



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE GUAYAQUIL
CARRERA DE MECATRÓNICA

**DISEÑO DEL PUENTE GRÚA PARA TRANSPORTE DE PLACAS
METÁLICAS UTILIZANDO SUJECCIÓN POR VENTOSAS**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero en Mecatrónica

AUTORES: Edison Alexander Reyna Zuñiga
Wilmer Daniel Yagual Bernabé
TUTOR: Ing. José Alexander Zambrano García

Guayaquil - Ecuador
2024

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, **Wilmer Daniel Yagual Bernabé** con documento de identificación N° **0951624113** y **Edison Alexander Reyna Zuñiga** con documento de identificación N° **0955176169**; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo.

Guayaquil, 7 de septiembre del año 2024

Atentamente,



Wilmer Daniel Yagual Bernabé
0951624113



Edison Alexander Reyna Zuñiga
0955176169

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, **Wilmer Daniel Yagual Bernabé** con documento de identificación N° **0951624113** y **Edison Alexander Reyna Zúñiga** con documento de identificación N° **0955176169**, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del **Dispositivo Tecnológico : DISEÑO DEL PUENTE GRÚA PARA TRANSPORTE DE PLACAS METÁLICAS UTILIZANDO SUJECIÓN POR VENTOSAS**, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Mecatrónica, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 7 de septiembre del año 2024

Atentamente,



Wilmer Daniel Yagual Bernabé
0951624113



Edison Alexander Reyna Zúñiga
0955176169

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, **Jose Alexander Zambrano García**, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: **DISEÑO DEL PUENTE GRÚA PARA TRANSPORTE DE PLACAS METÁLICAS UTILIZANDO SUJECIÓN POR VENTOSAS**, realizado por **Wilmer Daniel Yagual Bernabé** con documento de identificación N° **0951624113** y por **Edison Alexander Reyna Zúñiga** con documento de identificación N° **0955176169**, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción **Dispositivo Tecnológico** que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 7 de septiembre del año 2024

Atentamente,



Ing. José Alexander Zambrano García, Mgtr
0703175521

DEDICATORIA

A mis amados padres. Este gran logro es un reflejo de todo el esfuerzo, de todo el trabajo que han venido haciendo, que lo hemos logrado. Esta tesis es prueba de su sacrificio, de su tiempo, dedicación y que orgullo poderlos honrar de esta manera. Agradeciendo por la paciencia y confianza que pusieron en mí, este logro, este éxito también se lleva sobre sus manos. A mi bisabuela que me apoya desde el cielo, que siempre me cuida y me protege este éxito, también es para ti.

Edison Reyna

Dedicado a mi familia, a mi madre más que todo ya que ha sido un pilar fundamental y a mis tías que han sido de mucho apoyo y nunca me dejaron solo, se han esforzado demasiado para yo poder llegar a este punto y poder seguir creciendo como persona y académicamente. Dedicado todo este esfuerzo a las personas que confiaron en mí y jamás me dejaron solo, simplemente tenía su apoyo y siempre me decían que lo lograría y sería un ingeniero en un futuro, a mi padre y a mi hermana que estuvo para mí siempre.

Daniel Yagual

AGRADECIMIENTO

Agradeciendo a Dios sobretodo por darme unos padres que nunca dejaron que me rinda, a mis heramas y a mi novia, a mi familia que de alguna u otra forma estuvieron presente para la finalización de este proyecto. A mis maestros que me dieron la base y los fundamentos para crecer tanto de manera ética como académica.

Edison Reyna

Agradecido primero con Dios por brindarme salud y sabiduría para poder llegar a este punto, A mi madre que jamás se dio por vencida para lograr graduarme, mis tías que nunca me dejaron solo y siempre estuvieron apoyandome, amistades que en este largo camino me ayudaron y a los buenos maestros que me enseñaron muchas cosas aparte de lo académico, pero más agradecido con Dios por darme la salud y fuerza para poder lograr esta meta.

Daniel Yagual

RESUMEN

El presente proyecto tiene como objetivo el diseño de un sistema para el transporte de las planchas de acero inoxidable, El sistema se basa en un puente Grúa con unas ventosas incorporadas para sujetar las planchas con un control para su movimiento. Para la implementación de este proyecto, se debe tomar en cuenta las dimensiones del área de trabajo para la implantación del Puente Grúa, así como la ubicación de las distintas máquinas en el área de trabajo donde se procesarán las planchas de acero inoxidable, todo este proceso será manejado por un control el cual será el encargado del manejo del Puente Grúa.

Finalmente, al conocer la posición donde será transportada la plancha de acero inoxidable, se procederá a la sujección de las mismas mediante las ventosas que serán activadas para transportarlas. Para esto se debe tener en cuenta la altura y la distancia que recorrerá, para que al momento de llegar al punto deseado se la descargue desactivando las ventosas para finalizar con el transporte de la plancha.

Palabras claves: Puente grúa, ventosas, planchas de acero inoxidable, sujección por ventosas.

ABSTRACT

The objective of this project is to transport the stainless-steel plates. The system is based on an bridge crane with built-in suction cups to transport the stainless-steel plates, with a control that can handle the Bridge crane. For the implementation of this project, the work area and dimensions must be considered to know where the Bridge Crane will be located and to know where the different machines are located in the work area to know where the stainless-steel plates will be transported. This entire process will be managed by a control which will oversee managing the Bridge Crane.

Finally, upon knowing the position where the stainless-steel plate will be transported, they will be secured using the suction cups that will be activated to transport them. For this, the height and the distance it will travel must be taken into account so that when reaching the desired point it must be lowered and then deactivate the suction cups to finish transporting the stainless-steel plates.

Keywords: Bridge crane, suction cups, stainless-steel plates, suction cup fastening.

ÍNDICE

| | | |
|-------------|--|-----------|
| I. | Problemas de estudio | 2 |
| II. | Justificación | 3 |
| III. | Objetivos | 4 |
| III-A. | Objetivo general | 4 |
| III-B. | Objetivos específicos | 4 |
| IV. | Matriz de objetivos | 4 |
| V. | Marco teórico referencial | 5 |
| V-A. | Sistema mecatrónico | 5 |
| V-B. | Sistema controlador | 5 |
| V-C. | Sistema neumático | 5 |
| V-D. | Puente grúa | 6 |
| V-E. | Ventosas de vacio | 6 |
| V-F. | Fusion 360 | 7 |
| V-G. | Norma CMAA 70 | 7 |
| V-H. | Clasificación de los puentes grúa | 8 |
| V-I. | Elementos de un puente grúa | 9 |
| V-J. | Estructura | 9 |
| V-K. | Mecanismos | 11 |
| V-L. | Movimiento del puente grúa | 13 |
| VI. | Metodología | 14 |
| VII. | Requerimientos del puente grúa | 14 |
| VII-A. | Criterios para la selección de equipos mecánicos | 15 |
| VII-B. | Cargas | 16 |
| VII-C. | Carga muerta (DL) | 16 |
| VII-D. | Carga del trolley(TL) | 16 |
| VII-E. | Carga nominal (LL) | 16 |
| VII-F. | Distancia entre almas | 16 |
| VII-G. | Cargas verticales por inercia (VIF) | 16 |
| VII-H. | Factor carga muerta(DLF) | 16 |
| VII-I. | Factor de carga de izaje (HLF) | 16 |
| VII-J. | Inercia debido al Uso (IFD) | 17 |
| VII-K. | VIGAS (Cálculos) | 18 |
| VII-L. | Viga Viajera | 18 |
| VII-M. | Cálculo viga testera | 23 |
| VII-N. | Cálculo de las columnas | 29 |
| VII-Ñ. | Cálculo de la viga carrilera | 32 |
| VII-O. | Dimensionamiento de ruedas de las testeras | 38 |
| VII-P. | Rodamientos del Trolley | 41 |
| VII-Q. | Cálculo de la potencia del polipasto | 43 |
| VII-R. | Cálculo de la potencia del Trolley | 44 |
| VII-S. | Fuerza de Succión de las Ventosas | 46 |
| VII-T. | Análisis de Estructura Mediante Software Fusion360 | 52 |
| VII-U. | Simulación de la Viga principal | 52 |

| | | |
|--------------|---|-----------|
| VII-V. | Simulación de esfuerzo de la Viga Testera | 54 |
| VII-W. | Simulación de esfuerzo de la Viga Carrilera | 55 |
| VIII. | Viabilidad económica | 56 |
| IX. | Resultados | 58 |
| IX-A. | Prototipo escala 1:6 | 60 |
| X. | Conclusiones | 63 |
| XI. | Recomendaciones | 64 |
| XII. | Cronograma | 65 |
| XIII. | Presupuestos y gastos | 66 |
| | Referencias | 67 |
| XIV. | ANEXOS | 69 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | | |
|-----|--|----|
| 1. | Arduino uno [6] | 5 |
| 2. | Puente Grúa [11] | 6 |
| 3. | Ventosas de aire [13] | 7 |
| 4. | Fusion360 Modelo [15]. | 7 |
| 5. | Puente grúa con la norma CMAA 70 [18]. | 8 |
| 6. | Grua de brazo [21]. | 8 |
| 7. | Grua torre [22]. | 9 |
| 8. | Puente grúa movil [23]. | 9 |
| 9. | Estructura de un puente grúa [24]. | 10 |
| 10. | Viga Principal [24]. | 10 |
| 11. | Polipasto [26]. | 10 |
| 12. | Vigas testeras [26]. | 11 |
| 13. | Unión viga- Testeros [26]. | 11 |
| 14. | Mecanismo de Traslación [26]. | 12 |
| 15. | Mecanismo de Elevación [26]. | 12 |
| 16. | Mecanismo de tralación del carro o Polipasto [26]. | 12 |
| 17. | Dimensiones Del Puente Grúa [26]. | 14 |
| 18. | Viga viajera [29]. | 18 |
| 19. | Apoyos simples: cargas idénticas [30] | 18 |
| 20. | Diagrama Viga Viajera [31] | 20 |
| 21. | Análisis estático [29] | 20 |
| 22. | Grafico momento Máximo | 22 |
| 23. | Plano detallado de la viga testera [29] | 23 |
| 24. | Diagrama de viga testera [29] | 24 |
| 25. | Diagrama de Viga Testera [31] | 25 |
| 26. | Diagrama Fuerza cortante viga testera [29] | 26 |
| 27. | Deflex Máximo de la viga testera [29] | 26 |
| 28. | Diagrama de la Viga carrilera [31] | 32 |
| 29. | Comportamientos esperado 1 [29] | 33 |
| 30. | Análisis viga carrilera [29] | 34 |
| 31. | Diagrama Fuerza cortante [29] | 34 |
| 32. | Diagramas de cargas [31] | 36 |
| 33. | Rueda | 38 |
| 34. | D.C.L de rueda | 39 |
| 35. | Selección de Rodamientos. | 41 |
| 36. | Selección del trolley [31] | 45 |
| 37. | Ventosa [29] | 47 |
| 38. | Tablas de bombas de Vacío [29] | 50 |
| 39. | Diagrama Eléctrico de las ventosas [29] | 51 |
| 40. | Arrancador y protección del motor [29] | 51 |
| 41. | Simulación factor de seguridad de viga viajera | 52 |
| 42. | Simulación deflexión de la viga viajera | 52 |
| 43. | Simulación de esfuerzos Von mises de la viga viajera | 53 |
| 44. | Deflexión de la viga testera | 54 |
| 45. | simulación de esfuerzos von mises viga testera | 54 |
| 46. | Factor de seguridad | 54 |
| 47. | Simulación deflexión viga carrilera | 55 |
| 48. | Simulación de esfuerzos von mises viga carrilera | 55 |
| 49. | Simulación factor de seguridad viga carrilera | 55 |

| | | |
|-----|-----------------------------------|----|
| 50. | Control del puente grúa | 60 |
| 51. | Circuito | 60 |
| 52. | Motor del eje principal | 61 |
| 53. | Motor del eje Y | 61 |
| 54. | Motor del eje Z | 61 |
| 55. | Ventosas | 62 |
| 56. | Plano de viga testera | 69 |
| 57. | Plano de viga viajera | 70 |
| 58. | Plano de viga carrilera | 71 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | | |
|-------|--|----|
| I. | Matriz de objetivos específicos | 4 |
| II. | Sección viga viajera | 19 |
| III. | Perfil de Viga | 25 |
| IV. | Selección de tubo rectangular | 29 |
| V. | Selección viga carrilera | 33 |
| VI. | Determinación de diámetro | 38 |
| VII. | Rodamientos viga testera | 40 |
| VIII. | Rodamientos trolley | 42 |
| IX. | Elección Polipasto de cadena DC-Pro | 43 |
| X. | Constantes calculadas | 45 |
| XI. | Selección de la testera | 46 |
| XII. | Coefficiente de fricción | 46 |
| XIII. | Selección de ventosas - caudal | 49 |
| XIV. | Tabla de resultados | 59 |
| XV. | Cronograma de Actividades para Implementación del Proyecto de Tesis. | 65 |
| XVI. | Cotización de materiales. | 66 |

INTRODUCCIÓN

La industria moderna enfrenta constantemente el desafío de optimizar los procesos de producción para aumentar la eficiencia, reducir costos y garantizar la seguridad laboral. En este contexto, el transporte de chapa se convierte en uno de los desafíos de la industria debido al riesgo de daños materiales. Como elemento importante en el transporte de mercancías, las grúas desempeñan un papel decisivo en la optimización de los procesos industriales.

Tradicionalmente, estos equipos dependían de sistemas mecánicos de sujeción como ganchos y cadenas para transportar la carga. Sin embargo, estos métodos tienen limitaciones en términos de precisión, seguridad y versatilidad, especialmente cuando se manipulan materiales frágiles o de formas irregulares.

Para abordar estas limitaciones, se introdujo una innovadora tecnología de montaje con ventosa, que proporciona una solución prometedora para el procesamiento de chapa metálica.

Este método utiliza el principio de vacío para fijar la ventosa a la superficie de carga, eliminando la necesidad de puntos de fijación adicionales y minimizando el riesgo de daños a la propiedad.

El objetivo del trabajo fue desarrollar un puente grúa eficiente y seguro mediante el método de ventosa para el transporte de chapa en un entorno industrial y estudiar los aspectos fundamentales de su diseño, fabricación e implementación de este innovador sistema.

Después de analizar las características y requisitos del trabajo de chapa, así como las tecnologías de montaje con ventosa existentes, el objetivo era desarrollar una grúa horizontal que pudiera garantizar la eficiencia operativa, la seguridad de los empleados y la seguridad de las mercancías.

Este trabajo no sólo promoverá el desarrollo de equipos de manipulación de materiales, sino que también proporcionará información valiosa para la mejora continua de los procesos de fabricación, fomentando la innovación y la competitividad en la industria de fabricación.

CAPÍTULO 1

I. PROBLEMAS DE ESTUDIO

El proyecto surge a raíz de los accidentes que pueden ocurrir en los sistemas de sujeción de planchas de metal. Se plantea disminuir el riesgo para la seguridad personal de los trabajadores del sector industrial y la concurrencia de accidentes. Es importante que el mantenimiento del equipo sea realizado por especialistas debidamente autorizados. En general, se deben manipular objetos pesados en operaciones de elevación que involucran equipos mecánicos, generalmente una grúa o un puente grúa. En España estas actividades presentan riesgo de aplastamiento por caída de cargas, por lo que se deben tener en cuenta las medidas mínimas generales de seguridad recogidas en el Real Decreto 1257 [1].

De los accidentes de trabajo durante el trabajo por profesión, 14.985 fueron conocidos de maquinistas y montadores, 20.689 de conductores y operadores de equipos móviles y 11.054 de maquinistas [1].

Se habla de los problemas de manipulación de paneles y accidentes que pueden ocurrir por malos hábitos de operación durante el proceso de mecanizado. Los tipos de accidentes que suelen suceder durante la manipulación de las planchas metálicas son debido a varios factores como, por ejemplo: la falta de capacitación, la falta de equipo de protección personal, la fatiga, la falta de procedimientos de trabajo seguros, el mal manejo de las herramientas y la falta de comunicación segura y efectiva entre los trabajadores [2].

Para solucionar este tipo de problemas es necesario tomar medidas preventivas. Esto incluye brindar a los empleados una capacitación adecuada sobre cómo usar las planchas de manera segura, proporcionar el equipo de protección personal necesario (como guantes, gafas protectoras y cascos), implementar procedimientos de trabajos seguros y fomentar una cultura de seguridad colectiva en el trabajo [3].

II. JUSTIFICACIÓN

Para ello, el proyecto se apoya en un estudio técnico que propone una mejora efectiva de los sistemas tradicionales mediante procesos de automatización industrial, proponiendo el uso de sistemas de sujeción que permitan el movimiento de láminas metálicas, reduciendo la sobrecarga y la fatiga del operador.

Los beneficios de este proyecto son: automatización de procesos, reducción de fatiga laboral, mejor producción en menos tiempo y mayor eficiencia.

El desarrollo de este sistema será esencial para poder optimizar el tiempo de trabajo de manipulación de las planchas, salvaguardar la integración física del operador y los demás trabajadores no deberán abandonar su puesto de trabajo por venir a cooperar a maniobrar las planchas metálicas.

También nos servirá para mantener la calidad del producto (planchas metálicas), en buen estado ya que no se manipulará por el operador directamente, el material no sufrirá rayas profundas, punzadas ni manchas.

Se debe capacitar al personal que rodee el área de trabajo donde vaya a hacer utilizado el Puente grúa, con esto se estará cuidando el bienestar de o los operadores ya que no todos saben aplicar el tema de la ergonomía al momento de manipular las planchas y puede causar múltiples lesiones.

Todo este sistema reduce y facilita también a ordenar las planchas metálicas según se vayan utilizando, De igual manera a recoger los retazos y ordenarlos los que vayan quedando de los cortes que se vayan haciendo de manera consecutiva.

III. OBJETIVOS

III-A. Objetivo general

Desarrollar un sistema de puente grúa para transporte de placas metálicas utilizando sujeción por ventosas.

III-B. Objetivos específicos

- Diseñar el sistema mecatrónico del puente de grúa incluyendo el sistema neumático de ventosas y el controlador electrónico para el manejo del mecanizado.
- Desarrollar el prototipo a escala del puente grúa para transporte de placas metálicas utilizando sujeción por ventosas.
- Evaluar la viabilidad del sistema de sujeción y transporte mediante un análisis técnico económico.

IV. MATRIZ DE OBJETIVOS

Tabla I: Matriz de objetivos específicos

| Plantamientos | Metas | Indicadores |
|---|--|--|
| 0.1 Diseñar el sistema mecatrónico del puente de grúa incluyendo el sistema neumático de ventosas y el controlador electrónico para el manejo del mecanizado. | Diseño mecatrónico del 100 % del sistema del puente grúa incluido la programación y la simulación del manejo del mecanizado. | Cálculos mecánicos, simulaciones mecánicas y neumáticas. Diagramas de automatización, simulación del manejo del mecanizado. Informe de funcionamiento del sistema de ventosas. |
| 0.2 Desarrollar el prototipo a escala del puente grúa para sujeción de placas metálicas mediante ventosas. | Prototipo fabricado al 100 % y funcionando según los parámetros establecidos. | Informe de cumplimiento de la funcionalidad del prototipo. |
| 0.3 Evaluar la viabilidad del sistema de sujeción y transporte mediante un análisis técnico-económico. | Identificar los parámetros para la evaluación del sistema. | Informe del análisis técnico-económico del sistema. |

V. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

V-A. Sistema mecatrónico

Es un proceso que combina habilidades mecánicas, electrónicas, informáticas y de automatización para crear y diseñar sistemas que optimicen los procesos industriales. Una de sus principales tareas es colaborar en diferentes actividades para conseguir una mayor agilidad y una precisión superior.

También se basa en algunas partes básicas como lo son: estructural, también conocida como parte central del sistema. Su finalidad es unir todos los componentes del sistema.

Los sensores se encargan de identificar y convertir elementos físicos o químicos en variables eléctricas. Los actuadores son responsables de realizar acciones en un sistema, como los motores. La función del controlador es monitorear todas las operaciones de sincronización del sistema, como el conteo lógico; una interfaz es un canal a través del cual se conectan las unidades constituyentes de un sistema complejo [4].

V-B. Sistema controlador

Arduino Uno es una placa microcontroladora de código abierto desarrollada por Arduino.cc basada en el chip ATmega328P. La placa tiene varios conjuntos de pines de entrada/salida digitales y analógicas para conectar varias tarjetas de expansión y circuitos adicionales. Tiene 14 pines digitales y 6 analógicos y se puede programar utilizando el entorno de desarrollo integrado (IDE) de Arduino mediante un cable USB tipo B. Puede funcionar con un cable USB y una batería externa de 9 V y acepta 7 V y 20 V [5].



Figura 1: Arduino uno [6]

V-C. Sistema neumático

Los sistemas neumáticos se apoyan en el uso de gas, para transmitir potencia a equipos mecánicos[7].

Si se utiliza líquido en lugar de gas, se denomina "sistema hidráulico". La neumática industrial se centra en el estudio y aplicación de gases comprimidos para mantener una presión constante.

Generalmente, los sistemas neumáticos utilizan un compresor de aire para reducir el volumen de aire y aumentar la presión del aire.

Este gas comprimido se distribuye a través de mangueras neumáticas y se controla mediante válvulas en su camino hacia el actuador.

La filtración y el monitoreo continuos del suministro de aire son esenciales para garantizar el funcionamiento eficiente del sistema.

Además, todos los componentes deben funcionar correctamente. El control neumático industrial o sistema de control neumático se refiere a un dispositivo mecánico o una serie de dispositivos que utilizan aire comprimido para realizar tareas específicas [8].

V-D. Puente grúa

Un puente grúa es una maquinaria de gran tamaño utilizada para transportar objetos pesados de un lugar a otro. Se encuentra montado sobre una viga que se desplaza a lo largo del techo y se utiliza para levantar y mover objetos que superan la capacidad de carga humana. Existen diferentes tipos de puentes grúa que se utilizan en diversos sectores industriales [9].

La denominación "puente grúa" proviene de su estructura que se asemeja a un puente sobre el objeto que se desplaza. Por lo general, consta de dos vigas principales: una que se encuentra montada en el techo y otra llamada "viga del carro" que cuelga debajo de ella. La viga del carro cuenta con un carro que se desplaza a lo largo de la viga principal y se utiliza para sujetar el objeto que se va a mover [10].

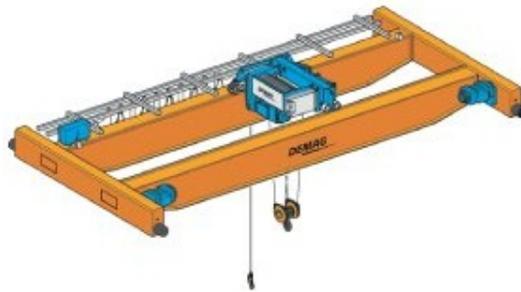


Figura 2: Puente Grúa [11]

V-E. Ventosas de vacío

Una pinza de vacío es una herramienta que se utiliza para agarrar objetos y actúa como punto de unión entre el robot y la pieza. Se adhiere a la pieza mediante presión de vacío, creando una diferencia de presión. Ventilar la presión del aire hacia el exterior crea una presión negativa que le permite sostener objetos. Es importante recordar que la diferencia de presión entre el interior y el exterior de la ventosa la crea el generador de vacío, que se encarga de aspirar aire hacia el interior de la ventosa. El sistema de vacío diferencial es el componente principal del sistema de medición de gas [12].

Su principal función es la transición de alta presión desde el objetivo del gas al acelerador, al tiempo que permite la transmisión de un haz de alta intensidad. El diseño óptimo de un sistema de vacío diferencial requiere un equilibrio entre el gran diámetro requerido para entregar un haz de alta intensidad y el pequeño diámetro requerido para proporcionar una alta presión diferencial [7].



Figura 3: Ventosas de aire [13]

V-F. Fusion 360

Fusion 360 es una plataforma de software en la nube que integra herramientas de modelado 3D, CAD, CAM, CAE y diseño de circuitos impresos. Está diseñada para facilitar el proceso completo de diseño y fabricación de productos. Con Fusion 360, puedes crear y diseñar productos según tus preferencias, asegurando un ajuste preciso, una estética atractiva y un funcionamiento óptimo. Además, la plataforma ofrece una amplia gama de componentes electrónicos y herramientas de diseño de circuitos impresos, permitiéndote realizar proyectos personalizados y detallados. Utilizar Fusion 360 te permite ahorrar tiempo y dinero al agilizar la fabricación de piezas de alta calidad. La integración de todas las funcionalidades en una sola plataforma simplifica el proceso y aumenta la eficiencia en el diseño y producción [14].

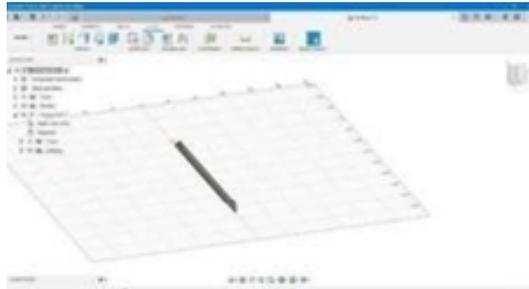


Figura 4: Fusion360 Modelo [15].

DISEÑO DEL PUENTE GRÚA

V-G. Norma CMAA 70

Las siglas CMAA significan Crane Manufacturers Association of America, es una asociación que establece las normas para la industria de grúas y equipo de manejo de materiales [16], donde la Norma CMAA 70 establece los requisitos para el diseño, construcción, operación y prueba de los puente grúa y pórticos para el uso en la industria [17].



Figura 5: Puente grúa con la norma CMAA 70 [18].

V-H. Clasificación de los puentes grúa

Un puente grúa es un mecanismo que levanta objetos pesados y su importancia en la industria debido a la flexibilidad de los mecanismos, mueve cargas pesadas a diferentes lugares según sea necesario [19].

Un Puente Grúa se define como una máquina formada por varios elementos y mecanismos cuya función es movilizar cargas ya sea pesadas o livianas en su espacio de un lugar a otro. Su uso es exclusivamente donde es instalado ya que trasladarlo es imposible ya que son hechos con las dimensiones y medidas donde estuvo instalado [20].

Los movimientos de los puentes grúas su rango de movimiento es a lo largo y ancho del lugar instalado, aunque las grúas son clasificadas según su movimiento como: .

- Fijas

Son aquellas las que no son capaces de desplazarse como por ejemplo una grúa de brazo.



Figura 6: Grúa de brazo [21].

- Portátiles

Son Grúas que pueden ser desensambladas y pueden ser llevadas a otro lugar como las grúas que son utilizadas para las construcciones en la calle ya sea edificios o arreglar las calles estas se llaman Grúa Torre.



Figura 7: Grúa torre [22].

- Móviles

Son las que pueden realizar movimientos de desplazamiento, sobre rieles, sobre las ruedas u otras formas. En este se encuentra el Puente Grúa .



Figura 8: Puente grúa móvil [23].

V-I. Elementos de un puente grúa

Cuando hablamos de los elementos del puente grúa estos se clasifican en 2 grandes grupos que son:

- Estructura

Esto se refiere a los componentes que tiene un Puente Grúa pero no se toma en cuenta el mecanismo.

- Mecanismo

Son los encargados que sea posible el movimiento del carro, la carga y lo más importante la estructura.

V-J. Estructura

La estructura de los puentes gruas es normalmente general, en todos los puentes gruas mantiene los mismos elementos.

- 1 Polipasto o carro móvil principal.
- 2 Viga principal de la Grúa.
- 3 Chapas de unión.

- 4 Vigas testeras o testeros.
- 5 Motor de traslación del puente.
- 6 Mando de control (esto depende de la persona ya que puede tener un control de botones, por bluetooth, etc).
- 7 Gancho de amortiguación.
- 8 Equipamiento eléctrico.
- 9 Ventosas de Sujeción (en este caso se incluyen ya que en este proyecto están implementadas).
- 10 Cableado (Fuente y cable de alimentación eléctrica).

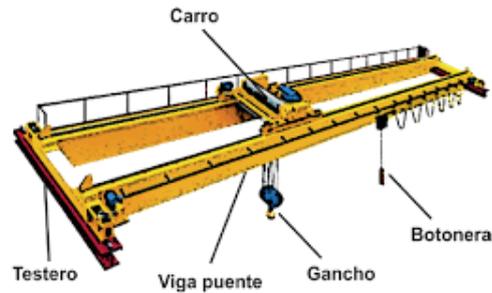


Figura 9: Estructura de un puente grúa [24].

- Viga principal

Es la parte principal de la estructura. Su función es soportar el carro que se ira movilizando y de manipular cargas por lo que es una parte esencial de la estructura. El plano estructural de la grúa para este proyecto es una viga de grúa. La línea principal será una curva con una sección transversal variable correspondiente. En las mismas condiciones que en vivo. Esto debe tenerse en cuenta a la hora de diseñar debido a la curvatura, la carga se dividirá en axial y axial vertical [25].



Figura 10: Viga Principal [24].

- Carro principal- Polipasto

El carro principal o también llamado Polipasto sera el encargado de moverse por el eje x, y, z en pocas palabras el encargado en subir, bajar o mover la carga por toda la viga principal.



Figura 11: Polipasto [26].

- Vigas testeras – Unión viga - Testeros

También llamadas vigas de extramo o vigas laterales donde va a estar ubicadas las vigas principales donde se deslizarán en la superficie o rodaran sobre los carriles donde su función principal es derivar los esfuerzos que generará la viga principal. Dentro de ellas están ubicadas las ruedas que serán el apoyo de la estructura [Figura 13] y en la Unión viga- Testeros esta es la encargada de transmitir el esfuerzo de la viga principal a las laterales (Testeras), y debe soportar todos los esfuerzos y por esa razón debe ser la más resistente y bien rígida. Pero para eso se realiza mediante diferentes elementos y procedimientos que deberán asegurar su rigidez. [Figura 12] Estos se pueden distinguir en dos procedimientos de Unión que son:



Figura 12: Vigas testeras [26].



Figura 13: Unión viga- Testeros [26].

1. **Chapa frontal** Por regla general, los perfiles de la viga principal no tienen extremos fijos que sobresalgan de la superficie misma del perfil. Por este motivo, además de facilitar el montaje y aumentar la resistencia, por esa misma razón la viga principal se suelda a una chapa que debe tener el mismo tamaño que la superficie del perfil. Por eso esta misma se llama Chapa frontal que debe estar conectada a la estructura [25].
2. **Unión atornillada** Se debe unir la viga principal a las vigas testeras que fueron elegidas entre las mejores opciones posibles, estas deben tener una Unión atornillada a ambos lados de la viga principal.

V-K. Mecanismos

El mecanismo que necesita este puente grúa para poder operar son los siguientes:

- **Mecanismo de traslación del puente**

Este es el responsable de toda la transmisión. Se trata de 2 motores gemelos con las mismas características que funcionarán de una manera sincronizada para evitar movimientos oblicuos. Como el diseño incluye un microcontrolador estos eliminarán dicho movimiento de balanceo.



Figura 14: Mecanismo de Traslación [26].

- ***Mecanismo de elevación de carga***

En cambio este será el responsable de levantar y bajar la carga. Este módulo de potencia más alto de toda la estructura y también posee algunos sistemas de seguridad por lo peligroso que es levantar algún peso y tenerlo en el aire.



Figura 15: Mecanismo de Elevación [26].

- ***Mecanismo de traslación del carro o Polipasto***

Este es el encargado de movilizar y transportar la carga a lo largo de la viga principal en el movimiento horizontal por la estructura.



Figura 16: Mecanismo de tracción del carro o Polipasto [26].

V-L. Movimiento del puente grúa

Los tres movimientos que realiza un puente grúa que son : Traslación del puente, Orientación del carro y la Elevación y descenso. [27]

1.- Traslación del puente

Es el movimiento que realiza en la dirección horizontal de la estructura donde este ubicado.

2.- Orientación del carro

Este hará movimientos horizontales y transversales a la estructura, quiere decir que sera trasladado por lo largo del puente.

3.- Elevación y descenso

Es la subida y bajada de la carga que será sujeta al gancho y en este caso a la ventosas de sujección con la ayuda de la viga (cable principal).

VI. METODOLOGÍA

La implementación del puente grúa consta de 2 partes principales: la parte estructural y mecánica del puente grúa y, el sistema eléctrico y electrónico. El puente grúa se compone de la viga viajera, un polipasto con un carro que se traslada a lo largo de la viga viajera, 2 testeras que permiten el movimiento de la viga viajera a lo largo del galpón, las vigas carrileras sobre las que se apoyan las testeras y el sistema de sujeción mediante ventosas. El tablero de control(gabinete) se tendrá puesto al final en uno de los topes del cabezal, el sistema de rieles es importante para el movimiento principal del polipasto y el carro. Para poder implementar este sistema se debe tener en cuenta la capacidad o carga nominal, luz o trocha, altura de izaje, tipo de ambiente y tiempo de operación. El puente grúa también constará con 4 soportes(patatas) para afirmar el peso del puente grúa y el sistema de ventosas. El sistema de ventosas constará de 9 ventosas adheridas al sistema de cadena o polea, este sistema deberá de constar con filtros, reguladores de presión y válvulas de control, así mismo como un control electrónico tipo botonera para controlar el sistema del puente grúa y el sistema de las ventosas.

Antes de poner en funcionamiento el puente grúa con ventosas, se realizarán pruebas exhaustivas del sistema. Se verificará la capacidad de carga, la estabilidad de las ventosas, la eficiencia del sistema de vacío y la precisión en el manejo de la carga.

VII. REQUERIMIENTOS DEL PUENTE GRÚA

- 1) LA CARGA MÁXIMA A TRANSPORTAR CORRESPONDIENTE A UNA PLANCHA ASTM A36 DE 1.22X2.44x10mm : 230 Kg .
- 2) EL RECORRIDO LONGITUDINAL DE LA PLANCHA: 5m
- 3) LUZ DEL PUENTE GRÚA: 2.60m
- 4) EL RECORRIDO DE LA VIGA CARRILERA: 6m
- 5) LA ALTURA MÁXIMA DE ELEVACIÓN: 6m
- 6) EL TIEMPO DE TRANSPORTE DE LA PLANCHA: 1MIN
- 7) LA SUJECCIÓN DEBE SER POR VENTOSAS PARA NO DAÑAR LA PLANCHA

DIMENSIONES APROXIMADAS GENERALES DEL PUENTE GRÚA A DISEÑAR

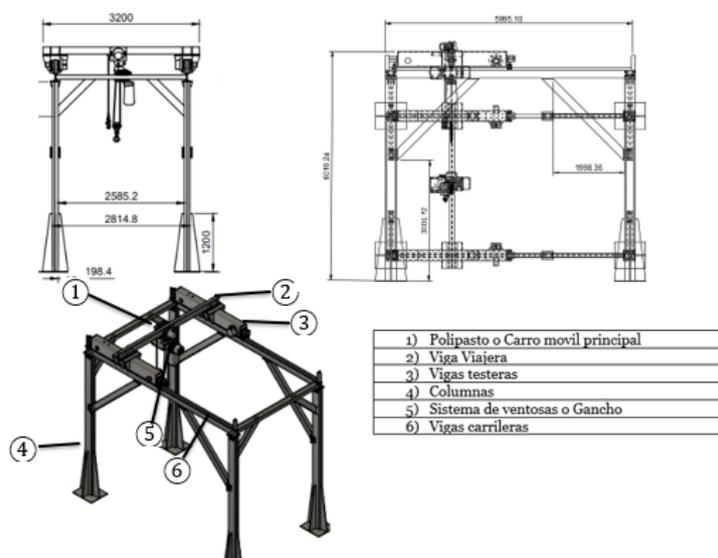


Figura 17: Dimensiones Del Puente Grúa [26].

VII-A. Criterios para la selección de equipos mecánicos

Cálculos estructurales: Partes involucradas:

1. Viga viajera
2. Viga testera
3. Viga carrilera

Material seleccionado: Acero ASTM - A36 (acero estructural para puentes grúa, Norma CMMA-70).
 $S_y = 250MPa$.

$$t = \frac{2xHxNxT}{60xV}$$

Donde:

H = Altura elev. Media = 6 m (altura que será elevada)

N = número de ciclos trabajo/hora = 10 ciclos/hora (transporte de 5 planchas de acero por hora)

T = tiempo de func. Diario = 8 horas

V = vel/elev. = 12 m/min (norma CMMA – 70)

Normativa y estándares de seguridad: La norma CMMA (Crane Manufacturers Association of America) establece estándares y directrices para la industria de grúas y equipos de manejo de materiales. Si la norma CMMA - 70 especifica una velocidad de elevación de 12 metros por minuto, esta velocidad puede considerarse segura y adecuada para una amplia gama de aplicaciones industriales [17].

Capacidad de control y precisión: Una velocidad de elevación más lenta, como 12 metros por minuto, puede proporcionar un mayor nivel de control y precisión durante las operaciones de elevación. Esto es especialmente importante cuando se manejan cargas pesadas o delicadas que requieren un posicionamiento exacto.

Seguridad del personal: Una velocidad de elevación más lenta puede reducir el riesgo de accidentes y lesiones para el personal que opera la grúa o trabaja cerca de ella. Permite más tiempo para que los operadores reaccionen y tomen medidas correctivas en caso de cualquier problema durante la elevación de la carga [28].

Menor desgaste del equipo: Una velocidad de elevación más lenta puede ayudar a reducir el desgaste del equipo, incluidos los cables, poleas y otros componentes del sistema de izaje. Esto puede resultar en una vida útil más larga del equipo y menos necesidad de mantenimiento y reparaciones.

Adaptación a las necesidades de la carga: Dependiendo del tipo de carga y las condiciones de trabajo, una velocidad de elevación más lenta puede ser más adecuada para garantizar la estabilidad y seguridad durante el proceso de elevación.

$$t = \frac{2x6x10x8}{60x12} = 1,33 \frac{horas}{dias}$$

VII-B. Cargas

VII-C. Carga muerta (DL)

Es una carga que su valor es fijo, eso quiere decir que es el peso propio de la viga principal.

VII-D. Carga del trolley (TL)

El peso del Trolley y lo que este sujeto al mismo.

VII-E. Carga nominal (LL)

Es lo máximo que será aplicado en cada trabajo, incluyendo todos los accesorios de elevación que serán utilizados en la manipulación de la carga.

VII-F. Distancia entre almas

Se refiere las vigas, quiere decir la distancia entre vigas.

VII-G. Cargas verticales por inercia (VIF)

Estas cargas son por los movimientos del polipasto cuando está operando y se consideran algunos factores como:

VII-H. Factor carga muerta (DLF)

Este factor solo se aplica en la carga muerta del polipasto también al trolley y a los componentes.

VII-I. Factor de carga de izaje (HLF)

Esta debería ser aplicado en la carga nominal que se habló anteriormente. Este factor de carga es para puentes grúas que operan normalmente.

El HLF se calcula dividiendo la carga máxima permitida por el fabricante del equipo entre la carga real que se va a izar. En otras palabras:

$$HLF = \frac{\text{cargamáximapermitida}}{\text{cargareal}}$$

Dado que se está considerando cargar 230 kg y se desea teorizar el HLF, se necesitará conocer la carga máxima permitida por el fabricante del equipo de izaje que se estará utilizando.

Masa de polipasto estimado: 54 kg (Polipasto seleccionado: Polipasto de cadena Demag DC-Pro, capacidad de carga: 1000 kg/1ton).

Masa máxima a izar: 1000 Kg

Masa carga total: 1054 kg

$$W_{cg} = 1054kg \left(\frac{9,81m}{s^2} \right) = 10339,74N$$

$$W t = 54kg \left(\frac{9,81m}{s^2} \right) = 529,2N$$

Factores de carga:

Vel. Elev: $39.37 \text{ ft/min} \cong 40 \text{ ft/min}$

Velocidad de Elevación (Vel. Elev): Esta velocidad se refiere a la velocidad a la que se eleva la carga verticalmente. Una velocidad de elevación de 39.37 pies por minuto (aproximadamente 40 pies por minuto) es una velocidad común en muchos sistemas de grúas y polipastos. Esta velocidad suele ser adecuada para la mayoría de las operaciones de elevación y permite un control preciso de la carga.

Vel.Despl.Trolley (accionamiento traslación E11 a toda carga): $24\text{m/min} = 78.74 \cong 79 \text{ ft/min}$

Velocidad de Desplazamiento del Trolley: Esta velocidad se refiere a la velocidad a la que se mueve el trolley a lo largo del puente de la grúa. Una velocidad de 24 metros por minuto (aproximadamente 79 pies por minuto) es típica en muchas aplicaciones industriales. Esta velocidad permite un desplazamiento eficiente del trolley con carga completa.

Vel. Despl. Puente Grúa: $40\text{m/min} = 131.23 \text{ ft/min} \cong 132 \text{ ft/min}$

Velocidad de Desplazamiento del Puente de la Grúa: Esta velocidad se refiere a la velocidad a la que se mueve el puente de la grúa a lo largo de los rieles de soporte. Una velocidad de 40 metros por minuto (aproximadamente 132 pies por minuto) es una velocidad estándar en muchas grúas de puente. Esta velocidad permite un desplazamiento rápido y eficiente del puente de la grúa, lo que puede ser necesario para la productividad en entornos industriales.

Factor carga muerta:

$$1.1 \leq DLF \leq 1,2$$

$$DLF_t = 1,05 + \frac{79}{2000} = 1,09 \cong 1,10$$

$$DLF_P = 1,05 + \frac{132}{2000} = 1,116 \cong 1,12$$

Factor elevación:

$$0.15 \leq HLF \leq 0,50$$

$$HLF = 0.05 * 40 = 0.2$$

VII-J. Inercia debido al Uso (IFD)

$$IFD = 10339.74 * 0.025 = 258.49 \text{ N}$$

Cargas combinadas:

Se divide a la ecuación original entre 2 debido a los apoyos del trolley sobre la viga viajera

$$P = \frac{(529,2 (1,1) + 10339,74 (1 + 0,2) + 258,49) \text{ N}}{2}$$

$$P = 6.624,149 \text{ N} \cong 6,62 \text{ kN}$$

VII-K. VIGAS (Cálculos)

VII-L. Viga Viajera

. LONGITUD DE VIGA : 3.20m

Carga soportar

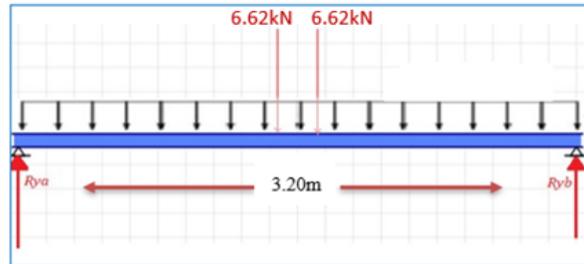


Figura 18: Viga viajera [29]

Este diagrama muestra una viga apoyada, sometida a unas cargas puntuales distribuidas a lo largo de su longitud.

Longitud de viga: 3200mm

DEFLEXIÓN SEGÚN NORMA:

$$y_{max} < \frac{l}{888}; y_{max} < \frac{3200mm}{888}$$

$$y_{max} < 3,60mm \text{ o } 0,0036m$$

De momento de inercia referencial

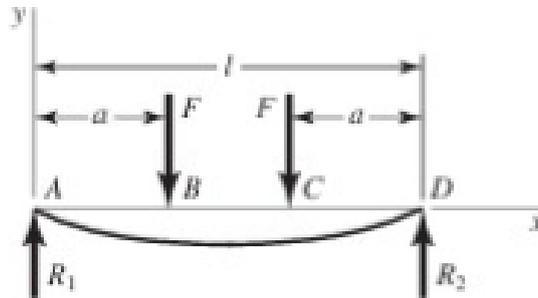


Figura 19: Apoyos simples: cargas idénticas [30]

La figura[19]es un diagrama de cuerpo libre (DCL) de una viga apoyada, sometida a dos cargas puntuales iguales en magnitud y en los apoyos

$$I = \frac{F \cdot a}{24 \cdot E \cdot y_{max}} [3l^2 - 4a^2]$$

E=200 GPa. (módulo elasticidad acero ASTM-A36)

a = Distancia desde el apoyo hasta la fuerza

F= Fuerza aplicada= 6624.149 N
 Ymax= Deflexión máxima
 l= Longitud de la viga
 a= 1.541m
 0.118m= distancia entre centros
 3.20m= longitud de la viga viajera

$$a = \frac{3,20m - 0,118m}{2} = 1,541m$$

$$I = \frac{6624,149 \cdot 1,541}{24(200 \cdot 10^9) \cdot 0,0036} \left[3(3,2)^2 - 4(1,54)^2 \right]$$

$$I = 12,53 \cdot 10^{-6} m^4$$

$$I = 12,53 \cdot 10^6 mm^4$$

Tabla II: Sección viga viajera

| Secciones doble T o perfiles W en unidades SI | | | | | | | | | | | |
|---|-----------------|---------------|---------------------------------|----------------------|------------------------|---------------------------------|---------------------------------|------|---------------------------------|---------------------------------|------|
| Designación | Área A | Profundidad d | Espesor del alma t _w | Ala | | Eje x-x | | | Eje y-y | | |
| | | | | ancho b _y | espesor t _f | I | S | r | I | S | r |
| mm x kg/m | mm ² | mm | mm | mm | mm | 10 ⁶ mm ⁴ | 10 ³ mm ³ | mm | 10 ⁶ mm ⁴ | 10 ³ mm ³ | mm |
| W310 x 129 | 16 500 | 318 | 13.10 | 308.0 | 20.6 | 308 | 1940 | 137 | 100 | 649 | 77.8 |
| W310 x 74 | 9 480 | 310 | 9.40 | 205.0 | 16.3 | 165 | 1060 | 132 | 23.4 | 228 | 49.7 |
| W310 x 67 | 8 530 | 306 | 8.51 | 204.0 | 14.6 | 145 | 948 | 130 | 20.7 | 203 | 49.3 |
| W310 x 39 | 4 930 | 310 | 5.84 | 165.0 | 9.7 | 84.8 | 547 | 131 | 7.23 | 87.6 | 38.3 |
| W310 x 33 | 4 180 | 313 | 6.60 | 102.0 | 10.8 | 65.0 | 415 | 125 | 1.92 | 37.6 | 21.4 |
| W310 x 24 | 3 040 | 305 | 5.59 | 101.0 | 6.7 | 42.8 | 281 | 119 | 1.16 | 23.0 | 19.5 |
| W310 x 21 | 2 680 | 303 | 5.08 | 101.0 | 5.7 | 37.0 | 244 | 117 | 0.986 | 19.5 | 19.2 |
| W250 x 149 | 19 000 | 282 | 17.30 | 263.0 | 28.4 | 259 | 1840 | 117 | 86.2 | 656 | 67.4 |
| W250 x 80 | 10 200 | 256 | 9.40 | 255.0 | 15.6 | 126 | 984 | 111 | 43.1 | 338 | 65.0 |
| W250 x 67 | 8 560 | 257 | 8.89 | 204.0 | 15.7 | 104 | 809 | 110 | 22.2 | 218 | 50.9 |
| W250 x 58 | 7 400 | 252 | 8.00 | 203.0 | 13.5 | 87.3 | 693 | 109 | 18.8 | 185 | 50.4 |
| W250 x 45 | 5 700 | 266 | 7.62 | 148.0 | 13.0 | 71.1 | 535 | 112 | 7.03 | 95 | 35.1 |
| W250 x 28 | 3 620 | 260 | 6.35 | 102.0 | 10.0 | 39.9 | 307 | 105 | 1.78 | 34.9 | 22.2 |
| W250 x 22 | 2 850 | 254 | 5.84 | 102.0 | 6.9 | 28.8 | 227 | 101 | 1.22 | 23.9 | 20.7 |
| W250 x 18 | 2 280 | 251 | 4.83 | 101.0 | 5.3 | 22.5 | 179 | 99.3 | 0.919 | 18.2 | 20.1 |
| W200 x 100 | 12 700 | 229 | 14.50 | 210.0 | 23.7 | 113 | 987 | 94.3 | 36.6 | 349 | 53.7 |
| W200 x 86 | 11 000 | 222 | 13.00 | 209.0 | 20.6 | 94.7 | 853 | 92.8 | 31.4 | 300 | 53.4 |
| W200 x 71 | 9 100 | 216 | 10.20 | 206.0 | 17.4 | 76.6 | 709 | 91.7 | 25.4 | 247 | 52.8 |
| W200 x 59 | 7 580 | 210 | 9.14 | 205.0 | 14.2 | 61.2 | 583 | 89.9 | 20.4 | 199 | 51.9 |
| W200 x 46 | 5 890 | 203 | 7.24 | 203.0 | 11.0 | 45.5 | 448 | 87.9 | 15.3 | 151 | 51.0 |
| W200 x 36 | 4 570 | 201 | 6.22 | 165.0 | 10.2 | 34.4 | 342 | 86.8 | 7.64 | 92.6 | 40.9 |
| W200 x 22 | 2 860 | 206 | 6.22 | 102.0 | 8.0 | 20.0 | 194 | 83.6 | 1.42 | 27.8 | 22.3 |
| W150 x 37 | 4 730 | 162 | 8.13 | 154.0 | 11.6 | 22.2 | 274 | 68.5 | 7.07 | 91.8 | 38.7 |
| W150 x 30 | 3 790 | 157 | 6.60 | 153.0 | 9.3 | 17.1 | 218 | 67.2 | 5.54 | 72.4 | 38.2 |
| W150 x 22 | 2 860 | 152 | 5.84 | 152.0 | 6.6 | 12.1 | 159 | 65.0 | 3.87 | 50.9 | 36.8 |
| W150 x 24 | 3 060 | 160 | 6.60 | 102.0 | 10.3 | 13.4 | 168 | 66.2 | 1.83 | 35.9 | 24.5 |
| W150 x 18 | 2 290 | 153 | 5.84 | 102.0 | 7.1 | 9.19 | 120 | 63.3 | 1.26 | 24.7 | 23.5 |

Selección de la viga viajera basado en momento de inercia referencial en la Tabla II.
 Viga seleccionada:

$$I = 13,4 \cdot 10^6 mm^4$$

Masa de viga:

$$m_{viga\ viajera} = 24 \frac{kg}{m}$$

$$m_{viga\ viajera} = 24 \frac{kg}{m} \cdot 3,20m$$

$$m_{\text{viga viajera}} = 76,8 \text{ kg}$$

$$W = m_{\text{viga viajera}} \cdot g$$

$$W = 76,8 \text{ kg} \cdot 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$W = 752,64 \text{ N}$$

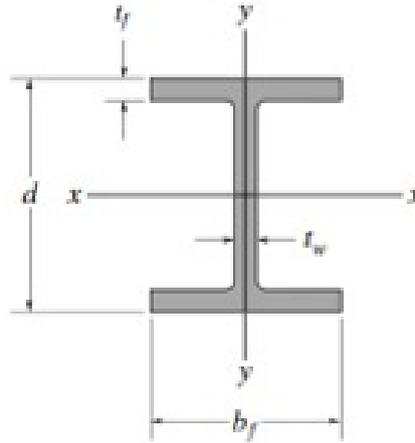


Figura 20: Diagrama Viga Viajera [31]

Este diagrama muestra las dimensiones esenciales que definen las propiedades estructurales de la viga viajera.

Análisis estático:

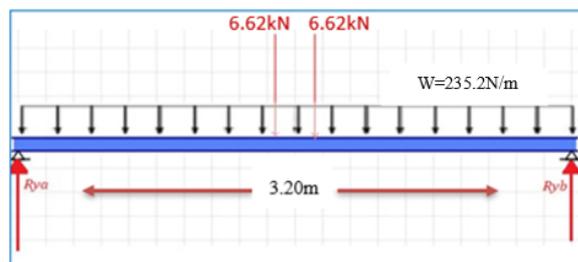


Figura 21: Análisis estático [29]

Esta figura[21] se muestran los momentos y fuerzas internas, como lo que se muestra en el gráfico de momento máximo (Figura 22), ya que nos ayuda a entender cómo las fuerzas externas afectan a la estructura.

$$w = \frac{752,64N}{3,20m}$$

$$w = 235,2 \frac{N}{m}$$

$$W = \frac{752,64}{2}$$

$$W = 376,32 N$$

Viga con peso en asunción de carga puntual

$$\Sigma M@A = 0(ccw \odot +)$$

$$6,62 kN (1,541 m) + 0,752kN (1,6m) + 6,62 kN (1,659 m) R_{yb} (3,20 m) = 0$$

$$R_{yb} = 7,00 kN$$

$$\Sigma Fy = 0+ \uparrow$$

$$R_{ya} - 6,62kN - 6,62kN - 0,75kN + 7,00kN = 0$$

Momento debido a la carga distribuida de su propio peso

$$M = \frac{w \cdot L^2}{8}$$

$$w = 235,2 \frac{N}{m}$$

$$L = 3,20m$$

$$M = \frac{235,2 \frac{N}{m} \cdot (3,20m)^2}{8}$$

$$M = 301,056N \cdot m$$

$$M = 0,301kN \cdot m$$

Momento máximo

$$M_{max} = P \cdot a$$

$$P = 6,62 kN$$

$$a = 1,541m$$

$$M_{max} = 6,62kN \cdot 1,541m$$

$$M_{max} = 10,20 kN \cdot m$$

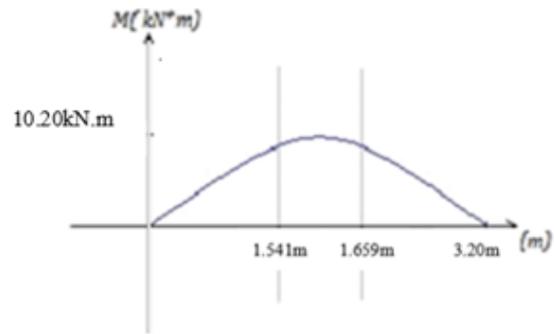


Figura 22: Grafico momento Máximo
[29]

El gráfico del momento máximo[29] muestra la viga apoyada bajo una carga centrada o distribuida. El punto máximo del momento se encuentra en el centro del tramo, lo que indica la ubicación donde el esfuerzo de flexión es mayor.

Deflexión de la viga:

I= inercia viga viajera tabla II

E= módulo de elasticidad

$$y_{viga} = \frac{F \cdot a}{24 E \cdot I} [3l^2 - 4a^2]$$

$$y_{viga} = \frac{6624,149N \cdot 1,541m}{24 (200 \cdot 10^9 \frac{N}{m^2}) (13,4 \cdot 10^{-6}m^4)} [3 (3,20m)^2 - 4 (1,541m)^2]$$

$$y_{viga} = 0,00336m$$

$$y_{total} = 0,00336m$$

Se cumple que deflexión total sea menor a 0.0036m

Datos

$$M_{max} \Rightarrow 10,20kN \cdot m$$

$$M=0.301kN \cdot m$$

$$M=M+M_{max}$$

$$M=0.301kN \cdot m + 10,20kN \cdot m$$

$$M=10.50kN \cdot m$$

Cálculo del esfuerzo:

$$\sigma = \frac{Mc}{I}$$

M= Momento máximo

c= distancia de la viga dividido para 2 (d)

I= Inercia

d=160 mm según tabla

$$d = \frac{160}{2} = 80mm$$

d= 0.08m

M=10.50kN·m

$$I = 13,4 \cdot 10^{-6}m^4$$

$$\sigma = \frac{10,50kN \cdot m (0,08m)}{13,4 \cdot 10^{-6}m^4}$$

$$\sigma = 62,98Mpa$$

Factor de Seguridad obtenido

$$N = \frac{0,75 \cdot sy}{62,98} = \frac{(0,75)250}{62,98} = 2,98$$

VII-M. Cálculo viga testera

Primero se debe definir el comportamiento de los pesos actuando sobre la viga testera, para ello hay que redefinir las cargas en su extremo posible (es decir, trolley en su punto más lejano del desplazamiento horizontal): Viga con peso en carga lineal distribuida.

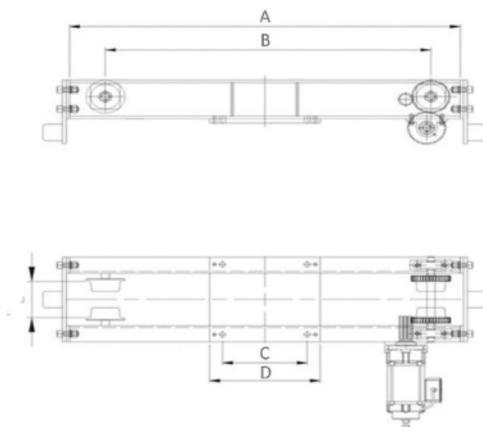


Figura 23: Plano detallado de la viga testera [29]

La figura[23] se observa una visión general de una viga testera. Para realizar un análisis estructural completo y preciso.

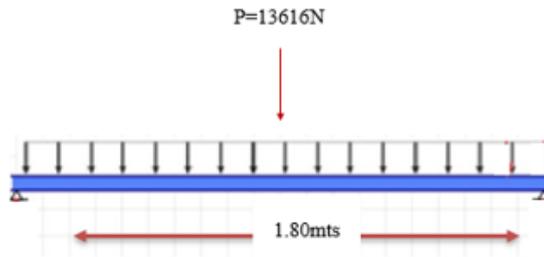


Figura 24: Diagrama de viga testera [29]

Este diagrama nos proporciona una representación simplificada de una viga testera y las cargas a las que está sometida.

$$Y_{max} = L/888 = 1800/888 = 2.02\text{mm}$$

$$\frac{1,80 - 1,10}{2} = 0,3\text{mts}$$

1.80 \Rightarrow Longitud de la testera

1.10 \Rightarrow Distancia entre (Ruedas)

A= 0.3 mts

Carga puntual de la testera = 13 240N + 376.32 N =13 616 N

Cálculo del momento máximo:

$$M_{max} = \frac{PL}{4}$$

$$M_{max} = \frac{13616\text{N} * 1,8\text{m}}{4}$$

$$M_{max} = 6127\text{Nm}$$

La siguiente formula la utilizaremos para obtener el momento de Inercia adecuado, se despeja de la fórmula de la deflexión máxima.

$$y_{max} = -\frac{PL^3}{48EI}$$

$$I = -\frac{13616\text{N}(1,8\text{m})^3}{48(200 * 10^9)0,00202\text{m}}$$

$$I = -4,09 * 10^{-6}\text{m}^4 = 4,09 * 10^6\text{mm}^4$$

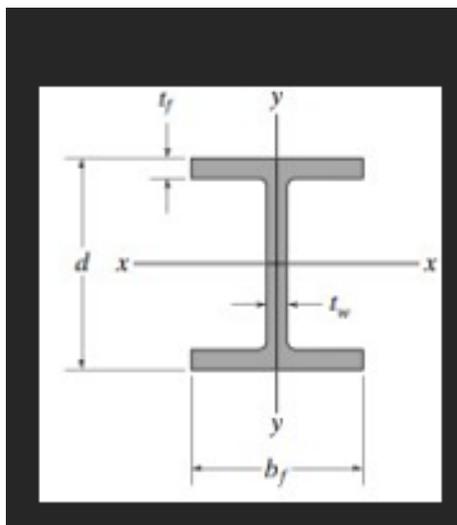


Figura 25: Diagrama de Viga Testera [31]

Forma de la viga testera mostrada en la figura[25], esta le confiere una alta resistencia a la flexión, lo que la hace ideal para su uso en vigas y otros elementos estructurales.

Tabla III: Perfil de Viga

| Secciones doble T o perfiles W en unidades SI | | | | | | | | | | | | |
|---|-----------------|---------------|--------------------------|---------------|-----------------|---------------------------------|---------------------------------|------|---------------------------------|---------------------------------|------|--|
| Designación | Área A | Profundidad d | Espesor del alma \$t_w\$ | Ala | | Eje x-x | | | Eje y-y | | | |
| | | | | ancho \$b_f\$ | espesor \$t_f\$ | I | S | r | I | S | r | |
| mm x kg/m | mm ² | mm | mm | mm | mm | 10 ⁸ mm ⁴ | 10 ⁴ mm ³ | mm | 10 ⁸ mm ⁴ | 10 ⁴ mm ³ | mm | |
| W310 x 129 | 16 500 | 318 | 13.10 | 308.0 | 20.6 | 308 | 1940 | 137 | 100 | 649 | 77.8 | |
| W310 x 74 | 9 480 | 310 | 9.40 | 205.0 | 16.3 | 165 | 1090 | 132 | 25.4 | 228 | 49.7 | |
| W310 x 67 | 8 530 | 306 | 8.51 | 204.0 | 14.6 | 145 | 948 | 130 | 20.7 | 203 | 49.3 | |
| W310 x 39 | 4 930 | 310 | 5.84 | 165.0 | 9.7 | 84.8 | 547 | 131 | 7.23 | 87.6 | 38.3 | |
| W310 x 33 | 4 180 | 313 | 6.60 | 102.0 | 10.8 | 65.0 | 415 | 125 | 1.92 | 37.6 | 21.4 | |
| W310 x 24 | 3 040 | 305 | 5.59 | 101.0 | 6.7 | 42.8 | 281 | 119 | 1.16 | 23.0 | 19.5 | |
| W310 x 21 | 2 680 | 303 | 5.08 | 101.0 | 5.7 | 37.0 | 244 | 117 | 0.986 | 19.5 | 19.2 | |
| W250 x 149 | 19 000 | 282 | 17.30 | 263.0 | 28.4 | 259 | 1840 | 117 | 86.2 | 656 | 67.4 | |
| W250 x 80 | 10 200 | 256 | 9.40 | 255.0 | 15.6 | 126 | 984 | 111 | 43.1 | 338 | 65.0 | |
| W250 x 67 | 8 560 | 257 | 8.89 | 204.0 | 15.7 | 104 | 809 | 110 | 22.2 | 218 | 50.9 | |
| W250 x 58 | 7 400 | 252 | 8.00 | 203.0 | 13.5 | 87.3 | 693 | 109 | 18.8 | 185 | 50.4 | |
| W250 x 45 | 5 700 | 266 | 7.62 | 148.0 | 13.0 | 71.1 | 535 | 112 | 7.03 | 95 | 35.1 | |
| W250 x 28 | 3 620 | 260 | 6.35 | 102.0 | 10.0 | 39.9 | 307 | 105 | 1.78 | 34.9 | 22.2 | |
| W250 x 22 | 2 850 | 254 | 5.84 | 102.0 | 6.9 | 28.8 | 227 | 101 | 1.22 | 23.9 | 20.7 | |
| W250 x 18 | 2 280 | 251 | 4.83 | 101.0 | 5.3 | 22.5 | 179 | 99.3 | 0.919 | 18.2 | 20.1 | |
| W200 x 100 | 12 700 | 229 | 14.50 | 210.0 | 23.7 | 113 | 987 | 94.3 | 36.6 | 349 | 53.7 | |
| W200 x 86 | 11 000 | 222 | 13.00 | 209.0 | 20.6 | 94.7 | 853 | 92.8 | 31.4 | 300 | 53.4 | |
| W200 x 71 | 9 100 | 216 | 10.20 | 206.0 | 17.4 | 76.6 | 709 | 91.7 | 25.4 | 247 | 52.8 | |
| W200 x 59 | 7 580 | 210 | 9.14 | 205.0 | 14.2 | 61.2 | 583 | 89.9 | 20.4 | 199 | 51.9 | |
| W200 x 46 | 5 890 | 203 | 7.24 | 203.0 | 11.0 | 45.5 | 448 | 87.9 | 15.3 | 151 | 51.0 | |
| W200 x 36 | 4 570 | 201 | 6.22 | 165.0 | 10.2 | 34.4 | 342 | 86.8 | 7.64 | 92.6 | 40.9 | |
| W200 x 22 | 2 860 | 206 | 6.22 | 102.0 | 8.0 | 20.0 | 194 | 83.6 | 1.42 | 27.8 | 22.3 | |
| W150 x 37 | 4 730 | 162 | 8.13 | 154.0 | 11.6 | 22.2 | 274 | 68.5 | 7.07 | 91.8 | 38.7 | |
| W150 x 30 | 3 790 | 157 | 6.60 | 153.0 | 9.3 | 17.1 | 218 | 67.2 | 5.54 | 72.4 | 38.2 | |
| W150 x 22 | 2 860 | 152 | 5.84 | 152.0 | 6.6 | 12.1 | 159 | 65.0 | 3.87 | 50.9 | 36.8 | |
| W150 x 24 | 3 060 | 160 | 6.60 | 102.0 | 10.3 | 13.4 | 168 | 66.2 | 1.83 | 35.9 | 24.5 | |
| W150 x 18 | 2 290 | 153 | 5.84 | 102.0 | 7.1 | 9.19 | 120 | 63.3 | 1.26 | 24.7 | 23.5 | |
| W150 x 14 | 1 730 | 150 | 4.32 | 100.0 | 5.5 | 6.84 | 91.2 | 62.9 | 0.912 | 18.2 | 23.0 | |

$I=6.84 * 10^6 mm^4$ viga seleccionada de la tabla III

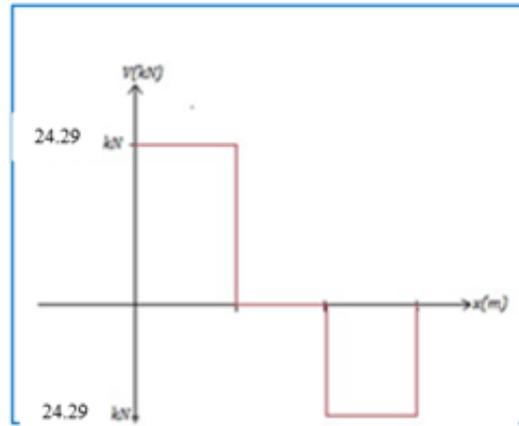


Figura 26: Diagrama Fuerza cortante viga testera [29]

Se muestra en la figura[26] un diagrama de fuerza cortante de la viga testera: (Fuerzas equidistantes y de igual magnitud)

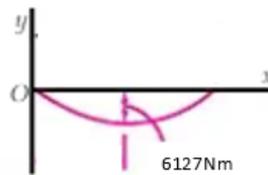


Figura 27: Deflexión Máxima de la viga testera [29]

La figura[27] nos muestra la deflexión máxima de la viga testera, para evaluar la seguridad y el diseño de las estructuras.

Cálculo deflex. Máx viga testera:

a= Distancia desde el apoyo hasta la fuerza

F= Fuerza aplicada

Ymax= Deflexion maxima

l=Longitud de la viga

Fórmula por utilizar:

$$y_{max} = -\frac{PL^3}{48EI}$$

$$y_{max} = -\frac{13616N(1,8m)^3}{48(200 * 10^9)(6,84 * 10^{-6}m^4)}$$

$$y_{max} = 0,0012m$$

$$y_{vigadist} = \frac{5 \cdot w \cdot l^4}{384 \cdot E \cdot I}$$

$$y_{vigadist} = \frac{5 \cdot 137,2 \cdot 1,8^4}{384 (200 \cdot 10^9) (6,84 \cdot 10^{-6} m^4)}$$

$$y_{vigadist} = 0,0000137m$$

$$y_{total} = 0.0012m + 0.0000137m$$

$$y_{total} = 0.001213m$$

Se cumple que deflexión total sea menor a 0.00202m

Procedemos a sacar el peso total de la viga :

$$w = \text{peso de viga} \cdot \text{gravedad}$$

$$w = 14 \frac{kg}{m} \cdot 9,8 \frac{m}{s^2}$$

$$w = 137,2 \frac{N}{m}$$

Luego sacamos Momento con la siguiente formula ya teniendo el peso total de la viga

$$M = \frac{w \cdot L^2}{8}$$

$$M = 137,2 \frac{N}{m} \cdot (1,8m)^2$$

$$M = 55,56N \cdot m$$

Esta ecuación podría representar el momento flector total como la suma del momento flector debido al peso propio de la estructura y el momento flector debido a las cargas vivas:

$$M = M + M_{ax}$$

$$M = 55,56Nm + 6127Nm$$

$$M = 6182Nm$$

Esta formula nos permitirá evaluar la seguridad de elementos estructurales sometidos a flexión de la viga testera.

$$\sigma = \frac{MC}{I}$$

C= altura de la viga dividido para 2 (d)

I= inercia

d=150mm segun tabla 2

d=150/2

d=0.075m

$$\sigma = \frac{6182Nm(0,075m)}{6,84 \cdot 10^{-6}m^4}$$

$$\sigma = 67,78 \cdot 10^6 \frac{N}{m^2} = 67,78Mpa$$

$$N = \frac{0,75(250Mpa)}{67,78Mpa}$$

$$N = 2,76$$

VII-N. Cálculo de las columnas

Tubo Rect. 200mmx100mm x 6mm de espesor

ASTM A500 Gr. A, B o C

Altura 6metros

Tabla IV: Selección de tubo rectangular

| TUBOS RECTANGULARES GRANDES DIMENSIONES | | | | | | | Propiedades | | | | | | |
|---|-----|-------------|----------|--------|---------|-----------------|--------------------|-----------------|-----------------|-----------------------|----------------|----------------|--|
| Lado A | | Espesor (t) | Largo | Peso | | Área | Momento de Inercia | | | Módulo de Resistencia | | Radio de Giro | |
| mm | mm | mm | (metros) | kg / m | kg / 6m | cm ² | I _x | I _y | W _x | W _y | i _x | i _y | |
| mm | mm | mm | (metros) | kg / m | kg / 6m | cm ² | cm ⁴ | cm ⁴ | cm ³ | cm ³ | cm | cm | |
| 150 | 100 | 3.00 | 6 | 11.31 | 67.86 | 14.41 | 460.64 | 247.64 | 61.42 | 49.53 | 5.65 | 5.65 | |
| 150 | 100 | 3.00 | 12 | 11.31 | 135.72 | 14.41 | 460.64 | 247.64 | 61.42 | 49.53 | 5.65 | 5.65 | |
| 150 | 100 | 4.00 | 6 | 14.87 | 89.22 | 18.95 | 594.60 | 318.57 | 79.28 | 63.71 | 5.60 | 5.60 | |
| 150 | 100 | 4.00 | 12 | 14.87 | 178.44 | 18.95 | 594.60 | 318.57 | 79.28 | 63.71 | 5.60 | 5.60 | |
| 150 | 100 | 5.00 | 6 | 18.33 | 109.98 | 23.36 | 719.20 | 384.02 | 95.89 | 76.80 | 5.55 | 5.55 | |
| 150 | 100 | 6.00 | 6 | 21.69 | 130.14 | 27.63 | 834.69 | 444.19 | 111.29 | 88.84 | 5.50 | 5.50 | |
| 150 | 100 | 6.00 | 12 | 21.69 | 260.28 | 27.63 | 834.69 | 444.19 | 111.29 | 88.84 | 5.50 | 5.50 | |
| 200 | 50 | 4.00 | 6 | 14.87 | 89.22 | 18.95 | 815.49 | 87.38 | 81.55 | 34.95 | 6.56 | 6.56 | |
| 200 | 50 | 5.00 | 6 | 18.33 | 109.98 | 23.36 | 983.84 | 103.29 | 98.38 | 41.32 | 6.49 | 6.49 | |
| 200 | 50 | 6.00 | 6 | 21.69 | 130.14 | 27.63 | 1138.59 | 117.11 | 113.86 | 46.85 | 6.42 | 6.42 | |
| 200 | 70 | 6.00 | 6 | 23.58 | 141.48 | 30.03 | 1364.48 | 255.38 | 136.45 | 72.97 | 6.74 | 6.74 | |
| 200 | 70 | 6.00 | 12 | 23.58 | 282.96 | 30.03 | 1364.48 | 255.38 | 136.45 | 72.97 | 6.74 | 6.74 | |
| 200 | 100 | 3.00 | 6 | 13.67 | 82.02 | 17.41 | 524.33 | 318.23 | 92.43 | 63.65 | 7.29 | 7.29 | |
| 200 | 100 | 4.00 | 6 | 18.01 | 108.06 | 22.95 | 1199.71 | 410.78 | 119.97 | 82.16 | 7.23 | 7.23 | |
| 200 | 100 | 5.00 | 6 | 22.26 | 133.56 | 28.36 | 1459.25 | 496.94 | 145.93 | 99.39 | 7.17 | 7.17 | |
| 200 | 100 | 6.00 | 6 | 26.40 | 158.40 | 33.63 | 1703.31 | 576.91 | 170.33 | 115.38 | 7.12 | 7.12 | |
| 250 | 150 | 5.00 | 6 | 30.11 | 180.66 | 38.36 | 3304.18 | 1507.95 | 264.33 | 201.06 | 9.28 | 9.28 | |
| 300 | 100 | 6.00 | 6 | 35.82 | 214.92 | 45.63 | 1776.79 | 842.35 | 318.05 | 168.47 | 10.23 | 10.23 | |

Se observa en la Tabla IV la selección del tubo rectangular selecto.

La longitud efectiva L_e se obtiene segun la ecuacion mostrada donde L es la longitud de la columna.

Para las columnas con extremos fijos se establece un factor de fijacion de $K=0.65$.

$$L_e = L(K)$$

$$L_e = 6m(0,65) = 3,9m.Esbeltz$$

Se escogen los valores de la tabla para proceder a realizar los cálculos sobre las columnas

Inercia en el eje x

$$I_x=1703.31\text{cm}^4$$

Radio de giro en x

$$r_x = 7.12 \text{ cm}$$

Inercia en el eje y

$$I_y = 576.91 \text{ cm}^4$$

Radio de giro en el eje y

$$r_y = 7.12 \text{ cm}$$

Longitud efectiva L_e

$$L_e = 3.9 \text{ m}$$

$$\text{Radio de giro} = 7.12 \text{ cm}$$

Relacion de esbeltez SR

SR es la relación entre la longitud equivalente y el radio de giro.

$$SR = \frac{L_e}{\text{radiodegiro}}$$

$$SR = \frac{390 \text{ cm}}{7.12 \text{ cm}}$$

$$SR = 54.77$$

Constante de la columna

Este requisito de análisis depende del material de la columna.

$$C_c = \sqrt{\frac{2n^2 E}{S_y}}$$

$$C_c = \sqrt{\frac{2n^2 (200 \times 10^9 \text{ Pa})}{250 \times 10^6 \text{ Pa}}}$$

$$C_r = 125.6$$

Comparacion entre SR Y Cc

$$P_c = A\sigma \left[1 - \frac{\sigma(SR)^2}{(4\pi^2 E)} \right]$$

$$P_c = 2(0.003363 \text{ m}^2)(250 \cdot 10^6 \text{ Pa}) \left[1 - \frac{(250 \cdot 10^6 \text{ Pa})(54.77)^2}{(4\pi^2)(200 \cdot 10^9 \text{ Pa})} \right]$$

$$P_c = 1513350 \text{ N}$$

Verificación de la resistencia según la normativa

Adicionalmente la norma establece un factor de diseño $N=1.1$ para el caso 1 de esfuerzos

$$\sigma_A = \frac{\sigma_y \left[1 - \frac{(SR)^2}{2(C_c)^2} \right]}{\left[\frac{5}{3} + \frac{3(SR)}{8C_c} - \frac{(SR)^3}{(8C_c)^3} \right] N}$$
$$\sigma_A = \frac{(250 \cdot 10^6) \left(1 - \frac{(54,77)^2}{2(125,6)^2} \right)}{\left[\frac{5}{3} + \frac{3(54,77)}{8(125,6)} - \frac{(54,77)^3}{(8 \cdot 125,6)^3} \right] 1,1}$$
$$\sigma_A = 112,5 \text{ Mpa}$$

$$112,5 \text{ Mpa} \leq 0,60 \sigma_y$$

$$112,5 \text{ Mpa} \leq 150 \text{ Mpa}$$

Cumple

$$P_a = P_c / N$$

$$P_a = 1513350 / 1.1 = 1375772 \text{ N}$$

Las cargas que soportaran las columnas corresponden a las reacciones en los empotramientos de la viga carrilera, la máxima carga determinada se identificó en el empotramiento B, donde, $R_b = 7.002 \text{ kN}$ y este debe ser menor a la carga permisible, de esta manera se garantiza la resistencia de la columna.

$$P \leq P_a$$

$$7.002 \text{ kN} \leq 1375 \text{ kN}$$

Si cumple

VII-Ñ. Cálculo de la viga carrilera

$$Y_{\max} = 6000/888 = 6.75 \text{ mm} = 0.00675 \text{ m}$$

$$a = \frac{6 \text{ m} - 1.8 \text{ m}}{2}$$

$$a = 2.1$$

Peso de la viga Testera $W = 246.96 \text{ N}$

Cargas puntuales $(13\,616 \text{ N} + 246.96 \text{ N})/2 = 6931 \text{ N}$

Momento Maximo

$$M = P \cdot a = 6931 \cdot 2.1 = 14555 \text{ Nm}$$

Con la siguiente formula se logrará obtener la selección de la viga.

$$I = \frac{F \cdot a}{24EI} (3L^2 - 4a^2)$$

$$I = \frac{6931 \text{ N} \cdot 2.1 \text{ m}}{24(200 \cdot 10^9 \frac{\text{N}}{\text{m}^2})(0.00675 \text{ m})} (3(6)^2 - 4(2.1)^2)$$

$$I = 40.58 \cdot 10^{-6} \text{ m}^4 = 40.58 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

Perfil seleccionado:

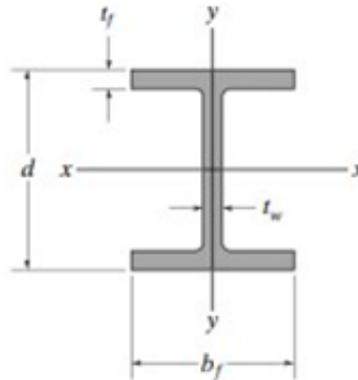


Figura 28: Diagrama de la Viga carrilera [31]

Se observa en la figura[28] el diagrama de la viga carrilera.

Tabla V: Selección viga carrilera

| Secciones doble T o perfiles W en unidades SI | | | | | | | | | | | |
|---|---------------------------|---------------------|---------------------------------------|----------------------------|------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|---------|--------------------------------------|--------------------------------------|---------|
| Designación | Área A mm ² | Profundidad d mm | Espesor del alma t _w mm | Ala | | Eje x-x | | | Eje y-y | | |
| | | | | ancho b _f mm | espesor t _f mm | l 10 ⁶ mm ⁴ | S 10 ³ mm ³ | r mm | l 10 ⁶ mm ⁴ | S 10 ³ mm ³ | r mm |
| W310 × 129 | 16 500 | 318 | 13.10 | 308.0 | 20.6 | 308 | 1940 | 137 | 100 | 649 | 77.8 |
| W310 × 74 | 9 480 | 310 | 9.40 | 205.0 | 16.3 | 165 | 1060 | 132 | 23.4 | 228 | 49.7 |
| W310 × 67 | 8 530 | 306 | 8.51 | 204.0 | 14.6 | 145 | 948 | 130 | 20.7 | 203 | 49.3 |
| W310 × 39 | 4 930 | 310 | 5.84 | 165.0 | 9.7 | 84.8 | 547 | 131 | 7.23 | 87.6 | 38.3 |
| W310 × 33 | 4 180 | 313 | 6.60 | 102.0 | 10.8 | 65.0 | 415 | 125 | 1.92 | 37.6 | 21.4 |
| W310 × 24 | 3 040 | 305 | 5.59 | 101.0 | 6.7 | 42.8 | 281 | 119 | 1.16 | 23.0 | 19.5 |
| W310 × 21 | 2 680 | 303 | 5.08 | 101.0 | 5.7 | 37.0 | 244 | 117 | 0.986 | 19.5 | 19.2 |
| W250 × 149 | 19 000 | 282 | 17.30 | 263.0 | 28.4 | 259 | 1840 | 117 | 86.2 | 656 | 67.4 |
| W250 × 80 | 10 200 | 256 | 9.40 | 255.0 | 15.6 | 126 | 984 | 111 | 43.1 | 338 | 65.0 |
| W250 × 67 | 8 560 | 257 | 8.89 | 204.0 | 15.7 | 104 | 809 | 110 | 22.2 | 218 | 50.9 |
| W250 × 58 | 7 400 | 252 | 8.00 | 203.0 | 13.5 | 87.3 | 693 | 109 | 18.8 | 185 | 50.4 |
| W250 × 45 | 5 700 | 266 | 7.62 | 148.0 | 13.0 | 71.1 | 535 | 112 | 7.03 | 95 | 35.1 |
| W250 × 28 | 3 620 | 260 | 6.35 | 102.0 | 10.0 | 39.9 | 307 | 105 | 1.78 | 34.9 | 22.2 |
| W250 × 22 | 2 850 | 254 | 5.84 | 102.0 | 6.9 | 28.8 | 227 | 101 | 1.22 | 23.9 | 20.7 |
| W250 × 18 | 2 280 | 251 | 4.83 | 101.0 | 5.3 | 22.5 | 179 | 99.3 | 0.919 | 18.2 | 20.1 |
| W200 × 100 | 12 700 | 229 | 14.50 | 210.0 | 23.7 | 113 | 987 | 94.3 | 36.6 | 349 | 53.7 |
| W200 × 86 | 11 000 | 222 | 13.00 | 209.0 | 20.6 | 94.7 | 853 | 92.8 | 31.4 | 300 | 53.4 |
| W200 × 71 | 9 100 | 216 | 10.20 | 206.0 | 17.4 | 76.6 | 709 | 91.7 | 25.4 | 247 | 52.8 |
| W200 × 59 | 7 580 | 210 | 9.14 | 205.0 | 14.2 | 61.2 | 583 | 89.9 | 20.4 | 199 | 51.9 |
| W200 × 46 | 5 890 | 203 | 7.24 | 203.0 | 11.0 | 45.5 | 448 | 87.9 | 15.3 | 151 | 51.0 |
| W200 × 36 | 4 570 | 201 | 6.22 | 165.0 | 10.2 | 34.4 | 342 | 86.8 | 7.64 | 92.6 | 40.9 |
| W200 × 22 | 2 860 | 206 | 6.22 | 102.0 | 8.0 | 20.0 | 194 | 83.6 | 1.42 | 27.8 | 22.3 |
| W150 × 37 | 4 730 | 162 | 8.13 | 154.0 | 11.6 | 22.2 | 274 | 68.5 | 7.07 | 91.8 | 38.7 |
| W150 × 30 | 3 790 | 157 | 6.60 | 153.0 | 9.3 | 17.1 | 218 | 67.2 | 5.54 | 72.4 | 38.2 |
| W150 × 22 | 2 860 | 152 | 5.84 | 152.0 | 6.6 | 12.1 | 159 | 65.0 | 3.87 | 50.9 | 36.8 |
| W150 × 24 | 3 060 | 160 | 6.60 | 102.0 | 10.3 | 13.4 | 168 | 66.2 | 1.83 | 35.9 | 24.5 |

En la Tabla V se da a conocer la selección de la viga carrilera según el cálculo de inercia I.

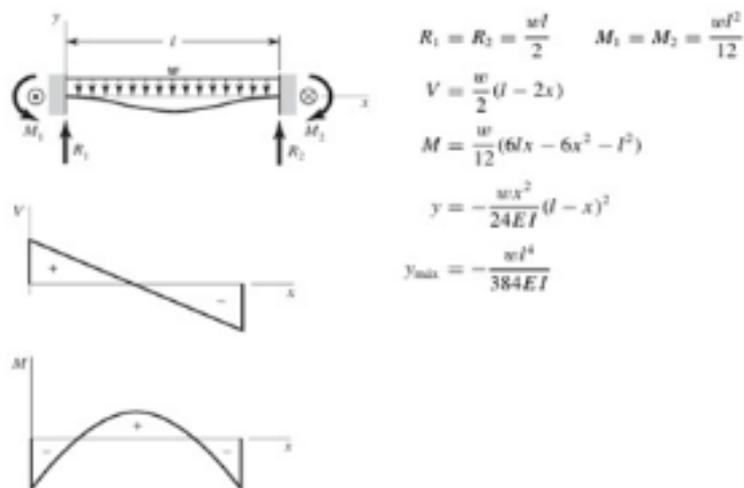


Figura 29: Comportamientos esperado 1 [29]

La Figura [29] nos proporciona una representación gráfica sobre el comportamiento de una viga simplemente apoyada con carga distribuida uniforme.

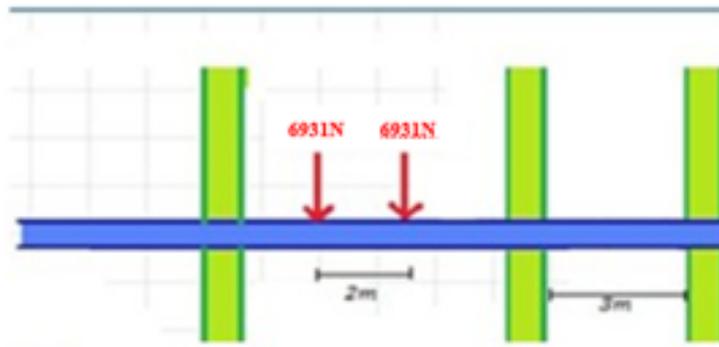


Figura 30: Análisis viga carrilera [29]

En la Figura [30] se muestra el análisis de la viga carrilera cargas puntuales.

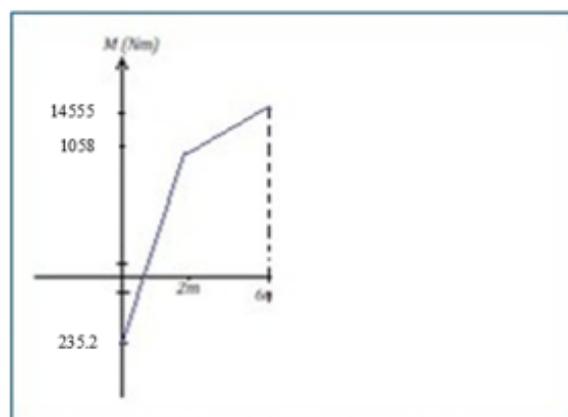


Figura 31: Diagrama Fuerza cortante [29]

Esta Figura [31] nos indica cómo varía la fuerza cortante a lo largo de la viga.

Sacamos el peso total de la viga carrilera y el momento:

$$M = \frac{w \cdot L^2}{8}$$

$$w = \text{peso de la viga} \cdot \text{gravedad}$$

$$w = 24 \frac{\text{kg}}{\text{m}} \cdot 9 \cdot 8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$w = 235,2 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

$$M = \frac{235,2 \frac{\text{N}}{\text{m}} \cdot (6\text{m})^2}{8}$$

$$M = 1058 \text{Nm}$$

El momento flector total :

$$M = M + M_{max}$$

$$M = 1058Nm + 14555Nm$$

$$M = 15613Nm$$

Datos para obtener el esfuerzo

$$M=15613Nm$$

c= Altura de la viga (d) dividido para 2

I= inercia

$$d = \frac{305mm}{2} = 152,5mm$$

$$d = 0,15m$$

$$\sigma = \frac{Mc}{I}$$

$$\sigma = \frac{15613Nm \cdot 0,15m}{42,8 \cdot 10^{-6}m^4}$$

$$\sigma = 54,71Mpa$$

$$N = \frac{0,75(250Mpa)}{54,71Mpa}$$

$$N = 3,42$$

Para determinar las reacciones en los empotramientos, se realizará la sumatoria de las reacciones individuales a causa de cada una de las cargas simples, es decir, la reacción a causa de la primera carga puntual, más la reacción a causa de la segunda carga puntual y por último se sumará la reacción a causa de la carga distribuida, de manera que se obtiene las ecuaciones.

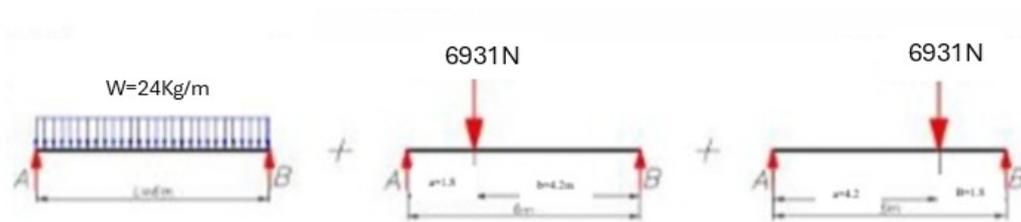


Figura 32: Diagramas de cargas [31]

En la Figura [32] observamos las cargas en distintos puntos de la viga.

Para determinar las reacciones se utilizará la siguiente fórmula:

R_1 = Reacción en el empotramiento .

M_1 = Momento flexionante en el empotramiento

F = Carga

l = Largo de la viga

a = Distancia entre el empotramiento izquierdo y la carga puntual

b = Distancia entre el empotramiento derecho y la carga puntual

w = Carga distribuida

$$R_1 = \frac{F_1 b_1^2}{l^3} (3a_1 + b_1) + \frac{F_2 b_2^2}{l^3} (3a_2 + b_2) + \frac{wl}{2}$$

$$R_1 = \frac{6931(4,2^2)}{6^3} ((3 \cdot 1,8) + (4,2)) + \frac{6931(1,8^2)}{6^3} (3(4,2) + 1,8) + \frac{24 \cdot 6}{2}$$

$$R_1 = 7002,976N$$

$$R_1 = 7,002kN$$

Cálculo de deflex. Max

$$y_{viga} = \frac{P \cdot a}{24 \cdot E \cdot I} [3l^2 - 4a^2] \quad (107)$$

$$y_{viga} = \frac{6931 \cdot 2,1}{24 \cdot (200 \cdot 10^9) \cdot (42,8 \cdot 10^{-6})} [3(6)^2 - 4(2,1)^2]$$

$$y_{viga} = 0,0064m$$

$$y_{vigadist} = \frac{5 \cdot w \cdot l^4}{384 \cdot E \cdot I}$$

$$y_{vigadist} = \frac{5 \cdot 235,2 \cdot 6^4}{384 (200 \cdot 10^9) (42,8 \cdot 10^{-6} m^4)}$$

$$y_{vigadist} = 0,00026m$$

$$y_{total} = 0.0064m + 0.00026m$$

$$y_{total} = 0.00666m$$

Cumple que la deflexión sea menor a 0.00675m

VII-O. Dimensionamiento de ruedas de las testeras

Análisis de determinación de diámetro:

Coef. De servicio de carga:

$$K_{wl} = K_{bw} * C_s * S_m$$

$$K_{wl} = 0,812 * 1,10 * 1$$

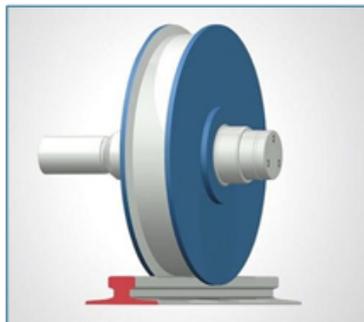
$$K_{wl} = 0,8932$$

Tabla VI: Determinación de diámetro

| WHEEL DIA. IN INCHES | SPEED IN FEET PER MINUTE | | | | | | | | | | | |
|----------------------|--------------------------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 30 | 50 | 75 | 100 | 125 | 150 | 175 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 |
| 8 | .907 | .958 | 1.013 | 1.049 | 1.086 | 1.122 | 1.158 | 1.195 | 1.267 | 1.340 | 1.413 | 1.485 |
| 9 | .898 | .944 | 1.001 | 1.033 | 1.066 | 1.098 | 1.130 | 1.163 | 1.227 | 1.292 | 1.356 | 1.421 |
| 10 | .892 | .932 | .984 | 1.020 | 1.049 | 1.079 | 1.108 | 1.137 | 1.195 | 1.253 | 1.311 | 1.369 |
| 12 | .882 | .915 | .958 | 1.001 | 1.025 | 1.049 | 1.074 | 1.098 | 1.146 | 1.195 | 1.243 | 1.292 |
| 15 | .872 | .898 | .932 | .967 | 1.001 | 1.020 | 1.040 | 1.059 | 1.098 | 1.137 | 1.175 | 1.214 |
| 18 | .865 | .887 | .915 | .944 | .973 | 1.001 | 1.017 | 1.033 | 1.066 | 1.098 | 1.130 | 1.163 |
| 21 | .860 | .879 | .903 | .927 | .952 | .977 | 1.001 | 1.015 | 1.043 | 1.070 | 1.098 | 1.126 |
| 24 | .857 | .873 | .894 | .915 | .937 | .958 | .980 | 1.001 | 1.025 | 1.049 | 1.074 | 1.098 |
| 27 | .854 | .869 | .887 | .906 | .925 | .944 | .963 | .982 | 1.012 | 1.033 | 1.055 | 1.076 |
| 30 | .852 | .865 | .882 | .898 | .915 | .932 | .949 | .967 | 1.001 | 1.020 | 1.040 | 1.059 |
| 36 | .849 | .860 | .873 | .887 | .901 | .915 | .929 | .944 | .973 | 1.001 | 1.017 | 1.033 |

En la Tabla VI seleccionamos el diámetro de las ruedas de las Testeras.

Diámetro de rueda escogido: 8 in.



Carga de rueda

Figura 33: Rueda [30]

En la Figura [33] se muestra una representación de las ruedas que se utilizarán en la Viga testera.

$$P_{wheel} = 0,8932 * 6931$$

$$P_{wheel} = 6190,7692N$$

D.C.L de rueda:

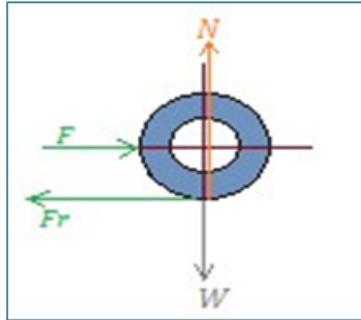


Figura 34: D.C.L de rueda
[30]

En la Figura [34] mostramos un D.C.L. de la rueda.

$$F - Fr = M * N$$

Fuerza Normal

$$N = 6931N$$

M= coeficiente de fricción

$$M = 0.15$$

$$F = 1039.65N$$

El torque necesario se basará meramente en la fuerza calculada y el radio de la rueda, cuyo diámetro ya fue previamente definido por uso de tablas.

$$T=F*r$$

$$T=6931N \cdot 0,1016m$$

$$T=704.1896 \text{ Nm}$$

Rodamientos de bolas

$$F= 6931N$$

Suponiendo que la utilidad será de unos 10 años= 250 días

Que el tiempo de trabajo es a 1.33h/días

$$Ld= 250*1.33=332.5h$$

$$V. \text{ testera} = 40m/min = 0.66m/s$$

r= radio de la rueda = 0.1m

$$c_0 = F(xD)^{\frac{1}{\alpha}}$$

$$xD = \frac{Ld \cdot W \cdot 60}{1000000}$$

$$W = \frac{v}{r}$$

$$W = 0,6 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \cdot \frac{1 \text{ rev}}{2\pi \text{ rad}} \cdot \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}}$$

$$W = 5,72 \text{rpm} = 6 \text{rpm}$$

$$xD = \frac{332,5(6 \text{rpm})(60)}{1000000}$$

$$xD = 0,1197$$

$$c_0 = 6,931 \text{kN}(0,1197)^{\frac{1}{3}}$$

$$c_0 = 3,41 \text{kN}$$

Diámetro del eje 35mm

Tabla VII: Rodamientos viga testera

| | | | | | | | | | | |
|----|----|----|------|------|-------|--------|--------|-------|--------------|------------|
| 35 | 47 | 7 | 4,36 | 3,35 | 0,14 | – | 8 500 | 0,022 | ▶ 61807-2RS1 | – |
| | 47 | 7 | 4,36 | 3,35 | 0,14 | 30 000 | 15 000 | 0,03 | ▶ 61807-2RZ | – |
| | 47 | 7 | 4,36 | 3,35 | 0,14 | 30 000 | 18 000 | 0,029 | ▶ 61807 | – |
| | 55 | 10 | 10,8 | 7,8 | 0,325 | – | 7 500 | 0,08 | ▶ 61907-2RS1 | – |
| | 55 | 10 | 10,8 | 7,8 | 0,325 | 26 000 | 13 000 | 0,08 | ▶ 61907-2RZ | – |
| | 55 | 10 | 10,8 | 7,8 | 0,325 | 26 000 | 16 000 | 0,08 | ▶ 61907 | – |
| | 62 | 9 | 13 | 8,15 | 0,375 | 24 000 | 15 000 | 0,11 | ▶ 16007 | – |
| | 62 | 14 | 16,8 | 10,2 | 0,44 | 24 000 | 15 000 | 0,15 | ▶ 6007 | – |
| | 62 | 14 | 16,8 | 10,2 | 0,44 | – | 7 000 | 0,16 | ▶ 6007-2RS1 | 6007-RS1 |
| | 62 | 14 | 16,8 | 10,2 | 0,44 | 24 000 | 12 000 | 0,16 | 6007-2RZ | 6007-RZ |
| | 62 | 14 | 16,8 | 10,2 | 0,44 | 24 000 | 12 000 | 0,16 | ▶ 6007-2Z | 6007-Z |
| | 62 | 20 | 15,9 | 10,2 | 0,44 | – | 7 000 | 0,22 | 63007-2RS1 | – |
| | 72 | 17 | 27 | 15,3 | 0,655 | 20 000 | 13 000 | 0,29 | ▶ 6207 | – |
| | 72 | 17 | 27 | 15,3 | 0,655 | – | 6 300 | 0,3 | ▶ 6207-2RSH | ▶ 6207-RSH |
| | 72 | 17 | 27 | 15,3 | 0,655 | 20 000 | 10 000 | 0,3 | ▶ 6207-2Z | 6207-Z |

En la Tabla VII se realiza la selección de los rodamientos:

Selección 61907

Rodamiento de bolas

Dimensiones del rodamiento seleccionado = 35x55x10

VII-P. Rodamientos del Trolley

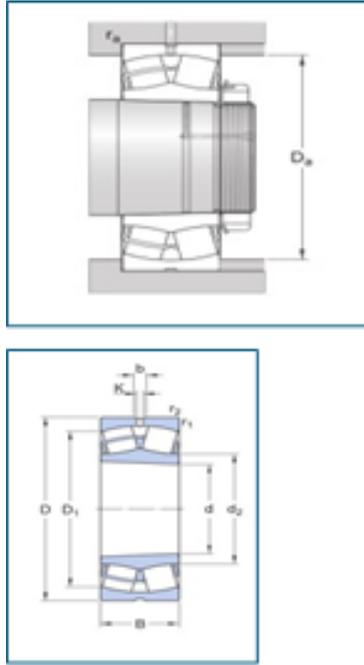


Figura 35: Selección de Rodamientos.
[30]

En la Figura [35] observamos un diagrama del tipo de rodamiento a utilizar.

Trolley

$$W = \frac{v}{r}$$

V. TROLLEY= 24m/min=0.4m/s

R= radio de la rueda 0.055m

$$W = \frac{0,4}{0,055}$$

$$W = 7,27$$

$$W = 7,27 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \cdot \frac{1 \text{ rev}}{2\pi \text{ rad}} \cdot \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}}$$

$$W = 70 \text{rpm}$$

$$xD = \frac{332,5 \cdot 70 \cdot 60}{1000000}$$

$$xD = 1,3965$$

$$c_0 = F(xD)^{\frac{1}{3}}$$

$$c_0 = 3,31kN \cdot (1,3965)^{\frac{1}{3}}$$

$$c_0 = 3,69kN$$

Diámetro del eje = 30mm

Tabla VIII: Rodamientos trolley

| | | | | | | | | | | |
|----|----|---|------|------|-------|--------|--------|-------|--------------|---|
| 30 | 42 | 7 | 4,49 | 2,9 | 0,146 | - | 9 500 | 0,025 | ▶ 61806-2RS1 | - |
| | 42 | 7 | 4,49 | 2,9 | 0,146 | 32 000 | 16 000 | 0,025 | ▶ 61806-2RZ | - |
| | 42 | 7 | 4,49 | 2,9 | 0,146 | 32 000 | 20 000 | 0,025 | ▶ 61806 | - |
| | 47 | 9 | 7,28 | 4,55 | 0,212 | - | 8 500 | 0,051 | ▶ 61906-2RS1 | - |
| | 47 | 9 | 7,28 | 4,55 | 0,212 | 30 000 | 15 000 | 0,051 | ▶ 61906-2RZ | - |
| | 47 | 9 | 7,28 | 4,55 | 0,212 | 30 000 | 19 000 | 0,049 | ▶ 61906 | - |

En la siguiente Tabla VIII escogemos lo siguiente:

Rodamiento de bolas SKF

Dimensiones del rodamiento seleccionado= 35x67x9

C(kn)= Indica la resistencia del rodamiento a cargas variables o cíclicas.

Co(kn)= Indica la resistencia del rodamiento a cargas fijas o estáticas.

Para poder hacer la selección del rodamiento de bolas a rotulas el valor de la fuerza radial(5721.21 N) debe ser igual o mayor.

Se toma en cuenta el valor de C(kn) debido a que las cargas serán variables.

VII-Q. Cálculo de la potencia del polipasto

Tiempo de funcionamiento del polipasto:

$$t = \frac{2 \cdot H \cdot N \cdot T}{60 \cdot V}$$

Donde:

H = Altura elev. Media = 6 m (altura que será elevada)

N = número de ciclos trabajo/hora = 10 ciclos/hora (transporte de 5 planchas de acero por hora)

T= tiempo de func. Diario = 8 horas

V = vel/elev. = 12 m/min (norma CMMA-70)

$$t = 6/(12\text{m/min})$$

$$t = 0.5\text{min}=30\text{s}$$

$$\text{Fuerza(peso)} = m \cdot a = 1000\text{kg} \cdot 9.81\text{m/s}^2$$

$$F = 9810\text{N}$$

$$\text{Trabajo} = \text{Fuerza} \cdot \text{Distancia}$$

$$W = 9810\text{N} \cdot 6\text{m} = 58860\text{J}$$

$$\text{Potencia} = \text{Trabajo/tiempo} = 58860\text{J}/30\text{s}$$

$$P = 1.96\text{kW}$$

Tabla IX: Elección Polipasto de cadena DC-Pro

| Capacidad de carga [kg] | Polipasto de cadena Tipo | Velocidad de elevación | | Tamaño del motor | Recorrido del gancho [m] | Grupo de accionamiento FEM | Disposición | Peso máximo con HS/HB [kg] | |
|-------------------------|--------------------------|------------------------|-----------------|------------------|--------------------------|----------------------------|-------------|----------------------------|---------------|
| | | [m/min a 50 Hz] | [m/min a 60 Hz] | | | | | | |
| 80 | DC-Pro 1 -..-V1 | 8,0/2,0 | 9,6/2,4 | ZNK 71 B 8/2 | 5 y 8 | 4m | 1/1 | 22 / 24 | |
| | DC-Pro 2 -..-V2 | 16/4 | 19,2/4,8 | | | | | | |
| 100 | DC-Pro 1 -..-V1 | 8,0/2,0 | 9,6/2,4 | | | | | | |
| | DC-Pro 2 -..-V2 | 16/4 | 19,2/4,8 | | | | | | |
| 125 | DC-Pro 1 -..-V1 | 8,0/2,0 | 9,6/2,4 | | | | | | |
| | DC-Pro 2 -..-V2 | 16/4 | 19,2/4,8 | | | | | | |
| 160 | DC-Pro 2 -..-V1 | 8,0/2,0 | 9,6/2,4 | | | | | | |
| | DC-Pro 5 -..-V2 | 12,0/3,0 | 14,4/3,6 | | | | | | |
| 200 | DC-Pro 2 -..-V1 | 8,0/2,0 | 9,6/2,4 | | | | | | |
| | DC-Pro 5 -..-V2 | 12,0/3,0 | 14,4/3,6 | | | | | | |
| 250 | DC-Pro 2 -..-V1 | 8,0/2,0 | 9,6/2,4 | | | | | | ZNK 80 A 8/2 |
| | DC-Pro 5 -..-V2 | 12,0/3,0 | 14,4/3,6 | | | | | | |
| 315 | DC-Pro 5 -..-V1 | 6,0/1,5 | 7,2/1,8 | | | | | | ZNK 80 A 8/2 |
| | DC-Pro 10 -..-V2 | 12,0/3,0 | 14,4/3,6 | | | | | | ZNK 100 A 8/2 |
| 400 | DC-Pro 5 -..-V1 | 6,0/1,5 | 7,2/1,8 | ZNK 80 A 8/2 | | | | | |
| | DC-Pro 10 -..-V2 | 12,0/3,0 | 14,4/3,6 | ZNK 100 A 8/2 | | | | | |
| 500 | DC-Pro 5 -..-V1 | 6,0/1,5 | 7,2/1,8 | ZNK 80 A 8/2 | | | | | |
| | DC-Pro 10 -..-V2 | 12,0/3,0 | 14,4/3,6 | ZNK 100 A 8/2 | | | | | |
| 630 | DC-Pro 10 -..-V1 | 6,0/1,5 | 7,2/1,8 | ZNK 100 A 8/2 | | | | | |
| | DC-Pro 20 -..-V2 | 12,0/3,0 | 14,4/3,6 | ZNK 100 B 8/2 | | | | | |
| 800 | DC-Pro 10 -..-V1 | 6,0/1,5 | 7,2/1,8 | ZNK 100 A 8/2 | | | | | |
| | DC-Pro 20 -..-V2 | 12,0/3,0 | 14,4/3,6 | ZNK 100 B 8/2 | | | | | |
| 1000 | DC-Pro 10 -..-V1 | 6,0/1,5 | 7,2/1,8 | ZNK 100 A 8/2 | | | | | |
| | DC-Pro 20 -..-V2 | 12,0/3,0 | 14,4/3,6 | ZNK 100 B 8/2 | | | | | |

En la Tabla IX se seleccionó el polipasto de cadena previo al cálculo realizado de potencia.

VII-R. Cálculo de la potencia del Trolley

DATOS:

Viga puente= 76.8kg

Viga testera= 50.4kg

Polipasto= 54kg

Carga total levantada= 1000kg

Peso total= 1181.2kg

W= 1181.2kg

Hp= Ka*W*V*Ks

Ka= Factor de aceleración

Ks= Factor de servicio

W= peso total a mover

V= velocidad de desplazamiento

La fórmula que se utilizará es:

$$K\alpha = \frac{\frac{2000 \cdot a \cdot C_r}{f + \frac{g \cdot E}{33000 \cdot K_t}}}{N_f} \cdot N_r$$

f= Factor de fricción por rodadura

a= tasa de aceleración para desplazamiento

Cr= factor de inercia rotacional

$$Cr = 1,05 + \frac{a}{7,5}g = 32,2ft/s^2E = \text{eficienciamecánica}$$

Nr= velocidad nominal del motor en rpm a plena carga

Nf= velocidad nominal del motor en rpm libre

Kt= Factor de aceleración

$$Cr = 0,112$$

Tabla X: Constantes calculadas

| Constantes Calculadas | | |
|--------------------------------|-------------------|-------------------------|
| Constante | Unidad | Valor |
| f | lb/ton | 16 |
| a | | 0.8 |
| g | ft/s ² | 32.2 |
| E | | 0.9 |
| K _t | | 1.5 |
| K _a | | 1.28 x 10 ⁻³ |
| K _s | | 1.2 |
| N _r /N _f | | 0.96 |
| V | fpm | 131.5 |

En la tabla X se escogió valores para utilizarlos en las siguientes fórmulas.

$$H_p = 0.00128 * 1.1812 * 79 * 1.2$$

$$H_p = 0.14 H_p * 0.747 \text{ kW} / 1 H_p = 0.10 \text{ kW}$$

Por lo tanto se escoge un motor de 0.40 kW

| CLAVE | GM5183 | GM5184 | GM5185 | GM5186 | GM5187 | GM5189 |
|---------------------------------------|-----------|-----------|---------------|---------------|-----------|---------------|
| CAPACIDAD | 250 Kg | 500 Kg | 1000 Kg | 2000 Kg | 3000 Kg | 5000 Kg |
| RANGO DE ABERTURA (ANCHO DE PATÍN) | 2.200"-3" | 2.200"-3" | 2.875"-4.025" | 3.150"-4.275" | 3.800"-6" | 4.250"-8.700" |
| PERALTE VIGA | 3"-8" | 3"-8" | 4"-9" | 4"-12" | 5"-12" | 6"-24" |
| A | 2.185" | 2.185" | 3.180" | 3.165" | 4.460" | 5.350" |
| B | 3.062" | 3.062" | 4" | 4" | 5.230" | 6.830" |
| C | 0.820" | 0.820" | 1.145" | 1.145" | 1.225" | 1.450" |
| D | 0.750" | 0.750" | 0.875" | 1" | 1" | 1.500" |
| E | 7.250" | 7.250" | 10" | 10.125" | 11.500" | 20.250" |
| F | 4.1875" | 4.1875" | 6.125" | 6.250" | 6.250" | 10.370" |
| PESO | 4 Kg | 4.3 Kg | 8 Kg | 11 Kg | 20 Kg | 65 Kg |

Figura 36: Selección del trolley [31]

En la Figura [36] se selecciona el trolley a utilizar según el peso a desplazar.

TESTERA

La fórmula a utilizar es la siguiente :

$$HP = k_a * W * V * K_s \quad Hp = 0.00128 * 1.1812 * 132 * 1.2$$

$$Hp = 0.239Hp * 0.747kW/1Hp = 0.18kW$$

Por lo tanto se seleccionaran 2 motores de 0.3kW.

Tabla XI: Selección de la testera

| End Carriage Model / Modelo de Carro Final | Application of Crane Model / Aplicación del Modelo de Grúa | Motor | Wheel / Rueda |
|---|---|---------|---------------|
| TX2-12 | 1 t / 2t - 7.5 m | 0.3kW*2 | 90*8 |
| TX2-15 | 1 t / 2t - 11.5 m | 0.3kW*2 | 90*8 |
| TX2-18 | 1 t / 2t - 16.5 m | 0.3kW*2 | 90*8 |
| TX5-15 | 3 t / 5t - 7.5 m | 0.4kW*2 | 120*8 |
| TX5-18 | 3 t / 5t - 11.5 m | 0.4kW*2 | 120*8 |
| TX5-22 | 3 t / 5t - 16.5 m | 0.4kW*2 | 120*8 |

En la Tabla XI seleccionamos la testera a utilizar.

VII-S. Fuerza de Succión de las Ventosas

Factor de seguridad S:

Dependiendo de las propiedades de la superficie de la pieza, se debe ajustar el factor de seguridad S. Como factor de seguridad se toma un valor mínimo de 1,5 para piezas lisas y no porosas. Para piezas críticas, no homogéneas, porosas, rugosas o aceitadas se debe tomar un factor de seguridad de 2,0 o superior.

Coefficiente de fricción p:

El coeficiente de fricción μ expresa la relación entre la fuerza de fricción y la fuerza normal. No se pueden indicar datos de validez general respecto a los coeficientes de fricción entre ventosa y pieza, por ello, el coeficiente de fricción se debe determinar de forma empírica para cada caso.

Se pueden tomar los siguientes valores orientativos.

Tabla XII: Coeficiente de fricción

| | |
|-----------|---|
| 0,2 – 0,3 | para superficies húmedas |
| 0,5 | para madera, metal, vidrio, piedra, ... |
| 0,6 | para superficies rugosas |

La Tabla XII se muestra los coeficientes de fricción.

La fuerza de succión necesaria se puede calcular utilizando la siguiente fórmula:

$$F_{TH} = m \cdot (g + a) \cdot s$$

El área de una ventosa se puede calcular utilizando la fórmula para el área de un círculo:

$$A = \pi * r^2$$

Donde:

- A es el área de la ventosa.
- π es pi (aproximadamente 3.14159).
- r es el radio de la ventosa (que es la mitad del diámetro).

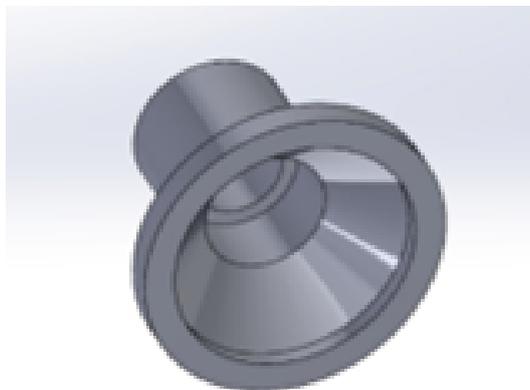


Figura 37: Ventosa [29]

La Figura [37] es un dibujo 3D de las ventosas a utilizar.

Velocidad de Desplazamiento del puente grúa = 40m/min

Casos de carga – ventosa horizontal – fuerza vertical

$$F_{TH} = m \cdot (g + a) \cdot s$$

F_{TH} = Fuerza de retención teórica

m = Masa(1000kg)

g= Aceleración terrestre (9.81 m/s²)

a= Aceleración (0.2m/s²) de la instalación

S= Factor de seguridad (1.5)

Puentes grúa ligeros:

- Aceleración longitudinal:0.2 m/s²
- Aceleración transversal: 0.1 m/s²
- Aceleración vertical: 0.05 m/s²

$$F_{TH} = 1000 \text{ kg} \cdot \left(9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} + 0,2 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \right) 1,5$$

$$F_{TH} = 15015N$$

Selección del tipo de ventosa:

- Ventosas de fuelle: utilizada por su flexibilidad y adaptable a diferentes superficies de materiales.
- Ventosas de plato: rígidas y tienen mayor capacidad de succión.
- Ventosas de vacío: son las más fiables y potentes pero su valor costo es elevado.

Fuerza de aspiración

$$F_s = \frac{F_{TH}}{n}$$

n= número de ventosas

F_s= fuerza de aspiración

F_{TH} = fuerza de retención teórica

$$F_s = \frac{15015}{9}$$

$$F_s = 1668N$$

Para una ventosa con un diámetro de 10cm, el radio es $10 \text{ cm}/2 = 5\text{cm} = 0.05 \text{ m}$:

$$A = 3.14159 * (0.05\text{m})^2 \approx 0,00785\text{m}^2$$

El área total de succión será el área de una ventosa multiplicada por el número de ventosas:

$$A_{\text{total}} = 9 * 0.00785\text{m}^2 = 0,07065\text{m}^2$$

Fuerza de succión requerida:

Utilizaremos la misma fórmula que antes:

$$F = m * g$$

$$F = 1000\text{kg} * 9.81 \text{ m/s}^2 = 9810N$$

Tabla XIII: Selección de ventosas - caudal

| Ø de la ventosa | Superficie de aspiración A [cm ²] | Caudal volumétrico \dot{V} | |
|-----------------|--|------------------------------|---------|
| | | [m ³ /h] | [l/min] |
| hasta 60 mm | 28 | 0,5 | 8,3 |
| hasta 120 mm | 113 | 1,0 | 16,6 |
| hasta 215 mm | 363 | 2,0 | 33,3 |
| hasta 450 mm | 1540 | 4,0 | 66,6 |

En la Tabla XIII se selecciona el caudal según el diámetro de las ventosas.

$$\text{Caudal volumetrico} = 1,0 \frac{m^3}{h} \wedge 16,6 \frac{l}{min}$$

Para trabajar con el caudal en

$$\frac{m^3}{s}$$

$$1,0 \frac{m^3}{h} \wedge 16,6 \frac{l}{min} \rightarrow \frac{m^3}{s}$$

$$1,0 \frac{m^3}{h} = \frac{1}{3600} \frac{m^3}{s} = 2,78 \cdot 10^{-4} \frac{m^3}{s}$$

1 litro equivale a $10^{-3}m^3$ y 1 minutos son 60 segundos

$$16,6 \frac{L}{min} = 16,6 \cdot 10^{-3} \frac{m^3}{min} = \frac{16,6 \cdot 10^{-3}}{60} \frac{m^3}{s} = 2,77 \cdot 10^{-4} \frac{m^3}{s}$$

Cálculo de potencia:

$$P = \frac{F}{A}$$

F= Fuerza

A= Área total de las ventosas en metros

F= 1000kg * 9.81

$$P = \frac{9810N}{0,07065m^2} = 138853,50Pa$$

$$P_{pot} = F \cdot V_{vol}$$

P es el producto de la fuerza en Pa y la velocidad volumétrica

F= 138853.50 Pa

$$V.volumen = 2,78 * 10^4, \frac{m^3}{s}$$

$$P = 138853,50 Pa \cdot 2,78 \cdot 10^{-4} \frac{m^3}{s}$$

$$P = 38,60W$$

$$P_{real} = \frac{P_{pot}}{n}$$

η = eficiencia de la bomba 60 %

$$P = \frac{38,60W}{0,6}$$

$$P = 64,33W$$

Conversion a Hp

$$1Hp=747W$$

$$64,33W \cdot \frac{1Hp}{747W}$$

Potencia real

$$Hp = 0,086Hp = 0,09Hp$$

La presión de succión requerida se puede calcular dividiendo la fuerza de succión total entre el área total de succión:

Es la potencia de succión necesaria que debe tener nuestra bomba de vacío.

Siempre será nuestra potencia para utilizar para la succión, esta no se reducirá ni aumentara por eso no es necesario el cálculo del caudal debido a que es una presión negativa que se mantendrá porque no existe ningún tipo de desborde o presión inicial o final.

Al final se escoge una bomba de vacío para la succión de esta tabla ya que lo que se utilizara es la presión para poder succionar el material y poder traslarlo de un lugar a otro.

Selección de la bomba de vacío VT 4.2

Bombas encontradas: 153



| VT 4.2 | | | | VT 4.4 | | | | VT 4.8 | | | | VT 4.10 | | | |
|--|-------------------|------|------|--|-------------------|------|------|--|-------------------|------|------|--|-------------------|------|------|
| Bombas de vacío de paletas, sin aceite | | | | Bombas de vacío de paletas, sin aceite | | | | Bombas de vacío de paletas, sin aceite | | | | Bombas de vacío de paletas, sin aceite | | | |
| Frecuencia | m ³ /h | mbar | kW | Frecuencia | m ³ /h | mbar | kW | Frecuencia | m ³ /h | mbar | kW | Frecuencia | m ³ /h | mbar | kW |
| 50 | 1.9 | 400 | 0.09 | 50 | 4.1 | 150 | 0.18 | 50 | 8 | 150 | 0.37 | 50 | 10 | 150 | 0.37 |
| 60 | 2.3 | 400 | 0.11 | 60 | 4.7 | 150 | 0.21 | 60 | 9.1 | 150 | 0.44 | 60 | 12 | 150 | 0.45 |

Figura 38: Tablas de bombas de Vacío [29]

En la figura [38] se escoge los valores según la selección.

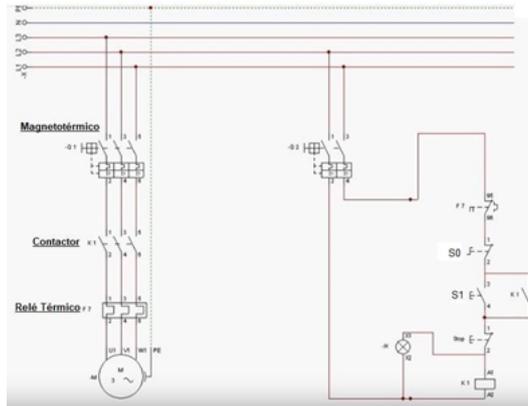


Figura 39: Diagrama Eléctrico de las ventosas [29]

En la Figura [39] observamos el diagrama electrico para las ventosas.

Alimentación eléctrica:

Motor 0.09hp

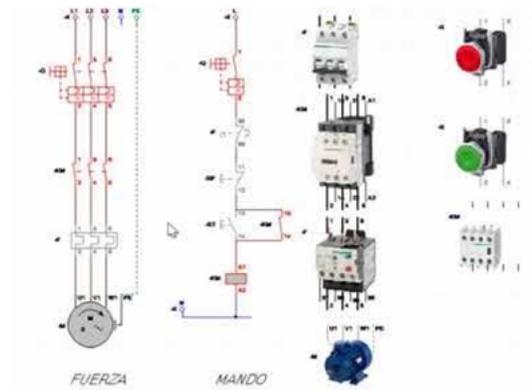


Figura 40: Arrancador y protección del motor [29]

En la Figura[40] los elementos electrónicos necesarios para la conexión de las ventosas.

VII-T. Análisis de Estructura Mediante Software Fusion360

VII-U. Simulación de la Viga principal

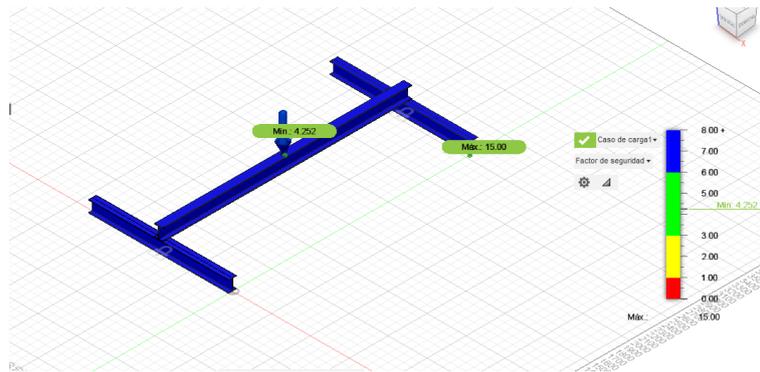


Figura 41: Simulación factor de seguridad de viga viajera

El cálculo manual que se realizó para el factor de seguridad obtuvo como resultado $N=2.98$, en la simulación se da un mínimo de 4.25

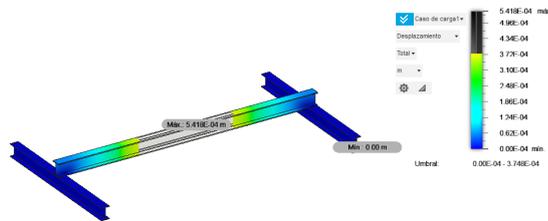


Figura 42: Simulación deflexión de la viga viajera

La deflexión de la viga que se obtuvo del cálculo manual es de 0.0036m. El programa fusion360 da un valor de deflexión máxima de 0.0054m

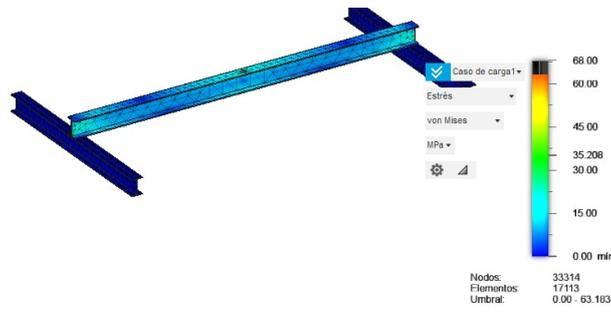


Figura 43: Simulación de esfuerzos Von mises de la viga viajera

Se toma en cuenta el cálculo manual del esfuerzo en el cual se toma el resultado de 62.98Mpa, como se observa en la figura(43) del programa fusion360, las franjas de Umbral donde se observa en la parte inferior derecha un esfuerzo de 63.183Mpa, con este análisis se a notar el esfuerzo máximo a soportar de la viga.

VII-V. Simulación de esfuerzo de la Viga Testera

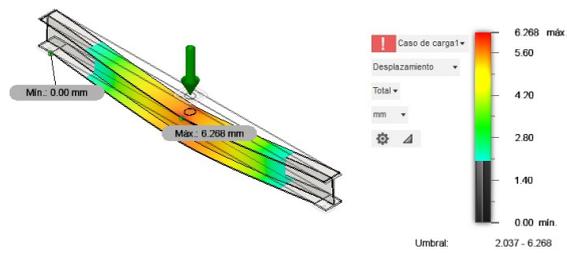


Figura 44: Deflexión de la viga testera

En figura(44) se puede observar la deflexión de la viga testera que se tiene como máximo 6.268mm. En el cálculo manual de la viga testera da un valor máximo de 2.02mm.

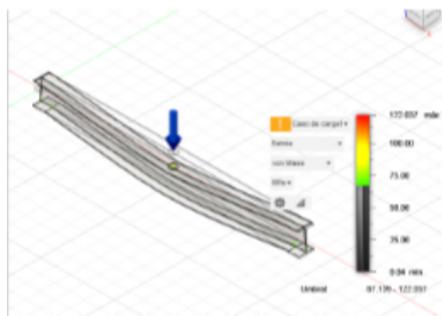


Figura 45: simulación de esfuerzos von mises viga testera

Cálculo manual del esfuerzo nos da un valor de 67.78Mpa. El programa de simulación fusion360 da como esfuerzo máximo 74Mpa.

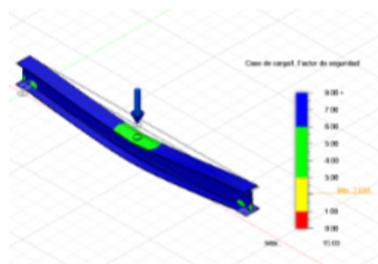


Figura 46: Factor de seguridad

En este caso el calculo manual de factor de seguridad dio como resultado $N = 2.76$. En el programa de simulación Fusion360 da como resultado un valor de seguridad $N=2.98$.

VII-W. Simulación de esfuerzo de la Viga Carrilera

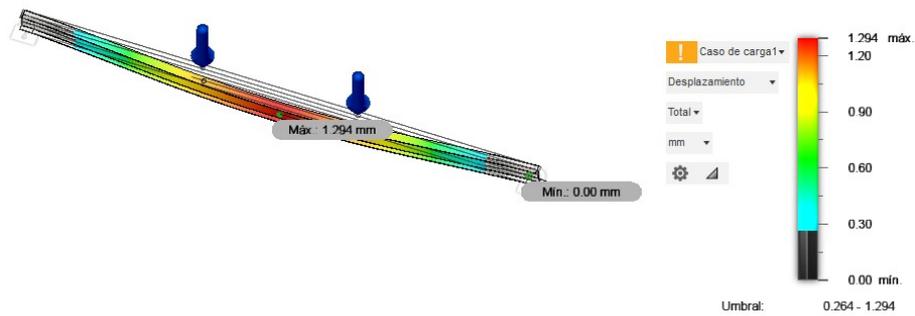


Figura 47: Simulación deflexión viga carrilera

En el cálculo manual de deflexión de la viga carrilera da como resultado 0.26mm. La figura(47) del programa fusion360 nos muestra una deflexión máxima de 0.30mm.

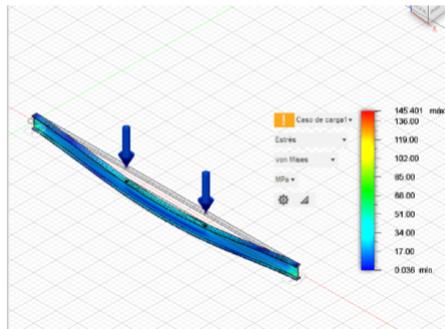


Figura 48: Simulación de esfuerzos von mises viga carrilera

El cálculo manual del esfuerzo es de 54.71Mpa. En la simulación de Fusion360 tenemos un valor máximo de 59.401Mpa.

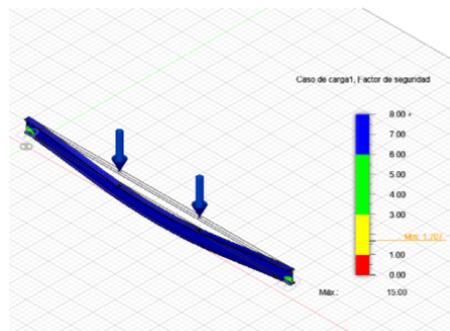


Figura 49: Simulación factor de seguridad viga carrilera

El cálculo manual del factor de seguridad de la viga carrilera tiene como resultado $N=3.42$

Simulación Fusion360 nos muestra un valor de factor de seguridad $N=3.58$

VIII. VIABILIDAD ECONÓMICA

Análisis económico:

Costo inicial:

El costo inicial del puente grúa con sistema de ventosas será mayor que el de un puente grúa convencional, por eso se debe considerar el costo del sistema de ventosas, la instalación y el mantenimiento.

Ahorros:

El puente grúa con sistema de ventosas ahorrará tiempo y dinero al eliminar la necesidad de limpiar las planchas de acero inoxidable después de manipularlas. Se reducirán los costos de mano de obra al eliminar la necesidad de personal para sujetar las planchas de acero inoxidable manualmente.

Retorno de la inversión:

El tiempo de retorno de la inversión dependerá del costo inicial del puente grúa con sistema de ventosas, los ahorros en tiempo y dinero, y la tasa de descuento utilizada. El cálculo del tiempo de limpieza por metro cuadrado es una estimación. El tiempo real de limpieza puede variar en función de los factores mencionados anteriormente.

Es importante tener en cuenta estos factores al calcular el tiempo de limpieza para asegurarse de que se dispone de suficiente tiempo para completar el trabajo.

Estimado de valor por hora por metros cuadrados:

Área limpia en metros cuadrados: 0.40m²

Tiempo de limpieza: 1 hora

Aproximado de valor de limpieza según la empresa: 25 dolares por hora

0.40 horas/m²* 25 dolares por hora= 10 dólares por m²

Claro que el valor por hora cambiara dependiendo de los metros cuadrados y del valor que la empresa disponga.

Tambien nos ayudamos en otros costos por ejemplo:

- . Discos borradores: entre 4 a 5 dolares
- . Rodillo de grata satinado: 24 dolares
- . Disco zirconio: 3,70 dolares

A más del desgaste de herramientas como la satinadora y la pulidora.

En un mes al pagarle a 1 persona que se encargue de la limpieza de superficies de acero inoxidable el valor es de \$400, tambien debemos contar con el valor de los materiales que se usan mensualmente: 10 discos zirconios al mes tendrian un valor total de \$40.

En discos borradores el valor mensual puede llegar a variar debido al estado en que estén las planchas de acero inoxidable por ejemplo en un mes se pueden llegar a gastar entre 15 a 20 discos borradores que darian un total de \$100 aproximados.

En rodillos de grata se estarían gastando aproximadamente unos 10 rodillos dando como valor mensual \$240.

Entonces:

$$V_{\text{total}} = 400 + 40 + 100 + 240$$

$$V_{\text{total}} = 780 \text{ dólares al mes}$$

Cada ventosa de diámetro de 10cm tiene un valor de \$12 aproximadamente, entonces al ser 9 ventosas sería igual a :

Bomba de vacío tiene un valor de 280 dólares

$$9 * 12 = 108 \text{ dólares}$$

Estos valores son aproximados a lo que puede llegar a invertir una persona en un mes solo en el sistema de ventosas, estamos hablando que en un mes una persona podría llegando a gastar \$388 dólares americanos.

Tenemos que en un mes una persona invierte \$780 para la limpieza de superficies en planchas de acero inoxidable, ahora con el sistema de ventosas solo invertiría aproximadamente \$388 dólares americanos; con esto podemos decir que en 5 meses la persona podrá recuperar su inversión en el sistema de ventosas.

Pago mensual mano de obra: \$780

Inversión en el sistema de ventosas: \$388

Costo de instalación y accesorios: \$100

Suma total de la inversión:

$$708 + 108 + 100 = \$1268$$

IX. RESULTADOS

En el perfil de las vigas se fue utilizando en la viga Viajera fue: W150X24 que fue utilizada para resolver los cálculos de la viga viajera, pudimos obtener el factor de seguridad que fue 2.98, esto quiere decir que indica que esta estructura está diseñada para resistir una carga 2.98 veces mayor que la carga máxima que se espera que soporte en condiciones normales de operación. Esto significa que la viga tiene una capacidad de carga mucho mayor que la necesaria para garantizar su funcionamiento seguro.

En la viga Testera el perfil elegido fue: W150X14 parecido al anterior ya que es un aspecto crucial en el diseño de la estructura que soportaran las cargas pesadas, con el cálculo de esfuerzos determinamos los esfuerzos máximos a los que estará sometida la viga con todo eso encontramos el mejor perfil que fue el anterior mencionado, y con el factor de seguridad que fue hallado podemos deducir que el factor de seguridad de 2.76 en una viga testera representa un coeficiente de diseño que indica que la estructura ha sido concebida para resistir cargas significativamente superiores a las que se espera que experimente en condiciones normales de operación.

En la viga carrilera elegido fue: W250x28 ya debe aguantar más peso ya que debe darle un perfecto desplazamiento por todo lo largo del puente grúa y teniendo en cuenta el factor de seguridad que es 3.70 con este factor de seguridad alto, es mayor seguridad y durabilidad que beneficia de una manera excelente al puente grúa.

Utilizamos para las columnas tubulares de Acero ASTM A500 de dimensiones 200x100x6mm.

Cuando elegimos las potencias utilizadas debemos tener en cuenta que en el trolley debe tener la fuerza necesaria para poder utilizarlo en trabajo específicos con cargas específicas por ejemplo en nuestro caso utilizamos de 0.10kW y en la testera es lo que podrá soportar dichas testeras con una potencia de 0.18kW el cual podrá trabajar de una manera óptima el puente grúa.

La potencia del polipasto fue de 1.96kW, cuando mencionamos las ventosas en el puente grúa que utilizamos 9 ventosas para la succión del material que es el acero inoxidable, utilizando ventosas con características de 10 cm de diámetro. Con estas dimensiones fueron creadas las ventosas necesarias para el puente grúa.

Tabla XIV: Tabla de resultados

| | |
|---------------------------------------|--|
| Tipo de puente grúa | Monorriel |
| Tipo de polipasto | Polipasto de cadena Demag DC-Pro, capacidad de carga: 1000 kg/1ton |
| Capacidad de elevación | 1000kg |
| Servicio | Interior |
| Luz del puente Grúa | 2.30m |
| Recorrido total del gancho | 6m |
| Tipo de Gancho | Ventosas |
| Estructura | A4 |
| Elevación | M5 (Trabajo minimo Estandar) |
| Dirección | M5 |
| Traslación | M5 |
| MOVIMIENTO DE ELEVACIÓN | |
| Velocidad | 40 ft/min |
| Potencia motor | 1.96kW |
| MOVIMIENTO DE DIRECCIÓN | |
| Velocidad principal | 79ft/min |
| Potencia Motor | 0.10kW |
| MOVIMIENTO DE TRASLACIÓN | |
| Distancias entre rueda/ Entre centros | 1.10m/0118m |
| Tipo de Testero | Estandar |
| Cantidad de ventosas | 9 ventosas |
| Presion | -138.85 Kpa |
| V. volumen | 2.78 *10 ⁴ m ³ /s |
| Potencia real | 0.09Hp |
| Rodamiento V. testera | Selección 61807 |
| Rodamiento Trolley | Selección W 6006-27 |
| Tub. Rectangular | 200*100*6mm |



Figura 50: Control del puente grúa

Este control nos ayudará a manejar el desplazamiento en los diferentes ejes del puente grúa, en los cuales los que se encuentran en la parte superior controlarán el desplazamiento del eje “X”, los siguientes de abajo controlarán el desplazamiento del eje “Y” y por ultimo los botones del final controlarán el desplazamiento del eje “Z”. El interruptor que se encuentra en la parte superior izquierda del control es aquel que activará la succión de aire para que las ventosas hagan la succión necesaria para el levantamiento del material a trasladar.

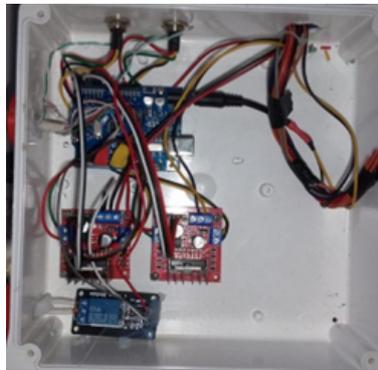


Figura 51: Circuito

Trabaja con una fuente de 15 Amperios con diferentes corrientes, 1 Arduino Uno, 2 puentes H y otra placa de 5 voltios que controla el contactor que envíe la señal para realizar la succión en las ventosas.

Estos 2 sistemas de controlan los desplazamientos del puente grúa y la succión están separados porque se necesita que no estén al mismo tiempo trabajando los 2 porque tiene el contactor aparte para evitar las corrientes.

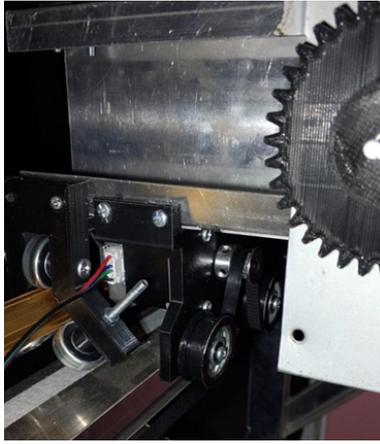


Figura 52: Motor del eje principal

Motor del eje principal “X” con el cual por medio del motor y de los rodamientos me da un desplazamiento de manera paralela y continua de como lo vaya manejando con el control al trasladar el material.

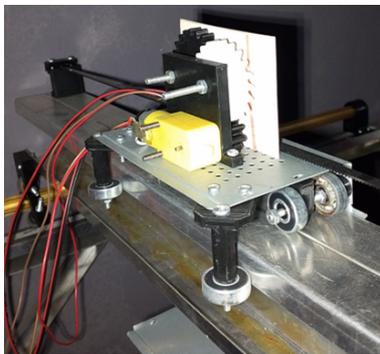


Figura 53: Motor del eje Y

Este motor nos ayudará a darle movimiento al eje “Y” para el traslado de material de derecha a izquierda, guiado por rodamientos al igual que el eje anterior ya explicado también se desplazará de manera paralela y sin tambaleos, esta estructura se la realizo con 3 piñones impresos en 3D para poder regular la velocidad y la fuerza que el prototipo necesitará para el traslado de material.

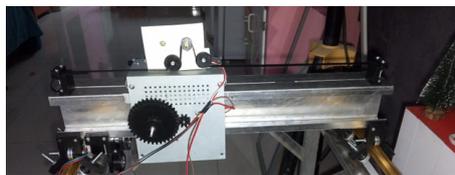


Figura 54: Motor del eje Z

Este motor nos ayudará para el ascenso y descenso del material a trasladar, este mecanismo se realizó con un motor reductor, reducción de 3 a 1 en piñones y una pequeña estructura de metal para la estabilidad de este.

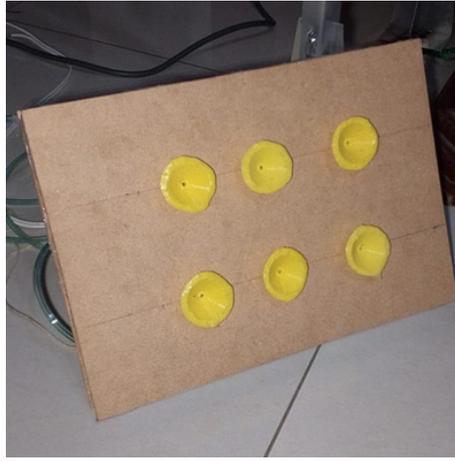


Figura 55: Ventosas

La estructura de las ventosas hecha por madera y las ventosas por silicon. Distribuida la succión de aire por medio de estas 6 ventosas para el agarre del material y su traslación, accionado por medio de un contactor y su respectivo compresor.

X. CONCLUSIONES

En terminado caso se concluye que este proyecto es viable a largo plazo debido a los varios factores en los que se ayudará en el tema de costo de: reducción de mano de obra, reducción de trabajos de limpieza, reducción de herramientas.

Abarca seguridad al eliminar la necesidad de que los trabajadores manipulen las piezas, lo que reduce el riesgo de accidentes de la ergonomía de los trabajadores y su integridad física.

Se tiene eficiencia al tener implementado el sistema de ventosas que puede mover las planchas de manera rápida y precisa, lo que aumentará la productividad.

Se aumenta la precisión mediante este sistema porque permitirá sujetar las piezas de manera segura y sin dañarlas evitando pandeos o algún tipo de flexión en las planchas lo que es importante sobre todo para planchas de espesores pequeños de 0.7, 1.0, 1.2 milímetros.

Los objetivos planteados se lograron cumplir con lo previsto igual con las metas propuestas, como son: Diseño con programación, se logró fabricar con todas las funciones el prototipado del puente grúa con su sistema de sujeción por ventosas y se logro con eficacia el análisis técnico económico del sistema.

XI. RECOMENDACIONES

Es fundamental que todos los operadores del puente grúa reciban capacitación adecuada sobre el uso seguro del equipo, incluyendo el sistema de ventosas y la bomba de vacío.

Se debe realizar un mantenimiento regular del puente grúa y del sistema de ventosas para asegurar su correcto funcionamiento y prevenir accidentes.

Se recomienda realizar inspecciones visuales diarias del sistema de ventosas para detectar posibles daños o desgaste.

Es importante realizar pruebas de sujeción con la carga máxima antes de cada uso para garantizar la seguridad.

Los operadores del puente grúa deben usar el equipo de protección personal adecuado, como cascos, gafas de seguridad y zapatos de seguridad.

Es importante seleccionar las ventosas adecuadas para el tipo de material que se va a manipular.

La superficie de trabajo debe ser limpia, lisa y libre de obstáculos para asegurar un buen agarre de las ventosas.

Se recomienda planificar cuidadosamente las operaciones de izaje para minimizar el tiempo de inactividad.

Un mantenimiento preventivo adecuado del sistema de ventosas y la bomba de vacío ayudará a evitar averías y optimizar la eficiencia.

Es importante calibrar el sistema de ventosas para asegurar la precisión en la manipulación de las piezas.

El operador del puente grúa debe tener un control preciso del movimiento del equipo para evitar daños a las piezas.

Se debe asegurar la correcta alineación de las ventosas con la pieza que se va a manipular.

Un entorno de trabajo estable y libre de vibraciones ayudará a mejorar la precisión del sistema de ventosas.

Se debe seleccionar un puente grúa con la capacidad de carga adecuada para las piezas que se van a manipular.

Se debe establecer un programa de mantenimiento preventivo para el puente grúa, el sistema de ventosas y la bomba de vacío.

Es importante seguir las instrucciones del fabricante para el mantenimiento del equipo.

El mantenimiento del equipo debe ser realizado por personal calificado y con experiencia.

XII. CRONOGRAMA

Tabla XV: Cronograma de Actividades para Implementación del Proyecto de Tesis.

| Meses | may-23 | jun-23 | jul-23 | ago-23 | sep-23 | oct-23 | abr-24 | may-24 | jun-24 | jul-24 | ago-24 | sep-24 |
|--------------------------------------|---------|-----------------|---------------------------|--|-------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Semanas | 1 2 3 4 | 5 6 7 8 9 10 11 | 12 13 14 15 16 17 18 19 # | 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 | 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 | | | | | | | |
| ACTIVIDADES | | | | | | | | | | | | |
| ANTEPROYECTO | | | | | | | | | | | | |
| Borrador del libro y Paper | | | | | | | | | | | | |
| Caratula e índice | | | | | | | | | | | | |
| Problemas de estudio y justificación | | | | | | | | | | | | |
| Objetivos | | | | | | | | | | | | |
| Marco Teórico | | | | | | | | | | | | |
| Metodología | | | | | | | | | | | | |
| Requisitos del Puente Guía | | | | | | | | | | | | |
| Cálculos de las Vigas | | | | | | | | | | | | |
| Esfuerzos de las Vigas | | | | | | | | | | | | |
| Cálculos completos | | | | | | | | | | | | |
| Viabilidad económica | | | | | | | | | | | | |
| Presupuestos y gastos | | | | | | | | | | | | |
| Conclusiones | | | | | | | | | | | | |
| Recomendaciones | | | | | | | | | | | | |
| Correcciones | | | | | | | | | | | | |
| Creación del Prototipo | | | | | | | | | | | | |
| Pruebas del prototipo | | | | | | | | | | | | |

XIII. PRESUPUESTOS Y GASTOS

En la tabla de presupuestos nos indica los valores aproximados que podemos obtener mediante cotizaciones realizadas en diferentes locales del país para la elaboración del proyecto de Tesis como podemos observar.

Tabla XVI: Cotización de materiales.

| ITEM | DESCRIPCIÓN | P. UNITARIO | CANTIDAD | P.TOTAL |
|-------|--|-------------|----------|---------|
| 1 | Carro del puente grúa | \$7000 | 1 | \$7000 |
| 2 | Motor desplazamiento del carro principal | \$330 | 2 | \$660 |
| 3 | Motor Reductor del carro principal | \$190 | 2 | \$190 |
| 4 | Cable Festoon | \$450 | 2 | \$900 |
| 5 | Sistema de viga principal y viga del carro | \$5000 | 1 | \$5000 |
| 6 | Luz- Puente grúa | \$2000 | 1 | \$2000 |
| 7 | Sistema de Ventosas | \$1200 | 1 | \$1200 |
| 8 | Ventosas | \$20 | 9 | \$180 |
| 9 | Contactador de 35 amps | \$20 | 1 | \$20 |
| 10 | Breacker de 35 amps | \$22 | 1 | \$22 |
| 11 | Motor de Konecranes (Motor de puente grúa) | \$600 | 1 | \$600 |
| 12 | Kit de ruedas para testeros | \$550 | 1 | \$550 |
| 13 | Disyuntor y contactador | \$125 | 1 | \$125 |
| 14 | Vigas Testeras | \$500 | 2 | \$1000 |
| 15 | Estructura del puente grúa | \$1200 | 1 | \$1200 |
| 16 | Bomba de vacio para succión de ventosas | \$280 | 1 | \$280 |
| 17 | Prototipo | \$500 | 1 | \$500 |
| 18 | Mano de obra (Cortadora láser) | \$140 | 1 | \$140 |
| TOTAL | | | | \$21567 |

REFERENCIAS

- [1] Nicolás, A. Llorente, y C. Gonzalez Martínez, “*MANUAL PREVENCIÓN DE RIESGOS LABORALES DE PUENTE GRÚA [En línea]. Disponible en: www.academia-formacion.com.*
- [2] *Iees codigo de tr, “iess 0319965001607116289”.*
- [3] H. Congreso Nacional y M. P. Maya, “*CODIGO DEL TRABAJO Codificación 17 Registro Oficial Suplemento 167 de 16-dic-2005 Ultima modificación: 26-sep-2012 Estado: Vigente*”. [En línea]. Disponible en: www.lexis.com.ec.
- [4] “*ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ANÁLISIS Y SIMULACIÓN POR COMPUTADOR DE LA CINEMÁTICA DIRECTA DE UNA MANO ROBÓTICA DE CINCO DEDOS TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL GRADO DE MAGÍSTER EN*.”
- [5] D. C. T. I. T. y. K. D. M. M. Banzi H. Barragin, *Arduino: Manual de Programación 2 Datos del documento original*, 2007. [En línea]. Disponible en: <http://www.arduino.cc><http://www.wiring.org.co><http://www.arduino.cc/en/Book><http://www.stanford.edu/101/http://creativecommons.org/licenses/by-nc-/>.
- [6] Mouser Electronics, *Arduino*. dirección: <https://www.mouser.ec/ProductDetail/Arduino/A000066?qs=BC3YYPaifMrIue9b%252BHtKQg%3D%3D>.
- [7] W. Wang, Q. Zhang, Y. Wang, Z. Wang, J. Song, y Q. Yang, “*Design and experimental validation of differential pumped vacuum system for HINEG windowless gas target*”, *Fusion Engineering and Design*, vol. 189, p. 113465, abr. 2023, doi: 10.1016/j.fusengdes.2023.113465.
- [8] *CAPÍTULO CINCO: SISTEMAS NEUMÁTICOS*.
- [9] M. Heikkilä y M. Linjama, “*Displacement control of a mobile crane using a digital hydraulic power management system*”, *Mechatronics*, vol. 23, núm. 4, pp. 452–461, 2013, doi: 10.1016/j.mechatronics.2013.03.009.
- [10] *M. Del Alumno, OPERADOR DE PUENTE GRÚA*.
- [11] Pimeg, *Puente Grúa*. dirección: <https://puentegrúa.es/por-que-se-utiliza-el-puente-grúa-en-cerdanyola-para-la-industria-del-automovil>.
- [12] Fluid, *FluidSIM ® 4 Hidráulica Manual del usuario*. dirección: www.festo-didactic.com.
- [13] Projecta, *Ventosa de aire*. dirección: <https://www.projecta.fi/e-vac-alipainetarraitmet-%E2%88%92-turvallisuutta-helppoutta-ja-parempaa-ergonomia/>.
- [14] *Guia-Fusion-360-Fundamentos*”.
- [15] TecNorte, *Fusion360*. dirección: <https://exair.tecnorte.com/producto/generadores-de-vacio-ajustable/>.
- [16] G. Antonio Yáñez Vílchez, P. Guía, S. J. Zhar, V., *Profesor Co-Guía*, y S. G. Morales Pávez, “*DISEÑO DE UN PUENTE GRÚA DE 2 TONELADAS*.”
- [17] “*pdfcoffee.com_norma - cmaa - 70 - 2 - pdf - free*”.
- [18] IRIM, *PuentesGrúa*. dirección: <https://www.renovetec.com/irim/menu-irim/normas-irim-serie1000-1020-800400-2016.html>.
- [19] R. Jairo, V. Barona, N. Elizabeth, y N. Ortiz, “*ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN Materia Integradora Previo la obtención del Título de: INGENIERO MECÁNICO*”.
- [20] G. Fabián Jaramillo Calle y I. B. Jonnathan Santo, *UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE CUENCA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA*.
- [21] Hersen, *Grua de brazo*. dirección: <https://hersen.com/productos/grúa-de-brazo-con-columna-hersen/>.
- [22] Construcciones UCE, *Grua torre*. dirección: <https://construccionesuce.wordpress.com/2018/03/13/gruas-torre/>.
- [23] Tisa Transmisiones, *Puente grúa movil*. dirección: https://tisatransmisiones.com.ar/prod_aparejos.php.
- [24] Hancar Industrial, *Estructura de un puente grúa*. dirección: <https://hancar.com.mx/kit-de-componentes/>.
- [25] “*Puentes Grúa*”.
- [26] Electrificaciones y cargal, *POLIPASTOS Y ELECTRIFICACIONES PARA GRÚAS VIAJERAS*. dirección: <https://ecp-h.com/>.
- [27] J. San Miguel Induráin, *Guia para la adecuacion y evaluacion de riesgos en puentes grúa. Gobierno de Navarra, 2003*.

- [28] .
- [29] Espoch, *Longitud de viga*. dirección: <http://cimogsys.esPOCH.edu.ec/direccion-publicaciones/public/docs/books/2019-09-18-223332-64%20Libro%20I%20Congreso%20Internacional%20de%20Mec%C3%A1nica.pdf>.
- [30] R. G. Budynas y J. Keith Nisbett, *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, 9na Edición*.
- [31] Prolians Metalco, *Productos metalurgicos*. dirección: https://prolians.es/catalogos/prontuario-2021/prolians_metalco_prontuario_2021.pdf.

XIV. ANEXOS

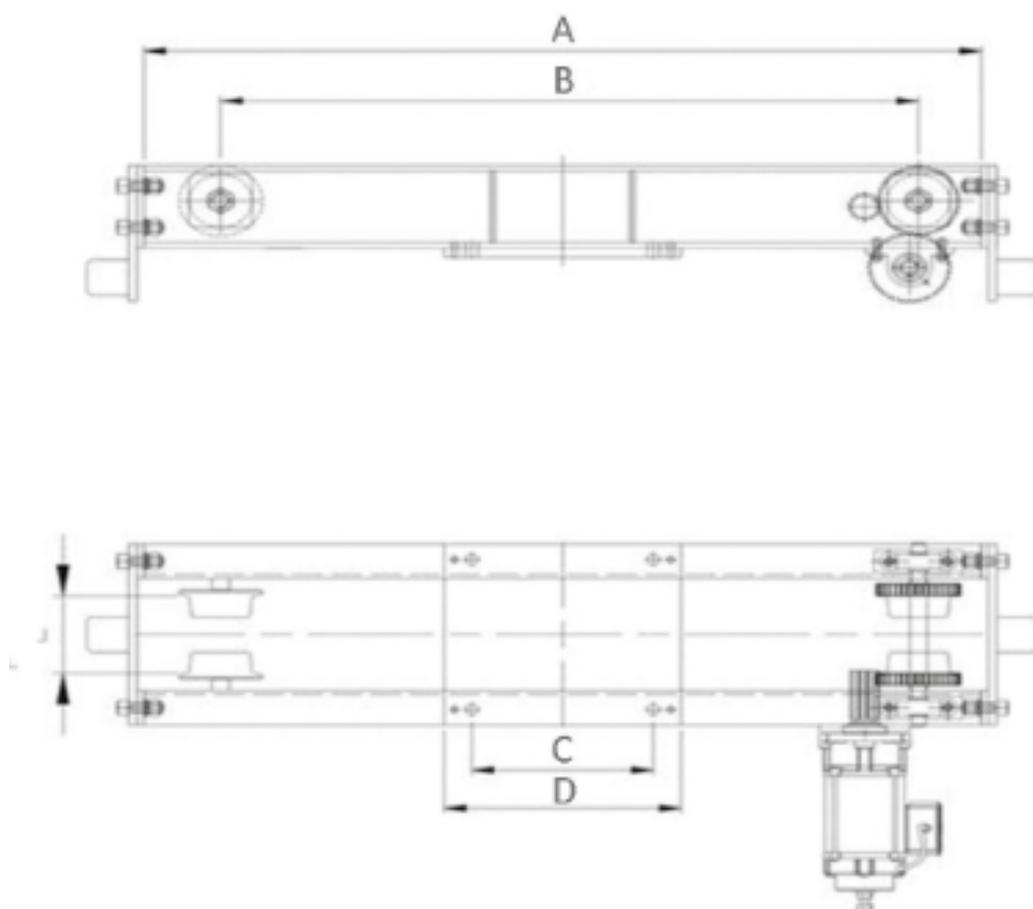


Figura 56: Plano de viga testera

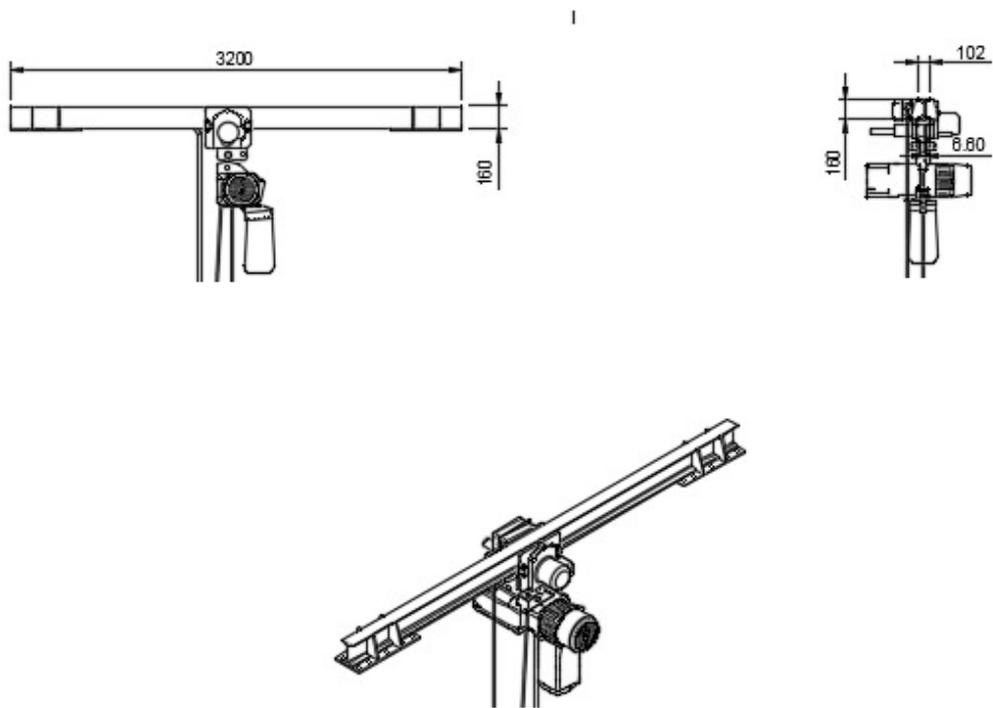


Figura 57: Plano de viga viajera

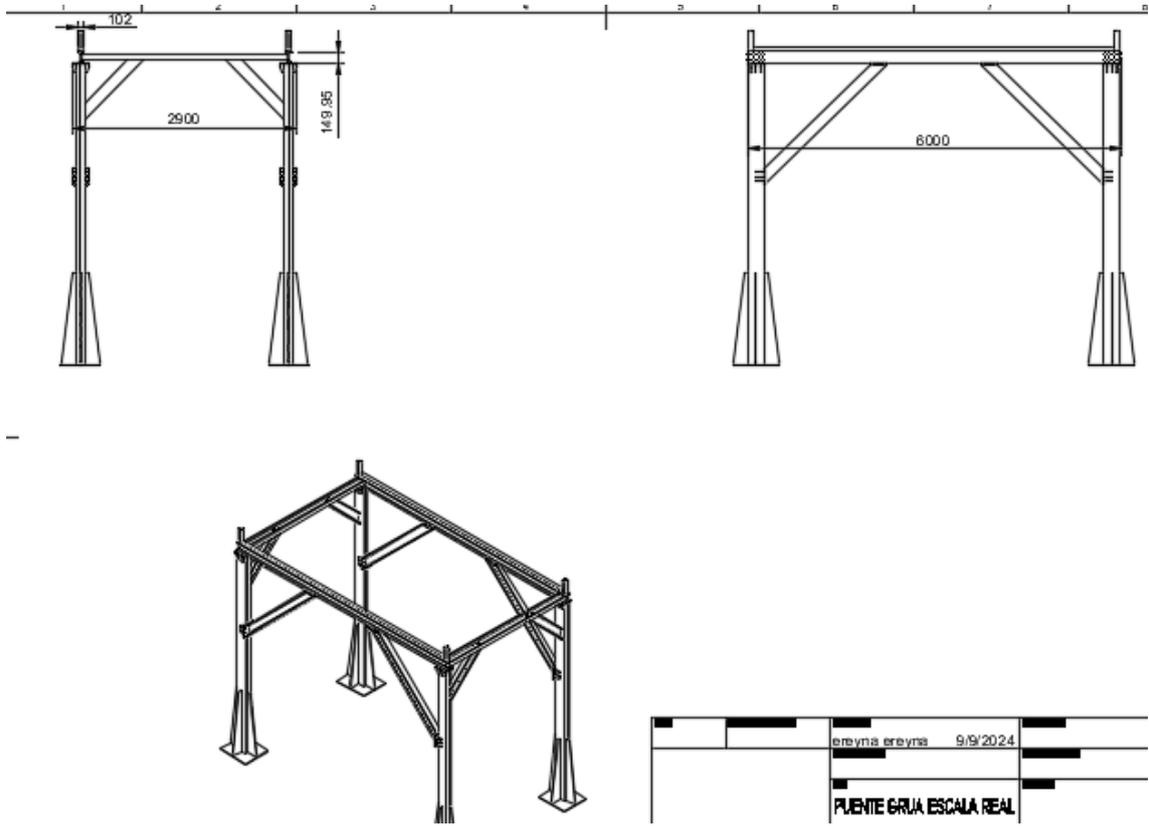


Figura 58: Plano de viga carrilera