eficiente para el laboratorio.
- Elegir el motor correcto para el desplazamiento horizontal de la carga.
- Acoplar correctamente el motor ya existente para el movimiento vertical de la carga.
- Optimizar el presupuesto proporcionado por la Universidad San Francisco de Quito.
- Automatizar la grúa para que pueda ser operada a través de una pantalla LED y de un teclado.

- Controlar la velocidad a través de un variador de frecuencia adaptado a la grúa.

Es importante mencionar que actualmente lo único que se encuentra disponible dentro de la Universidad para realizar el proyecto es el motor de movimiento vertical, se deberá adquirir perfiles de acero, motor, ruedas para desplazamiento de la estructura, case para asegurar motores y sistema de control automático.

1.3 Concepto de Diseño y Soluciones

- Diseño de estructura:

1.3.1 Diseño 1: Viga simple empotrada

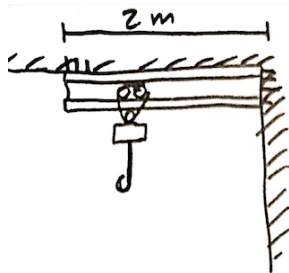


Figura 1. Viga simple empotrada

- **Explicación:**

Este diseño consiste en una viga principal en I que irá sujeta al techo y a la pared del laboratorio. Este diseño es fijo por lo que no es modificable ni desmontable. Solo cumple el propósito de cargar material en una sola dirección.

- **Ventajas:**

- Menos elementos para ensamblar.
- Menos tiempo de ensamblar.

- **Desventajas**

- Difícil de ensamblar.
- Los pernos de sujeción tanto en la pared como el techo no brindarán seguridad a largo plazo y no es teoría que está disponible.

1.3.2 Diseño 2: Viga con soporte lateral

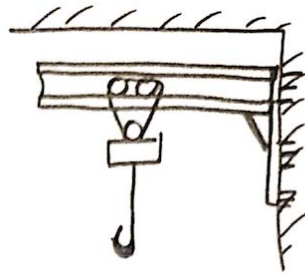


Figura 2. Viga con soporte lateral

- **Explicación:**

Este diseño consta de una sola viga principal para el recorrido de la grúa y con un soporte lateral fijo que estará empernado en la pared. Este es un diseño que permite un montaje más

fácil sin embargo depende mucho de la resistencia del material de la pared (Hormigón) y de un gran esfuerzo sobre los pernos de sujeción. El diseño y los cálculos para entender la interacción entre el hormigo y los pernos frente a la carga es parte de teoría que no cubre nuestra línea de estudios de manera directa por lo que resulta poco práctico el introducir este diseño como factible.

○ **Ventajas:**

- Fácil montaje
- Montaje rápido
- Menos elementos que ensamblar
- Más barato

○ **Desventajas**

- No se conoce la teoría para calcular los pernos de anclaje a la pared.

1.3.3 Diseño 3: Grúa Pórtico Fijo

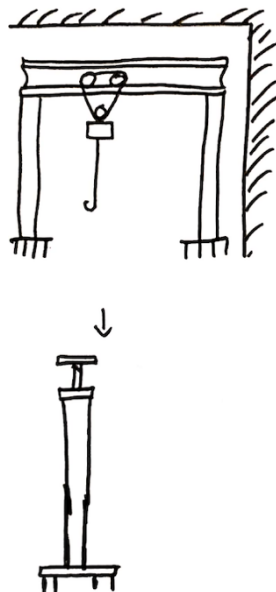


Figura 3. Grúa pórtico fijo

- **Explicación:**

Este diseño consiste en un pórtico que está sostenido por dos columnas metálicas que van ancladas al piso. Es un diseño que cuenta con 3 elementos principales y una base anclada con pernos que están en compresión. Es un diseño que permite tener más conocimiento sobre los elementos y materiales que están en interacción y que permite la aplicación de la teoría conocida por nuestra área de estudio.

- **Ventajas:**

- Se conoce y maneja la teoría sobre los materiales y como una carga puede interactuar con los mismos.
- Se conoce la condición de todos los elementos que conforman a la estructura por lo que es más simple determinar su comportamiento bajo carga.
- Mas confiable al largo plazo.

- **Desventajas:**

- Son más elementos en interacción.
- Mayor costo
- Es fijo y no se puede mover.

1.3.4 Diseño 4: Grúa Pórtico movable

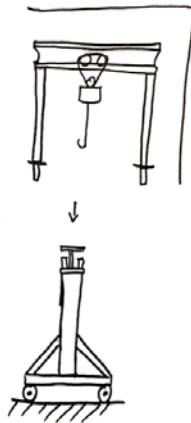


Figura 4. Grúa pórtico movable

○ Explicación

Se trata de una grúa tipo pórtico móvil que puede utilizarse para más de una función y que como su nombre lo explica, se puede mover en el espacio disponible en el laboratorio. Es un sistema que tiene mayor número de elementos en interacción y que requiere de más consideraciones ya que se debe analizarlo de manera frontal y lateral para asegurar estabilidad y resistencia a la carga móvil.

○ Ventajas:

- Se puede mover.
- Se conoce los materiales y los elementos del diseño.
- Confiable a largo plazo

○ Desventajas:

- Mayor costo.
- Mayor número de elementos.

1.3.5 Sketches

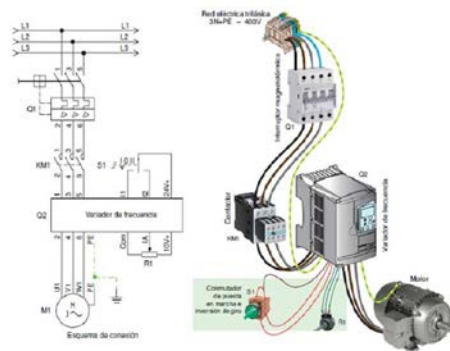


Figura 5. Variable Frequency Drive o VFD. (Buscador de imágenes de Google)

1.3.5.1 Un variador de frecuencia

“Es un regulador industrial que se encuentra entre la alimentación energética y el motor. La energía de la red pasa por el variador y regula la energía antes de que ésta llegue al motor para luego ajustar la frecuencia y la tensión en función de los requisitos del procedimiento”. (“Qué es un variador de frecuencia,” 2020)



Figura 6. Arrancador suave (Buscador de imágenes de Google).

1.3.5.2 Arrancador Suave

“Es un dispositivo electrónico que permite controlar el arranque y parada de motores de inducción, ayudando a proteger el motor y contribuyendo al ahorro de energía.” (Iguenes. 2015)



Figura 7 Cajas de reducción de velocidad (Buscador de imágenes de Google)

1.3.5.3 Caja de reducción de velocidades

Es un mecanismo diseñado a base de engranajes, mecanismos circulares y dentados con geometrías especiales de acuerdo con su tamaño y la función en cada motor, que sirve para controlar las revoluciones de un motor eléctrico, debido que las velocidades de los motores eléctricos son demasiado altas para procesos industriales. (Roydisa. 2018)

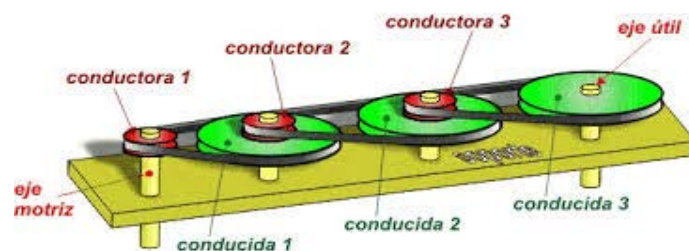


Figura 8. Sistema de reducción por poleas (Buscador de imágenes de Google)

1.3.5.4 Sistema de reducción por poleas

Es un mecanismo diseñado a base de poleas con él cual se busca reducir la velocidad de un motor mediante la diferencia de diámetro con la polea conductora y la polea conducida así repitiendo el proceso hasta obtener la velocidad requerida.

1.4 Manejo del Proyecto

1.4.1 Presupuesto

Item	Descripción	Cantidad	Precio
1	Viga W 6 x 9x6000	1	\$ 180.00
2	Perfil Cuadrados Tubo cuadrado - 100x100x5 mm - 6 m	2	\$ 230.00
3	Ruedas	4	\$ 56.00
4	Variador de Frecuencia	1	\$ 150.00
5	Electric Push trolley beam	1	\$ 230.00
6	Set Materiales Varios	1	\$ 150.00
7	Set Suelda de estructura	1	\$ 150.00
8	Botonera (incluye elementos internos)	1	\$ 40.00
Total			\$ 1,186.00

Tabla 1. Presupuesto

1.4.2 Cronograma

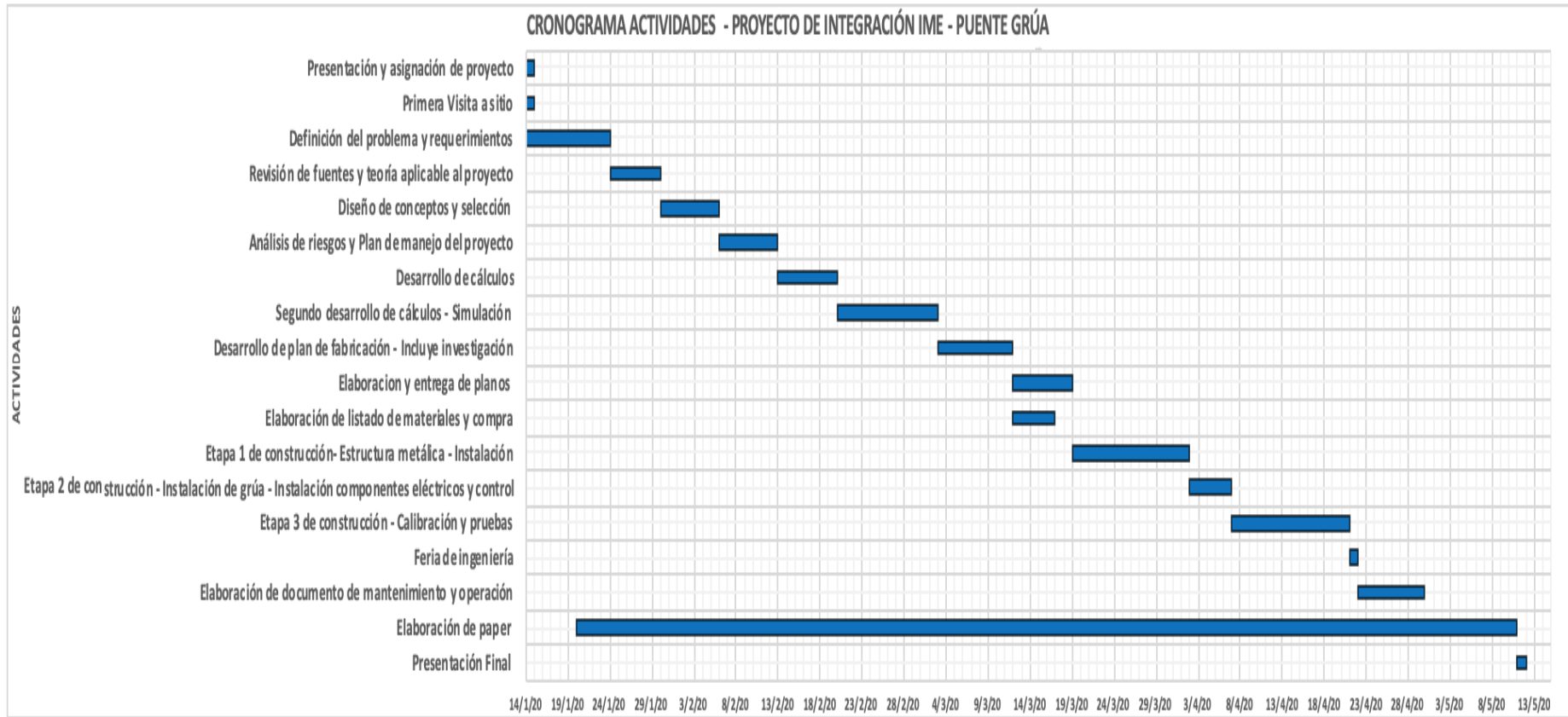


Figura 9. Diagrama de Gantt

1.5 Estándares Ingenieriles

Los puentes grúa son máquinas que nos ayudan al transporte de diversos materiales con rangos de peso de 1 a 300 toneladas dependiendo del tipo y de la industria donde se la vaya a necesitar. Las necesidades del laboratorio de ingeniería civil son el transporte de una carga que varía de 200 a 300 kilogramos como máximo. Al visitar el laboratorio podemos tomar las dimensiones y percatarnos de las restricciones del espacio en donde se va implementar el puente grúa que se aconseja diseñar.

El puente grúa que se está proponiendo, es un puente grúa monorraíl tipo Pórtico por tres motivos: La carga movilizada no supera la tonelada, el espacio del edificio no es extremadamente ancho y se no se puede anclar la grúa monorraíl a la columna y pared.

Debido a las recomendaciones de la Norma ASME B30.11-2010 que habla sobre los estándares de seguridad que se debe tomar para todo tipo de grúa y subtipos.

Como dice la norma ASME B30.11-2010

“11-1.3.1 Crane Runways and Monorail Tracks (a) Crane runways, monorails, support systems, and supporting structures shall be designed to withstand the loads and forces imposed by the cranes and carriers.”. ASME (2010)

Todo componente de la grúa (viga, sistemas de soporte y estructuras de soporte) deberá ser diseñada para soportar las cargas y fuerzas impuestas por la grúa y el peso transportado.

Para la viga principal se va a escoger un perfil estructural W 6 x 9 o Perfil HEB 160 (mercado nacional), el cual se definió después de cálculos de esfuerzos de flexión y así escoger el más idóneo para soportar el trabajo y cumpla los criterios de presupuesto, peso y factor de seguridad.

Para la grúa, el laboratorio de ingeniería civil nos va a facilitar una grúa de carga vertical de 1.5 toneladas.

Para el movimiento horizontal se plantea utilizar un motor eléctrico (3-5Hp) con un variador de frecuencia para controlar la velocidad de avance y asegurar un correcto funcionamiento de la máquina y precautelar la seguridad de la operación y sus operarios.

Mediante un control PLC se va a simplificar y garantizar el funcionamiento del puente grúa monorriel.

METODOLOGÍA

Dentro de la sección de metodología se encuentra la selección de componentes para la automatización de la grúa junto con la selección del diseño más conveniente a ser implementado. Además, se presenta el plan de diseño de manufactura a utilizar para la fabricación del proyecto.

2.1 Selección de Material y componentes

Dentro de la siguiente sección se encontrarán los pasos seguidos para la selección de los materiales a usar y de los componentes del puente grúa.

2.1.1 Selección de diseño de tipo de grúa

En esta sección se presenta los criterios tomados en cuenta para la selección del tipo de grúa que se pretende implementar en el laboratorio, es importante mencionar que para a selección se tomó en cuenta las necesidades del cliente.

Criterios
Costo: Es un aspecto importante sin embargo no es crítico en relación a la seguridad de operación y la facilidad de uso y montaje
Montaje es un factor importante ya que le da la viabilidad al proyecto debido a falta de personal y equipo disponible para elevar elementos pesados.
Confiabilidad: Factor crucial ya que los equipos serán utilizados por personal de la universidad y estudiantes.
Movilidad: Es un factor que facilita el uso de los equipos y permite que el gasto del proyecto pueda ser relacionado a más actividad y no solo a una función

Tabla 2. Criterios de selección para tipo de grúa

Sistema: Motor de Eléctrico para podadora						
Pieza: Motor eléctrico						
Criterio	Costo	Montaje	Confiabilidad	Movilidad	Σ	Pondera
Costo	0	0	0	1	2	0.200
Montaje	1	0	0	1	3	0.300
Confiabilidad	1	1	0	1	4	0.400
Movilidad	0	0	0	0	1	0.100
				Sum	10	

Solucion A	Viga simple
Solucion B	Viga con soporte lateral
Solucion C	Protico fijo
Solucion D	Pórtico móvil

Tabla 3. Ponderación de criterios

Solución A > Solución B > Solución C = Solución D						
Costo	Solucion A	Solución B	Solución C	Solución D	Σ^{+}	Pondera
Solucion A	0	1	1	1	4	0.400
Solución B	0	0	1	1	3	0.300
Solución C	0	0	0	0.5	1.5	0.150
Solución D	0	0	0.5	0	1.5	0.150
				Sum	10	

Solución A < Solución B < Solución C = Solución A						
Montaje	Solucion A	Solución B	Solución C	Solución D	Σ^{+}	Pondera
Solucion A	0	0	0	0	1	0.100
Solución B	1	0	0	0	2	0.200
Solución C	1	1	0	0.5	3.5	0.350
Solución D	1	1	0.5	0	3.5	0.350
				Sum	10	

Solución A < Solución B < Solución C = Solución D						
Confiabilidad	Solucion A	Solución B	Solución C	Solución D	Σ^{+}	Pondera
Solucion A	0	0	0	0	1	0.100
Solución B	1	0	0	0	2	0.200
Solución C	1	1	0	0.5	3.5	0.350
Solución D	1	1	0.5	0	3.5	0.350
				Sum	10	

Solución A = Solución B = Solución B < Solución D						
Movilidad	Solucion A	Solución B	Solución C	Solución D	Σ^{+}	Pondera
Solucion A	0	0.5	0.5	0	2	0.200
Solución B	0.5	0	0.5	0	2	0.200
Solución C	0.5	0.5	0	0	2	0.200
Solución D	1	1	1	0	4	0.400
				Sum	10	

Conclusión						
	Costo	Montaje	Confiabilidad	Movilidad	Σ^{+}	Prioridad
Solucion A	0.08	0.02	0.03	0.02	0.150	4.00
Solución B	0.12	0.04	0.06	0.02	0.240	3.00
Solución C	0.06	0.07	0.11	0.02	0.255	2.00
Solución D	0.06	0.07	0.11	0.04	0.275	1.00

Tabla 4. Tablas de soluciones y conclusión

➤ Resultados

El mejor diseño de acuerdo con los factores importantes para el cliente y para el fabricante es el diseño 4 de la grúa tipo pórtico móvil. Esto se debe a que este diseño cumple con los parámetros de seguridad, la facilidad del montaje y permite que los diseñadores conozcan los materiales y los elementos que están interactuando durante la carga. A pesar que el diseño es costoso, cumple con más funciones y es más seguro de operación sin salirse de los límites esperados por el cliente.

2.1.2 Selección de arranque

2.1.2.1 Selección de sistema de control de velocidad

➤ Criterios

- **Costo:** Es un aspecto importante ya que el presupuesto disponible debe ser optimizado para el presupuesto disponible de la clase y del departamento de Ingeniería Civil.
- **Reducción de Potencia:** Segundo más importante ya que el funcionamiento del puente grúa necesita un arranque lento para que la carga no pendule.
- **Implementación:** Lleva tercer orden. Es necesario saber que tan fácil de implementar es el equipo.
- **Disponibilidad:** Es un factor importante sin embargo de no encontrar siempre es posible cambiar de opción.

➤ Soluciones

- **Solución A** Arrancador Suave
- **Solución B** VFD
- **Solución C** Caja de reducción de velocidades
- **Solución D** Reducción por poleas

La metodología que se usó para realizar la elección de una de la mejor alternativa para el arranque del puente grúa es el método ordinal corregido de criterios ponderados.

Dicho método fue explicado en clase y consiste en asignar valores de:

- 1 si el criterio o solución de la fila es mejor al situado en las columnas.
- 0.5 si el criterio o solución de las filas es igual al de las columnas
- 0 si el criterio o solución de las filas es peor al de las columnas.

Como lo detalla Riba (2002)

“Luego, para cada criterio (o solución), se suman los valores asignados en relación a los restantes criterios (o soluciones) al que se le añade una unidad (para evitar que el criterio o solución menos favorable tenga una valoración nula); después, en otra columna se calculan los valores ponderados para cada criterio (o solución). Finalmente, la evaluación total para cada solución resulta de la suma de productos de los pesos específicos de cada solución por el peso específico del respectivo criterio”

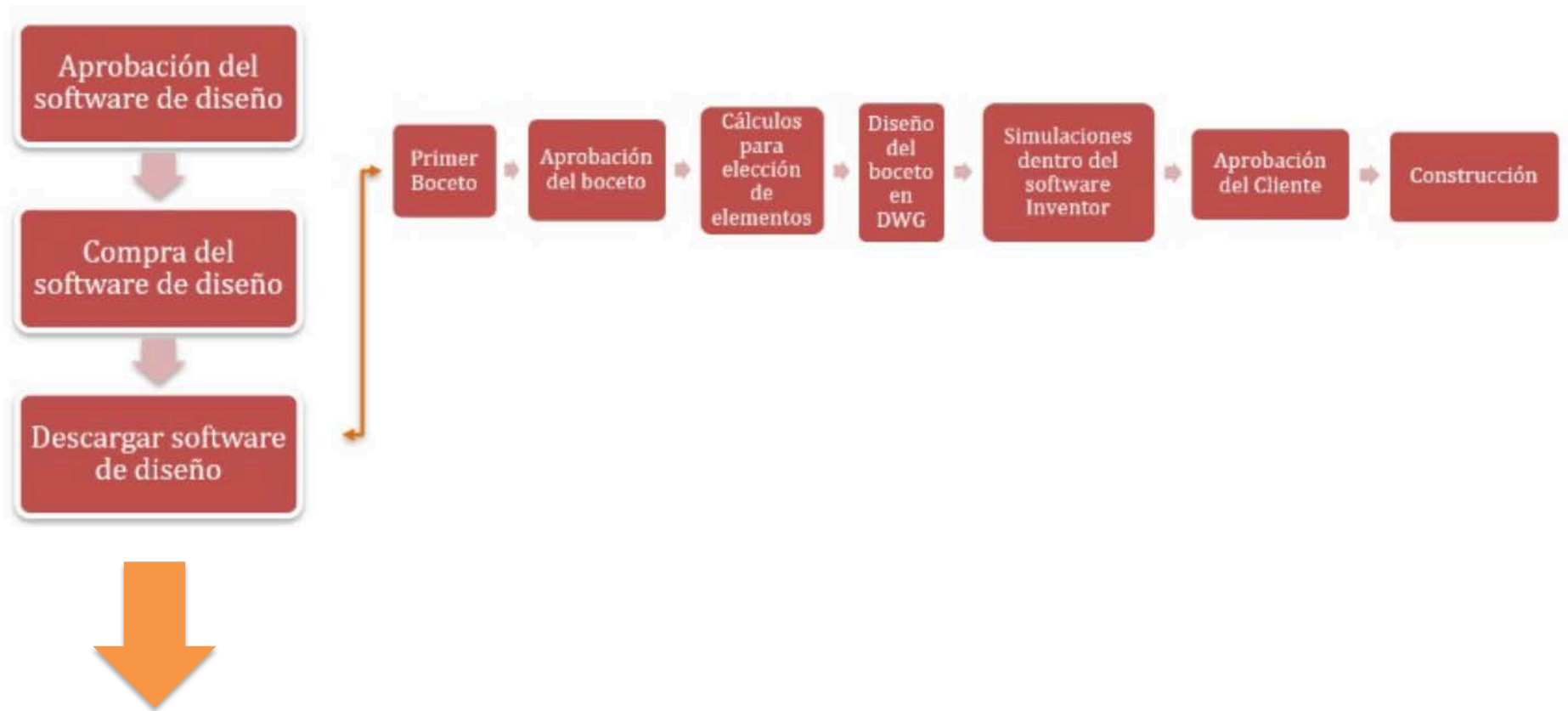
➤ **Resultados**

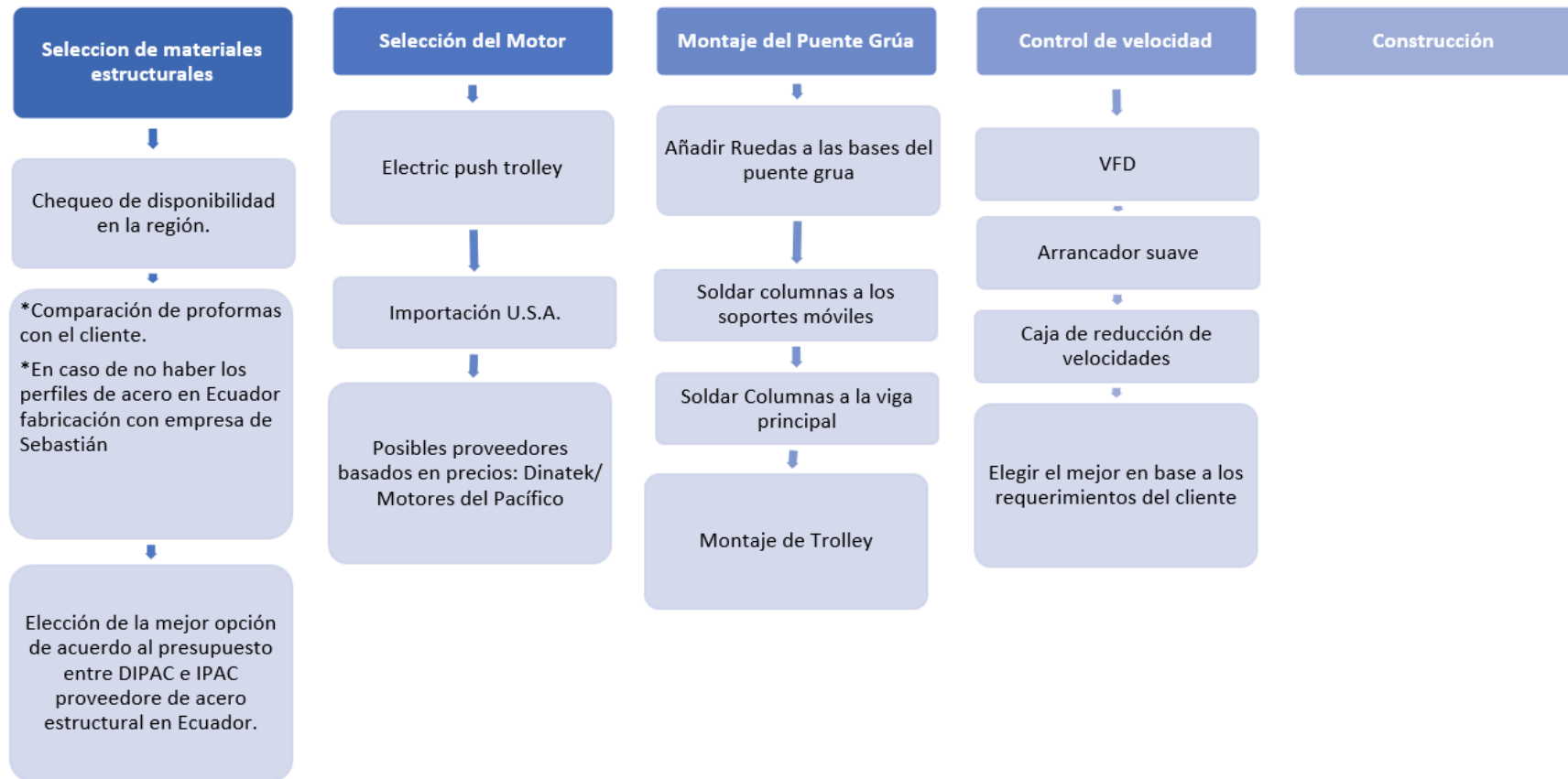
Los resultados de esta sección se podrán encontrar en el ANEXO E del presente documento.

2.2 Diseño para Manufactura

En la siguiente sección se incluirán flujogramas donde se mostrará el proceso a seguir para la fabricación y compra de los materiales necesarios para la construcción del puente grúa. Además, se incluye un diagrama de Gantt con las fechas para los procesos antes descritos.

2.2.1 Flujogramas de diseño de manufactura





RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En esta sección se presentan cálculo, simulaciones para el diseño de la grúa tipo pórtico, también se encuentra la sección de resultados donde se presenta los datos de simulaciones y se verifica la validez de los cálculos realizados. Finalmente se detalla las conclusiones de los resultados encontrados y las recomendaciones para el futuro montaje del proyecto.

3.1 Reporte de Diseño

Dentro del reporte de diseño se pueden encontrar los cálculos correspondientes al análisis de la viga principal, tales como análisis estático para encontrar momento flector máximo causado por la carga y peso de la viga, análisis de falla estática y de falla dinámica. También será posible encontrar los cálculos para el diseño de las columnas para el puente grúa junto con el diseño de la base donde irá soportada la estructura y el respectivo análisis de estabilidad del mismo. Dentro de esta sección está incluido el análisis de las sueldas que permitirán la unión de las columnas con la viga principal y con la base de la grúa. Finalmente se incluye también el diseño para el control automático de movimiento vertical y horizontal del puente grúa. Es importante mencionar también que la grúa tendrá dimensiones generales de 3 metros de largo que corresponderán al máximo desplazamiento de la carga y de 3 metros de alto para que pueda ser operada fácilmente dentro del laboratorio.

Finalmente es debido tomar en cuenta que todas las fórmulas usadas en estos análisis, además de gráficos correspondientes a tablas y factores a tomar en cuenta durante el diseño fueron extraídos del libro de diseño Mecánico de Shigley 9na. Edición escrito por Richard G. Budynas y J. Keith Nisbett (2010).

Dentro del ANEXO C se encuentran todos los cálculos correspondientes a la sección de análisis ingenieril. En dicho anexo se podrán observar cálculos para la elección de viga principal, columnas, estabilidad de la base y análisis de las sueldas correspondientes.

3.2 Plan de experimentación y de pruebas

Dentro de la sección de plan de pruebas se incluirá los posibles experimentos que se realizarán dentro del laboratorio una vez montada la estructura y también se incluirá un plan de prueba del prototipo donde se verificará que los requerimientos iniciales se alcanzaron satisfactoriamente. A continuación, se presenta la tabla de experimentos que se deben llevar a cabo para la comprobación del correcto diseño del puente grúa:

ID	Requerimiento	Metodología de prueba	Encargado
001	Levantar cargas superiores de hasta 1000kg	Realizar una simulación dentro del software Inventor para obtener esfuerzos y deformaciones de la estructura. Comprobar físicamente dichas simulaciones usando galgas extensiométricas.	Nicolás Tamayo
002	Usar grúa previamente adquirida	Verificar que el VFD es compatible con la grúa para poder montarla y controlarla desde un teclado y pantalla al alcance del instructor.	Nicolás Tamayo
003	Control automático de movimiento	Verificar que el VFD cumple con el control automático de movimiento vertical, horizontal y de velocidad de arranque del sistema de movimiento.	Sebastián Arroyo
004	Interfaz para el usuario (instructor)	Verificar que el instructor de laboratorio pueda usar con facilidad la interfaz para la operación del puente grúa a través de la capacitación al mismo y pruebas realizadas junto al instructor.	Diego Arcos
005	Movilidad dentro del Laboratorio	Antes de usarlo verificar que se puede mover dentro del laboratorio y que se mantenga en el lugar apropiado para evitar accidentes.	Sebastián Arroyo

Tabla 6. Plan de pruebas

Item	Proceso	Descripción	Status
1	Comprobación de funcionamiento eléctrico	Conección a fuente	
		Accionamiento de breaker principal y comprobación de encendido	
		Comprobación y programación de VFD	
		Accionamiento de sistema Push beam Trolley con botón	
		Accionamiento de sistema de teclé eléctrico	
		Comprobación de funcionamiento de boton de emergencia	
2	Medicion inicial de condiciones	Medición inicial con galgas extensiométricas	
		1. Columna principal	
		2. Base de estructura izquierda	
		3. Base de estructura derecha	
		4. Columnas laterales	
3	Prueba de carga 1	Colocar una carga de 300 kg	
		Esperar 8 horas	
		Medir deformación con galgas extensiométricas y registrar	
		1. Columna principal	
		2. Base de estructura izquierda	
		3. Base de estructura derecha	
		4. Columnas laterales	
5. Base de Push beam trolley			
4	Prueba de carga 2	Colocar una carga de 500 kg	
		Esperar 8 horas	
		Medir deformación con galgas extensiométricas y registrar	
		1. Columna principal	
		2. Base de estructura izquierda	
		3. Base de estructura derecha	
		4. Columnas laterales	
5. Base de Push beam trolley			
5	Prueba de carga 3	Colocar una carga de 800 kg	
		Esperar 8 horas	
		Medir deformación con galgas extensiométricas y registrar	
		1. Columna principal	
		2. Base de estructura izquierda	
		3. Base de estructura derecha	
		4. Columnas laterales	
5. Base de Push beam trolley			
7	Prueba de carga 4	Colocar una carga de 1000 kg	
		Esperar 8 horas	
		Medir deformación con galgas extensiométricas y registrar	
		1. Columna principal	
		2. Base de estructura izquierda	
		3. Base de estructura derecha	
		4. Columnas laterales	
5. Base de Push beam trolley			
		6. Prueba de teclé eléctrico	

Tabla 7. Plan de experimentación y pruebas

3.3 Seguridad a través del diseño

Debido a que el proyecto será implementado dentro de un laboratorio donde se encuentra estudiante, profesores, personal administrativo y equipos de la Universidad San Francisco de Quito es de suma importancia que exista un diseño seguro de la estructura incluso antes del montaje. Para esto es importante tomar en cuenta los riesgos a los que está sujeto el proyecto, uno de los cuales es la imprudencia de los estudiantes nuevos de la carrera, puesto que al iniciar los estudios no se tiene un criterio tan desarrollado como para evaluar y evitar los posibles accidentes dentro de un laboratorio, para mitigar este riesgo se debe usar el puente grúa solo en presencia del instructor previamente capacitado y con la debida distancia de estudiantes y en general de las personas que se encuentren dentro del laboratorio.

Otro de los riesgos que se pueden identificar es la estabilidad del puente. Al ser el diseño del puente de tipo pórtico y móvil existe el riesgo de que las ruedas puedan trabarse en las imperfecciones del piso conllevando a una posible volcadura o perduración de la carga. Por esta razón, es imperativo que el traslado del puente sea realizado a bajas velocidades y cuando la grúa no tenga carga, también es importante que no se la empuje con demasiada fuerza para no voltearla.

Al ser una grúa tipo pórtico las columnas irán soldadas a la viga principal y a sus respectivas bases móviles motivo por el cual es necesario que exista una supervisión de la suelda y el uso de electrodos adecuado especificado en los cálculos ingenieriles (sección 3.2.6.6) también es importante que la suelda esté debidamente limpiada por el soldador encargado de unir las juntas.

3.3.1 Análisis de Riesgos

3.3.2 Lista de Riesgos

Mediante la norma ASME B30.11-2010 para “Monorails and Underhung Cranes” (ASME,2010) y los requerimientos del cliente debemos tomar en cuenta los siguientes riesgos:

1. Que la carga péndele y pueda lastimar a las personas (estudiante).
2. Que el motor no arranque suave, causando que la carga se mueva demasiado rápido
3. Que la estructura del motor o grúa enganchados a la viga riel sean muy pesados y caigan
4. Que no soporte la carga Máxima (1000 kg) que necesita el laboratorio.
5. Que el operario no sea bien capacitado para operar la máquina
6. Que la grúa adquirida no pueda ser controlada por el Arduino o sistema de automatización que se escoja
7. Que el variador de frecuencia no pueda ser programado con el lenguaje del sistema de automatización.
8. Que el proyecto salga del presupuesto acordado.
9. Que no logre recorrer los 3 metros de longitud para depositar el material.
10. Que sea muy complicado de operar.
11. Que el sistema de programación no sea amigable con el operario.
12. Que la simulación no encaje con los experimentos que sean realizados.

3.3.3 Análisis de la importancia de riesgos

De la Lista de riesgos se tomaron los más importantes y mediante del análisis de importancia de riesgos se obtuvo la siguiente tabla:

							Código	Descripción	Prioridad
Impacto	5	004	005	003	006		001	Retraso Importación y entrega de VFD	6
	4		002				002	Falla de comunicación en componentes del control Automático	8
	3						003	Mal Uso del puente grúa por Operarios	15
	2			001			004	Falla o rotura en viga principal cuando carga los 300 Kg	5
	1						005	Que nuestro mecanismo de movilidad no logre realizar el trabajo	10
	1	2	3	4	5	006	Montaje complejo por falta de maquinaria, equipos y espacio	20	
	Probabilidad								

Tabla 8. Análisis de importancia de riesgos

Del cual obtuvimos que los riesgos más importantes a tomar en consideración son el montaje de un riel anclado a la viga y pared, por lo cual se optó por cambiar el diseño por un monorriel tipo Pórtico el cual es más manejable y nos disminuye el riesgo de cualquier incidente o accidente potencial.

Y los riesgos por mal uso de la maquinaria, por lo cual se capacitará al responsable del laboratorio el cual supervisará y capacitará a otros usuarios (profesores).

3.3.4 Manejo de riesgos

Código	Descripción	Prioridad = Impacto x Probabilidad	Responsable	Decisión Tomada	Estatus	Observaciones
001	Retraso Importación y entrega de VFD	2x3=6	Nicolás Tamayo	Comprar con proveedor local y de ser necesario traer del exterior	Vigente	Costo Elevado Cambio en el presupuesto
002	Falla de comunicación en componentes del control Automático	4x2=8	Nicolás Tamayo	Comprar a un proveedor con asistencia de instalación y capacitación	Vigente	Costo Elevado Cambio en el presupuesto
003	Mal Uso del puente grúa por Operarios	3x5=15	Diego Arcos	Capacitar al supervisor del laboratorio y realizar manual de operación	Vigente	Especificar que la grúa debe ser operado por encargado de laboratorio no por estudiantes

004	Falla o rotura en viga principal cuando carga los 300 Kg	5x1=5	Sebastián Arroyo	Diseñar la viga o adquirir perfil que cumpla con un factor de seguridad recomendado por norma (F.S. 5)	Vigente	Incremento de costo en materiales
005	Que nuestro mecanismo de movilidad no logre realizar el trabajo	5x2=10	Diego Arcos	Modelar el sistema a detalle, realizar cálculos específicos y simular el sistema para observar elementos críticos	Vigente	Aumento de horas necesarias para realizar el proyecto
006	Montaje complejo por falta de maquinaria, equipos y espacio	5x3 =15	Sebastián Arroyo	Realizar un estudio de factibilidad en el sitio de trabajo para determinar los equipos y maniobras necesarias para el montaje	Vigente	Aumento de tiempo de ejecución y retraso en el proyecto

Tabla 9. Manejo de riesgos

3.4 Manual de operaciones

El manual de operaciones se podrá encontrar en el Anexo D.

3.5 Resultados, Conclusión y Discusión

3.5.1 Resultados y Discusión

Para comprobar que nuestros cálculos de selección en perfiles y piezas son correctos debemos comprobar en un software de elementos finitos, en nuestro caso Autodesk Inventor, el cual nos proporcionará la tensión de Von Mises y su factor de seguridad.

3.5.1.1 Análisis de estructura en Inventor

3.5.1.1.1 Análisis de Viga Principal W 6 x 9 A36

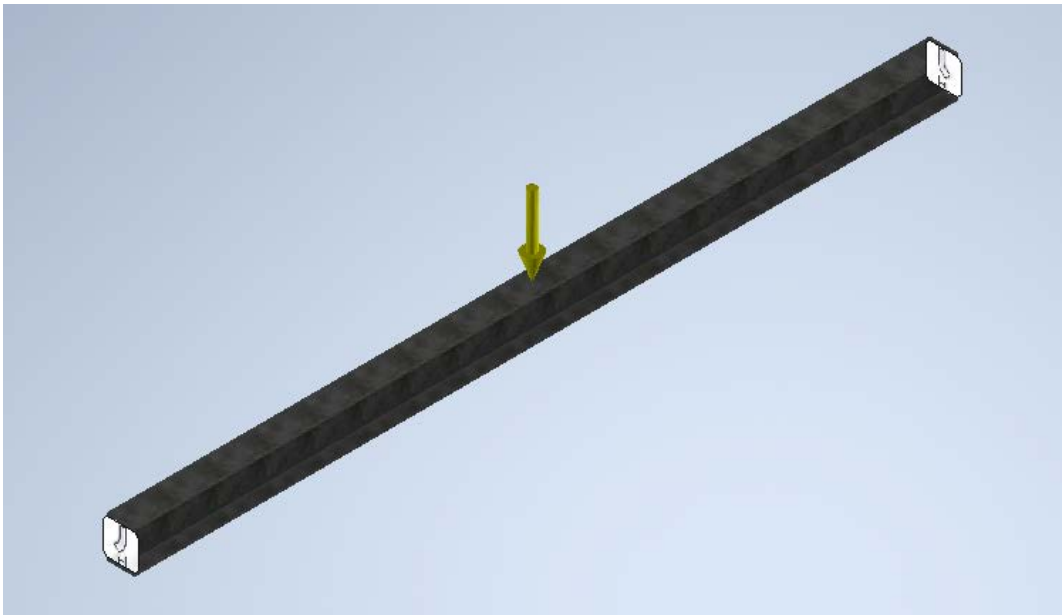


Figura 10. Viga Principal Perfil W 6 x 9 Acero

En la figura 12, se observa que los valores de la Tensión de Von Mises son 177.4 MPa los cuales son mayores a lo que se calculó teóricamente 129 MPa, pero no supera al valor máximo de resistencia del material que se utilizó en el diseño (Acero A36). Lo cual puede ser

debido a las variaciones en los decimales de la biblioteca de inventor, en especial en la inercia de este.

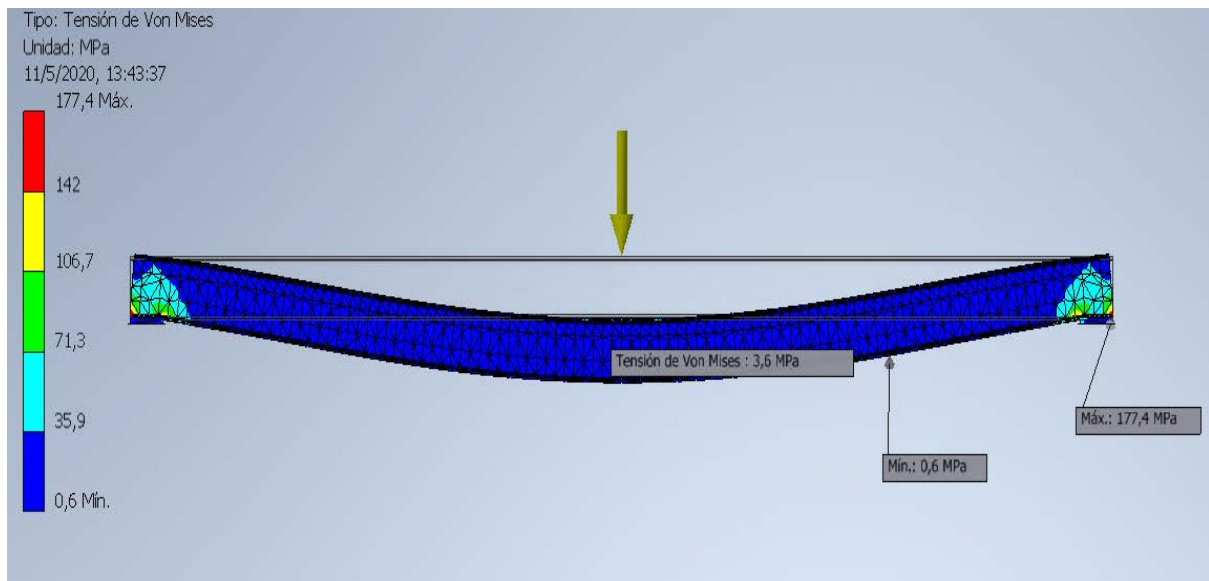


Figura 11. Tension de Von Mises Viga Principal

Luego en la figura 13 observamos que el coeficiente de seguridad mínimo obtenido en la simulación es de 1.41 siendo menor al coeficiente de seguridad calculado a mano que es 2. Esto nos indica que nuestros cálculos se aproximan a la realidad simulada, aunque siendo menor no supera el límite de fluencia del Acero A36 (250 MPa)

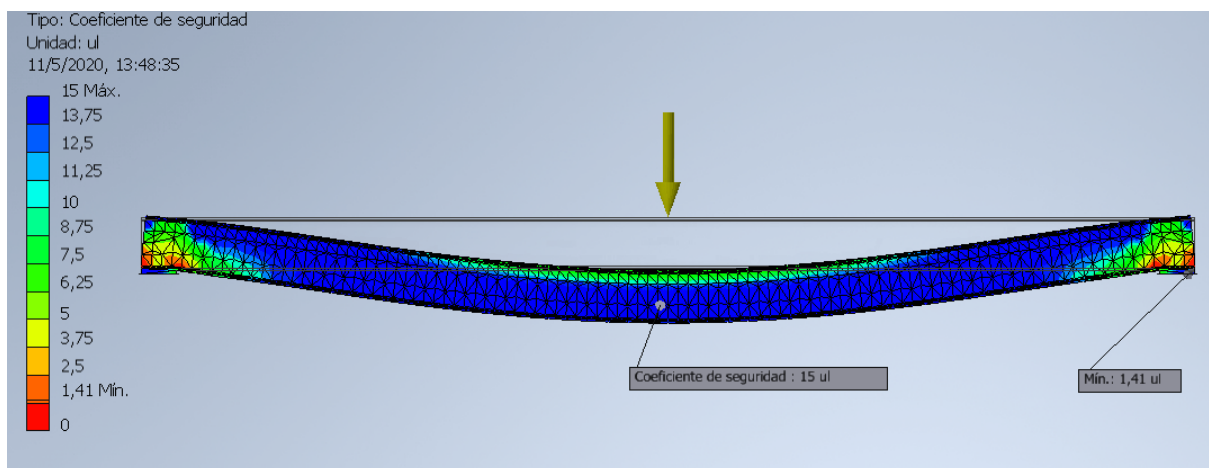


Figura 12. Factor de seguridad Viga Principal

3.5.1.1.2 Análisis de Soporte 100x100x5 mm.

En la figura 14, se observa que los valores de la Tensión de Von Mises son menores a los que se calculó teóricamente lo cual aumenta nuestro factor de seguridad en el Acero A36. Esto es debido a que en la columna soporta parte del esfuerzo causado por la viga principal y el peso al que está sometido, cabe considerar que este esfuerzo es aún menor en este caso ya que existen dos columnas que soportan cierto porcentaje del peso, lo cual se ve claramente reflejado en la simulación.

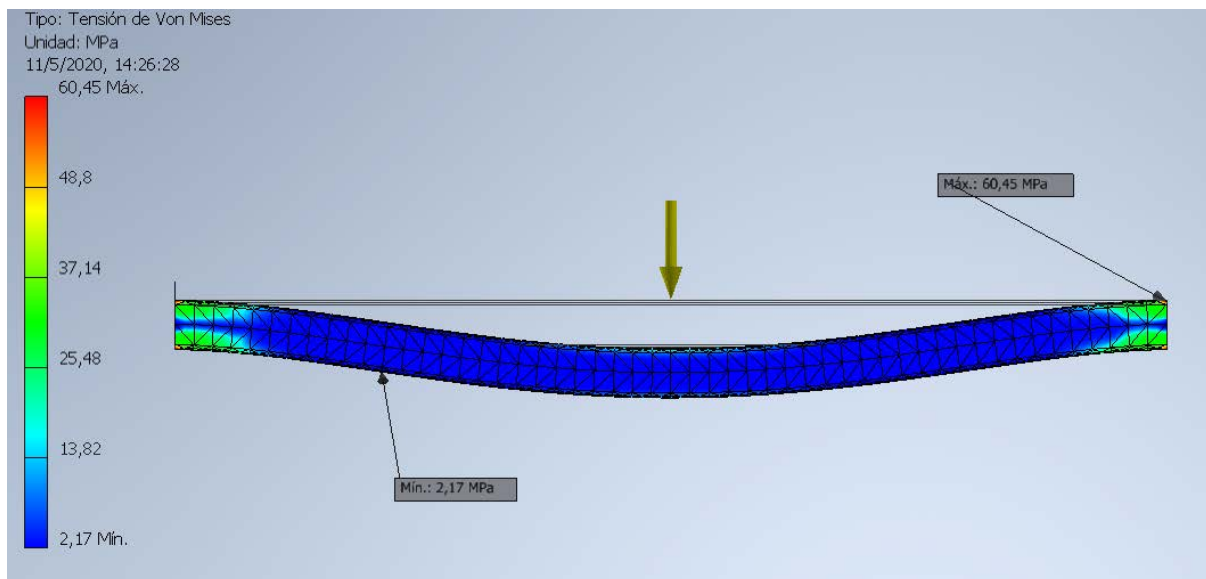


Figura 13. Tension de Von Mises Soporte

Al observar la figura 15 encontramos un valor de coeficiente de seguridad de 2,85 el cual es mayor al coeficiente calculado a mano 1,71, resultando este ser mayor por la misma razón antes expuesta. También varían los resultados del coeficiente de seguridad debido a los valores de frontera que se imponen en el programa intentando aproximarnos a la realidad.

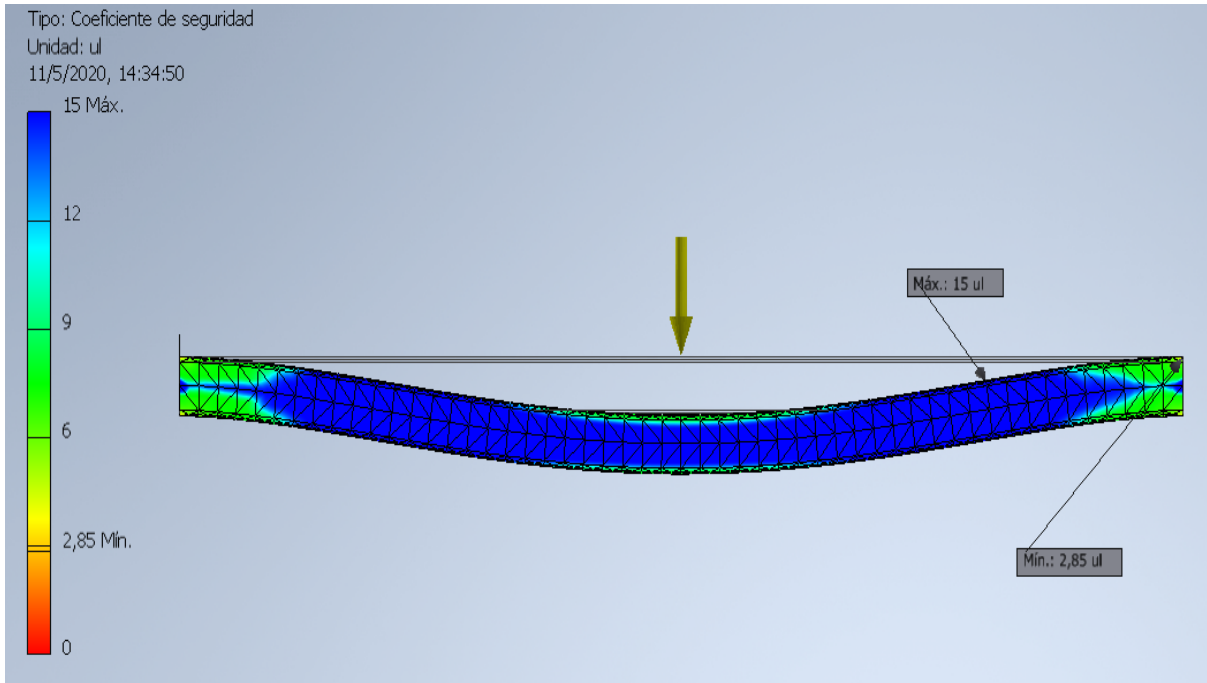


Figura 14. Coeficiente de seguridad

3.5.1.1.3 Simulacion carga de estructura con carga central

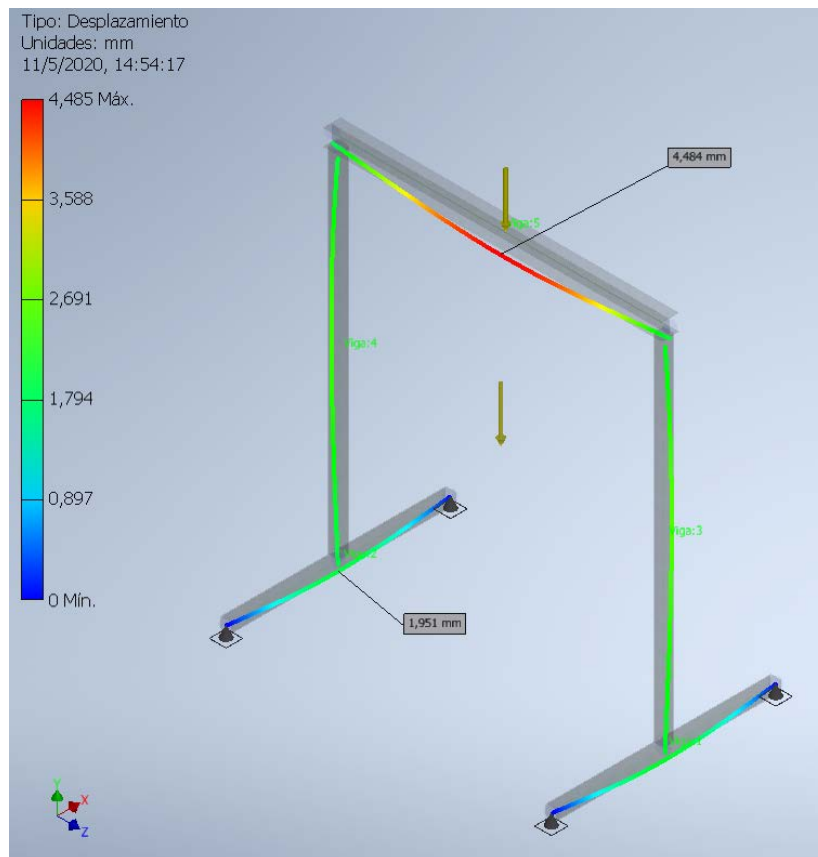


Figura 15. Simulacion estructura desplazamientos carga central

En la Figura 16 podemos observar cómo dos componentes de la estructura son los que sufren mayor deformación siendo mayor en la Viga W6x9 4,85 mm y los soportes de 1,951 mm.

Las cuales son deformaciones admisibles debido al largo y las secciones de los componentes.

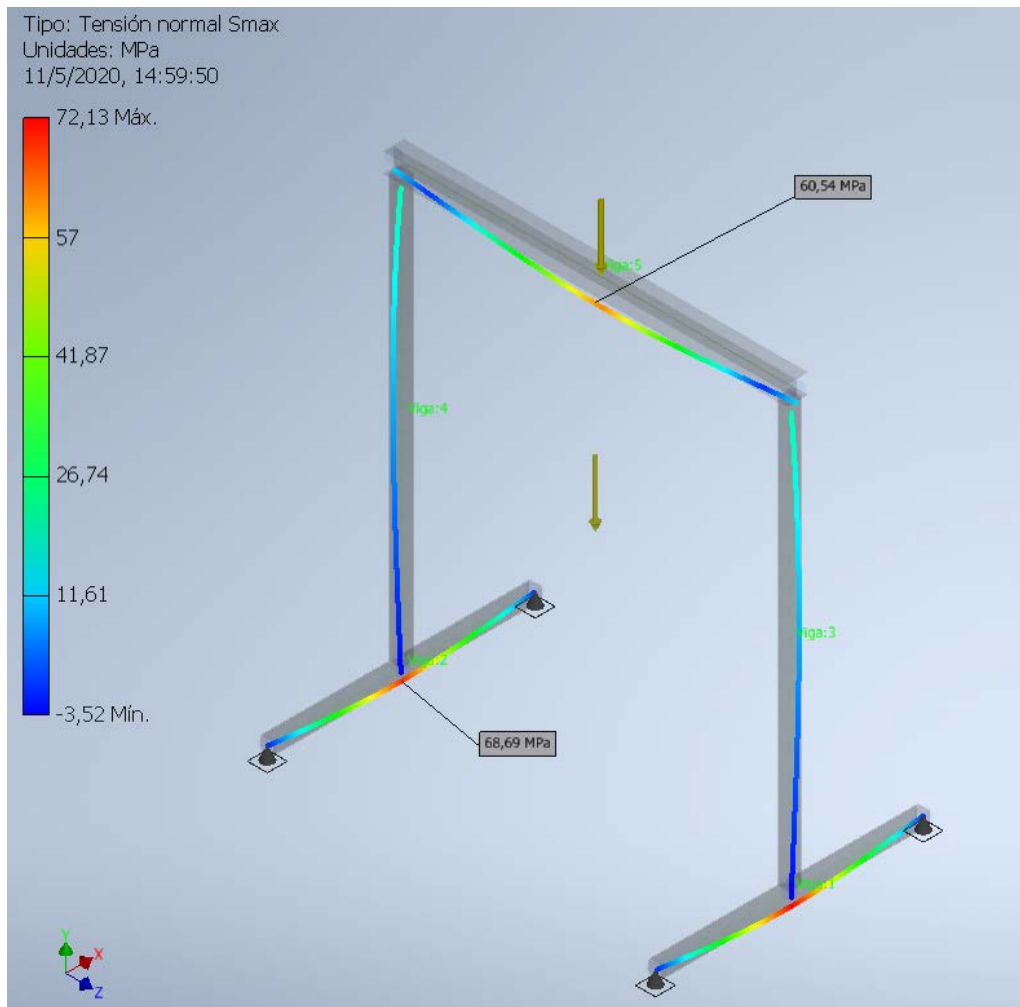


Figura 16. Simulación esfuerzos sobre estructura

En la figura 17 observamos que con la carga en el centro los esfuerzos máximos se soportan en los tubos cuadrados de los soportes 68.69 MPa, en la Viga un esfuerzo de 60, 54 MPa y en las columnas de 20 MPa que son totalmente admisibles ya que ninguno se acerca al límite de fluencia del material. Es importante mencionar que el pandeo producido por los momentos resultado del empotramiento de la viga no compromete la fluencia del material ni sus juntas.

3.5.1.1.4 Simulación carga de estructura con carga extremos

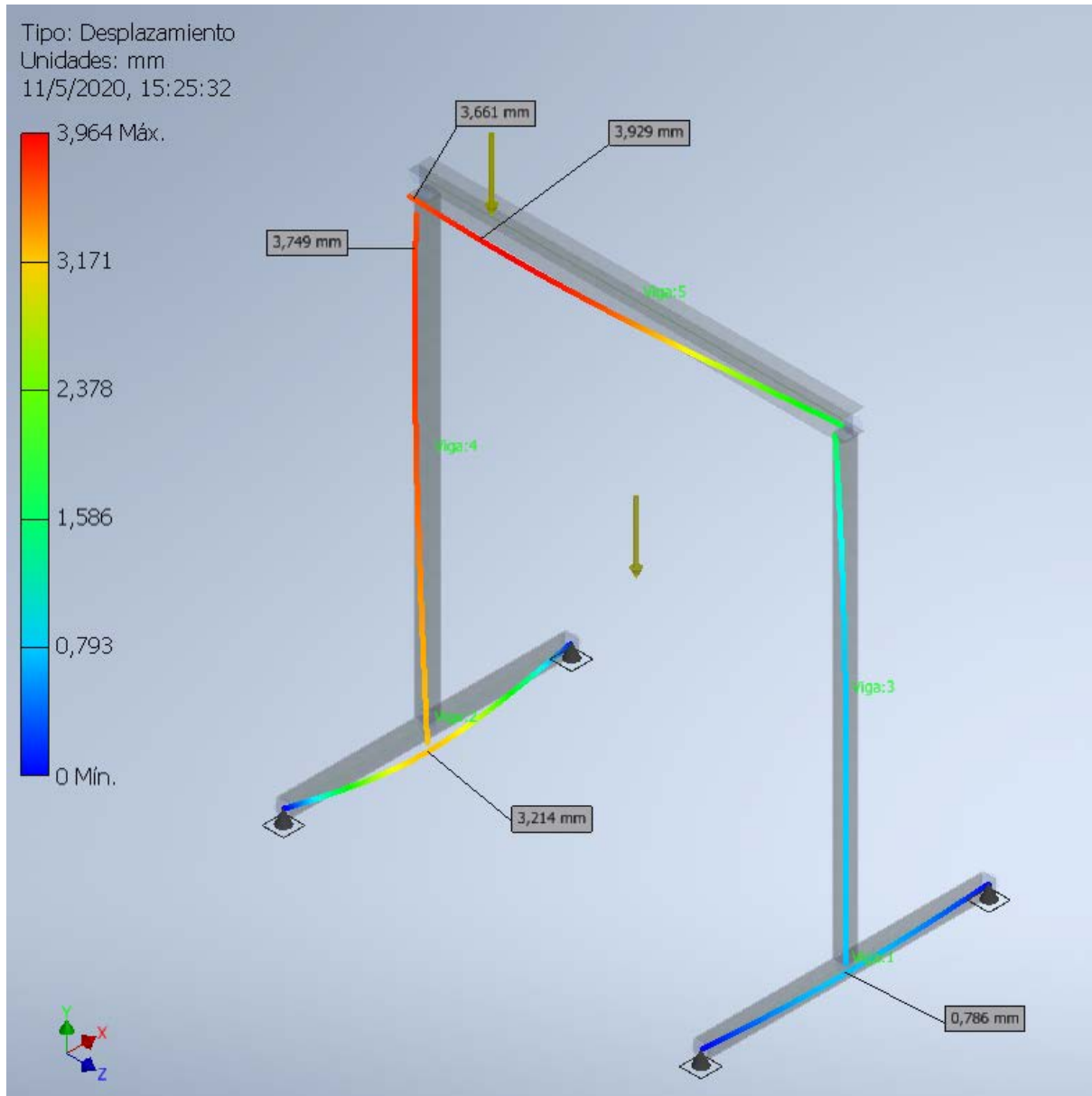


Figura 17. Simulación estructura desplazamientos carga a 500 mm de cualquier extremo

En la Figura 18 podemos observar cómo todos los componentes de la estructura son los que sufren una deformación siendo de 3,929 mm en la Viga W6x9, 3,749 mm en la columna, 3,214 mm en el soporte próximo a la carga y 0,786 mm en el soporte distante a la carga.

Las cuales son deformaciones admisibles debido a que no superan el 0.01% de deformación unitaria en perfiles

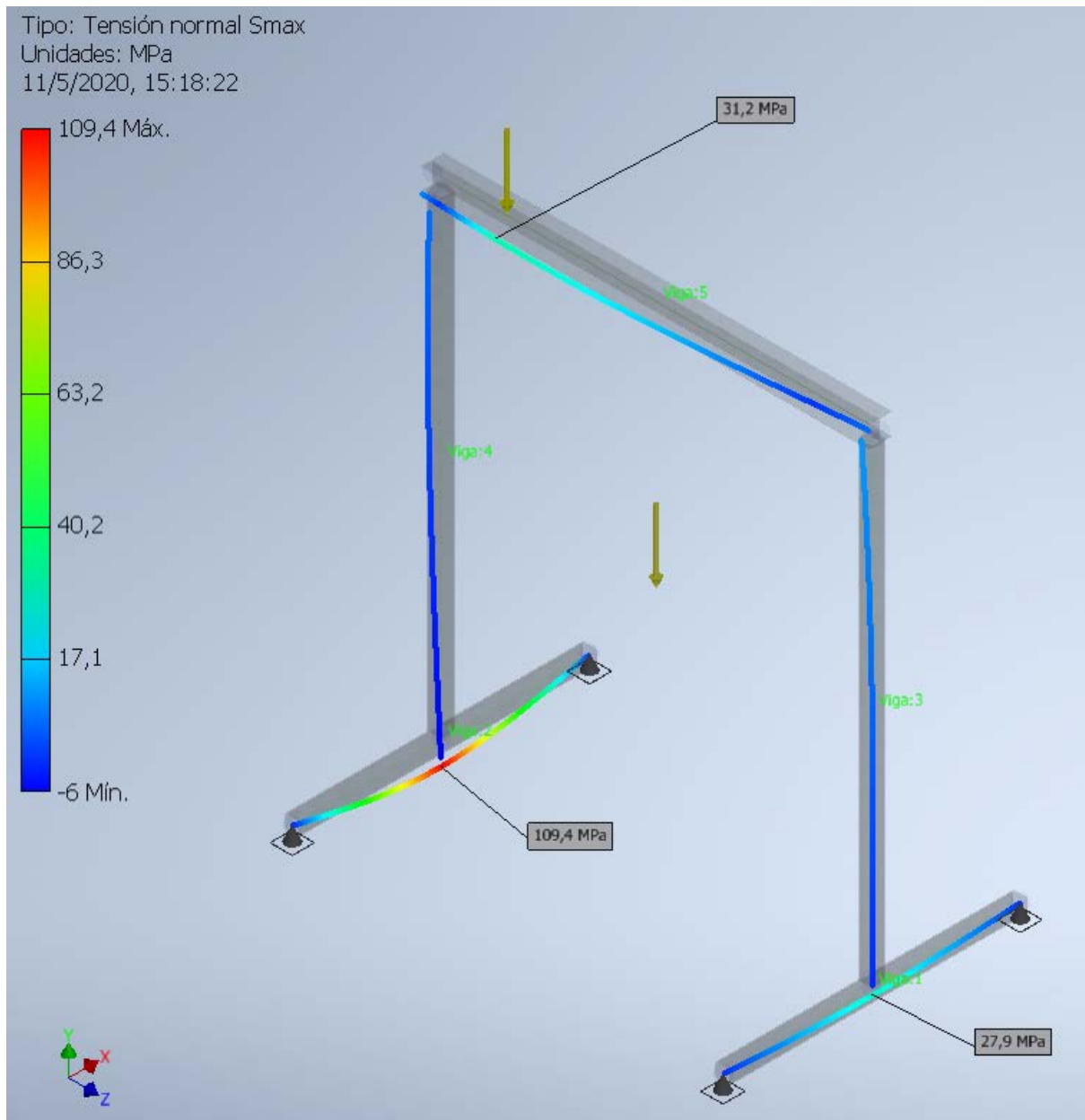


Figura 18. Simulación de esfuerzos en estructura con carga a 500 mm de un extremo

En la figura 19 observamos que con la carga a 500 mm de un extremo los esfuerzos máximos que se soportan en los tubos cuadrados de los soportes son de 109,4 MPa y 27,9 MPa, en la Viga un esfuerzo de 31,2 MPa y en la columna próxima a la carga de 17 MPa y 14 MPa en la otra columna. Esfuerzos que no superan el límite de fluencia del material

3.5.1.1.5 Tabla de Resumen de resultados.

Componentes	Esfuerzo de carga [MPa]		Factor de seguridad	
	Calculo Manual	Simulación	Calculo Manual	Simulación
Viga Principal W 6 x 9	129	177	2	1.41
Tubo cuadrado 100x100x5 (Columna)	227	123	1,09	2,2
Tubo cuadrado 100x100x5 (Soporte)	145	60.45	1,72	4,4

Tabla 10. Resumen de Resultados cálculos estructurales

Dentro de esta sección de resultados se puede inferir que los factores de seguridad dentro están dentro de lo permitido para falla de los materiales y permitirán un correcto funcionamiento estructural del puente grúa.

3.5.1.1.6 Resumen factores de Seguridad a fatiga viga principal

	Goodman	ASME
η	1.25	1.61

Tabla 11. Factores de seguridad a fatiga

Con estos factores de seguridad se garantiza la vida infinita para la viga principal.

3.5.1.2 Factores de seguridad en suelda

Tras realizar el análisis ingenieril y los respectivos cálculos pudimos encontrar y elegir el electrodo adecuado para la suelda que en este caso se el E120XX

Numero de Electrodo	Sy	Ssy	Factor de seguridad n
E60 XX	3.45E+08	1.99E+08	0.588783806
E70 XX	3.93E+08	2.27E+08	0.670701552
E80 XX	4.62E+08	2.67E+08	0.788458314
E90 XX	5.31E+08	3.06E+08	0.906215075
E100 XX	6.00E+08	3.46E+08	1.023971836
E120 XX	7.37E+08	4.25E+08	1.257778738

Tabla 12. Factores de seguridad de electrodos

En esta tabla se presenta el análisis de diferentes electrodos y de sus límites de fluencia. Para el caso se ha elegido el E80XX debido a que brinda seguridad suficiente y a pesar de que se puede usar uno con mayor resistencia sería innecesario, ya que este cumple con el diseño estático y soportará la carga a la que está sometida la suelda. Cabe mencionar que al usar otro tipo de electrodo con mayor límite de fluencia incrementará el costo del equipo factor que justamente se desea evitar.

Una vez presentado el factor de seguridad estático es importante también tomar en cuenta el factor dinámico, cuyos cálculos realizados en la sección anterior serán presentados a continuación. es importante mencionar que a través de la teoría revisada en el libro Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley de Richard Budynas y J. Keith Nisbett, se pudo determinar que para el factor de seguridad de fatiga es importante tomar en cuenta la resistencia ultima menor entre los dos materiales (Electrodo y Placa base) para de esta manera obtener el factor de seguridad que determinará el diseño del puente grúa.

- **Caso 1 (Grúa cargada)**

Para el caso de la grúa cargada el factor de seguridad es el siguiente:

$$\eta_f = 1.25$$

- **Caso 2 (Carga y descarga de grúa)**

Para el segundo caso de fatiga que ocurre al cargar y descargar la grúa el factor de seguridad es el siguiente:

$$\eta_f = 1.15$$

Analizando ambos casos es posible inferir que es determinante la fatiga en el material debido a su menor resistencia última comparada con la del electrodo, además de que es muy importante tomar en cuenta la fatiga que ocurrirá en la suelda para garantizar su vida infinita.

3.5.2 Conclusiones

Los cálculos en el diseño del puente grúa tipo monorriel cumple con las necesidades impuestas por el cliente y su factor de seguridad en todas sus partes tanto en la viga, columna, soporte y electric push Trolley. Además, es importante decir que el material de la viga que será acero A36 cumplirá con soportar la carga y poder obtener uniones que no fallen ni estáticamente ni a las condiciones de fatiga a los cuales el sistema se verá expuesto.

Los elementos del puente grúa tipo monorriel se analizan con el programa AutoCAD Inventor el cual dio resultados positivos con factores de seguridad aceptables y concordantes con los calculados teóricamente.

El material de aporte del electro E120XX cumplirá a cabalidad la seguridad propuesta por el cliente al inicio del proyecto pues sus factores de seguridad tanto estáticos como a fatiga garantizan su vida infinita.

El programa AutoCAD Inventor nos ayuda a poder simular escenarios muy cercanos a la realidad y proporciona mayor certeza para la futura construcción del puente grúa dentro del laboratorio de suelos de Ingeniería Civil.

La inversión que genera la construcción del puente grúa tipo monorriel es muy baja vs a la utilidad y seguridad que brinda al laboratorio de Ingeniería Civil y sus operarios, ya que de esta manera podrán trasladar desechos resultantes de los experimentos realizados de una manera mucho más eficiente.

Poder encontrar un electric Trolley push beam de bajo costo \$ permite ahorro de tiempo de fabricación, costo y mantenimiento debido a que sus partes se podrán encontrar en el mercado nacional e internacional. Además, la adquisición de este tipo de motor ahorra la fabricación del mismo y los posibles problemas que esto acarrea durante los experimentos que serán realizados.

3.6 Trabajo Futuro

Debido a la pandemia del COVID-19 el proyecto quedó estancado en cuanto a su construcción y montaje, por lo cual se recomienda seguir los detalles especificados en los planos adjuntos en el apéndice B del Project Binder para encontrar dimensiones y detalles para la manufactura de las partes. Además del montaje final y el diseño de las juntas soldadas detalladas en este reporte.

Para el futuro también será posible también integrar una pantalla táctil en el módulo electrónico que permita una mejor distribución de los parámetros a elegir para el movimiento automático de la grúa, tanto de movimiento vertical como de movimiento horizontal y sobre todo de posicionamiento de la carga a través del riel principal del puente.

Se recomienda realizar pruebas con strain gauges (galgas extensiométricas) para verificar las simulaciones realizadas en el software Inventor y que de esta manera sea posible usar con toda seguridad la grúa dentro del laboratorio de Ingeniería Civil.

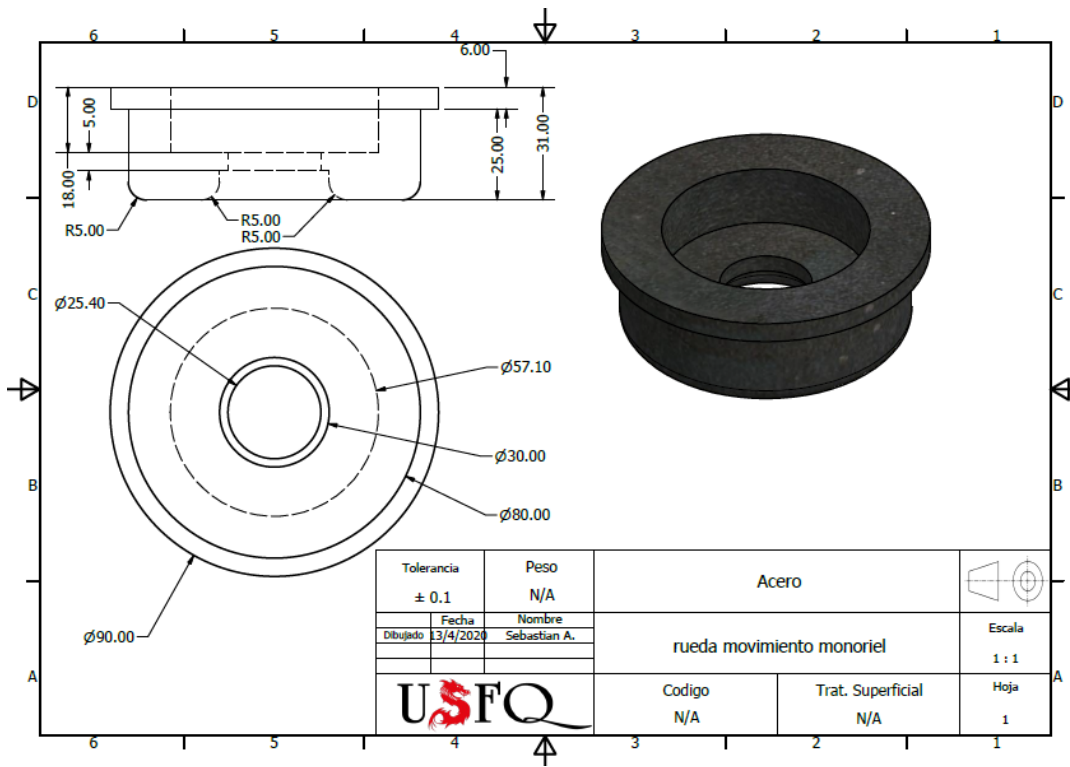
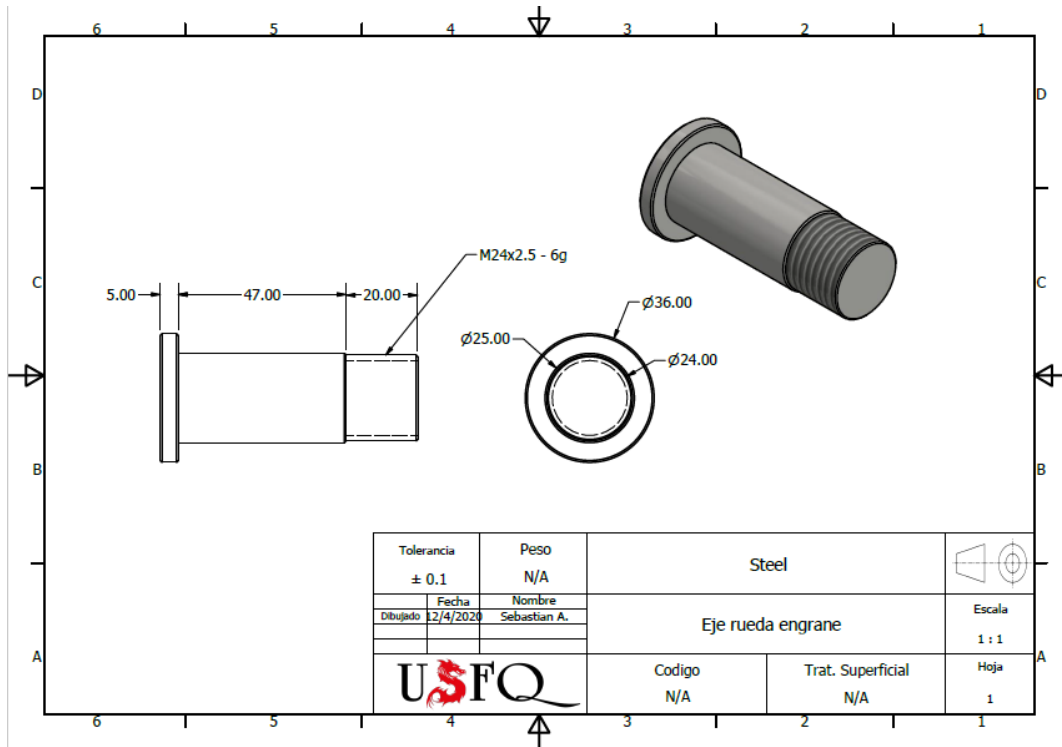
Se sugiere que se use un electric trolley push beam que se puede adquirir a través de páginas de compra en línea, cuyos materiales ya han sido probados y que son ajustables para cualquier tipo de viga en I.

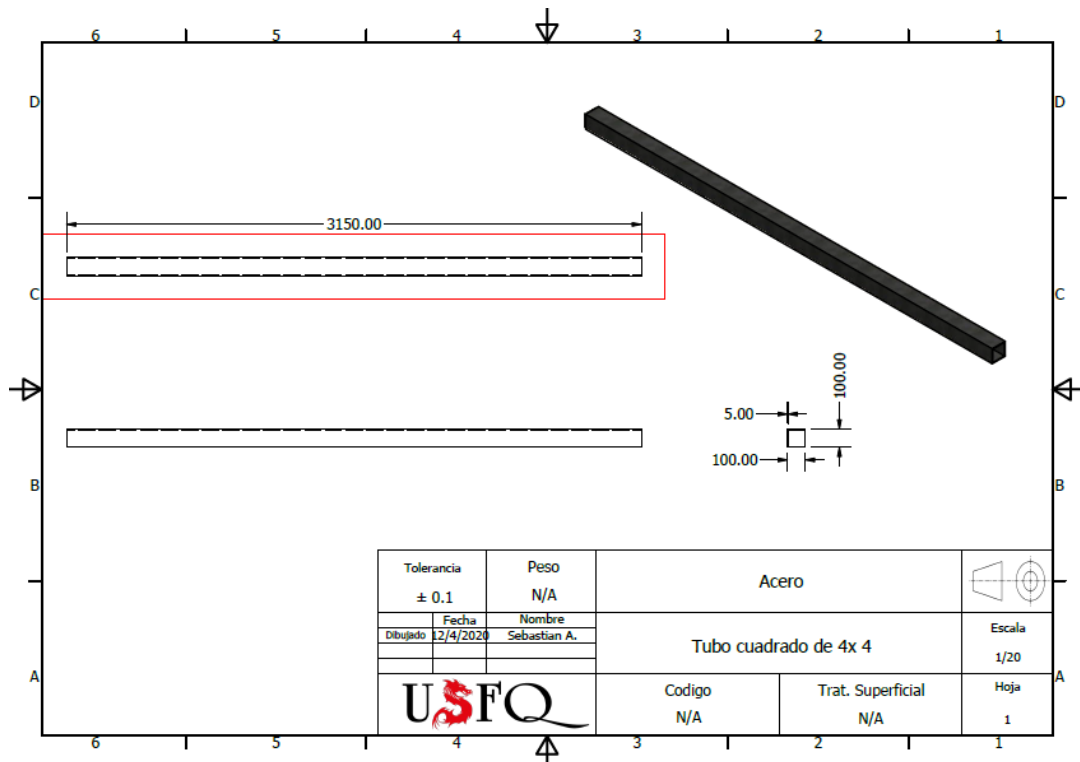
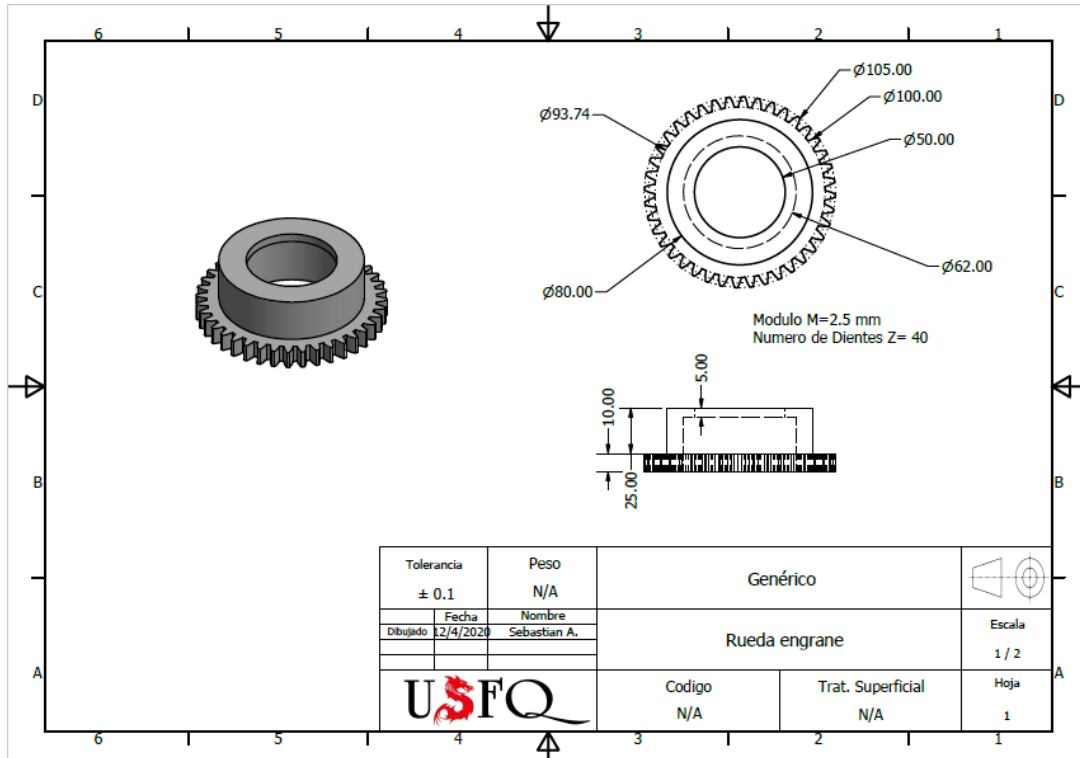
Tras sugerencias de Juan José Recalde se propone como solución para aumentar la seguridad del proyecto y que no ocurra falla donde el pórtico de la grúa se abra hacia sus laterales, se recomienda añadir almas en las esquinas del pórtico para de esta manera aumentar la seguridad del mismo. También será importante añadir almas en la base de la grúa para que de esta manera no se voltee ni falle la suelda debido al movimiento pendular de la carga una vez levantada con la grúa.

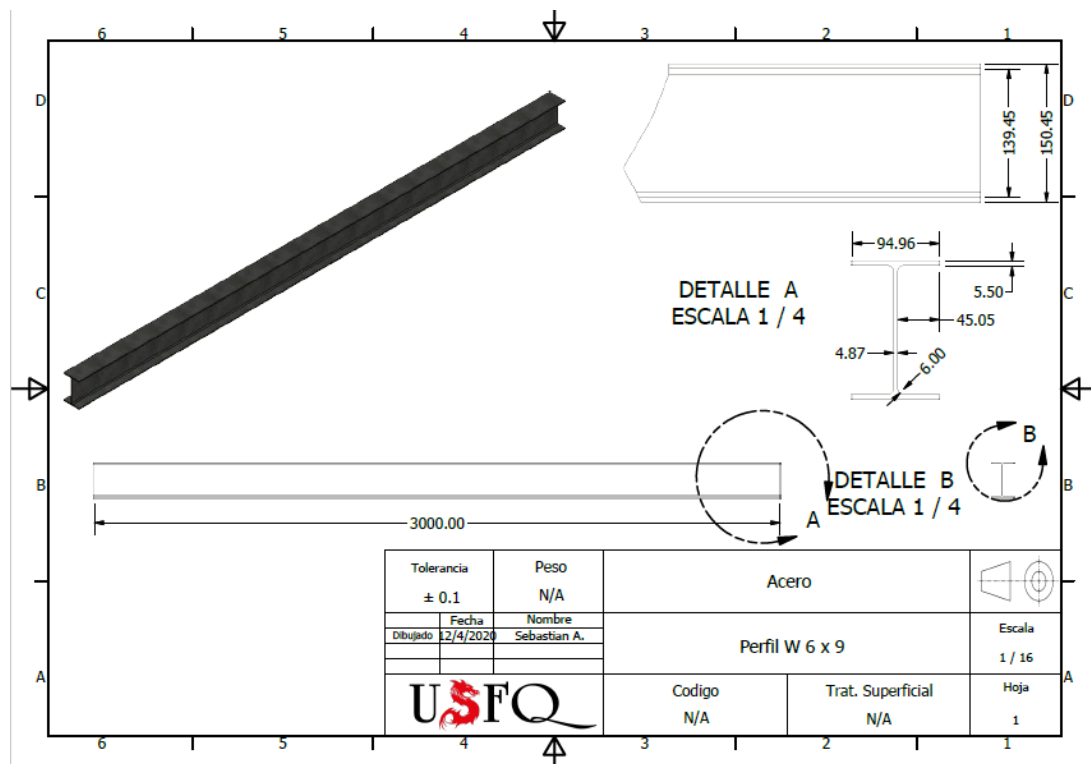
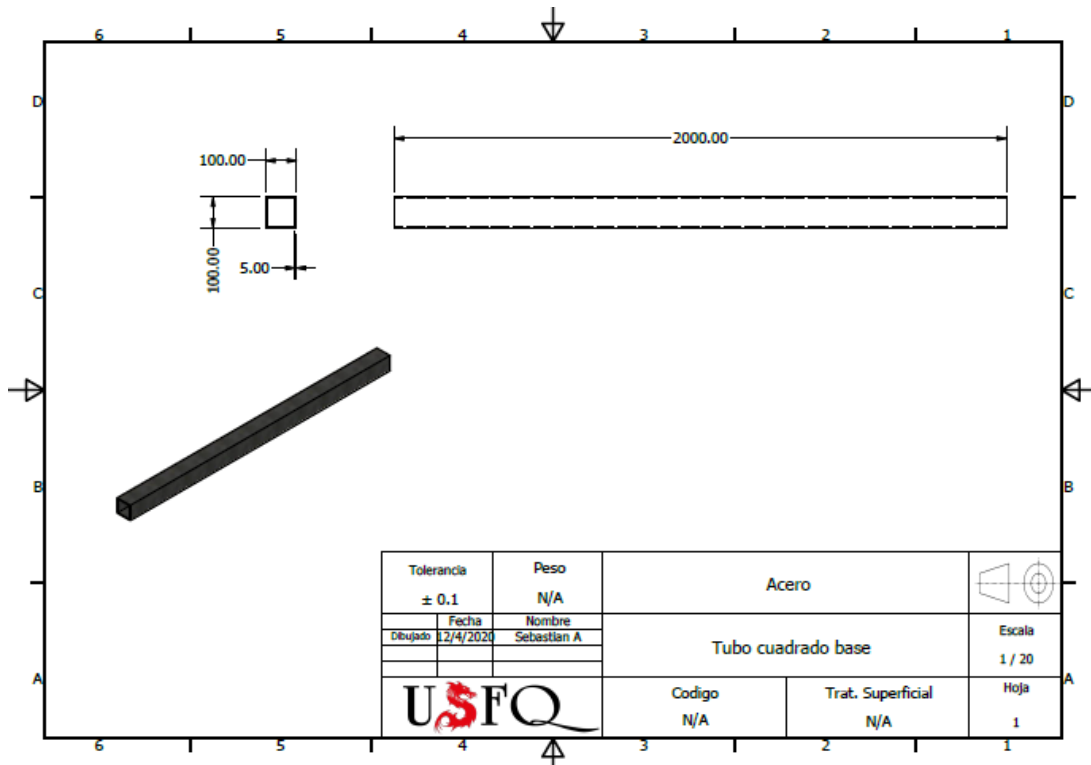
REFERENCIAS

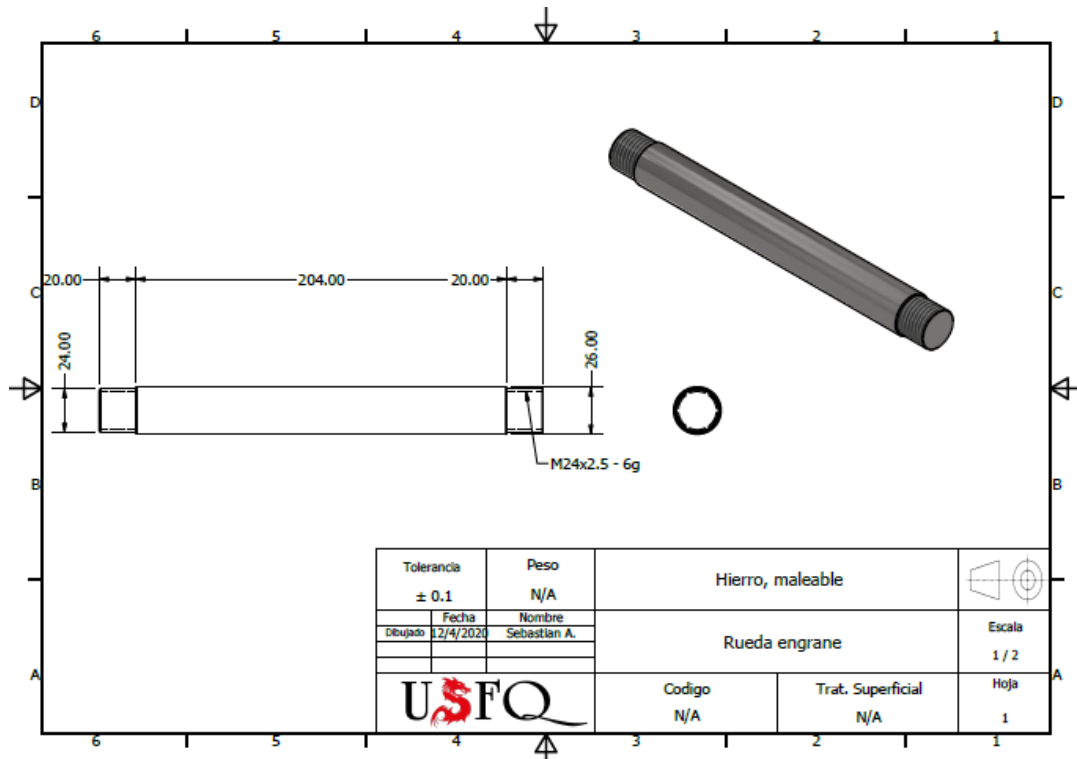
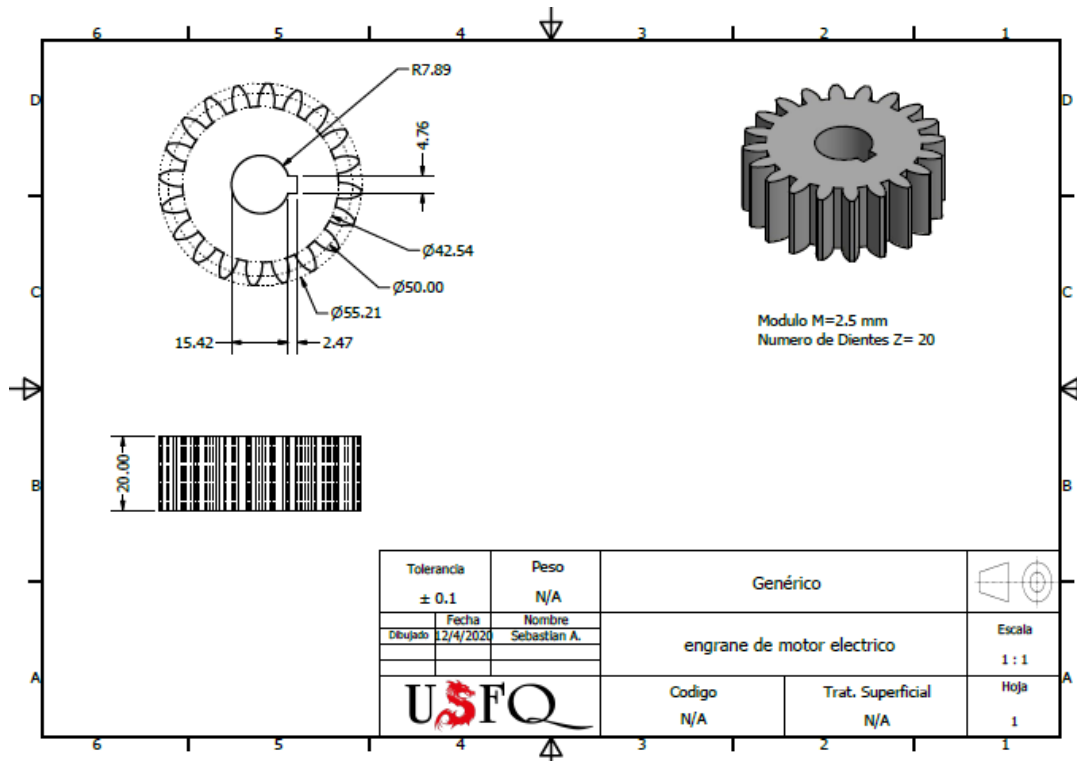
- Budynas, R., & Nisbett, K. (2010). *Shigley's Mechanical Engineering Design* (Mcgraw-hill Series in Mechanical Engineering) (9.^a ed.). México D.F., México: Mc Graw Hill.
- Gerdau Corsa (s/f.) *Ayudas de diseño para elementos en compresión*. Recuperado el 15 de marzo de 2020 desde <https://www.gerdau.com/gerdaucorsa/es/productsservices/products/Document%20Gallery/ayudas-de-dise%C3%B1o.pdf>
- Igurenes. (2015). *Cómo funciona un arrancador suave*. Recuperado de <https://iguren.es/blog/como-funciona-un-arrancador-suave/> el 10 de febrero del 2020
- IPAC (s/f.). *Tubería estructural cuadrada*. Recuperado el 13 de marzo de 2020 desde <http://www.ipac-acero.com/producto-detalle.php?id=9>
- León, Y., Cozar, W., Ojeda, E. (2015). *Diseño de un teclé tipo pórtico para el área de mantenimiento*. Recuperado el 13 de marzo de 2020 desde <https://es.slideshare.net/Yerson11/diseo-de-un-tecle-tipo-portico-para-el-area-de-mantenimiento>
- Qué es un variador de frecuencia: Definición, cómo funciona, características y ventajas (2020, febrero 10). Recuperado de <https://new.abb.com/drives/es/que-es-un-variador>
- Riba, C. (2002). *Diseño concurrente*. In *Ediciones UPC, España*. <https://doi.org/10.4097/kjae.2016.69.4.395>
- Roydisa. (2018). *El reductor de velocidad*. Recuperado de <https://www.roydisa.es/archivos/3356> el 10 de febrero del 2020

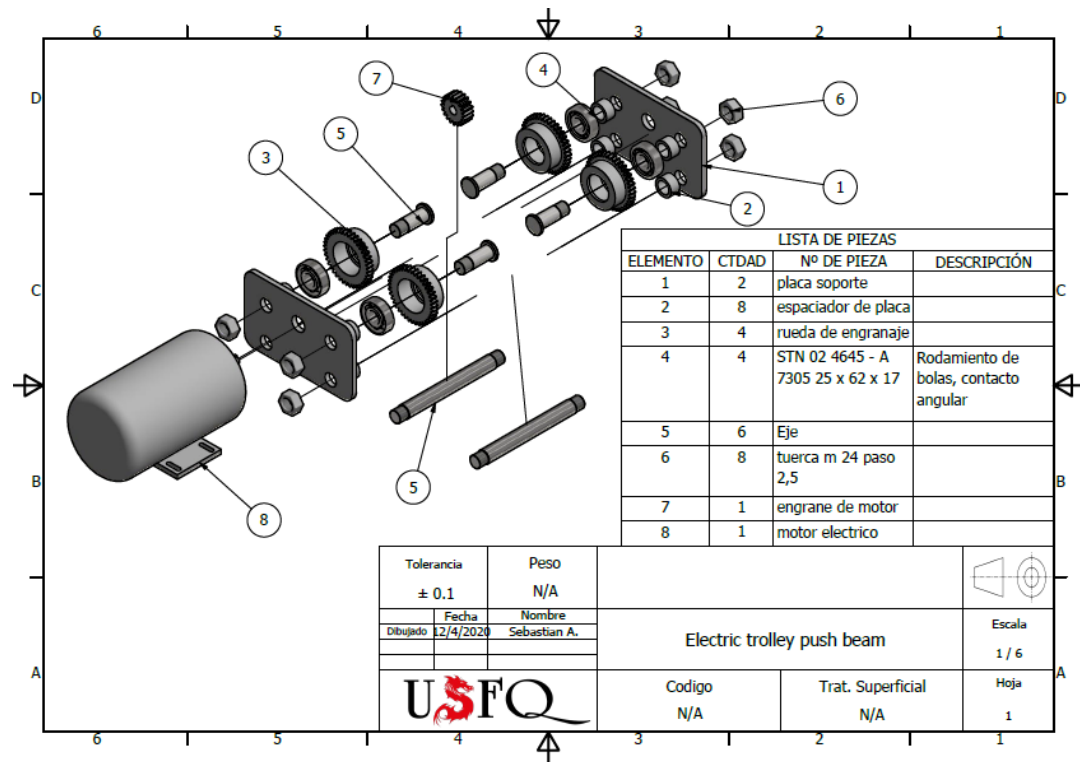
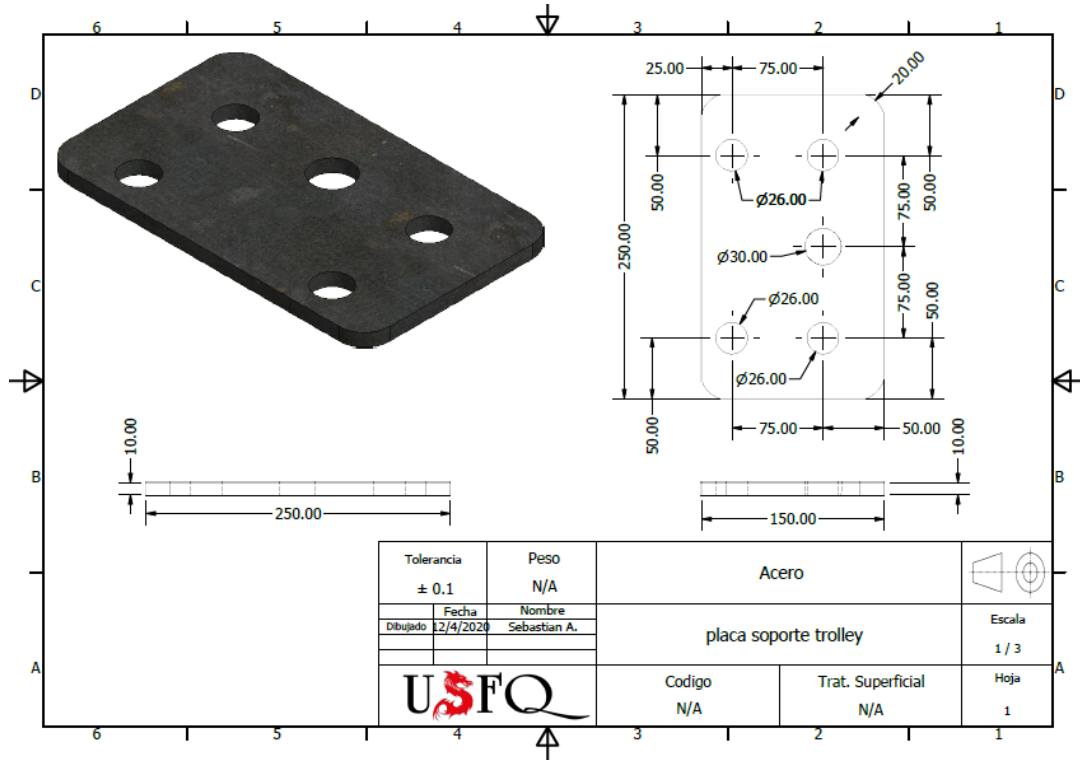
ANEXO A: PLANOS







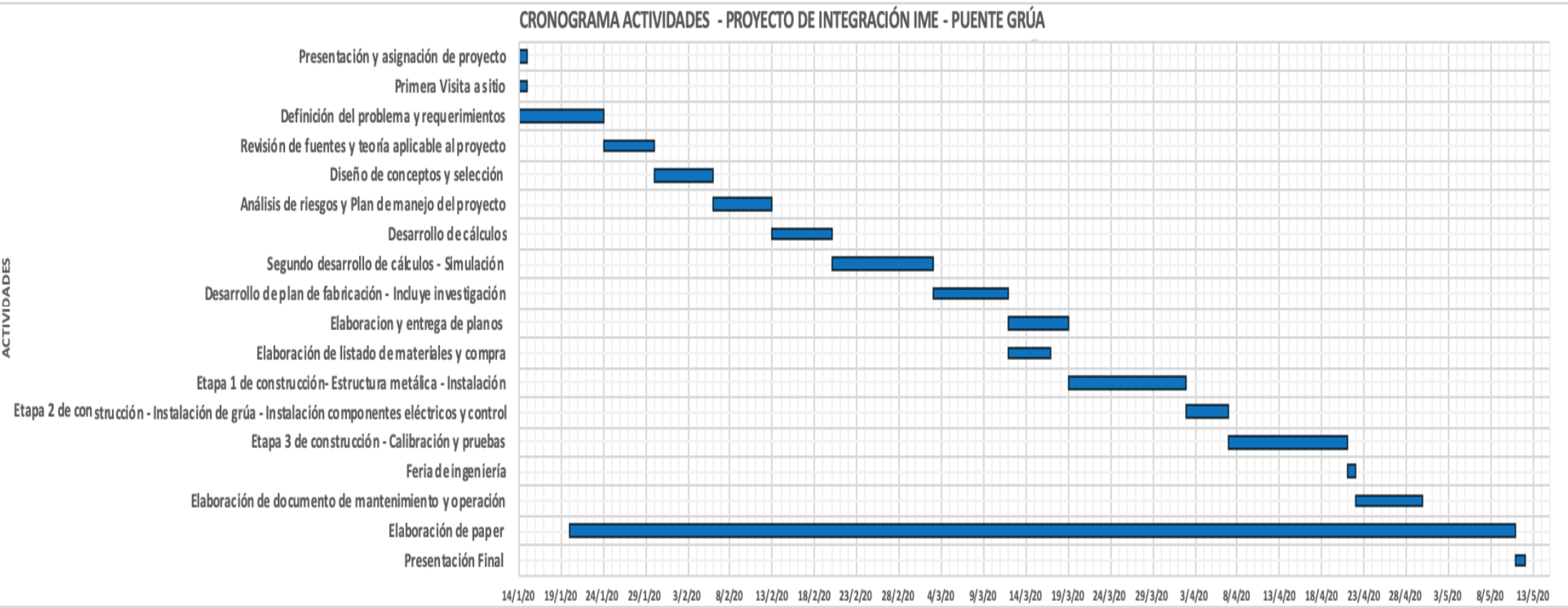




ANEXO B: DIAGRAMA DE GANTT COMPLETO Y PRESUPUESTO

I. Diagrama de Gantt

CRONOGRAMA ACTIVIDADES - PROYECTO DE INTEGRACIÓN IME - PUENTE GRÚA



II. Presupuesto estimado

Item	Descripción	Cantidad	Precio
1	Viga W 6 x 9x6000	1	\$ 180.00
2	Perfil Cuadrados Tubo cuadrado - 100x100x5 mm - 6 m	2	\$ 230.00
3	Ruedas	4	\$ 56.00
4	Variador de Frecuencia	1	\$ 150.00
5	Electric Push trolley beam	1	\$ 230.00
6	Set Materiales Varios	1	\$ 150.00
7	Set Suelda de estructura	1	\$ 150.00
8	Botonera (incluye elementos internos)	1	\$ 40.00
Total			\$ 1,186.00

ANEXO C: CÁLCULOS Y ANÁLISIS

I. Análisis Ingenieril

En esta sección se presentan los cálculos realizados para el análisis de la viga principal que será una viga de Acero ASTM grado 50 W 6x9 y el diseño de las columnas que soportarán dicho riel. Además, se incluye el diseño de la suelda con la que se unirán las columnas a la viga principal y a las bases móviles.

i. Análisis de la viga principal

Para el diseño del puente grúa, se empieza por elegir un perfil existente en el mercado local el cual será una Viga de Acero ASTM A36 W 6x9 a la cual se analizó y comprobó que servirá para soportar la carga a la que será sometida (1300 kg). Para el análisis de la misma se utilizó el manual ASTM para obtener dimensiones de la viga.

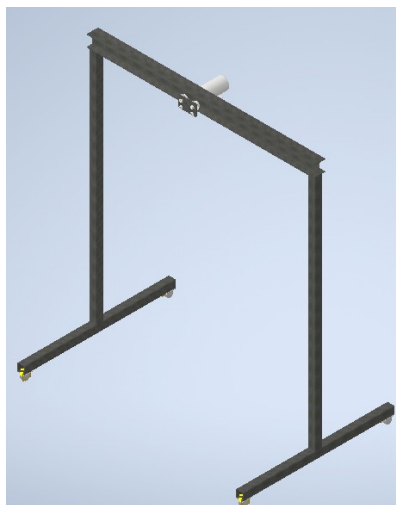


Figura 19. Puente Grúa Tipo Pórtico

Viga W 6x9 Dimensiones

PERFIL H AMERICANO DE ALA ANCHA - WF ASTM A 6/A 6M - 07 Dimensiones y propiedades para el diseño															Tabla 1-a								
Designación	Altura		Ala			Distancia				Área mm ²	Peso		Superficie		Eje Y-Y				Mód. plástico		Inercia Tors. mm ⁴		
	h	t _w	b	t _f	r	h ₁	d	P _{mín}	P _{máx}		A _w	A _f	L _y	W _{pl,y}	I _y	L _x	W _{pl,x}	I _x	W _{pl,xy}	W _{pl,xy}			
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	x10 ³	kg/m	lbs/ft	m ² /m	m ² /ft	x10 ⁶	x10 ⁶	x10 ⁶	x10 ⁶	x10 ⁶	x10 ⁶			
W 4 x 13	106	7.1	103	8.8	6	88.4	76.4	-	-	24.7	19.3	13	0.599	30,902	476	89.79	4.39	161	31.19	2.55	103.3	47.9	6.52
W 5 x 16	127	6.1	127	9.1	8	108.8	92.8	60	70	30.3	23.8	16	0.736	38,946	886	139.50	5.41	311	48.98	3.20	157.2	74.7	8.10
W 5 x 19	131	6.9	128	10.9	8	109.2	93.2	62	70	36.0	28.1	19	0.746	26,423	1,099	167.70	5.53	381	59.60	3.26	190.9	90.9	13.33
W 6 x 9	150	4.3	100	5.5	6	139	127	-	-	17.3	13.5	9	0.681	50,193	686	91.40	6.29	92	18.36	2.30	102.4	28.3	1.74
W 6 x 12	153	5.8	102	7.1	6	138.4	126.4	-	-	22.8	18.0	12	0.692	38,596	916	122.10	6.33	126	25.37	2.36	138.6	39.3	3.86
W 6 x 16	160	6.6	102	10.3	6	139.4	127.4	-	-	30.5	24.0	16	0.704	29,404	1,342	167.80	6.63	183	35.80	2.45	191.5	55.2	9.35
W 6 x 15	152	5.8	152	6.6	6	138.8	126.8	70	82	28.4	22.5	15	0.890	39,893	1,206	158.60	6.51	387	50.87	3.68	176.1	77.6	4.34
W 6 x 20	157	6.6	153	9.3	6	138.4	126.4	72	84	37.9	29.8	20	0.902	30,333	1,714	218.40	6.73	556	72.62	3.83	243.9	110.5	10.16
W 6 x 25	162	8.1	154	11.6	6	138.8	126.8	74	84	47.3	37.1	25	0.913	24,613	2,220	274.10	6.85	707	91.79	3.86	309.9	140.0	19.51
W 8 x 10	200	4.3	100	5.2	8	189.6	173.6	-	-	19.1	15.0	10	0.778	51,861	1,280	128.00	8.18	87	17.38	2.13	145.2	27.1	1.93
W 8 x 13	203	5.8	102	6.5	8	190	174	-	-	24.8	19.3	13	0.789	40,463	1,662	163.70	8.17	115	22.63	2.15	188.1	35.7	3.99
W 8 x 15	206	6.2	102	8	8	190	174	-	-	28.6	22.5	15	0.794	35,299	2,004	194.50	8.36	142	27.85	2.22	222.8	43.7	5.97

Figura 20. Tabla de dimensiones y propiedades Perfil H americano Ala Ancha de la Norma ASTM A 6/A 6M -07. Extraído de https://www.gerdau.com/ar/es/productservices/products/Document%20Gallery/muestra_ger_tablaperfil.pdf

De la figura 11 tomamos las siguientes dimensiones para el perfil W6x9:

$$h = 150\text{mm}$$

$$A = 17.3 \times 10^2 \text{mm}^2$$

$$I = 686 \times 10^4 \text{mm}^4$$

$$S = 91 \times 10^4 \text{mm}^3$$

$$W = 13.5 \text{kg/m}$$

$$L = 3 \text{m}$$

Donde h representa la altura, A el área de la sección de la viga, I la inercia de la viga a flexión, S módulo resistente, W el peso de la viga y L la longitud especificada por el cliente.

Para el cálculo de la carga total que hay en la viga se tomó en cuenta el peso de los 3 metros de viga, el peso de los motores y la estructura que levantara los desperdicios y el peso en sí del saco de hormigón. para el peso de los motores se estimó un total de 300 kg y para la carga del saco 1000 kg, a pesar de que se inició tomando en cuenta sólo un peso de 300 kg, se

sobredimensionará los cálculos para que no exista falla en la estructura, lo cual implica el aumento del peso de carga a 1000kg.

Se deberá también tomar en cuenta la carga por impacto:

$$I_{imp} = \frac{50}{L+125}(1)$$

Sabiendo la longitud de la barra la carga por impacto representa el 38% de las cargas vivas (peso de la viga y del motor). Finalmente, el peso total que aguantara la estructura es de:

$$W_{total} = 15812.4 N$$

A continuación, se presentará el cálculo de las reacciones en los soportes de la viga:

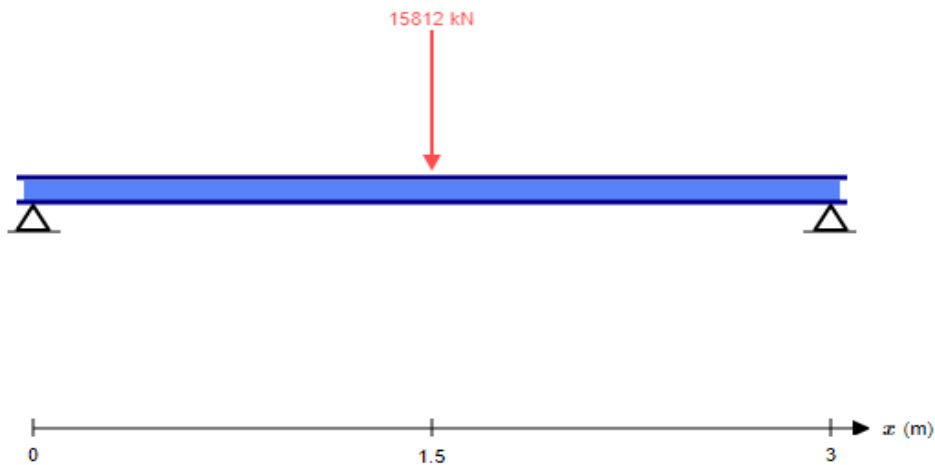


Figura 21. Diagrama de cuerpo libre de viga principal

Realizando la sumatoria de fuerzas en el eje Y la sumatoria de momentos se puede obtener que las reacciones son las siguientes:

$$R_A = R_B = 7906.2 N$$

Tras obtener las reacciones en los apoyos de la viga se realizó el cálculo de momento máximo en la viga y los respectivos diagramas de momento y fuerza cortante.

Utilizando la tabla A-9 del libro Diseño Mecánico de Shigley se determinó la ecuación para el cálculo del momento flector:

$$Mf_x = F \times \frac{x}{2} \quad (2)$$

Con la ecuación 2 se determinó que el mayor momento flector ocurre cuando la carga está en la mitad y es de:

$$M_{max} = 11859 \text{ N.m}$$

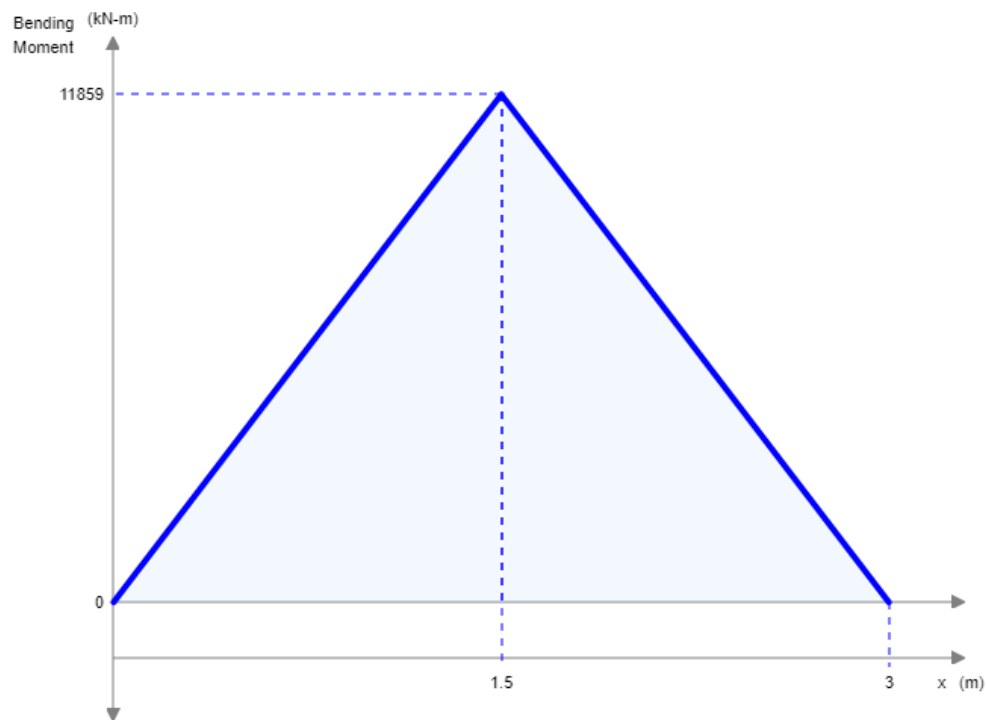


Figura 22. Diagrama de momento de viga principal

En el siguiente gráfico se encuentra la mayor fuerza cortante que es:

$$R = 7906.2 \text{ N}$$



Figura 23. Diagrama de fuerza cortante

ii. Diseño de las columnas

Tras haber analizado la viga principal se procedió con el diseño de las columnas del puente grúa

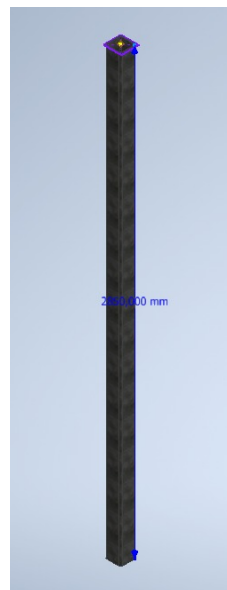


Figura 24. Columna

La longitud de la columna es de

$$L = 285 \text{ cm}$$

Para el diseño de la columna se tomó en cuenta el siguiente parámetro:

$$\frac{f_b}{F_b} + \frac{f_a}{F_a} \leq 1 \quad (3)$$

Donde

$$f_b = \frac{M_{max}}{S_x} \quad (4)$$

Siendo S_x el módulo resistente de la viga. Es importante mencionar que este momento es ya tomado en cuenta debido al empotramiento existente entre la viga principal y las columnas. Justamente este momento será producido por la carga en la viga principal y dicho empotramiento produciendo un pardeamiento a la columna.

$$F_b = 0.66S_y \quad (5)$$

Siendo S_y el límite de fluencia.

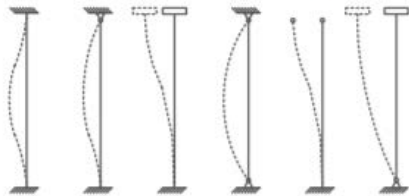
$$f_a = \frac{W}{A} \quad (6)$$





Siendo W la carga máxima que soportará la columna y A el área de la misma. y F_a es el esfuerzo crítico que se encontrará a través de la siguiente relación:

$$\frac{K.L}{r} = 200 \quad (7)$$

Donde K es el factor para cada tipo de apoyo de la columna, L la longitud de la columna y r el radio de curva de la viga. Para la primera iteración se asume un valor de 200 debido a que la norma AISC sugiere este valor para vigas en compresión.

Factor K para diferentes condiciones de apoyo



Valor de K teórico	0.50	0.70	1.00	1.00	2.00	2.00
Valor de K de diseño (recomendado)	0.65	0.80	1.20	1.00	2.10	2.00
Símbolos para condiciones de apoyo		Se impide rotación y traslación				
		Se permite rotación y se impide traslación				
		Se impide rotación y se permite traslación				
		Se permite rotación y traslación				

Nota: Estos valores se utilizan cuando las condiciones reales se aproximan a las ideales.

Figura 25. Valores de K para tipos de apoyos. Extraído de

<https://www.gerdau.com/gerdaucorsa/es/productsservices/products/Document%20Gallery/ayudas-de-dise%C3%B1o.pdf>

Sabiendo el valor de la relación de esbeltez se necesita comparar con el siguiente parámetro para verificar el caso de diseño de la columna:

$$C_c = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot E}{S_y}} \quad (8)$$

Donde E es el módulo de elasticidad del acero y S_y su esfuerzo de fluencia que para el caso son los siguientes

$$E = 200 \text{ GPa}$$

$$S_y = 320 \text{ MPa}$$

Con el que se obtiene un valor de C_c de 111 MPa.

$$\frac{K \cdot L}{r} \geq C_c$$

Al ocurrir esta condición se establece un factor de seguridad de 1.92 y la siguiente ecuación

$$F_a = \frac{f_{crit}}{\eta}$$

Donde f_{crit} es

$$f_{crit} = \frac{\pi^2 \cdot E}{\frac{KL^2}{r}}$$

Obteniendo:

$$F_a = 27.7 MPa$$

Para elegir la viga se utilizó el catálogo de IPAC empresa ecuatoriana encargada de hacer tubos de acero estructural cuadrados. El acero utilizado por la empresa es un ASTM A500.

En la primera iteración se eligió la viga B=100 mm de espesor e= 1.8 mm. con las siguientes características y con las ecuaciones proporcionadas anteriormente se encuentran los resultados:

$$A = 6.99 \text{ cm}^2$$

$$r = 4 \text{ cm}$$

$$S_x = 22.32 \text{ cm}^3$$

Con la ecuación 6 se saca el esfuerzo al que será sometido la columna

$$f_a = 437 \times 10^4 Pa$$

Con la ecuación 4 se obtiene el esfuerzo por flexión

$$f_b = 491 \times 10^6 Pa$$

Con la ecuación 5 se obtiene el esfuerzo b

$$F_b = 211.2 MPa$$

Tras realizar el cálculo no se cumple con la condición de diseño en la primera iteración. Se realizó 3 iteraciones más con vigas de la misma denominación, pero de mayor espesor hasta llegar a definir la adecuada que es:

$$B=100\text{mm}; e=6\text{mm}; r=3.8\text{cm}; S_x=62.4\text{cm}^3; A=21.63\text{cm}^2$$

Realizando los cálculos anteriormente presentados se obtiene los siguientes resultados y tomando un factor de ampliación $\alpha = 0.23$:

$$f_a = 7.31 \times 10^6 Pa$$

$$f_b = 190 \times 10^6 \text{ Pa}$$

$$F_b = 211.2 \text{ MPa}$$

$$0.33 + 0.21 \leq 1$$

Por lo cual se utilizará el tubo cuadrado B100, e=6mm

	3,00	5,41	4,25	19,50	7,80	1,90
	4,00	6,95	5,45	23,84	9,54	1,85
60	1,50	3,45	2,71	19,52	6,51	2,38
	1,80	4,11	3,22	22,95	7,65	2,36
	2,00	4,54	3,56	25,15	8,38	2,35
	2,50	5,59	4,39	30,36	10,12	2,33
	3,00	6,61	5,19	35,17	11,72	2,31
	4,00	8,55	6,71	43,65	14,55	2,26
70	1,50	4,05	3,18	31,46	8,99	2,79
	1,80	4,83	3,79	37,09	10,60	2,77
	2,00	5,34	4,19	40,73	11,64	2,76
	2,50	6,59	5,17	49,43	14,12	2,74
	3,00	7,81	6,13	57,56	16,45	2,72
	4,00	10,15	7,97	72,22	20,64	2,67
75	1,50	4,35	3,42	38,92	10,38	2,99
	1,80	5,19	4,07	45,95	12,25	2,98
	2,00	5,74	4,50	50,50	13,47	2,97
	2,50	7,09	5,56	61,40	16,37	2,94
	3,00	8,41	6,60	71,65	19,11	2,92
	4,00	10,95	8,59	90,29	24,08	2,87
90	1,80	6,27	4,92	80,71	17,94	3,59
	2,00	6,94	5,45	88,87	19,75	3,58
	2,50	8,59	6,74	108,57	24,13	3,56
	3,00	10,21	8,01	127,32	28,29	3,53
	4,00	13,35	10,48	162,02	36,01	3,48
100	1,80	6,99	5,48	111,62	22,32	4,00
	2,00	7,74	6,07	123,01	24,60	3,99
	2,50	9,59	7,53	150,65	30,13	3,96
	3,00	11,41	8,96	177,08	35,42	3,94
	4,00	14,95	11,73	226,46	45,29	3,89
	5,00	18,36	14,41	271,36	54,27	3,84
	6,00	21,63	16,98	312,00	62,40	3,80
125	3,00	14,41	11,31	354,53	56,73	4,96
	4,00	18,95	14,87	457,33	73,17	4,91
	5,00	23,36	18,33	552,87	88,46	4,87
	6,00	27,63	21,69	641,41	102,63	4,82
135	3,00	15,61	12,25	449,88	66,65	5,37
	4,00	20,55	16,13	581,80	86,19	5,32
	5,00	25,36	19,90	705,16	104,47	5,27
	6,00	30,03	23,58	820,25	121,52	5,23
150	3,00	17,41	13,67	622,76	83,03	5,98
	4,00	22,95	18,01	807,92	107,72	5,93
	5,00	28,36	22,26	982,37	130,98	5,89
	6,00	33,63	26,40	1146,43	152,86	5,84

Figura 26. Tabla de Tubería estructural cuadrada IPAC. Extraído de <http://www.ipac-acero.com/producto-detalle.php?id=9>

iii. Diseño de soporte

Posteriormente de analizar las columnas debemos obtener el detalle para diseñar el soporte inferior.

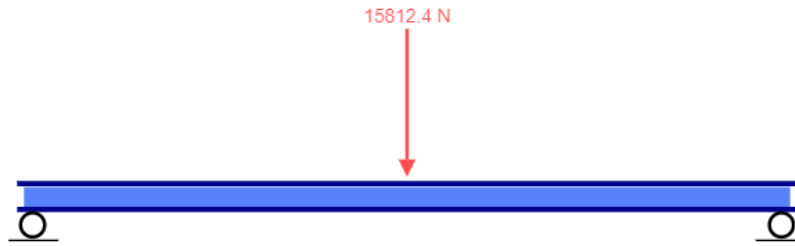


Figura 27. Diagrama de Soporte Inferior

Conociendo que el peso que soportara es de:

$$W = 15812.4 \text{ N}$$

A continuación, se presentará el cálculo de las reacciones en los soportes del perfil.

Realizando la sumatoria de fuerzas en el eje Y se puede obtener que las reacciones son las siguientes:

$$R_A = R_B = 7906.2 \text{ N}$$

Con las reacciones obtenidas generamos un diagrama de corte

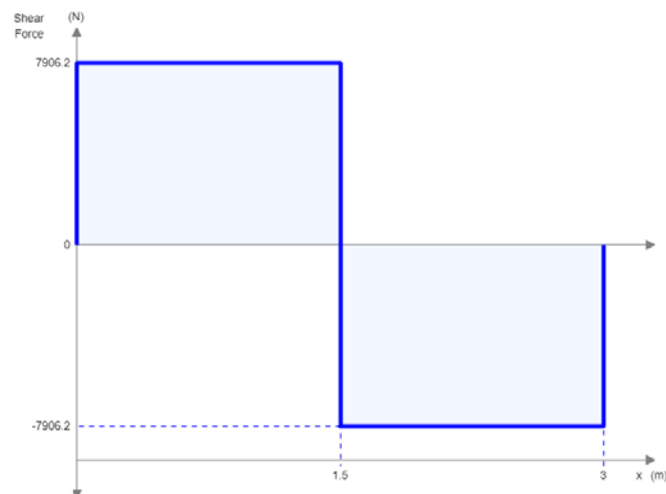


Figura 28. Diagrama de Corte de Soporte Puente Grúa

Haciendo uso de la ecuación 2 para el cálculo del momento flector obtenemos el momento flector máximo para nuestro soporte conociendo que el Peso máximo a soportar es de:

$$W = 15812.4 \text{ N}$$

$$M = 15812.4 \times \frac{1}{2} \text{ N.m}$$

$$M_{max} = 7906.2 \text{ N.m}$$

Con estos datos realizamos el diagrama de momento Flector del soporte.

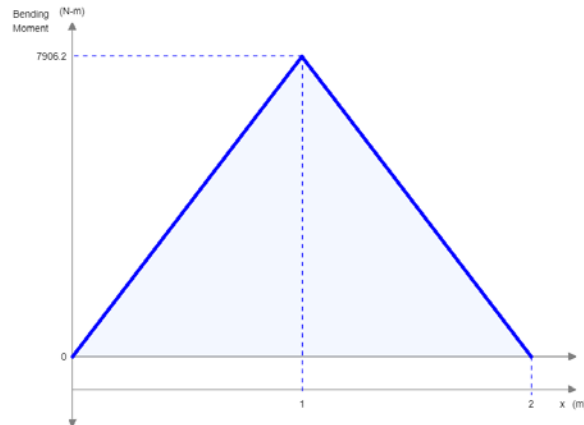


Figura 29. Momento flector Soporte

Para poder encontrar que tipo de perfil vamos a utilizar debemos conocer el material del cual este compuesto. Normalmente los perfiles estructurales están elaborados por acero A36 el cual posee las siguientes propiedades:

Acero A36	
Densidad	7860 kg/m ³
Límite de fluencia	250 MPa
Límite de Rotura	400 MPa

Tabla 13. Propiedades del Acero A 36. Extraído de

<https://www.gerdau.com/gerdaucorsa/es/productsservices/products/Document%20Gallery/eleccion-tipo-de-acero.pdf>

Para encontrar la sección necesaria de nuestro perfil debe tener para soportar el momento máximo debemos utilizar la ecuación 4 y 5 donde

$$f_b = \frac{M_{max}}{S_x}$$

$$f_b = \frac{7906.2 \text{ N.m}}{S_x}$$

$$f_b = 0.66F_y$$

Donde F_y es el límite de fluencia del Acero A36

$$f_b = 165 \text{ MPa}$$

Por lo tanto, ya podemos obtener el valor de la sección necesaria para nuestro perfil

$$S_x = \frac{7906.2 \text{ N.m}}{165000000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}}$$

$$S_x = 47.91 \text{ cm}^3 = W = \text{modulo de resistencia}$$

Del catálogo de tubos cuadrados de Ipac seleccionamos un perfil similar al de la columna por

lo que seleccionamos el tubo cuadrado de 100 x 100 x 5 mm de espesor y $W = 54.27 \text{ cm}^3$

Designaciones		Área	Peso	Propiedades Estáticas		
B	e			Eje x-x = y-y		
		A	P	Momento de inercia	Módulo de resistencia	Radio de giro
mm	mm	cm ²	kg/m	cm ⁴	cm ³	cm
100	1.80	6.99	5.48	111.62	22.32	4.00
	2.00	7.74	6.07	123.01	24.60	3.99
	2.50	9.59	7.53	150.65	30.13	3.96
	3.00	11.41	8.96	177.08	35.42	3.94
	4.00	14.95	11.73	226.46	45.29	3.89
	5.00	18.36	14.41	271.36	54.27	3.84
	6.00	21.63	16.98	312.00	62.40	3.80

Figura 30. Propiedades de Tubo Cuadrado Ipac

Para calcular el factor de seguridad debemos

$$\sigma_y = \frac{M \cdot c}{I_z} \quad (8)$$

Donde M es el momento flector máximo, c es el centro de la viga, I_z es la inercia en el eje z de la viga. El momento flector había sido calculado previamente, el centro de la viga c es de $c=0.05$ m, por otra parte, la inercia podemos encontrarla en la figura 21

$$I_z = 271.36 \text{ cm}^4$$

Utilizando la ecuación 8 se puede obtener el esfuerzo aplicado en la viga:

$$\sigma_y = 145 \text{ MPa}$$

Debido a que el único esfuerzo presente en la viga es el de flexión causado por el peso de esta y la carga aplicada el esfuerzo de Von Mises ser el mismo

$$\sigma' = 145 \text{ MPa}$$

El factor de seguridad será calculado mediante la siguiente formula:

$$\eta = \frac{S_y}{\sigma'}$$

Siendo S_y el esfuerzo de fluencia de la viga cuyo material es acero A36 el valor es de 250MPa dando el siguiente factor de seguridad para la viga:

$$\eta = 1.72$$

iv. Análisis de falla estática de viga principal

La viga seleccionada es la W6x9 y consta de las siguientes dimensiones:

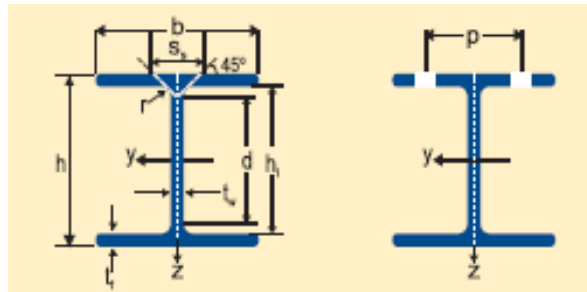


Figura 31. Dimensiones de viga tipo W. Extraído de

https://www.gerdau.com/ar/es/productsservices/products/Document%20Gallery/muestra_ger_tablaperfil.pdf

Teniendo esta información en cuenta se utiliza la siguiente ecuación para calcular el esfuerzo causado por la carga aplicada a la viga:

$$\sigma_y = \frac{M \cdot c}{I_z} \quad (8)$$

Donde M es el momento flector máximo, c es el centro de la viga, I_z es la inercia en el eje z de la viga. El momento flector había sido calculado previamente, el centro de la viga c es de $c=0.075$ m, por otra parte, la inercia podemos encontrarla en la figura 11

$$I_z = 686 \times 10^4 \text{ mm}^4$$

Utilizando la ecuación 8 se puede obtener el esfuerzo aplicado en la viga:

$$\sigma_y = 129 \text{ MPa}$$

Debido a que el único esfuerzo presente en la viga es el de flexión causado por el peso de esta y la carga aplicada el esfuerzo de Von Mises ser el mismo

$$\sigma' = 129 \text{ MPa}$$

El factor de seguridad será calculado mediante la siguiente formula:

$$\eta = \frac{S_y}{\sigma'}$$

Siendo S_y el esfuerzo de fluencia de la viga cuyo material es acero A36 el valor es de 250MPa dando el siguiente factor de seguridad para la viga:

$$\eta = 2$$

Este factor de seguridad será analizado a profundidad en la sección 3.6.

v. Análisis de falla dinámica de la viga principal

Para realizar el analisis de falla dinámica hay que tomar en cuenta que existiran dos esfuerzos, el minimo que ocurría antes de empezar el movimiento de la carga que será cuando la misma llegue al extremo de la viga principal y la maxima que ocurrira cuando la carga esté ubicada en la parte central de la viga, donde ocurriría la mayor flexión presentada anteriormente.

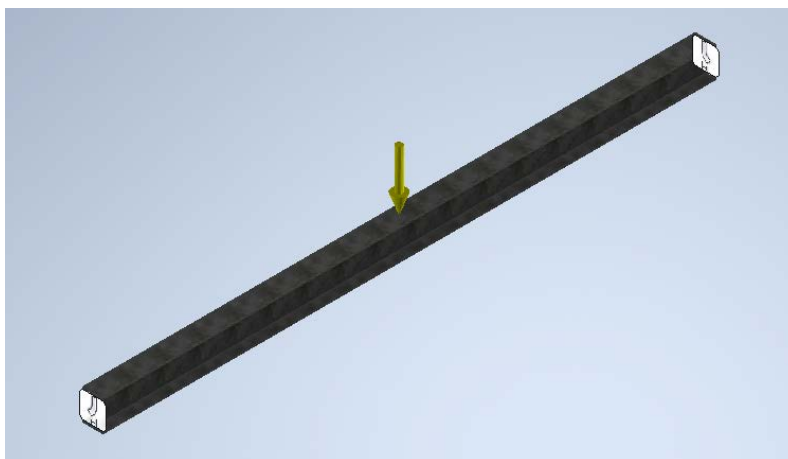


Figura 32. Ubicación de la carga a través de la viga principal

$$M_{min} = 3162.5 \text{ N.m}$$

$$M_{max} = 11859 \text{ N.m}$$

Los momentos fueron calculados en base al diagrama de momento (Figura 13).

Usando la inercia y el eje centro de la viga se obtienen los siguientes esfuerzos máximo y mínimo a través de la ecuación 8

$$\sigma_{min} = 34.6 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{max} = 129.7 \text{ MPa}$$

Para calcular el factor de seguridad tomando en cuenta la fatiga del material se calcula el esfuerzo amplitud y el esfuerzo medio que la viga experimenta

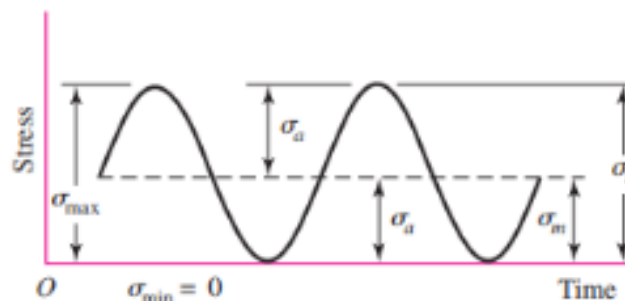


Figura 33. Representación de esfuerzos fluctuantes a través del tiempo (Shigley,2010)

$$\sigma_a = \left| \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2} \right| \quad (11)$$

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2} \quad (12)$$

Usando los esfuerzos máximo y mínimo calculados anteriormente se encuentra los siguientes esfuerzos medios y amplitud a través de las ecuaciones 11 y 12 del libro Diseño Mecánico de Shigley (2012) de este libro de diseño se han extraído los gráficos que se encuentran a continuación además de las ecuaciones usadas para los cálculos pertinentes.

$$\sigma_a = 47.25 \text{ MPa}$$

$$\sigma_m = 82.15 \text{ MPa}$$

Una vez calculados los esfuerzos amplitud y medio que se producen en la viga se busca el valor del límite de fatiga para la viga, sabiendo el material de la misma se obtiene que el $S_{ut} = 300$ MPa y de esta manera se calcula S_e

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S_e' \quad (13)$$

Donde las k son los factores que modifican el límite de fatiga y serán explicados y calculados más adelante. S_e' se calcula de la siguiente manera:

$$S_e' = 0,5 \times 400 \text{ MPa} = 200 \text{ MPa}$$

A continuación, se van a calcular los factores modificadores:

- Factor de superficie (k_a)

Tabla 6-2

Parámetros en el factor de la condición superficial de Marin, ecuación (6-19)

Acabado superficial	Factor a		Exponente b
	S_{ut} , kpsi	S_{ut} , MPa	
Esmerilado	1.34	1.58	-0.085
Maquinado o laminado en frío	2.70	4.51	-0.265
Laminado en caliente	14.4	57.7	-0.718
Como sale de la forja	39.9	272.	-0.995

De C.J. Noll y C. Lipson, "Allowable Working Stresses", en *Society for Experimental Stress Analysis*, vol. 3, núm. 2, 1946, p. 29. Reproducida por O.J. Horger (ed.). *Metals Engineering Design ASME Handbook*, McGraw-Hill, Nueva York. Copyright© 1953 por The McGraw-Hill Companies, Inc. Reproducido con autorización.

Tabla 14. Parámetros de condición de superficie (Shigley,2010)

$$k_a = a S_{ut}^b \quad (6-19)$$

Figura 34. Ecuación de factor de superficie (Shigley,2010)

Usando la tabla 6-2 de Diseño Mecánico de Shigley se encuentra los siguientes factores y ecuación para calcula el factor de superficie dando como resultado el siguiente valor, tomando en cuenta que la viga es resultado de un laminado en caliente:

$$k_a = 0,96$$

➤ Factor de tamaño (k_b)

$$k_b = \begin{cases} (d/0.3)^{-0.107} = 0.879d^{-0.107} & 0.11 \leq d \leq 2 \text{ pulg} \\ 0.91d^{-0.157} & 2 < d \leq 10 \text{ pulg} \\ (d/7.62)^{-0.107} = 1.24d^{-0.107} & 2.79 \leq d \leq 51 \text{ mm} \\ 1.51d^{-0.157} & 51 < d \leq 254 \text{ mm} \end{cases} \quad (6-20)$$

Figura 35. Ecuación de factor de tamaño (Shigley,2010)

Tabla 6-3

Áreas $A_{0.95\sigma}$ de perfiles estructurales no rotativos.

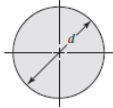
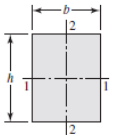
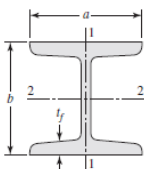
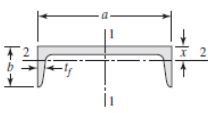
	$A_{0.95\sigma} = 0.01046d^2$ $d_e = 0.370d$
	$A_{0.95\sigma} = 0.05hb$ $d_e = 0.808\sqrt{hb}$
	$A_{0.95\sigma} = \begin{cases} 0.10at_f & \text{eje 1-1} \\ 0.05ba & t_f > 0.025a \text{ eje 2-2} \end{cases}$
	$A_{0.95\sigma} = \begin{cases} 0.05ab & \text{eje 1-1} \\ 0.052xa + 0.11t_f(b-x) & \text{eje 2-2} \end{cases}$

Tabla 15. Tabla de áreas al 95% de perfiles no rotativos (Shigley,2010)

Usando la ecuación 6-20 y la tabla 6-3 se encuentra el siguiente valor para k_b

$$k_b = 0,734$$

- Factor de carga (k_c)

$$k_c = \begin{cases} 1 & \text{flexión} \\ 0.85 & \text{axial} \\ 0.59 & \text{torsión}^{17} \end{cases} \quad (6-26)$$

Figura 36. Ecuación de factor de carga. (Shigley,2010)

Usando la ecuación 6- 26 y debido a que la viga esta solo sometida a flexión

$$k_c = 1$$

- Factor de temperatura (k_d)

Ya que la viga no estará sometida a cambios de temperatura

$$k_d = 1$$

- Factor de confiabilidad (k_e)

Tabla 6-5

Factores de confiabilidad k_e correspondientes a 8 desviaciones estándar porcentuales del límite de resistencia a la fatiga.

Confiabilidad, %	Variación de transformación z_a	Factor de confiabilidad k_e
50	0	1.000
90	1.288	0.897
95	1.645	0.868
99	2.326	0.814
99.9	3.091	0.753
99.99	3.719	0.702
99.999	4.265	0.659
99.9999	4.753	0.620

Tabla 16. Factores de confiabilidad (Shigley,2010)

Usando la tabla 6-5 y tomando una confiabilidad del 99% se encuentra el valor del factor

$$k_e = 0,868$$

- Factor de efectos varios (k_f)

A no existir factores varios que modifiquen la resistencia a la fatiga de la viga

$$k_f = 1$$

Tras obtener los valores de los modificadores de límite de fatiga y usando la ecuación 13 se obtiene el siguiente resultado

$$Se = 76.68 \text{ MPa}$$

Habiendo obtenido anteriormente los esfuerzos medio y amplitud y mediante los criterios de Goodman y ASME se obtienen los siguientes factores de seguridad resultantes del análisis de fatiga de la viga:

- **Goodman:**

$$\eta = \frac{1}{\frac{\sigma_a}{Se} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}}} \quad (14)$$

- **ASME**

$$\eta = \sqrt{\frac{1}{\left(\frac{\sigma_a}{Se}\right)^2 + \left(\frac{\sigma_m}{S_{ut}}\right)^2}} \quad (15)$$

	Goodman	ASME
η	1.3	1.8

Tabla 17. Factores de seguridad de fatiga

Este factor de seguridad será analizado a profundidad en la sección 3.6.

vi. Análisis de Soldadura

En esta sección se analizará las juntas soldadas presentes en las columnas que irán soldadas a la viga riel y la suelda a los soportes móviles.

Selección de casos críticos:

Table 9-4

Stresses Permitted by the AISC Code for Weld Metal

Type of Loading	Type of Weld	Permissible Stress	n^*
Tension	Butt	$0.60S_y$	1.67
Bearing	Butt	$0.90S_y$	1.11
Bending	Butt	$0.60-0.66S_y$	1.52-1.67
Simple compression	Butt	$0.60S_y$	1.67
Shear	Butt or fillet	$0.30S_{ut}^\dagger$	

*The factor of safety n has been computed by using the distortion-energy theory.

†Shear stress on base metal should not exceed $0.40S_y$ of base metal.

Figura 37. Esfuerzos permitidos de acuerdo con el tipo de carga (Shigley,2010)

El caso crítico seleccionado es el de tensión en tipo de junta “Butt” ya que por la posición de la carga.

Determinación de puntos críticos de soldadura.



Figura 38. Esquema del pórtico

Primero se define las condiciones críticas para la soldadura. En este caso se seleccionas los 2 puntos críticos a los extremos de la viga superior donde la soldadura sufrirá tensión debido al momento aplicado sobre la viga.

Selección del perfil de soldadura:

6.

$$A = 1.414h(b + d)$$

$$\bar{x} = b/2$$

$$\bar{y} = d/2$$

$$I_u = \frac{d^2}{6}(3b + d)$$

Figura 39. Fórmulas de inercia y área según perfil de soldadura (Shigley,2010)

Se utilizará un perfil de soldadura que vaya por todo el contorno de las columnas lateral que sostienen a la viga principal. Esto se realiza a base de los siguientes criterios:

- Aumentar la seguridad y brindar mayor estabilidad al sistema y minimizar la posibilidad de falla al tener mayor número de cordones.

- Tomar en consideración que existen casos en los que la carga puede actuar en más de una dirección (Mientras el pórtico se está moviendo).
- Se asumirá que los cordones bordearán todo el perímetro de las columnas laterales que están en contacto con la viga superior.

Selección del material de aporte:

Table 9-3 Minimum Weld-Metal Properties	AWS Electrode Number*	Tensile Strength kpsi (MPa)	Yield Strength, kpsi (MPa)	Percent Elongation
	E60xx	62 (427)	50 (345)	17-25
	E70xx	70 (482)	57 (393)	22
	E80xx	80 (551)	67 (462)	19
	E90xx	90 (620)	77 (531)	14-17
	E100xx	100 (689)	87 (600)	13-16
	E120xx	120 (827)	107 (737)	14

Figura 40. Propiedades de material de aporte (Shigley,2010)

Se probarán diferentes tipos de soldas de acuerdo con el factor de seguridad obtenido para falla estática y fatiga, de esta forma se podrá crear un criterio de selección para los distintos tipos de soldas de acuerdo con la información provista por la figura 26.

Valores y condiciones asumidas:

Se asumirá que el caso de carga será el máximo y en el punto de mayor flexión de la viga.

El cordón para utilizarse para todos los casos será de $\frac{3}{4}$ de pulgada y se utilizarán los valores expresados en la figura 27.

Table 9-6

Allowable Steady Loads and Minimum Fillet Weld Sizes

Schedule A: Allowable Load for Various Sizes of Fillet Welds								Schedule B: Minimum Fillet Weld Size, <i>h</i>	
Strength Level of Weld Metal (EXX)									
	60*	70*	80	90*	100	110*	120		
Allowable shear stress on throat, ksi (1000 psi) of fillet weld or partial penetration groove weld									
$\tau =$	18.0	21.0	24.0	27.0	30.0	33.0	36.0		
Allowable Unit Force on Fillet Weld, kip/linear in									
${}^1f =$	12.73 <i>h</i>	14.85 <i>h</i>	16.97 <i>h</i>	19.09 <i>h</i>	21.21 <i>h</i>	23.33 <i>h</i>	25.45 <i>h</i>		
Leg Size <i>h</i> , in	Allowable Unit Force for Various Sizes of Fillet Welds kip/linear in								
1	12.73	14.85	16.97	19.09	21.21	23.33	25.45		
7/8	11.14	12.99	14.85	16.70	18.57	20.41	22.27		
3/4	9.55	11.14	12.73	14.32	15.92	17.50	19.09		
5/8	7.96	9.28	10.61	11.93	13.27	14.58	15.91		
1/2	6.37	7.42	8.48	9.54	10.61	11.67	12.73		
7/16	5.57	6.50	7.42	8.35	9.28	10.21	11.14		
3/8	4.77	5.57	6.36	7.16	7.95	8.75	9.54		
5/16	3.98	4.64	5.30	5.97	6.63	7.29	7.95		
1/4	3.18	3.71	4.24	4.77	5.30	5.83	6.36		
3/16	2.39	2.78	3.18	3.58	3.98	4.38	4.77		
1/8	1.59	1.86	2.12	2.39	2.65	2.92	3.18		
1/16	0.795	0.930	1.06	1.19	1.33	1.46	1.59		

Material Thickness of Thicker Part Joined, in	Weld Size, in
*To 1/4 incl.	1/8
Over 1/4 To 1/2	3/16
Over 1/2 To 3/4	1/4
[†] Over 3/4 To 1 1/2	5/16
Over 1 1/2 To 2 1/4	3/8
Over 2 1/4 To 6	1/2
Over 6	5/8

Not to exceed the thickness of the thinner part.
 *Minimum size for bridge application does not go below 3/16 in.
[†]For minimum fillet weld size, schedule does not go above 5/16 in fillet weld for every 3/4 in material.

*Fillet welds actually tested by the joint AISC-AWS Task Committee.
¹ $f = 0.707h \tau_{all}$.

Figura 41. Información de los esfuerzos permitidos según el material y el espesor del cordón (Shigley,2010)

vii. Cálculos de falla estática de suelda

Cálculo del área

Utilizando la fórmula expresada en la figura 26.

$$A = 1.414 \cdot h \cdot (B + D) \quad (16)$$

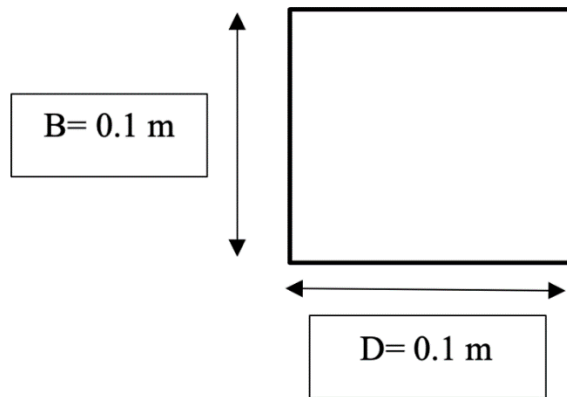


Figura 42. Esquema de suelda

$$h = \frac{3}{4} \text{ in} \rightarrow \text{según datos fijados previamente}$$

$$A = 1.414 \cdot \left(0.75 \text{ in} \cdot \frac{0.0254 \text{ m}}{1 \text{ in}} \right) \cdot (0.1 + 0.1) \text{ m}$$

$$A = 0.005387 \text{ m}^2$$

Cálculo inercia

Los cálculos y fórmulas se utilizan de acuerdo a las fórmulas presentadas en la figura 26 y la inercia final tomando en cuenta las dimensiones del cordón y el coseno del ángulo de 45 grados que se forma entre la pendiente del Cordón y la superficie del material.

- Inercia unitaria:

$$I_u = \frac{d^2}{6} \cdot (3B + D) \quad (17)$$

$$I_u = \frac{(0.1 \text{ m})^2}{6} \cdot [3(0.1 \text{ m}) + 0.1 \text{ m}]$$

$$I_u = 0.000667 \text{ m}^3$$

- Inercia Total:

$$I = 0.707 \cdot h \cdot I_u \quad (18)$$

$$I = 0.00000898 \text{ m}^4$$

Esfuerzo Cortante principal

Este es el esfuerzo simple que sufrirá el área transversal de la soldadura y que no toma en cuenta la flexión de la misma.

$$\tau' = \frac{F}{A} \quad (19)$$

$$\tau' = \frac{15812.4 \text{ N}}{0.005387 \text{ m}^2}$$

$$\tau' = 2935288.65 \text{ Pa}$$

Esfuerzo Cortante secundario

Este es un caso en el que la inercia de la soldadura incide y es necesario incluir en los cálculos.

$$\tau'' = \frac{M \cdot r}{I} \quad (20)$$

Donde :

$M \rightarrow$ el momento.

$r \rightarrow$ es la distancia perpendicular desde donde se aplica la carga hasta la soldadura.

$I \rightarrow$ Inercia total calculada .

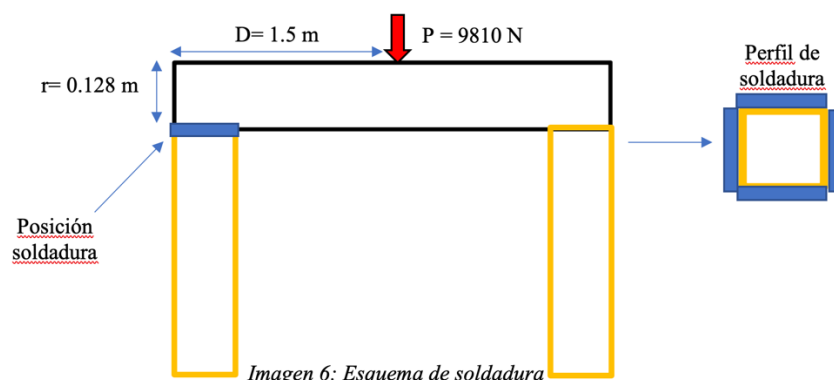


Figura 43. Esquema de soldadura

$$\tau'' = \frac{P \cdot D \cdot r}{I}$$

$$\tau'' = \frac{15812.4 \text{ N} \cdot 1.5 \text{ m} \cdot 0.128 \text{ m}}{0.00000898 \text{ m}^4}$$

$$\tau'' = 338082494.43 \text{ Pa}$$

Magnitud del cortante final

Para este proceso se utiliza la teoría de Pitágoras y se calcula con la siguiente fórmula:

$$\tau = \sqrt{(\tau'')^2 + (\tau')^2} \quad (21)$$

$$\tau = \sqrt{(338082494.43)^2 + (2935288.65)^2}$$

$$\tau = 338095236.52 Pa$$

Cálculo del factor de seguridad

Para este cálculo se usa la fórmula:

$$\eta = \frac{S_{sy}}{\tau} \quad (22)$$

Donde :

$$S_{sy} = 0.577 \cdot S_y$$

→ Según la información provista por la imagen 4 y el factor de corrección 0.577

Y se obtiene la siguiente tabla de factores de seguridad:

Numero de Electrodo	S_y	S_{sy}	Factor de seguridad n
E60 XX	3.45E+08	1.99E+08	0.588783806
E70 XX	3.93E+08	2.27E+08	0.670701552
E80 XX	4.62E+08	2.67E+08	0.788458314
E90 XX	5.31E+08	3.06E+08	0.906215075
E100 XX	6.00E+08	3.46E+08	1.023971836
E120 XX	7.37E+08	4.25E+08	1.257778738

Tabla 18. Selección según factores de seguridad

Bajo los resultados dados se obtiene que la soldadura E100XX o E120 XX son adecuadas para el caso de carga estudiado.

viii. Cálculo de falla dinámica de suelda

Dentro de esta sección de cálculos se podrán encontrar los factores de seguridad de Gerber para el electrodo E120XX y el material de la viga (Acero A36). Se usarán valores como la inercia, área y radio de suelda de la sección anterior, puesto que son los mismos para este caso.

Caso 1 (Viga cargada)

El primer caso de análisis para fatiga de la suelda será cuando la misma este cargada, se tomará como momento máximo cuando la carga está en la mitad de la viga y como momento mínimo cuando la carga este al final de la viga.

Cortante primario

$$\tau' = \frac{F}{A} \quad (4)$$

$$\tau' = \frac{15812.4 \text{ N}}{0.005387 \text{ m}^2}$$

$$\tau' = 2.95 \text{ MPa}$$

Cortante secundario máximo y mínimo

$$\tau'' = \frac{P \cdot D \cdot r}{I}$$

$$\tau''_{M\acute{a}x} = \frac{15812.4 \text{ N} \cdot 1.5 \text{ m} \cdot 0.128 \text{ m}}{0.00000898 \text{ m}^4} = 338 \text{ MPa}$$

$$\tau''_{m\acute{i}n} = \frac{15812.4 \text{ N} \cdot 0.4 \text{ m} \cdot 0.128 \text{ m}}{0.00000898 \text{ m}^4} = 90 \text{ MPa}$$

Una vez obtenidos estos esfuerzos cortantes procedemos a obtener la magnitud del cortante y tomando en cuenta un factor de concentración de esfuerzo de la suelda (A tope reforzada) de $kf_s = 1.2$ se obtendrán las siguientes magnitudes:

$$\tau_{min} = 108.06 \text{ MPa}$$

$$\tau_{max} = 405.6 \text{ MPa}$$

Cortante amplitud y medio y Sse

A continuación, se presentan los esfuerzos cortantes amplitud y medio para este caso

$$\tau_a = 148.5 \text{ MPa}$$

$$\tau_m = 257.1 \text{ MPa}$$

Con la ecuación 13 y tomando en cuenta el material con menor esfuerzo de tensión el Acero A36 Sut=400MPa s obtiene el siguiente Sse

$$S_{se} = (0.718)(0.8)(1)(1)(1)(1)(0.5)(400\text{MPa})$$

$$S_{se} = 114.88 \text{ MPa}$$

Con estos valores encontrados y la siguiente ecuación se puede encontrar el factor de seguridad de Gerber para fatiga en la suelda

Factor de seguridad de fatiga

$$n_f = \frac{1}{2} \left(\frac{S_{ut}}{\sigma_m} \right)^2 \frac{\sigma_a}{S_e} \left[-1 + \sqrt{1 + \left(\frac{2\sigma_m S_e}{S_{ut} \sigma_a} \right)^2} \right] \quad \sigma_m > 0$$

Figura 44. Ecuación de falla por fatiga de Gerber (Shigley,2010)

$$\eta_f = 1.15$$

ix. Caso 2 (Carga y descarga de puente grúa)

Para el segundo caso se analizará el caso cuando el puente grúa es cargado al máximo de su capacidad en la mitad de la misma y cuando se lo descarga.

Usando las mismas ecuaciones que en la sección anterior se puede encontrar el siguiente valor de esfuerzo cortante amplitud y medio

$$\tau_a = \tau_m = 202.8 \text{ MPa}$$

Y con la ecuación de la figura 34 se encuentra el siguiente factor de seguridad

$$\eta_f = 1.25$$

x. Cálculo de esfuerzo del diente de engrane motor

Para calcular el esfuerzo que soporta un engrane recto primero debemos conocer su nomenclatura como se observa en la siguiente figura

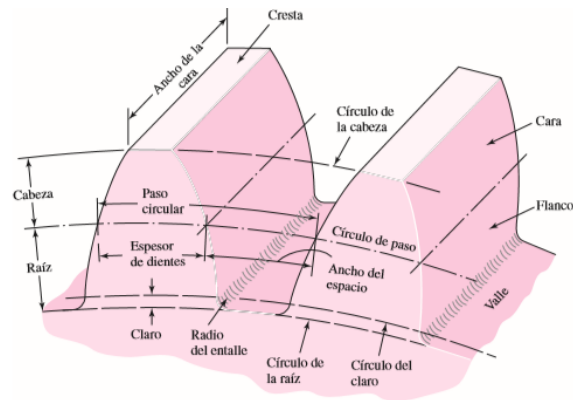


Figura 45. Nomenclatura de engrane (Shigley, 2010)

Luego conocer el diagrama de cómo actúan las fuerzas sobre un piñón que está anclado a un motor

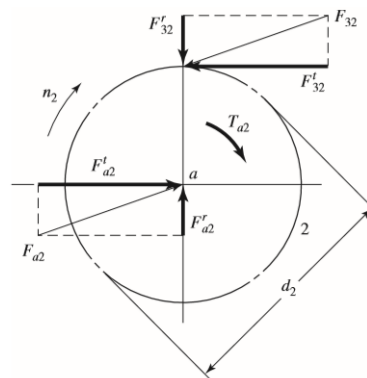


Figura 46. ilustración de fuerzas sobre engrane recto (Shigley, 2010)

$$H = T\omega = (W_t d/2)\omega$$

$$W_t = \frac{60000H}{\pi d n}$$

Donde:

W_t es la carga transmitida, kN

H es la potencia del motor en, kW

d es el diámetro del engrane, mm

n es la velocidad en rpm

Posteriormente para calcular los esfuerzos que soporta el diente en su punto a debemos referirnos a la siguiente figura.

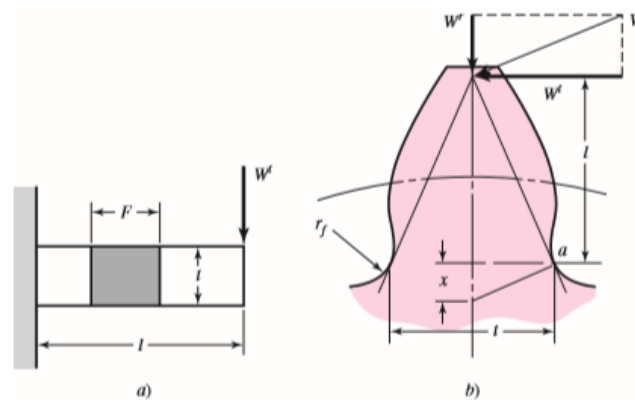


Figure 47. aplicación de fuerzas sobre el diente (Shigley,2010)

De la cual se deduce la siguiente ecuación de esfuerzo sobre el diente

$$\sigma = \frac{K_v W^t}{F m Y}$$

Donde

K_v es el factor de velocidad

W_t es la componente tangencial de la carga, N

F el ancho de la cara, mm

Y el factor de Lewis obtenido de tablas

m es el módulo en mm

Número de dientes	Y	Número de dientes	Y
12	0.245	28	0.353
13	0.261	30	0.359
14	0.277	34	0.371
15	0.290	38	0.384
16	0.296	43	0.397
17	0.303	50	0.409
18	0.309	60	0.422
19	0.314	75	0.435
20	0.322	100	0.447
21	0.328	150	0.460
22	0.331	300	0.472
24	0.337	400	0.480
26	0.346	Cremallera	0.485

Figura 48. Valores del Factor de Lewis para ángulo normal de presión de 20° (Shigley,2010)

xi. Cálculo de Esfuerzo en engrane de piñón electric push beam trolley

Conocemos del motor que viene incorporado en el trolley posee una potencia de $H=200$ W y gira a una velocidad de $w=1400$ rpm.

Se propone un estudio de engrane de las siguientes características:

Modulo= $m = 2,5$ mm

Numero de Dientes= $N = 20$

Diámetro de paso = $d = 50$ mm

Ancho de la cara = $F = 20$ mm

Angulo normal de presión 20 °

Primero procedemos a encontrar la fuerza tangencial sobre el diente

$$W_t = \frac{60000H}{\pi dn}$$

$$W_t = \frac{60000 * 0.2kW}{\pi * 50mm * 200}$$

$$W_t = \frac{60000 * 0.2kW}{\pi * 50mm * 1400}$$

$$W_t = 0.381 \text{ kN}$$

Luego se calcula el esfuerzo que se aplica sobre la base del diente

$$\sigma = \frac{K_v W^t}{FmY}$$

Como la velocidad V es igual a 3,66 m/s y la fórmula para efecto dinámico para un perfil corto o fresado es de

$$K_v = \frac{1200 + V}{1200}$$

Sustituyendo para nuestra V

$$K_v = \frac{1200 + 3.66}{1200} = 1.00305$$

Que nos da aproximadamente 1

Por lo cual tenemos la siguiente ecuación para calcular el esfuerzo

$$\sigma = \frac{W^t}{FmY}$$

Donde Y obtenemos de la tabla de Lewis para 20 dientes 0.322, el módulo m=2.5 mm, el ancho de la cara del diente F= 20mm y el Wt = 381 N

$$\sigma = \frac{381 N}{0.02m * 0.0025m * 0.322} = 23,664 MPa$$

Se selecciona un material común para la fabricación de engranajes AISI 1018

1	2	3	4	5	6	7	8
UNS núm.	SAE y/o AISI núm.	Procesamiento	Resistencia a la tensión, MPa (kpsi)	Resistencia a la fluencia, MPa (kpsi)	Elongación en 2 pulg, %	Reducción en área, %	Dureza Brinell
G10060	1006	HR	300 (43)	170 (24)	30	55	86
		CD	330 (48)	280 (41)	20	45	95
G10100	1010	HR	320 (47)	180 (26)	28	50	95
		CD	370 (53)	300 (44)	20	40	105
G10150	1015	HR	340 (50)	190 (27.5)	28	50	101
		CD	390 (56)	320 (47)	18	40	111
G10180	1018	HR	400 (58)	220 (32)	25	50	116
		CD	440 (64)	370 (54)	15	40	126

Figura 49. Propiedades mecánicas de Aceros Varios (Shigley,2010)

Donde el factor de seguridad

$$\eta = \frac{\sigma}{S_y}$$

Donde el S_y para el AISI 1018 HR es de 220 MPa

$$\eta = \frac{220}{23,664} = 9.29$$

Simulación en Inventor del engrane

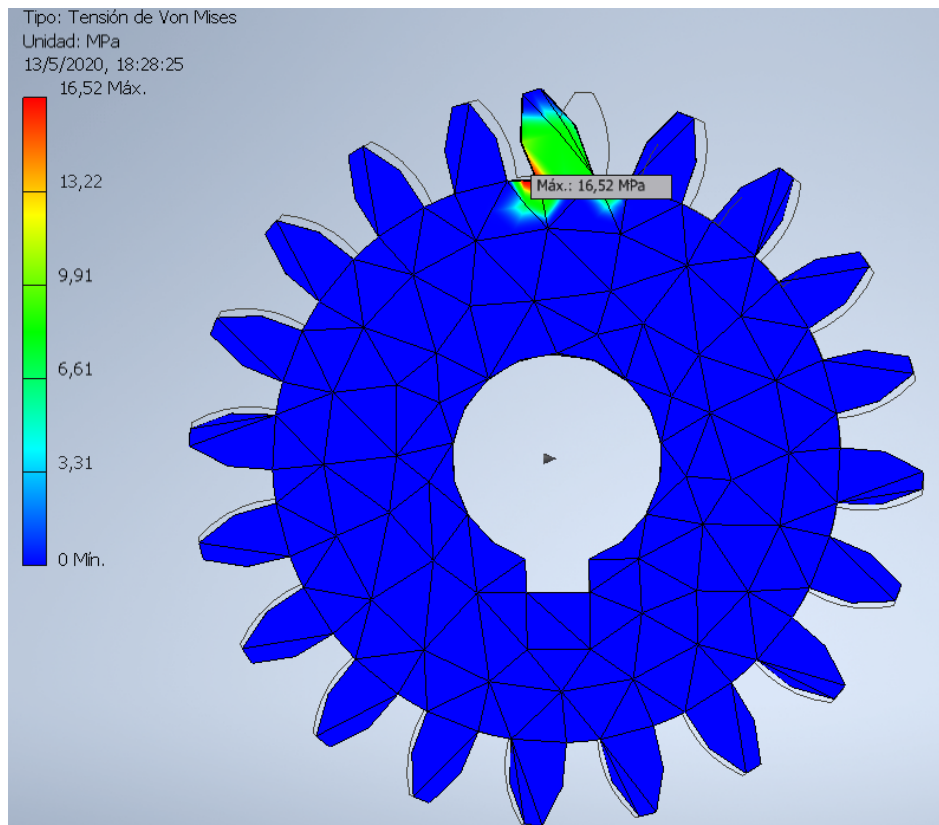


Figura 50. Análisis de tensión de Von Mises Engrane diente

ANEXO D: MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

I. Normas de uso generales

Las acciones y requerimientos descritos en esta sección se basan en criterios generales de seguridad para el operario y para los miembros que estén en los alrededores al momento de operación del equipo.

i. Equipo de protección

- Todos los miembros que estén en los alrededores o sean parte de las acciones relacionadas a la operación del sistema deberán obligatoriamente usar los siguientes elementos de protección.
 - Calzado de protección y aislante.
 - Cascos de seguridad.
 - Ropa que cubra las extremidades por completo (Brazos y piernas).
 - Guantes de trabajo.
 - Gafas de seguridad.
 - Protectores de oído (Opcional).



ii. Preparación para uso:

- Al tratarse de un equipo de gran tamaño en un área reducida, todas las operaciones que se estén realizando en los alrededores de este deberán ser detenidas o modificadas para no interferir en el movimiento de este.
- Todo escombros, equipos, cables y objetos que puedan interferir con el movimiento del sistema, deberán ser obligatoriamente retirados previos al movimiento del sistema.
- El personal presente en el área deberá ser notificado al momento de empezar el movimiento para que puedan tomar las medidas de protección correspondientes.
- El sistema no deberá nunca ser operado por menos de 3 personas (sin carga) o 4 (Con carga), dos deberá estar siempre controlando cada columna del pórtico, otro controlando la carga y otro guiando la maniobra desde una distancia que le permita observar lo que está alrededor del sistema y en su trayectoria.

iii. Información del equipo:

- Este equipo cuenta está conformado por 3 sistemas diferentes.
 1. Sistema de automatización
 2. Sistema de Riel

3. Sistema de Tecla Eléctrico

iv. Información Técnica

Ítem	Detalle
Perfiles de Acero	A36- 5mm de espesor – 10x10 cm
Perfil en I	Perfil de acero A36 – W6x20
Motor	Eléctrico – 3HP
VFD	Mitsubishi Electric D700 series – 3HP
Tecla Eléctrico	----
Sistema de Riel	1T/2200Lbs Electric Push Beam Trolley Q235 Steel Weight Lifting Adjustable Width
Botonera	Switch breaker + Botón de emergencia

v. Listado de partes

Estructura

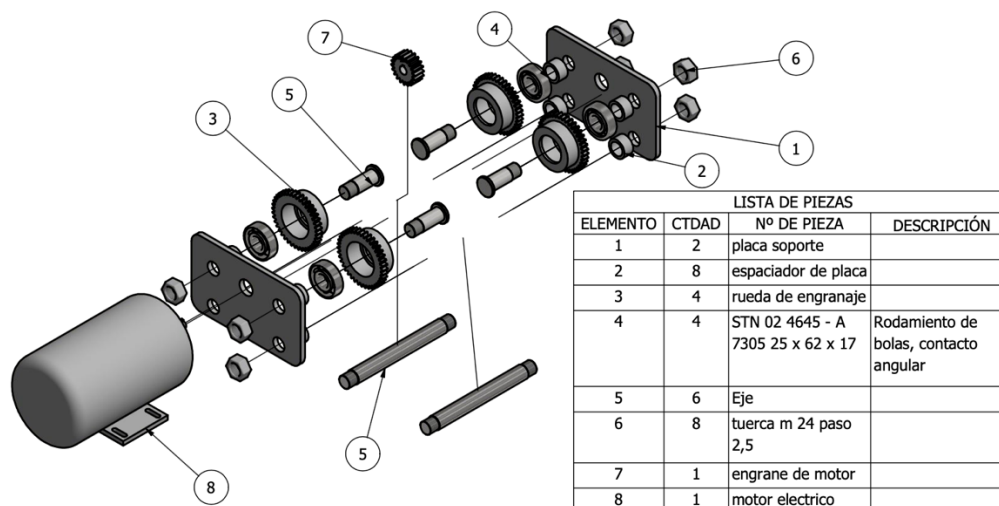
- 1 perfil de acero en I – A36 W6x20.
- 2 perfiles de 10 cm x 10 cm de 5 mm de espesor – A36.
- 4 ruedas para carga pesada

Sistema de Automatización

- 1 caja metálica.
- 1 botón de emergencia
- 1 variador de frecuencia
- 1 Switch breaker.
- 1 extensión de 50 m

- Botón Activador para Tecele.
- Botón de encendido para Tecele.
- Botón activador para el sistema de riel.
- Botón de encendido/apagado para sistema de riel.

II. Sistema de Riel



III. Manual de operación

i. Sistema de automatización.

Operaciones generales para Funcionamiento

1. Conectar el interruptor al inlet más cercano.
2. Encender/habilitar el Switch breaker para permitir el paso de corriente al variador de frecuencia.

3. Encender el variador de frecuencia (En caso de que no se haya encendido de manera automática)
4. Para operación y programación del variador de frecuencia Referirse al manual de operación adjunto en los anexos.

Sistema de Riel.

- Este Sistema estará gobernado por la programación del variador de frecuencia.
- El mismo estará controlado por un activador tipo botón dentro de un panel tipo control. A partir del cual se podrá operar el sistema, encenderlo y apagarlo.
- Referirse al manual de operación en anexos.

Sistema de Tecla Eléctrico.

- Referirse al manual del fabricante original en anexos.

Sistema Completo.

- Al estar todos los sistemas conectados a la botonera principal es importante siempre realizar una prueba del sistema de tecla eléctrico y del sistema de riel y probarlo sin carga. Esto evita que una desprogramación del sistema o falla en conexiones pueda afectar al sistema en operación mientras esta con carga.
- Una vez realizadas las pruebas, pasar a cargar el sistema. Es importante notar que los seguros y ganchos de sujeción que vayan a utilizarse estén bien fijados, nunca operar el equipo sin tener certeza de que la carga está bien asegurada.

- Evitar mover a la estructura mientras está cargada ya que esto ocasionará que la carga se comporte como un péndulo. Sin embargo, de ser necesario, la carga deberá ser controlada por una tercera persona utilizando cabos de sujeción para mantenerla estática.

IV. Manual de Mantenimiento

i. Mantenimiento de Sistema de riel.

- Mantener el riel limpio de impurezas y revisar una vez al mes que no existan fisuras o material levantado.
- 1 vez al mes abrir el sistema de engranes y comprobar que esté con suficiente grasa y libre de elementos que puedan intervenir en el sistema.
- 1 vez al mes reajustar los pernos presentes en el sistema con el fin de evitar posibles accidentes o mal funcionamiento en el sistema.
- Las columnas y perfiles estarán recubiertos de pintura antioxidante, es importante mantener a los mismos cubiertos para evitar corrosión. En caso de existir espacios en los que se haya removido la pintura, recubrir con antioxidante.

ANEXO E: TABLAS DE SELECCIÓN

ii. Evaluación del peso específico de cada criterio

Costo > Reducción de Potencia > Implementación > Disponibilidad						
Criterio	Costo	Eficiencia	Implementación	Disponibilidad		Pondera
Costo	0	1	1	1	4	0.400
Reducción de Potencia	0	0	1	1	3	0.300
Implementación	0	0	0	1	2	0.200
Disponibilidad	0	0	0	0	1	0.100
				Sum	10	

Tabla 19 Evaluación del peso de cada criterio

iii. Evaluación del peso específico del criterio costo

Solución A > Solución D > Solución B > Solución C						
Costo	Solución A	Solución B	Solución C	Solución D		Pondera
Solución A	0	1	1	1	4	0.400
Solución B	0	0	1	0	2	0.200
Solución C	0	0	0	0	1	0.100
Solución D	0	1	1	0	3	0.300
				Sum	10	

Tabla 20. Evaluación del peso específico del criterio costo

iv. Evaluación del peso específico del criterio Reducción de potencia

Solución C > Solución B > Solución D > Solución A						
Reducción de Potencia	Solución A	Solución B	Solución C	Solución D		Pondera
Solución A	0	0	0	0	1	0.100
Solución B	1	0	0	1	3	0.300
Solución C	1	1	0	1	4	0.400
Solución D	1	0	0	0	2	0.200
				Sum	10	

Tabla 21. Evaluación del peso específico del criterio Reducción de potencia

v. Evaluación del peso específico del criterio Implementación

Solución A = Solución B > Solución C > Solución D						
Implementación	Solución A	Solución B	Solución C	Solución D		Pondera
Solución A	0	0.5	1	1	3.5	0.350
Solución B	0.5	0	1	1	3.5	0.350
Solución C	0	0	0	1	2	0.200
Solución D	0	0	0	0	1	0.100
				Sum	10	

Tabla 22. Evaluación del peso específico del criterio Implementación

vi. Evaluación del peso específico del criterio Implementación

Solución A > Solución B > Solución C = Solución D						
Disponibilidad	Solución A	Solución B	Solución C	Solución D		Pondera
Solución A	0	1	1	1	4	0.400
Solución B	0	0	1	1	3	0.300
Solución C	0	0	0	0.5	1.5	0.150
Solución D	0	0	0.5	0	1.5	0.150
				Sum	10	

Tabla 23. Evaluación del peso específico del criterio Implementación

vii. Conclusiones

Conclusión						
	Peso	Fiabilidad	Material	Precio		Prioridad
Solución A	0.08	0.04	0.11	0.04	0.265	2.00
Solución B	0.04	0.12	0.11	0.03	0.295	1.00
Solución C	0.02	0.16	0.06	0.02	0.255	3.00
Solución D	0.06	0.08	0.03	0.04	0.210	4.00

Tabla 24. Conclusiones

La solución mejor situada es la B seguida por la A las cuales son las más importantes para solucionar el problema del arranque del motor y que de esta manera no exista un movimiento de péndulo que pueda poner en riesgo a los usuarios del laboratorio.