



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA
INDOAMÉRICA**

FACULTAD DE INGENIERÍAS

MAESTRÍA EN DISEÑO INDUSTRIAL Y DE PROCESOS

TEMA:

DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE IZAJE PARA SPOOLS Y LÍNEAS EN ESTACIONES DE SERVICIO PARA LA EMPRESA PIL S.A. EN LA CIUDAD DE LA JOYA DE LOS SACHAS.

Trabajo de Titulación previo a la obtención del título de Magister en Diseño Industrial y de Procesos.

Autor

Ing. Valencia Escobar Jhonny Steeven

Tutor

Ing. Muquinche Puca Juan Pablo, Mg.

AMBATO – ECUADOR
2025

**AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL AUTOR PARA LA CONSULTA, REPRODUCCIÓN
PARCIAL O TOTAL, Y PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Yo, Jhonny Steeven Valencia Escobar, declaro ser autor del Trabajo de Titulación con el nombre “Diseño y Simulación de un sistema de izaje para spools y líneas en estaciones de servicio para la empresa PIL S.A. en la ciudad de la Joya de los Sachas”, como requisito para optar al grado de Magister en Diseño Industrial y de Procesos, autorizo al Sistema de Bibliotecas de la Universidad Tecnológica Indoamérica, para que con fines netamente académicos divulgue esta obra a través del Repositorio Digital Institucional (RDI-UTI).

Los usuarios del RDI-UTI podrán consultar el contenido de este trabajo en las redes de información del país y del exterior, con las cuales la Universidad tenga convenios. La Universidad Tecnológica Indoamérica no se hace responsable por el plagio o copia del contenido parcial o total de este trabajo.

Del mismo modo, acepto que los Derechos de Autor, Morales y Patrimoniales, sobre esta obra, serán compartidos entre mi persona y la Universidad Tecnológica Indoamérica, y que no tramitaré la publicación de esta obra en ningún otro medio, sin autorización expresa de la misma. En caso de que exista el potencial de generación de beneficios económicos o patentes, producto de este trabajo, acepto que se deberán firmar convenios específicos adicionales, donde se acuerden los términos de adjudicación de dichos beneficios.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Ambato, a los 10 días del mes de septiembre de 2025, firmo conforme:

Autor: Ing. Jhonny Steeven Valencia Escobar

Firma:

Número de Cédula: 0705795797

Dirección: Tungurahua, Ambato, Huachi Chico, Floresta.

Correo Electrónico: jonasvalencia95@gmail.com

Teléfono: 0983117482

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del Trabajo de Titulación “DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE IZAJE PARA SPOOLS Y LÍNEAS EN ESTACIONES DE SERVICIO PARA LA EMPRESA PIL S.A. EN LA CIUDAD DE LA JOYA DE LOS SACHAS” presentado por Jhonny Steeven Valencia Escobar, para optar por el Título Magister en Diseño Industrial y de Procesos,

CERTIFICO

Que dicho Trabajo de Titulación ha sido revisado en todas sus partes y considero que reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte los Lectores que se designe.

Ambato, 10 de septiembre del 2025

.....
Ing. Muquinche Puca Juan Pablo, Mg.

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Quien suscribe, declaro que los contenidos y los resultados obtenidos en el presente Trabajo de Titulación, como requerimiento previo para la obtención del Título de Magister en Diseño Industrial y de Procesos, son absolutamente originales, auténticos y personales y de exclusiva responsabilidad legal y académica del autor.

Ambato, 10 de septiembre del 2025

.....
Ing. Valencia Escobar Jhonny Steeven
0705795797

APROBACIÓN DE EXAMINADORES

El Trabajo de Titulación ha sido revisado, aprobado y autorizada su impresión y empastado, sobre el Tema: DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE IZAJE PARA SPOOLS Y LÍNEAS EN ESTACIONES DE SERVICIO PARA LA EMPRESA PIL S.A. EN LA CIUDAD DE LA JOYA DE LOS SACHAS, previo a la obtención del Título de Magister en Diseño Industrial y de Procesos, reúne los requisitos de fondo y forma para que el estudiante pueda presentarse a la sustentación del Trabajo de Titulación.

Ambato, 10 de septiembre del 2025

.....

Ing. Saá Tapia Fernando David, Mg.

LECTOR

.....

Ing. Ayala Chauvin Manuel Ignacio, Mg.

LECTOR

DEDICATORIA

A Dios, a mis padres, a mis hermanos a mi novia y sobre todo a mí mismo.

AGRADECIMIENTO

A Dios por ser bendecido en todo este trayecto, a mis padres y hermanos que siempre han velado por mí, al amor de mi vida que me apoyo con su luz, a mis docentes, compañeros de trabajo por su paciencia y labor de enseñanza.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

| | |
|---|------|
| PORTADA..... | i |
| AUTORIZACIÓN POR PARTE DEL AUTOR | ii |
| APROBACIÓN DEL TUTOR..... | iii |
| DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD..... | iv |
| APROBACIÓN DE EXAMINADORES | v |
| DEDICATORIA..... | vi |
| AGRADECIMIENTO | vii |
| ÍNDICE DE CONTENIDOS | viii |
| ÍNDICE DE TABLAS | x |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | xi |
| ÍNDICE DE GRÁFICOS | xii |
| ÍNDICE DE ANEXOS..... | xiii |
| RESUMEN EJECUTIVO..... | xiv |
| ABSTRACT..... | xv |
| CAPÍTULO I | 1 |
| Contextualización | 1 |
| Antecedentes | 2 |
| Justificación | 3 |
| Objetivos de la Investigación..... | 4 |
| Objetivo General..... | 4 |
| Objetivo Específico..... | 4 |
| CAPÍTULO II..... | 6 |
| Diagnóstico de la situación actual de la empresa..... | 6 |
| Área de estudio | 17 |

| | |
|--|----|
| Modelo operativo | 18 |
| Desarrollo del modelo operativo..... | 20 |
| CAPÍTULO III..... | 23 |
| PROPUESTA Y RESULTADOS ESPERADOS | 23 |
| Presentación de la propuesta..... | 23 |
| Resultados esperados | 38 |
| Cronograma de actividades..... | 39 |
| Estimación de costos..... | 41 |
| CAPÍTULO IV..... | 42 |
| Proceso de ejecución..... | 42 |
| Resultados obtenidos | 44 |
| Evaluación de la ejecución..... | 49 |
| CAPÍTULO V..... | 50 |
| ANEXOS | 55 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1: Registros tiempos de operación de cargas. | 10 |
| Tabla 2: Resultados obtenidos del levantamiento de información..... | 11 |
| Tabla 3: Ventajas y desventajas del modelo de estudio previo. | 13 |
| Tabla 4: Especificaciones técnicas del modelo. | 20 |
| Tabla 5: Parámetros de diseño. | 20 |
| Tabla 6: Materiales a emplearse para condición diseño..... | 21 |
| Tabla 7: Condiciones de carga para modelo. | 22 |
| Tabla 8: Datos para el diseño de viga a cargas estáticas. | 26 |
| Tabla 9: Datos para el diseño de columna a cargas estáticas. | 33 |
| Tabla 10: Datos para el diseño de columna a cargas dinámicas. | 34 |
| Tabla 11: Tabla de comparación antes/después..... | 39 |
| Tabla 12: Cronograma de actividades..... | 40 |
| Tabla 13: Costos para el desarrollo del producto. | 41 |
| Tabla 14: Ficha de desarrollo y control de proyecto..... | 44 |
| Tabla 15: Comparación de FEM para perfiles estructurales | 49 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Logo PIL S.A..... | 6 |
| Figura 2. Ubicación geoespacial de la empresa..... | 7 |
| Figura 3. Ubicación de andamios para el desmontaje de accesorios. | 8 |
| Figura 4. Fabricación de sistemas de izaje improvisados..... | 9 |
| Figura 5. Movilización de cargas..... | 9 |
| Figura 6. Estudio previo pórtico. | 13 |
| Figura 7. Casa de la calidad. | 15 |
| Figura 8. Reporte de accidentes de trabajo..... | 16 |
| Figura 9. Parámetros de relación para casa de calidad, QFD. | 16 |
| Figura 10. Matriz de calidad..... | 17 |
| Figura 11. Área de estudio de investigación..... | 18 |
| Figura 12. Modelo Operativo para desarrollo de investigación..... | 19 |
| Figura 13. Vista frontal del diseño del sistema de izaje..... | 24 |
| Figura 14. Vista lateral del diseño del sistema de izaje. | 24 |
| Figura 15. Dimensiones generales diseño..... | 25 |
| Figura 16. Dimensionamiento de la viga. | 26 |
| Figura 17. Diagramas de fuerza cortante y momento flector..... | 27 |
| Figura 18. Diagramas de fuerza cortante y momento flector rediseño..... | 29 |
| Figura 19. Diagramas de fuerza cortante y momento flector sin carga. | 30 |
| Figura 20. Elemento estructural columna. | 33 |
| Figura 21. Esfuerzo de von Mises en perfil 150x50x3 mm..... | 45 |
| Figura 22. Deflexión en perfil 150x50x3 mm. | 45 |
| Figura 23. Factor de seguridad en perfil 150x50x3 mm..... | 46 |
| Figura 24. Análisis de elementos finitos en perfil IPN 120..... | 47 |
| Figura 25. Análisis de elementos finitos en perfil IPN 120..... | 48 |

ÍNDICE DE GRÁFICOS

| | |
|---|----|
| Gráfico 1. Datos estadísticos de los aspectos técnicos..... | 12 |
| Gráfico 2. Datos estadísticos de los aspectos operativos. | 12 |
| Gráfico 3: Curva S del proyecto. | 41 |

ÍNDICE DE ANEXOS

| | |
|---|----|
| Anexo I. Entrevista Diagnóstica - Sistema de Izaje | 55 |
| Anexo II. Catálogo de perfilería comercial DIPAC. | 56 |

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
MAESTRÍA EN DISEÑO INDUSTRIAL Y DE PROCESOS

TEMA: DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE IZAJE PARA SPOOLS Y LÍNEAS EN ESTACIONES DE SERVICIO PARA LA EMPRESA PIL S.A. EN LA CIUDAD DE LA JOYA DE LOS SACHAS

AUTOR: Ing. Valencia Escobar Jhonny Steeven

TUTOR: Ing. Muquinche Puca Juan Pablo, Mg.

RESUMEN EJECUTIVO

El presente trabajo de titulación se enfoca en el diseño y simulación de un sistema de izaje tipo pórtico para la manipulación de spools y líneas en las estaciones de servicio de la empresa PIL S.A., ubicada en Joya de los Sachas, en respuesta a una problemática caracterizada por altos tiempos operativos, uso de estructuras improvisadas y riesgos ergonómicos que comprometen la seguridad y eficiencia del personal. El objetivo principal fue diseñar y validar un sistema técnico que optimice estos procesos, partiendo de la hipótesis de que un pórtico desarrollado con criterios de ingeniería y validado mediante simulación estructural puede reducir significativamente los tiempos de operación, mejorar las condiciones ergonómicas y aumentar la productividad. La metodología empleada se estructuró en cuatro fases: diagnóstico en campo para identificar necesidades y restricciones, diseño conceptual del sistema, modelado tridimensional en software CAD y validación estructural mediante análisis por elementos finitos (FEA), considerando condiciones reales de carga. Los resultados obtenidos evidencian una reducción del tiempo de operación de 3,4 a 1,5 horas, así como una disminución del personal necesario de seis a tres operarios, mejorando también la seguridad laboral al eliminar riesgos previamente asociados a las tareas manuales. Además, la evaluación comparativa de perfiles estructurales permitió seleccionar un tubo rectangular 150x50x3mm, logrando un factor de seguridad mínimo de 2,5. En conclusión, el sistema propuesto responde eficazmente a las necesidades operativas de la empresa, mejora las condiciones de trabajo del personal y optimiza el uso de recursos, contribuyendo al cumplimiento de estándares de seguridad industrial y promoviendo prácticas de mejora continua.

DESCRIPTORES: Ergonomía industrial, Izaje, Seguridad ocupacional, Simulación estructural.

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA INDOAMÉRICA

FACULTY OF ENGINEERING

Master's Degree in Industrial and Process Design

AUTHOR: VALENCIA ESCOBAR JHONNY STEEVEN

TUTOR: MG. MUQUINCHE PUCA JUAN PABLO

ABSTRACT

DESIGN AND SIMULATION OF A HOISTING SYSTEM FOR SPOOLS AND PIPELINES AT SERVICE STATIONS FOR THE PIL S.A. COMPANY IN JOYA DE LOS SACHAS

This research focuses on the design and simulation of a gantry-type hoisting system for handling spools and pipelines at service stations for the PIL S.A. Company in Joya de los Sachas, in response to a problem characterized by long operating times, the use of improvised structures, and ergonomic risks that compromise the safety and efficiency of personnel. The objective aimed to design and validate a technical system that optimizes these processes, based on the hypothesis that a gantry developed using engineering criteria and validated through structural simulation can significantly reduce operating times, improve ergonomic conditions, and increase productivity. The methodology employed consisted of four phases: field diagnosis to identify needs and constraints, conceptual design of the system, three-dimensional modeling using CAD software, and structural validation through finite element analysis (FEA), considering real load conditions. The results obtained show a reduction in operating time from 3.4 to 1.5 hours, as well as a decrease in the number of personnel required from six to three operators, also improving occupational safety by eliminating risks previously associated with manual tasks. Additionally, the comparative evaluation of structural profiles enabled the selection of a 150 mm x 50 mm x 3 mm rectangular tube, achieving a minimum safety factor of 2.5. In conclusion, the proposed system effectively addresses the company's operational needs, enhances working conditions for personnel, and optimizes resource utilization, thereby contributing to compliance with industrial safety standards and promoting

KEYWORDS: Hoisting, industrial ergonomics, occupational safety, structural simulation



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Contextualización

En el contexto global, los sistemas de izaje han experimentado una evolución significativa, impulsada por las crecientes demandas de sectores como el petróleo, la construcción y la manufactura pesada. Según la Organización Internacional de Normalización (ISO, 2007), la manipulación de cargas en entornos industriales ha generado la necesidad de implementar soluciones tecnológicas que minimicen riesgos ergonómicos y mejoren la eficiencia operativa. En este marco, Mascarós Mateo (2022) destaca que la transición hacia la digitalización industrial y la Industria 4.0 ha propiciado el desarrollo de sistemas inteligentes de elevación, que incorporan sensores, actuadores, controladores y plataformas de monitoreo en tiempo real, facilitando un control más preciso y seguro de las operaciones.

Cohen Padilla et al. (2020) señalan que el mercado global de sistemas de izaje ha mostrado un crecimiento exponencial, con una proyección de alcanzar los 75 mil millones de dólares para el año 2025, especialmente en regiones con alta actividad industrial como Asia-Pacífico y América del Norte. Este crecimiento también responde a una mayor conciencia sobre la seguridad laboral y la necesidad de reducir la exposición de los trabajadores a cargas físicas excesivas, como lo advierte la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (OSHA, 2020).

Desde un enfoque meso, Ruíz (2022) explica que la logística del transporte, almacenamiento y distribución de cargas continúa siendo un reto, especialmente en regiones como América Latina, donde todavía se emplean métodos manuales para la manipulación de objetos pesados. A pesar de la disponibilidad de maquinaria especializada, como grúas y montacargas, muchas empresas no han incorporado estas tecnologías de manera efectiva. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2019), esta situación representa un riesgo elevado para la salud ocupacional, ya que la manipulación inadecuada de cargas se asocia con trastornos musculoesqueléticos, particularmente en la región lumbar, y con el incremento de la tasa de ausentismo laboral.

González y Rivas (2021) argumentan que la modernización del sistema logístico y de izaje a nivel regional, mediante la adquisición de equipos adecuados y la capacitación del personal, no solo permitiría reducir estos riesgos, sino también aumentar la productividad y mejorar las condiciones laborales.

En el contexto nacional y empresarial, Ron y Almachi (2024) documentan que persisten desafíos significativos. Aunque existen reportes puntuales como el accidente ocurrido en Galápagos en 2019, donde el colapso de una grúa causó un derrame de combustible, el panorama general es aún fragmentado. Los sectores de la construcción y manufactura enfrentan riesgos recurrentes debido a la operación de maquinaria por parte de personal no calificado, falta de mantenimiento adecuado y escasa supervisión. Finalmente, el Ministerio de Trabajo de Ecuador (2023) advierte que factores sociales como el desempleo también contribuyen a que personas sin experiencia técnica asuman tareas de alto riesgo, agravando la vulnerabilidad en el entorno laboral.

Antecedentes

El estudio realizado por Giordano et al. (2023) en Argentina se centró en el análisis y optimización del diseño del modelo GMI, un dispositivo de izaje diseñado por la empresa Seiri Simplificar Proyectos S.R.L. Este accesorio, empleado en montacargas, permite transportar big bags de manera eficiente y segura. La modernización y la tecnología han revolucionado el izaje de cargas al introducir dispositivos más eficientes y seguros, como el modelo GMI y los spreaders. Estas innovaciones permiten una mejor adaptación de los montacargas al manejo de cargas voluminosas, optimizando la estabilidad, la distribución del peso y la seguridad durante el transporte. Además, la incorporación de materiales más resistentes y diseños funcionales reduce el riesgo de

deformaciones y fallas, lo que incrementa la productividad y minimiza los costos operativos en entornos industriales.

Poveda y Vasquez (2023), en su investigación, analizan la evolución del izaje y montaje de estructuras metálicas en Ecuador como una alternativa eficiente frente a las construcciones tradicionales de hormigón armado. Este avance, responde a la necesidad de optimizar los procesos de armado mediante la identificación y evaluación de variables clave, como la capacitación del personal, la planificación de obra y la disponibilidad de materiales y equipos. Además, destacan que factores externos, como las condiciones climáticas, afectan considerablemente el rendimiento, reduciéndolo hasta un 8% en días de lluvia para estructuras livianas. A través de encuestas realizadas evidencian que mejorar la comunicación y la organización puede incrementar el rendimiento hasta un 92% en condiciones favorables. Por lo tanto, concluyen que estas estrategias son esenciales para fortalecer la eficiencia y sostenibilidad en el montaje de estructuras metálicas en el país.

En Ecuador, el izaje de cargas ha evolucionado significativamente gracias a la modernización y adopción de nuevas tecnologías en sectores industriales y académicos. Bedoya (2022) en su estudio realizado en la Universidad Luis Vargas Torres, los talleres técnicos han integrado equipos más especializados para mejorar los procesos de enseñanza-aprendizaje. Sin embargo, pese a estos avances, persisten desafíos relacionados con la implementación de normas técnicas adecuadas y la capacitación en manejo seguro de dispositivos de izaje. Además, los cambios globales hacia la automatización y robotización han impulsado la necesidad de optimizar tanto la seguridad como la eficiencia en la manipulación de cargas. Por lo tanto, el desarrollo continuo de estrategias de prevención y monitoreo es esencial para reducir riesgos y garantizar mejores condiciones laborales.

Justificación

El diseño de un sistema de izaje tipo pórtico compacto es importante porque responde a la necesidad crítica de mejorar la seguridad y eficiencia en las operaciones industriales que requieren movimientos precisos en espacios reducidos. La ausencia de un sistema adecuado incrementa los riesgos ergonómicos para el personal, lo que puede derivar en lesiones musculoesqueléticas, accidentes y pérdidas económicas para la empresa. Por tanto, su implementación es vital para garantizar condiciones laborales seguras y procesos productivos más sostenibles.

Este sistema será de gran utilidad al reducir significativamente los tiempos de operación en tareas de levantamiento y manipulación de cargas. Al mismo tiempo, mejorará el control y precisión en estas maniobras, disminuyendo la probabilidad de errores humanos y de daños a los equipos. Su aplicación permitirá optimizar espacios de trabajo, especialmente en estaciones donde el área es limitada, lo que contribuyen a una mejor organización operativa.

Los principales beneficiarios de este proyecto serán los operarios encargados de las tareas de izaje, ya que contarán con una herramienta segura y eficiente que reducirá su carga física y el riesgo de lesiones. También se beneficiarán los responsables de mantenimiento, los supervisores de producción y, en general, toda la empresa, al experimentar mejoras en la productividad, reducción de tiempos muertos y menores costos por accidentes o fallos técnicos.

La implementación del sistema de izaje es factible tanto técnica como económicamente. Existen los materiales, herramientas y conocimientos necesarios para su diseño y construcción dentro de las capacidades de la empresa o institución ejecutora. Además, al tratarse de un diseño compacto y adaptado al entorno operativo real, no requiere modificaciones estructurales mayores ni inversiones desproporcionadas, lo cual favorece su ejecución en un plazo razonable.

El impacto esperado es altamente positivo tanto a nivel operativo como humano. Desde el punto de vista técnico, se optimizarán los procesos de izaje, reduciendo tiempos de ejecución y errores. Desde el punto de vista social, se mejorarán las condiciones de trabajo, promoviendo una cultura de prevención de riesgos laborales. Este diseño también puede servir como modelo replicable para otras áreas de la industria que enfrentan problemáticas similares.

Objetivos de la Investigación

Objetivo General

- Diseñar un sistema de izaje para spools y líneas en estaciones de servicio para la empresa PIL S.A en la ciudad de Joya de los Sachas, considerando su posterior validación mediante simulación computacional.

Objetivo Específico

- Diagnosticar las condiciones operativas actuales para la manipulación de spools y líneas en las estaciones de servicio de PIL S.A.

- Determinar las especificaciones técnicas y parámetros de diseño del sistema de izaje según normativas y requerimientos operacionales.
- Validar el diseño del sistema de izaje mediante simulación computacional considerando las condiciones de carga y operación reales.

CAPÍTULO II

INGENIERÍA DEL PROYECTO

Diagnóstico de la situación actual de la empresa

PIL S.A es una empresa que provee servicios especializados en las áreas de Automatización, Civil, Eléctrica, Instrumentación, Mecánica, Procesos, Telecomunicaciones; además de abastecer el suministro de materiales y equipos para el sector energético, hidrocarburífero y la industria en general. A través del uso de tecnología de punta, personal altamente capacitado, estándares de calidad y mejora continua de nuestros procesos, garantizando el cuidado del medio ambiente, seguridad, salud y calidad de vida de sus colaboradores, proporcionando rentabilidad a los accionistas y satisfacción a nuestros clientes.

En la figura 1 se presenta el logo institucional de PIL S.A., que representa la identidad corporativa de la empresa.



Figura 1. Logo PIL S.A.

Fuente: PIL Proctek Group Company, 2025.

La figura 2 muestra la ubicación geoespacial de la empresa, localizada en la Av. Shyris N41-151 e Isla Floreana, Quito, Pichincha 1001, Ecuador.



Figura 2. Ubicación geoespacial de la empresa

Fuente: Google Maps, 2025.

PIL S.A. desarrolla servicios constructivos como de mantenimiento en el sector hidrocarburífero, entre los cuales; en la ciudad de La Joya de los Sachas, enfrenta dificultades significativas en las operaciones de izaje, manipulación de spools y líneas en las estaciones de servicio. Actualmente, estas actividades se realizan de manera autónoma, con prototipos improvisados, con tiempos de operación prolongados, con alta demanda de operarios y con un alto índice de riesgos para los operarios, entre los cuales, se detallan a continuación:

- **Tiempo de levantamiento de cargas**
Los procedimientos actuales para el mantenimiento se centran en el desmontaje y desajuste de espárragos y pernos para extraer componentes, válvulas, spools y tuberías de corto alcance. Este proceso requiere improvisaciones para el izaje de componentes, lo que prolonga significativamente los tiempos de operación. Además, las tareas que podrían realizarse más rápidamente con un sistema especializado demandan tiempo adicional para la instalación de andamios y perfiles de anclaje, como se observa en la figura 3, desviando recursos de actividades de mayor valor agregado. Esta situación no solo genera retrasos en la ejecución de los proyectos, sino que también limita la capacidad de la empresa para asumir nuevos retos y gestionar múltiples operaciones simultáneamente.



Figura 3. Ubicación de andamios para el desmontaje de accesorios.

Fuente: Elaboración propia

- Fabricación de soportes de izaje improvisados

Las estaciones de servicio actualmente carecen de sistemas de izaje diseñados específicamente para sus condiciones particulares, lo que ha llevado al uso de estructuras y dispositivos improvisados, como se observa en la figura 4. Esta situación se agrava por la ausencia de mecanismos de seguridad adecuados, incluyendo sistemas de regulación de altura, movilización de cargas y dispositivos de fijación que consideren la correcta distribución del peso. Como consecuencia, se generan gastos imprevistos en tiempo, materiales y mano de obra para la construcción de estructuras temporales, mientras que la alta dependencia de procesos manuales incrementa significativamente los costos operativos. Todo esto resulta en la necesidad de emplear mayor cantidad de personal para realizar tareas que podrían optimizarse considerablemente mediante la implementación de los resultados propuestos en esta investigación.



Figura 4. Fabricación de sistemas de izaje improvisados.

Fuente: Elaboración propia

- **Movilización de componentes**

Las operaciones se realizan frecuentemente en áreas de trabajo con superficies irregulares y no asfaltadas, lo que presenta desafíos significativos al manejar cargas de considerable peso. Para hacer frente a estas condiciones, el personal debe recurrir a la construcción de superficies y estructuras provisionales que faciliten las operaciones de desmontaje e izaje de componentes, así como su posterior movilización entre diferentes ubicaciones, como se aprecia en la figura 5. Este enfoque improvisado resulta en traslados lentos que requieren la participación de múltiples operarios, además de generar retrasos en la ejecución debido a la necesidad constante de realizar ajustes durante el transporte.



Figura 5. Movilización de cargas.

Fuente: Elaboración propia

A través de un monitoreo sistemático realizado durante 15 días laborables en las instalaciones, se implementaron formatos de registro para documentar y cuantificar las operaciones de mantenimiento e izaje menores (excluyendo las operaciones con brazo grúa). Los datos recopilados de acuerdo con la tabla 1, se puede evidenciar:

Tabla 1: Registros tiempos de operación de cargas.

| Fecha | Actividad | Tiempo Inicio | Tiempo Fin | Duración Total | N. Operarios | Peso Prom [Kg] | Observaciones |
|-------|--|----------------|----------------|----------------|--------------|----------------|--|
| 15/01 | Desmontaje válvula 6"x300 | 08:30 | 11:45 | 3h 15min | 4 | 128.0 | Requirió instalación de andamio. |
| 16/01 | Instalación spools 4": Brida-Niple | 13:00 | 16:30 | 3h 30min | 3 | 160 | Dificultad en alineación con tecele. |
| 16/01 | Mantenimiento: 6", Cambio de Empaques | 08:30 | 12:45 | 4h 15min | 3 | 86 | Espacio confinado. |
| 17/01 | Tie-in: Colocación de Tee 8" | 14:30 | 18:00 | 3h 30min | 6 | 46 | Levantamiento con pórtico provisional. |
| 19/01 | Colocación: Brida Ciega 12" | 10:00 | 12:30 | 2h 30min | 3 | 50 | Levantamiento Manual. |
| 22/01 | Desmontaje de Válvula 8"x150 | 13:20 | 17:20 | 4h 20 min | 4 | 137 | Levantamiento con pórtico provisional. |
| 23/01 | Presentación: Spools de avance | 09:30 | 11:30 | 2h 00min | 3 | 1000 | Movilización de carga. |
| 24/01 | Instalación: Spools de avance | 07:30 13:00 | 12:00 15:00 | 6h 30min | 5 | 1000 | Levantamiento con pórtico provisional. |
| 26/01 | Desajuste de pernos de Brida 24" reposada. | 15:00 | 16:30 | 1h 30min | 2 | 196 | Acción Insegura |
| 29/01 | Reemplazo de válvula 6x300 | 10:00 | 12:15 | 2h 15min | 3 | 128 | Dificultad en alineación con tecele. |

Fuente: Elaboración propia

Basado en el registro de actividades documentado durante el período del 15 al 29 de enero de 2025, se evidencia que las operaciones de mantenimiento e izaje presentan desafíos significativos. El

monitoreo detallado de 11 actividades diferentes muestra que el tiempo promedio por operación es de 3.4 horas, requiriendo entre 2 a 6 operarios dependiendo de la complejidad y el peso de los componentes, que varían desde 46 kg hasta 1000 kg. Las observaciones registradas revelan problemas recurrentes como la necesidad de soportes o andamios para el izaje de los mismos, dificultades en alineación, espacios confinados y el uso frecuente de levantamientos provisionales con pórticos. Particularmente, las actividades de mayor peso (1000 kg) demandaron tiempos extendidos de operación, evidenciando la necesidad crítica de implementar un sistema de izaje especializado que optimice estos procesos y reduzca los riesgos operacionales asociados.

De igual forma, se llevó a cabo un levantamiento de información en campo, de acuerdo con el formato establecido en Anexo I. Permittiéndonos obtener los resultados presentados en la tabla 2.

Tabla 2: Resultados obtenidos del levantamiento de información.

| Aspectos técnicos | | | | |
|------------------------------|----|----|-------|-------|
| Pregunta | Si | No | % Si | % No |
| Pregunta 1 | 5 | 10 | 33,3% | 66,7% |
| Pregunta 2 | 12 | 3 | 80,0% | 20,0% |
| Pregunta 3 | 4 | 11 | 26,7% | 73,3% |
| Pregunta 4 | 2 | 13 | 13,3% | 86,7% |
| Aspectos Operativos | | | | |
| Pregunta | Si | No | % Si | % No |
| Pregunta 5 | 2 | 13 | 13,3% | 86,7% |
| Pregunta 6 | 4 | 11 | 26,7% | 73,3% |
| Pregunta 7 | 3 | 12 | 20,0% | 80,0% |
| Pregunta 8 | 13 | 2 | 86,7% | 13,3% |
| Aspectos de Seguridad | | | | |
| Pregunta | Si | No | % Si | % No |
| Pregunta 9 | 10 | 5 | 66,7% | 33,3% |

Fuente: Elaboración propia

Del análisis de los resultados; los aspectos técnicos presentados en el gráfico 1, nos indica las necesidades que se presentan, como: sistema de regulación de alturas, capacidad de carga distribuida y una estabilidad estructural mejorada.

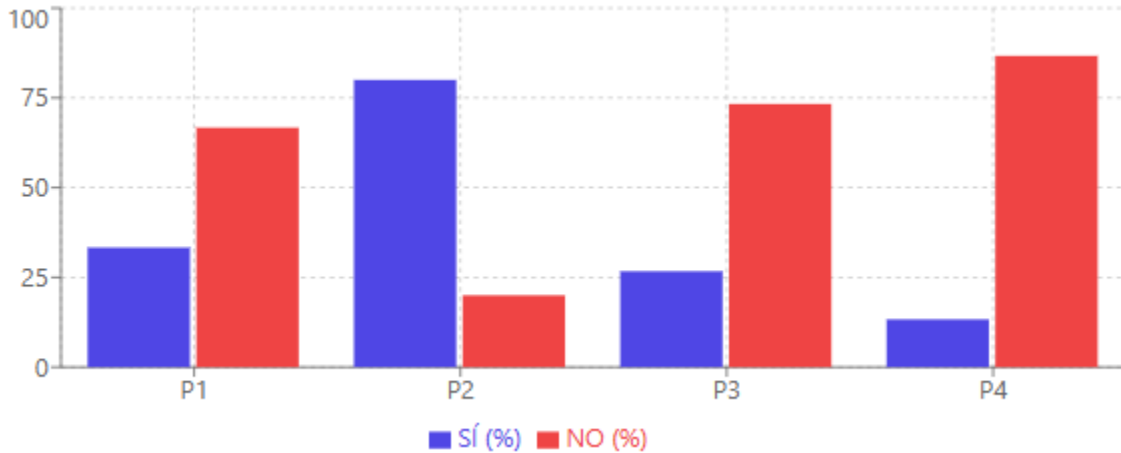


Gráfico 1. Datos estadísticos de los aspectos técnicos

Fuente: Elaboración propia

Como también para los aspectos operativos, de acuerdo con gráfico 2 nos muestra los requerimientos que se requieren efectuar: Eficiencia en sistemas de elevación para disminución de tiempos, optimización de recursos, sistema de transporte de cargas.

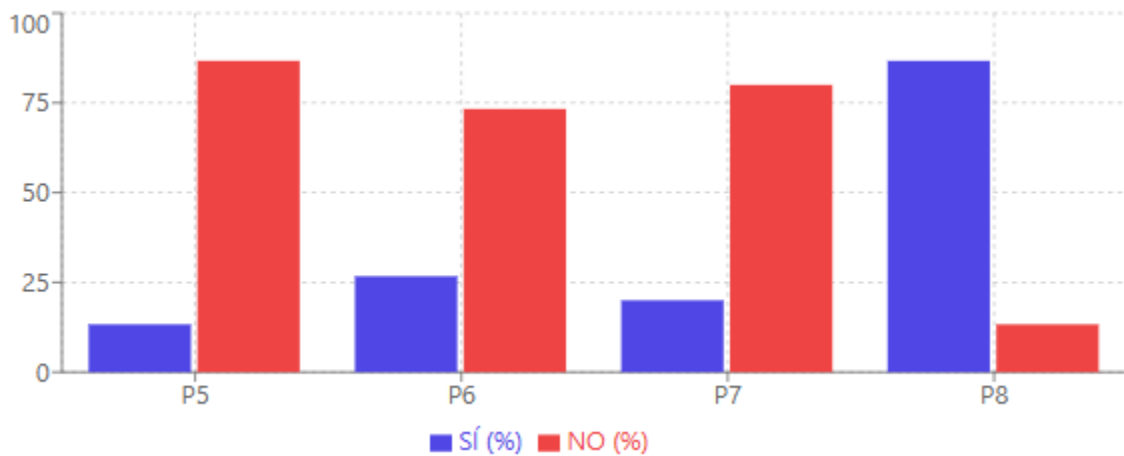


Gráfico 2. Datos estadísticos de los aspectos operativos.

Fuente: Elaboración propia

Estudio previo

El análisis del presente estudio es un prediseño por parte de PIL S.A. bajo las condiciones y requerimientos que se emplearon para operaciones de mantenimiento industrial, correspondientes

al levantamiento de spools, líneas y componentes en una estación de servicio, como se observa en la figura 6.

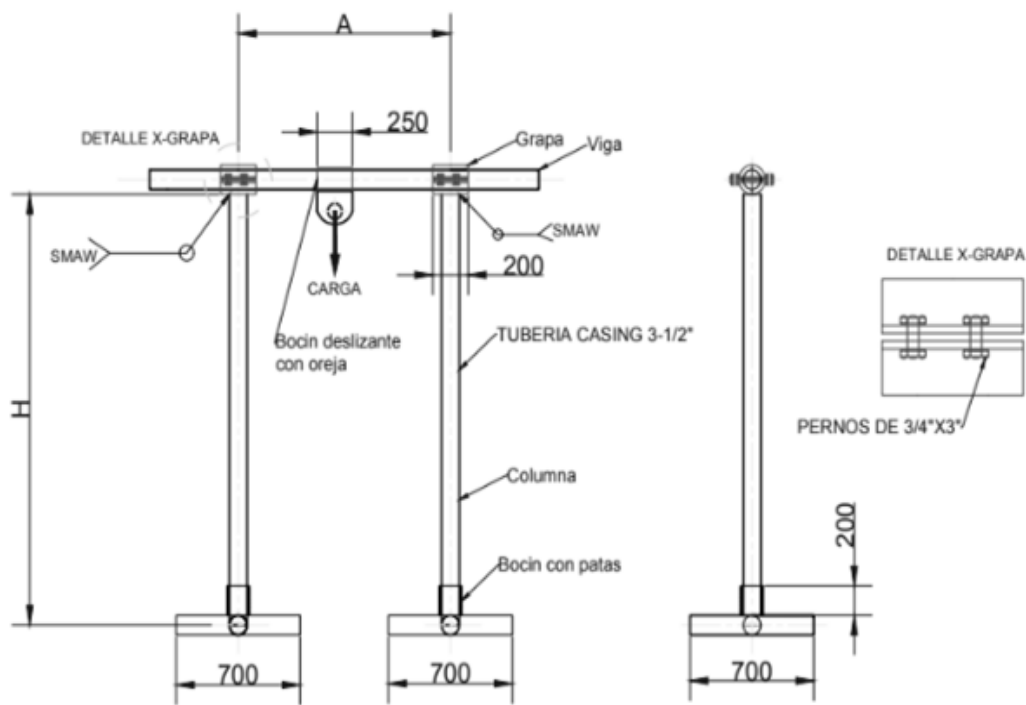


Figura 6. Estudio previo pórtico.

Fuente: PIL S.A, 2025.

Este diseño ha demostrado ser aplicativo en operaciones básicas a las que fue considerado, sin embargo, tal y como se muestra en la tabla 3, se plantea ventajas y desventajas del modelo propuesto.

Tabla 3: Ventajas y desventajas del modelo de estudio previo.

| Aspecto | Ventajas | Desventajas |
|---------|---|---|
| Diseño | <ul style="list-style-type: none"> - Estructura simple. - Diseño sencillo. - Regulable manualmente. - Modularidad, para desmontar y ensamblar fácilmente. - Distribución de carga móvil. - Conectividad entre componentes, mediante pernos. | <ul style="list-style-type: none"> - Limitaciones para regulación de alturas. - Indisponibilidad de transportar cargas. - Diseño no transportable, para su montaje en sitio. - Robusto. |

| | | |
|---------------------------|---|---|
| Construcción | <ul style="list-style-type: none"> - Materiales disponibles en sector hidrocarburífero. - Bajo costo. - Manufacturable en sitio. - Soldadura comercial y de fácil disponibilidad de insumos y mano de obra. | <ul style="list-style-type: none"> - WPS, PQR y WPQ para proceso de soldadura. - Soldador calificado bajo WPS: casing-casing. - Precalentamiento para aliviar tensiones. - Insumos altamente consumibles debido al espesor del material. |
| Movilidad y Adaptabilidad | <ul style="list-style-type: none"> - Fácil transporte y reubicación en diferentes áreas de trabajo. - Expansión de columnas para longitudes dentro del rango. | <ul style="list-style-type: none"> - Movilización restringida en situaciones donde las superficies no permitan ingresar vehículos. - Peso considerado para ser transportado bajo esfuerzo físico de operarios. - No poseer ruedas para transportar cargas en el levantamiento. - Puede requerir modificaciones para cargas de mayor tamaño a consideraciones de altura. |
| Costo y Mantenimiento | <ul style="list-style-type: none"> - Bajo costo de fabricación y mantenimiento. - Accesibilidad a cambio de componentes o repuestos. | <ul style="list-style-type: none"> - No apta para condiciones climáticas cambiables, si el recubrimiento no es el adecuado. |

Fuente: Elaboración propia

Matriz de la casa de calidad QFD

El despliegue de la función de Calidad; QFD (Quality Function Deployment) por sus términos en inglés, es un método empleado en ramas de ingeniería, manufactura y diseño con el objetivo de garantizar las necesidades y poder cubrir con las expectativas del cliente, mediante un producto o servicio. El sistema QFD se encarga de cubrir los requisitos del cliente en base a la pregunta (“qué desea”) a cubrir las especificaciones técnicas (“cómo se realizará”); promoviendo un enfoque sistemático donde se priorice la calidad desde la percepción del diseño.

De acuerdo con esta metodología, se reducirá las diferencias entre las expectativas del cliente y las del producto final, garantizando un alineamiento entre los objetivos del diseño y las demandas del mercado. Consiste en una serie de matrices, entre ellas la denominada "Casa de la Calidad, QFD" tal y como se ilustra en la figura 7. Esta herramienta permite identificar de forma visual los

requerimientos del cliente con las especificaciones técnicas, identificando puntos clave que requieren un enfoque mayor durante la ejecución del proyecto.



Figura 7. Casa de la calidad.

Fuente: Asesor de Calidad, 2017

Se observa en la figura 8 que se realizó una breve encuesta dirigida a operarios de las actividades de izaje, así como al personal de seguridad ocupacional y supervisores de obra; para recopilar aspiraciones con el actual proyecto. Donde se observa en el bloque de filas, aspiraciones entre las cuales: diseño agradable, resistente, robusto, regulable en altura e izaje, transportable, precio accesible, desarmable y de fácil operación con el operario. Para lo cual, son contrarrestadas con el bloque de columnas, aspectos como: CAD polifuncional, CAM, CAE, diseño, resistencia de materiales, factores de seguridad y ergonomía como pilares fundamentales.

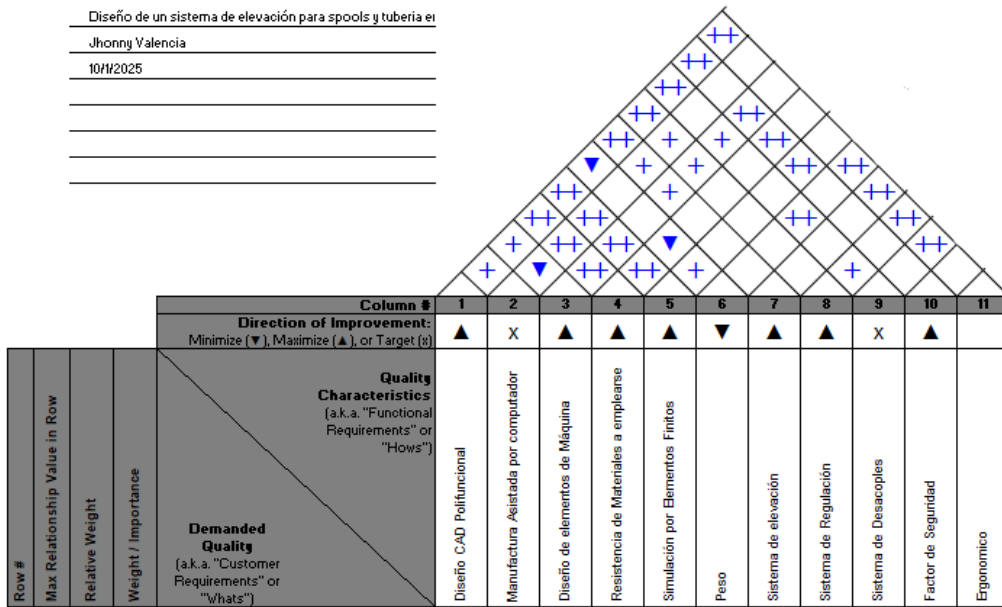


Figura 8. Reporte de accidentes de trabajo.

Fuente: Elaboración propia

Se realiza la relación de acuerdo con la intensidad de cada correlación, con los parámetros descritos en la figura 9. Donde se completa la matriz y se engloba los resultados obtenidos en el gráfico consiguiente.

| Legend | | |
|--------|-----------------------------|---|
| ⊕ | Strong Relationship | 9 |
| ○ | Moderate Relationship | 3 |
| ▲ | Weak Relationship | 1 |
| ++ | Strong Positive Correlation | |
| + | Positive Correlation | |
| - | Negative Correlation | |
| ▼ | Strong Negative Correlation | |
| ▼ | Objective Is To Minimize | |
| ▲ | Objective Is To Maximize | |
| X | Objective Is To Hit Target | |

Figura 9. Parámetros de relación para casa de calidad, QFD.

Fuente: Elaboración propia

| Row # | Max Relationship Value in Row | Relative Weight | Weight / Importance | Demanded Quality (a.k.a. "Customer Requirements" or "Whats") | Direction of Improvement: Minimize (▼), Maximize (▲), or Target (X) | | | | | | | | | | |
|---|-------------------------------|-----------------|---------------------|---|--|-------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------|----------------------------------|-------|----------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|------------|
| | | | | | ▲ | X | ▲ | ▲ | ▲ | ▼ | ▲ | ▲ | X | ▲ | |
| | | | | Quality Characteristics (a.k.a. "Functional Requirements" or "Hows") | Diseño CAD Polifuncional | Manufactura Asistida por computador | Diseño de elementos de Máquina | Resistencia de Materiales a emplearse | Simulación por Elementos Finitos | Peso | Sistema de elevación | Sistema de Regulación | Sistema de Desacoples | Factor de Seguridad | Ergonomico |
| 1 | 9 | 9,4 | 3,0 | Diseño Presentable | ○ | ○ | | | | | ○ | | ○ | | |
| 2 | 9 | 15,6 | 5,0 | Resistente | | | ○ | ○ | ○ | | | ▲ | | ○ | |
| 3 | 9 | 12,5 | 4,0 | Regulable la altura | ○ | ○ | ○ | | ○ | ▲ | ○ | ○ | | | ○ |
| 4 | 9 | 15,6 | 5,0 | Transportable con cargas | ○ | ▲ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ | | ○ | ○ |
| 5 | 9 | 12,5 | 4,0 | Desarmable para poder transportarlo | ○ | ○ | ○ | | | ○ | ▲ | ○ | ○ | | ○ |
| 6 | 9 | 6,3 | 2,0 | Permita ocolocar sistemas de anclaje | ○ | | | | ○ | | ○ | | | ○ | ○ |
| 7 | 9 | 12,5 | 4,0 | Estable para todo tipo de terreno | ○ | ○ | | ○ | | ○ | | ○ | | ○ | |
| 8 | 9 | 6,3 | 2,0 | Precio accesible | | ○ | | ○ | | | ▲ | ▲ | | | |
| 9 | 9 | 9,4 | 3,0 | Facil manipulacion operario | ○ | ○ | | | | ○ | ○ | ○ | ○ | | ○ |
| Target or Limit Value | | | | | | | | | | | | | | | |
| Difficulty (0=Easy to Accomplish, 10=Extremely) | | | | | | | | | | | | | | | |
| Max Relationship Value in Column | | | | | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 | 9 |
| Weight / Importance | | | | | 553,1 | 296,9 | 337,5 | 318,8 | 281,3 | 387,5 | 496,9 | 434,4 | 281,3 | 337,5 | 412,5 |
| Relative Weight | | | | | 13,4 | 7,2 | 8,2 | 7,7 | 6,8 | 9,4 | 12,0 | 10,5 | 6,8 | 8,2 | 10,0 |

Figura 10. Matriz de calidad.

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo con la figura 10, al final de la matriz, los valores relacionados con el peso relativo destacan aspectos a considerar como: diseño CAD polifuncional (13.4) donde abarque los sistemas de elevación y regulación del sistema (12.0), y el aspecto ergonómico para comodidad del trabajador (10.0).

Área de estudio

El presente proyecto dentro del alcance de la propuesta metodológica es efectuado en la provincia de Orellana, en la ciudad de Joya de los Sachas. Dentro de las instalaciones base de la perteneciente compañía. La línea de investigación es delimitada por los sistemas de gestión productivos y por consiguiente en su sistema de producción, tal como se muestra en la figura 11.



Figura 11. Área de estudio de investigación.

Fuente: Elaboración propia

Modelo operativo

El modelo operativo desarrollado en esta investigación se fundamenta en una planificación sistemática y coordinada que abarca desde la recolección de información inicial percibida hasta el análisis detallado de los datos obtenidos. Este modelo busca identificar y evaluar las necesidades asociadas que deben considerarse durante el desarrollo del proyecto, resolviendo los problemas específicos que se presentan en campo. Asimismo, incluye el planteamiento de la propuesta, la planificación de actividades, la definición de presupuestos, la elaboración de cronogramas y la generación de curvas de valoración, garantizando un enfoque integral y eficiente para la ejecución del proyecto.

El planteamiento de un modelo operativo permite establecer criterios claros y acciones específicas que deben ejecutarse durante el desarrollo del proyecto, facilitando una ejecución eficiente y programada. Este enfoque no solo optimiza el proceso, sino que también asegura que las actividades se realicen de manera organizada y bajo un esquema previamente definido, tal y como se muestra en la figura 12. Autores e investigadores coinciden en la importancia de una planificación adecuada, ya que esta permite diseñar planes de trabajo estructurados y gestionar de manera consciente los recursos necesarios, asegurando un uso óptimo de estos durante toda la ejecución del proyecto.

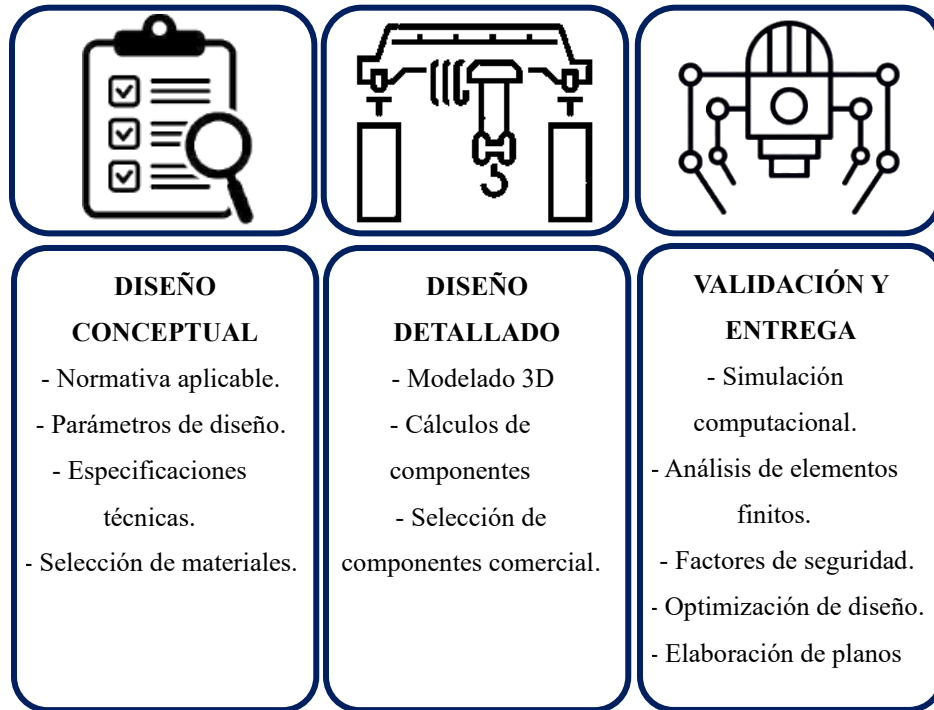


Figura 12. Modelo Operativo para desarrollo de investigación.

Fuente: Elaboración propia

El proceso del modelo operativo, constan las siguientes etapas:

- **Diseño conceptual:** Durante la fase de diseño conceptual, se consolidará las normativas aplicables y en base al estudio previo se designará las especificaciones técnicas requeridas. Incorporando bases técnicas y parámetros de diseño para una selección preliminar de materiales a considerarse de acuerdo con factores como: resistencia, disponibilidad y costos.
- **Diseño detallado:** Abarca el desarrollo del modelado 3D, permitiendo la visualización de la interacción entre componentes y verificación de la funcionalidad del conjunto. Se realizarán los cálculos correspondientes a los elementos más críticos y su respectiva selección de materiales comerciales.
- **Validación y entrega:** Se realizarán simulaciones computacionales para verificar el comportamiento del sistema bajo diferentes condiciones de carga. Se empleará el análisis de elementos finitos (FEA) donde se aplicarán esfuerzos puntuales a los componentes más críticos. Se considerarán factores de seguridad y optimizaciones de diseño para la simplificación de componentes o reajustes de sobredimensiones. Por consiguiente, se encontrará en la etapa de finalización para culminar con la elaboración de planos

constructivos con sus especificaciones técnicas como: listas de materiales, ensambles, subensambles, explosionado y armado.

Desarrollo del modelo operativo

Para el desarrollo de la metodología de diseño se efectúan los siguientes aspectos:

- **Diseño conceptual**

Con el propósito de atender las demandas de los colaboradores y comprender sus requerimientos, de acuerdo con la matriz de casa de calidad y las encuestas realizadas, se definieron las especificaciones técnicas esenciales para el diseño del modelo, las cuales se detallan en la tabla 4. Estas especificaciones consideran las condiciones particulares de las estaciones de servicio.

Tabla 4: Especificaciones técnicas del modelo.

| Requerimiento | Descripción |
|-----------------------------|--|
| Capacidad de levantamiento | 1000 [kg] |
| Dimensiones: (L*a*h) | 2000 x 1250 x 2500 [mm] |
| Altura regulable | Altura: 1750 - 2500 [mm], con empotramientos cada 100 mm. |
| Desmontable y transportable | Pines de empotramiento para armado rápido y transporte accesible. |
| Condición de ruedas | Ruedas giratorias de 4" con sistema de bloqueo y labrado para terreno inestable. |

Fuente: Elaboración propia

A continuación, en la tabla 5 se detallan los parámetros de diseño:

Tabla 5: Parámetros de diseño.

| Parámetro | Especificación | Valor / Rango |
|---|----------------|---------------|
| Esfuerzo de fluencia del material (σ_{sy}) | Acero ASTM A36 | 250 MPa |
| Esfuerzo último del material (σ_{sut}) | Acero ASTM A36 | 400-550 MPa |
| Factor de seguridad (FS) | Estructural | 2.5 mínimo |

| | | |
|------------------------------------|----------------------|--------------------|
| Deflexión máxima permitida en viga | L/360 (L = longitud) | 5.5 mm máx.. |
| Deflexión máxima en columna | H/360 (H = altura) | 6.9 mm máx. |
| Pandeo admisible | Según AISC 360-16 | $\lambda \leq 200$ |

Fuente: Elaboración propia

En base a los parámetros de diseño, la tabla 6 registra las posibles alternativas con su respectiva justificación para la selección de materiales.

Tabla 6: Materiales a emplearse para condición diseño.

| Componente | Material Recomendados | Observación |
|----------------------|--|--------------------------------------|
| Viga principal | Acero ASTM A36 Perfil IPN / IPE / Rectangular | Alta resistencia a flexión. |
| Columnas | Acero ASTM A36 - Tubo cuadrado | Resistencia a compresión y pandeo |
| Uniones emperradas | Pernos Grado 5 / SAE J429 | Alta resistencia al corte |
| Sistema de elevación | Tecla manual certificado | Capacidad 1000 kg |
| Ruedas | Poliuretano con núcleo metálico | Resistencia al desgaste |
| Placas de conexión | Acero ASTM A36 | Buena soldabilidad |

Fuente: Elaboración propia

- **Diseño detallado**

Después de establecer las especificaciones técnicas y parámetros de diseño, desarrollaremos el prototipado 3D. Esta fase incluirá el modelado y visualización de componentes para validar su funcionalidad. Dimensionaremos elementos estructurales en para evaluar su comportamiento bajo las condiciones de operación previstas. Con base en estos estudios y los requerimientos identificados, seleccionaremos materiales disponibles comercialmente que cumplan con las especificaciones técnicas establecidas.

- **Validación y entrega**

En la fase de validación, se realizará un análisis por elementos finitos (FEA) permitiendo identificar los esfuerzos que serán sometidos bajo las condiciones operativas dadas. Para garantizar un funcionamiento adecuado con el fin de ser evaluado.

Por consiguiente, se detalla en la tabla 7 los factores y criterios a ser considerados para su respectiva simulación.

Tabla 7: Condiciones de carga para modelo.

| Condición | Observación |
|------------------------|---|
| Componentes críticos | Zona con mayor flexión la viga. |
| Altura máxima | Posible Pandeo en las columnas de poyo. |
| Restricciones de apoyo | Empotramiento fijos o móviles. |
| Factores externos | Gravedad, condiciones climáticas |
| Factor de seguridad | $FS \geq 2.5$ |

Fuente: Elaboración propia

Los resultados obtenidos de las simulaciones se analizan para verificar la compatibilidad del diseño con los lineamientos técnicos, permitiendo establecer optimizaciones como: refinamiento de componentes, verificación de espesores y dimensiones para evitar sobredimensionamiento, ajuste de elementos de unión y sistemas de regulación.

Una vez validado el prototipado del modelo de investigación se procede a desarrollar la documentación técnica de entrega, en donde se detallarán: planos constructivos, planos de ensamble y explosionados, listas de materiales y componentes comerciales.

CAPÍTULO III

PROPUESTA Y RESULTADOS ESPERADOS

Presentación de la propuesta

El diseño tridimensional del sistema de izaje fue desarrollado utilizando el software SolidWorks 2022, que permitió el modelado paramétrico de los componentes y su ensamblaje. Para la validación estructural mediante simulación, se empleó el módulo de análisis por elementos finitos (FEA) del mismo software. El diseño mostrado en las figuras 13 y 14, está construido sobre una estructura tipo pórtico que integra una viga principal superior, fabricada en acero ASTM A36, diseñada específicamente para soportar cargas de hasta 1000 kg. La viga incorpora un sistema de rodamiento que permite el desplazamiento horizontal fluido del tecele, maximizando el área de cobertura para las operaciones de izaje. Este diseño optimizado permite una distribución uniforme de las cargas a través de toda la estructura, garantizando la estabilidad durante las operaciones.

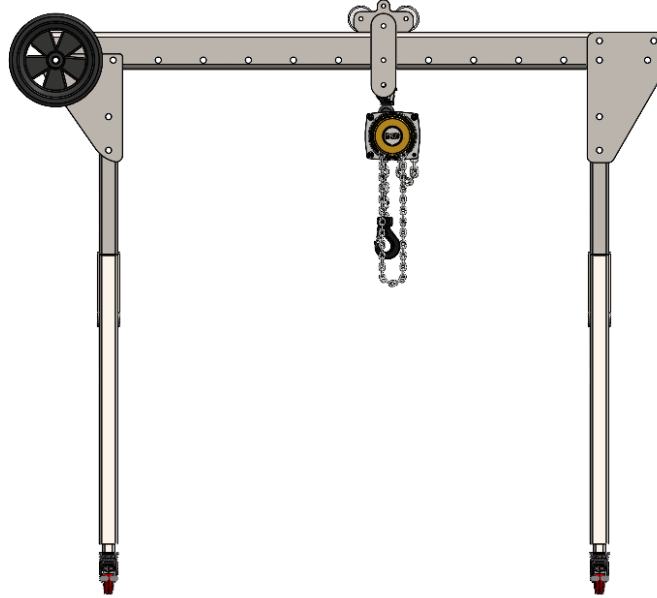


Figura 13. Vista frontal del diseño del sistema de izaje.

Fuente: Elaboración propia

La movilidad del conjunto está asegurada mediante la implementación de ruedas industriales giratorias de 4 pulgadas, equipadas con sistema de freno integrado. Las ruedas han sido específicamente seleccionadas considerando su capacidad para operar en terrenos irregulares, el sistema de bloqueo permite asegurar la estructura durante las operaciones de izaje, garantizando la estabilidad del conjunto y la seguridad del proceso.

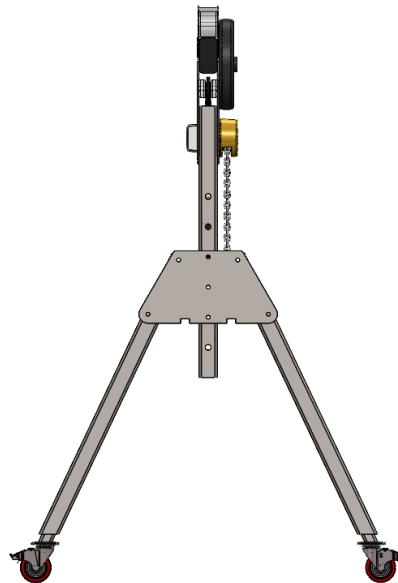


Figura 14. Vista lateral del diseño del sistema de izaje.

Fuente: Elaboración propia

Las columnas telescópicas constituyen un elemento innovador del diseño, permitiendo ajustar la altura operativa entre 1750 mm y 2500 mm. El sistema incorpora un mecanismo de fijación mediante pines de seguridad que garantiza la estabilidad en cualquier posición de trabajo. Este diseño permite adaptar la altura del pórtico según los requerimientos específicos de cada operación, optimizando la ergonomía y seguridad del proceso. El diseño modular del sistema permite su fácil desarmado para transporte y reubicación entre diferentes áreas de trabajo. Los componentes han sido diseñados considerando dimensiones y pesos que facilitan su manipulación durante el armado y desarmado.

A continuación, se detalla un dimensionamiento general del prototipo en la figura 15.

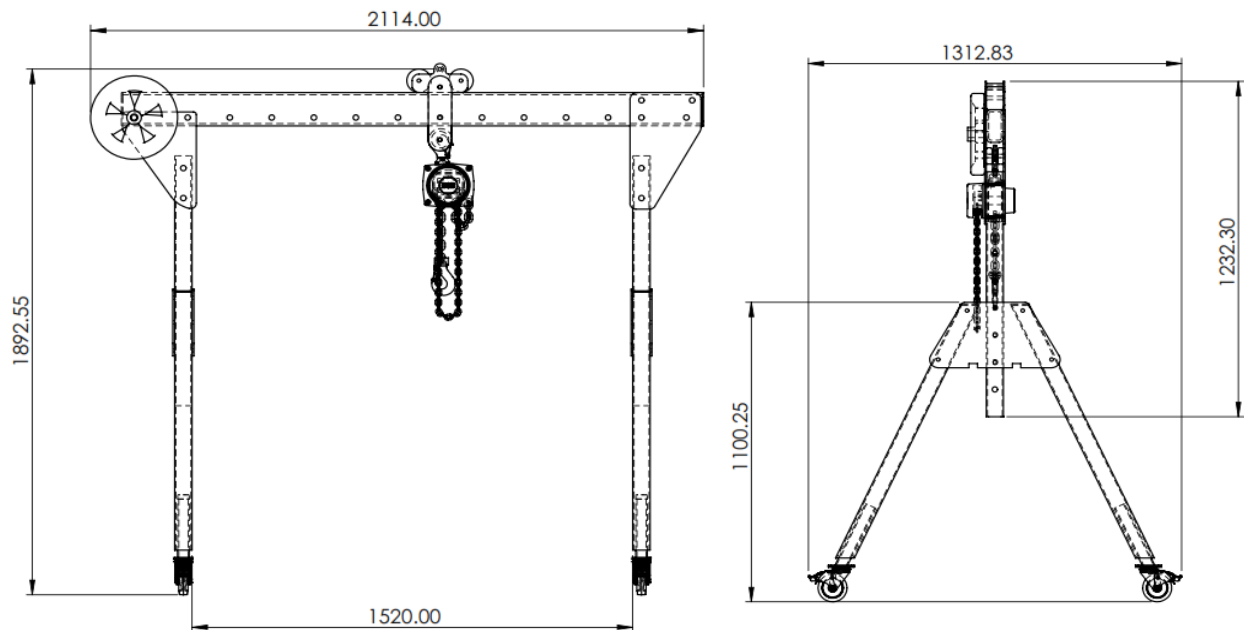


Figura 15. Dimensiones generales diseño.

Fuente: Elaboración propia

Cálculos analíticos de la propuesta

Elemento principal - Viga

Para el dimensionamiento de la viga, tal y como se muestra en la figura 16.

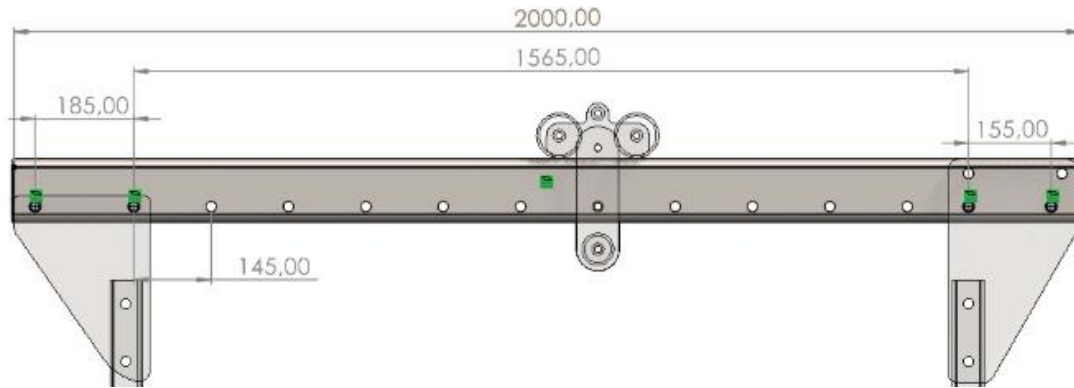


Figura 16. Dimensionamiento de la viga.

Fuente: Elaboración propia

Tomando en consideración parámetros de diseño a cargas estáticas, se plantea la tabla 8 en función de los parámetros a ser analizados para el elemento viga

Tabla 8: Datos para el diseño de viga a cargas estáticas.

| PARÁMETRO | SÍMBOLO | MAGNITUD | UNIDAD |
|---------------------------|---------|----------|--------|
| Carga | P | 9810 | N |
| Longitud total de la viga | L_T | 2 | m |
| Longitud soportada | L | 1.565 | m |

Fuente: Elaboración propia

Para determinar las reacciones de cada uno de los apoyos en función de los parámetros de diseño, se presenta a continuación en la figura 17 los valores obtenidos.

| Cálculo de Reacciones | |
|---|---|
| $\sum M_A = 0$ $-P * \frac{L}{2} + R_B * L = 0$ $R_B = \frac{P}{2}$ $R_B = \frac{9810 \text{ N}}{2}$ $R_B = 4905 \text{ N}$ | $\sum F_y = 0$ $R_A + R_B - P = 0$ $R_A = P - R_B$ $R_A = 9810 \text{ N} - 4905 \text{ N}$ $R_A = 4905 \text{ N}$ |

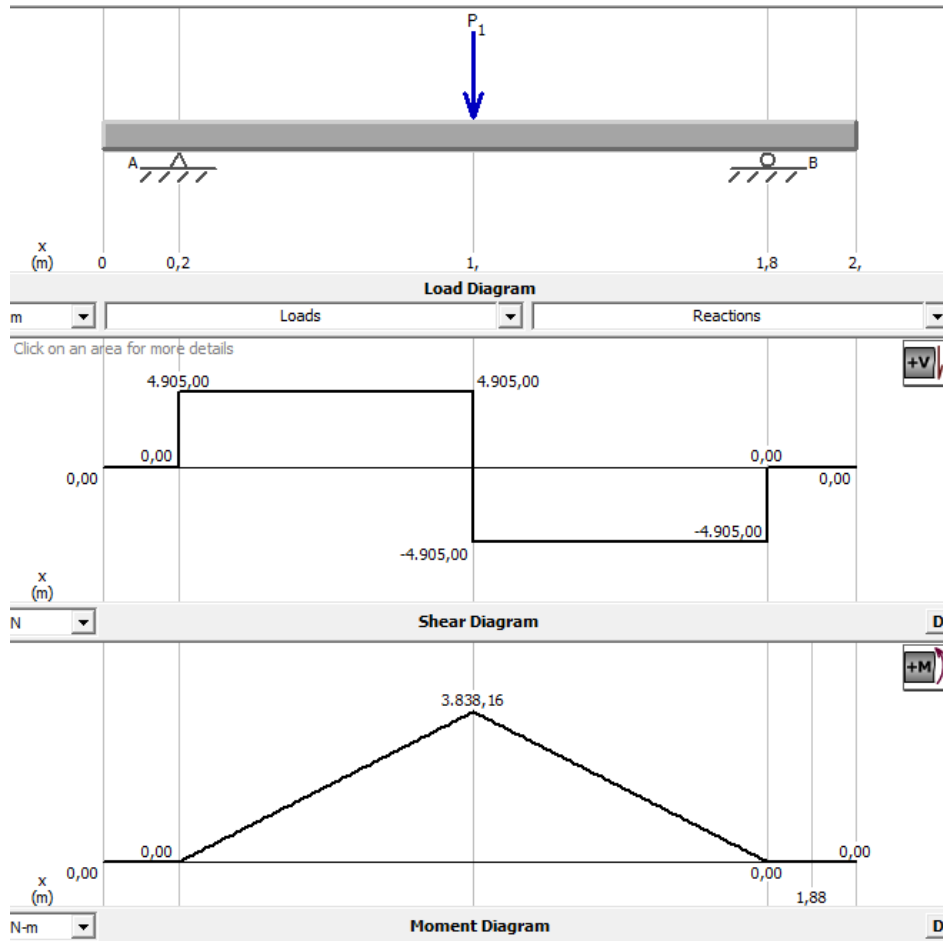


Figura 17. Diagramas de fuerza cortante y momento flector.

Fuente: Elaboración propia

Con el valor máximo del momento flector, procedemos a encontrar el área transversal mínimo, ver ecuación 1, que se requiere garantizando un factor de seguridad óptimo cuyo valor es de 3.

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

$$n = \frac{S_y}{M/S}$$

$$S = \frac{n * M}{S_y} \quad \text{[Ecuación 1.]}$$

$$S = \frac{3 * 3838.16 \text{ Nm}}{285 * 10^6 \text{ N/m}^2}$$

$$S = 4.04 * 10^{-5} \text{ m}^3 * \frac{100^3 \text{ cm}^3}{1^3 \text{ m}^3}$$

$$S = 40.40 \text{ cm}^3$$

Por lo tanto, en base al Anexo II el perfil seleccionado es Tubo rectangular 50x150x3. Una vez seleccionado el perfil se procede a recalcularlo en función de su carga y peso.

$$q = 9.17 \frac{\text{Kg}}{\text{m}} * \frac{9.81 \text{ N}}{1 \text{Kg}} = 89.96 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

| Cálculo de Reacciones | |
|---|--|
| $\sum M_A = 0$ $-P * \frac{L}{2} - q * L * \frac{L}{2} + R_B * L = 0$ $-P * L - q * L^2 + 2 * R_B * L = 0$ $R_B = \frac{P * L + q * L^2}{2L}$ $R_B = \frac{9810 (1.565) + (89.96)(1.565)^2}{2(1.565)}$ $R_B = 4975 \text{ N}$ | $\sum F_y = 0$ $R_A + R_B - P - q * L = 0$ $R_A = P - R_B + q * L$ $R_A = 9810 - 4975 + 89.96(1.565)$ $R_A = 4975 \text{ N}$ |

Obteniendo las reacciones en los puntos de apoyo, se procede a graficar los diagramas de esfuerzo cortante y momento flector, como se muestra en la figura 18.

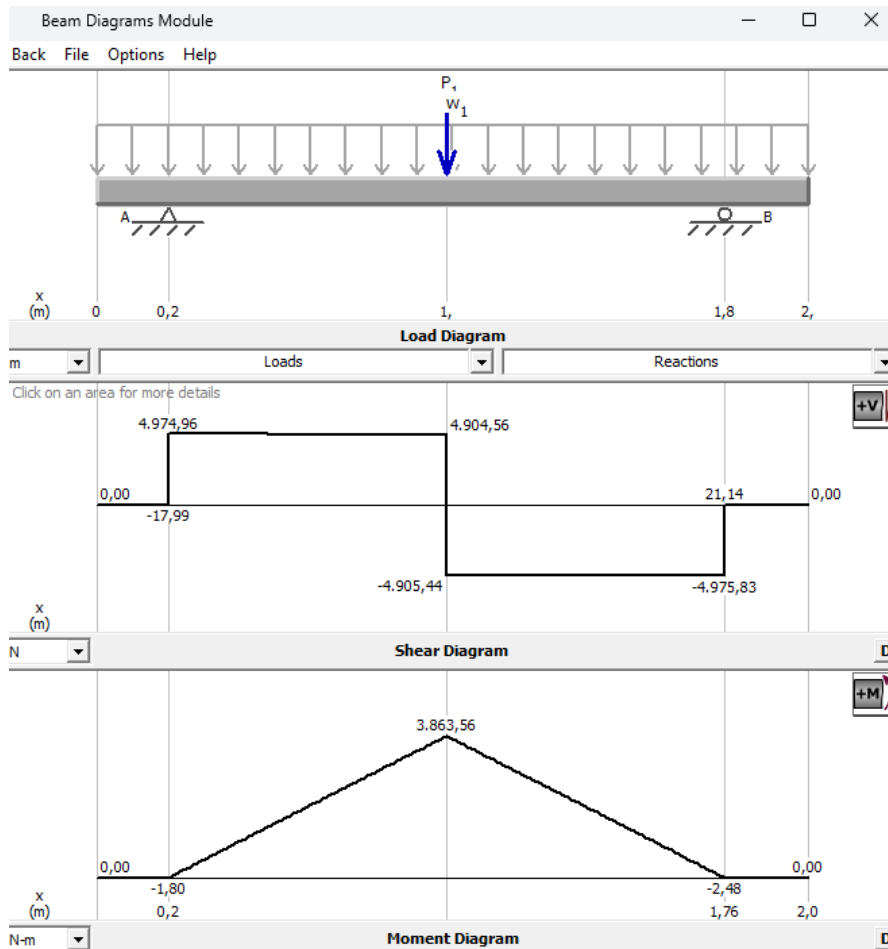


Figura 18. Diagramas de fuerza cortante y momento flector rediseño.

Fuente: Elaboración propia

Se procede a calcular el factor de seguridad en función, del perfil seleccionado.

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

$$n = \frac{S_y}{M/S}$$

$$n = \frac{S_y * S}{M}$$

$$n = \frac{285 * 10^6 \text{ N/m}^2 * 39.78 * 10^{-6} \text{ m}^3}{3863.56 \text{ Nm}}$$

$$n = 2.93$$

Obteniendo como resultado un factor de seguridad superior a 2.5 como indicar la normativa para estructuras.

Posterior al diseño estático del elemento, es fundamental analizarlo bajo cargas dinámicas a las que se encontrará sometido; debido a la acción de carga y descarga que será empleado. El esfuerzo mínimo al que será sometido la viga será cuando se encuentre actuando únicamente el peso propio de manera uniforme por todo en elemento.

$$q = 89.96 \frac{N}{m}$$

Y de tal manera la figura 19 muestra los correspondientes esfuerzos.

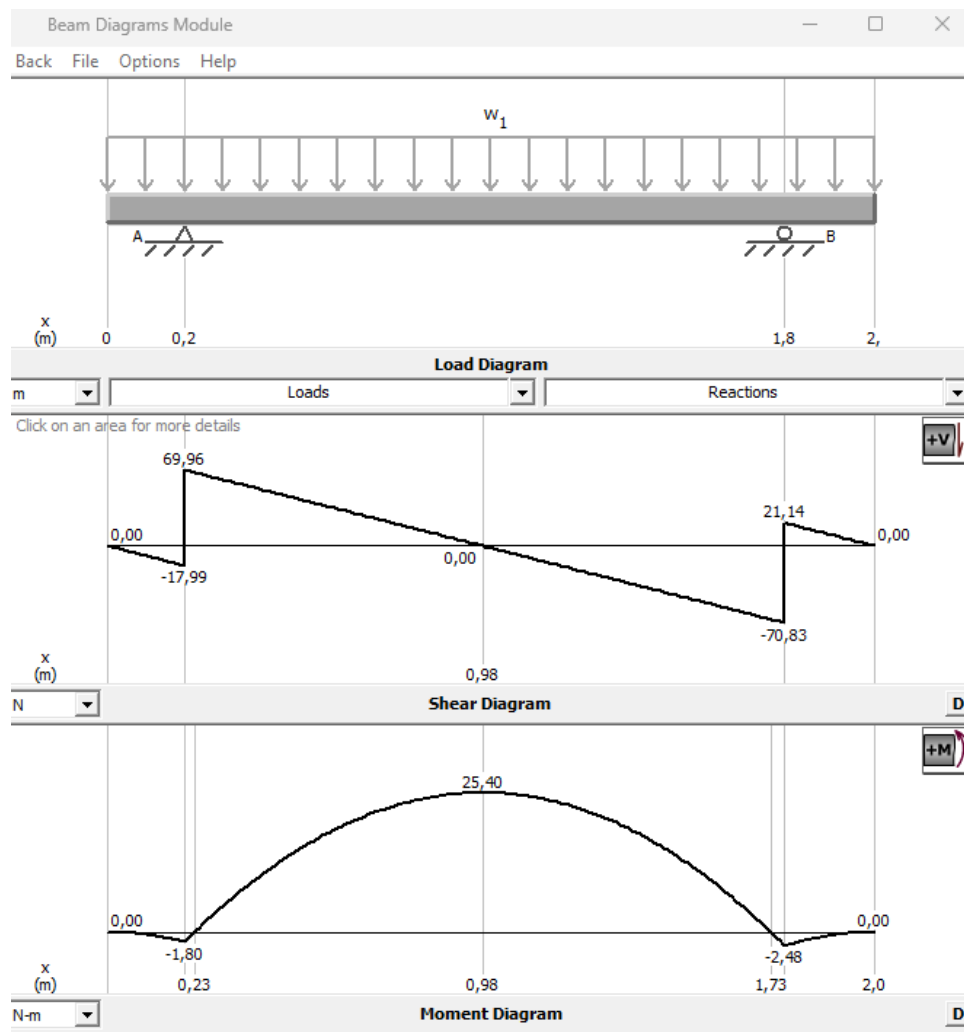


Figura 19. Diagramas de fuerza cortante y momento flector sin carga.

Fuente: Elaboración propia

Una vez obtenido los valores de la figura 19, procedemos a sacar el esfuerzo máximo y mínimo, con las ecuaciones 2 y 3 respectivamente. Para así poder obtener el Esfuerzo medio (ecuación 4) y amplitud de esfuerzo (ecuación 5) correspondientes.

$$\sigma'_{max} = \frac{M}{S} = \frac{3863.56 \text{ Nm}}{39.78 * 10^{-6} \text{ m}^3} = 97.12 \text{ MPa} \quad [\text{Ecuación 2.}]$$

$$\sigma'_{min} = \frac{M_{min}}{S} = \frac{25.40 \text{ Nm}}{39.78 * 10^{-6} \text{ m}^3} = 0.64 \text{ MPa} \quad [\text{Ecuación 3.}]$$

$$\sigma_m = \frac{\sigma'_{max} + \sigma'_{min}}{2} = \frac{97.12 \text{ MPa} + 0.64 \text{ MPa}}{2} = 48.88 \text{ MPa} \quad [\text{Ecuación 4.}]$$

$$\sigma_a = \frac{\sigma'_{max} - \sigma'_{min}}{2} = \frac{97.12 \text{ MPa} - 0.64 \text{ MPa}}{2} = 48.24 \text{ MPa} \quad [\text{Ecuación 5.}]$$

El límite de resistencia a la fatiga se obtiene de la ecuación 6:

$$Se' = 0.5 S_{ut} \quad [\text{Ecuación 6.}]$$

$$Se' = 0.5 (465 \text{ MPa})$$

$$Se' = 232.5 \text{ MPa}$$

Se emplea el método para no iterar:

$$Se \approx 0.3 Se'$$

$$Se \approx 0.3 (232.5 \text{ MPa})$$

$$Se \approx 69.75 \text{ MPa}$$

Aplicando el criterio de ASME Elíptica de la ecuación 7, se obtiene el siguiente factor de seguridad:

$$\left(\frac{n * \sigma_a}{S_e}\right)^2 + \left(\frac{n * \sigma_m}{S_y}\right)^2 = 1 \quad \text{[Ecuación 7.]}$$

$$n^2 \left(\frac{\sigma_a^2}{S_e^2} + \frac{\sigma_m^2}{S_y^2}\right) = 1$$

$$n = \sqrt{\frac{1}{\left(\frac{\sigma_a^2}{S_e^2} + \frac{\sigma_m^2}{S_y^2}\right)}}$$

$$n = \sqrt{\frac{1}{\left(\frac{(48.24 \text{ MPa})^2}{(69.75 \text{ MPa})^2} + \frac{(48.88 \text{ MPa})^2}{(285 \text{ MPa})^2}\right)}}$$

$$n \geq 1.45$$

Por lo tanto, el perfil adecuado rectangular 50 x 150 x 3 es óptimo bajo las condiciones de carga estática y dinámicas que serán efectuadas en campo.

Elemento principal – Columna

De igual manera que la viga, el diseño de la columna es otro de los factores a considerar para el diseño a carga estática, pudiéndose observar en la figura 20.

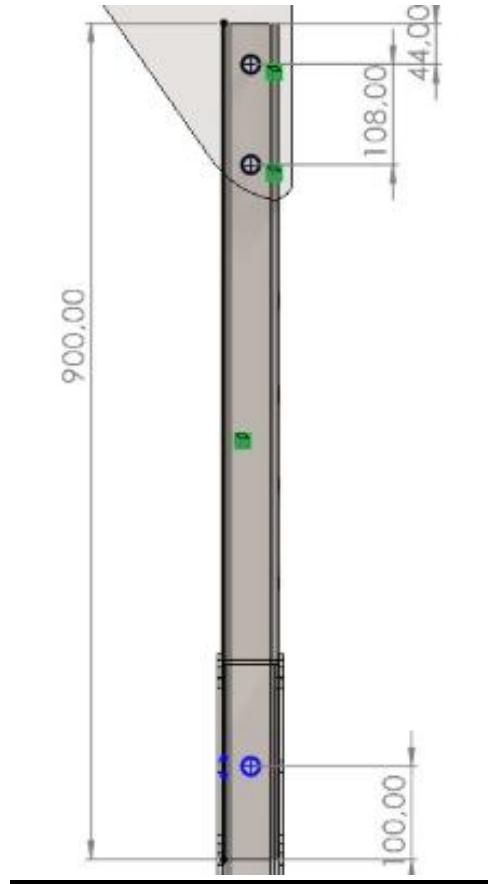


Figura 20. Elemento estructural columna.

Fuente: Elaboración propia

Los parámetros analizar para el elemento de compresión, se muestra en la tabla 9.

Tabla 9: Datos para el diseño de columna a cargas estáticas.

| PARÁMETRO | SÍMBOLO | MAGNITUD | UNIDAD |
|----------------------------|---------|----------|--------|
| Carga | R_A | 4975 | N |
| Altura total de la columna | H | 0.9 | m |

Fuente: Elaboración propia

En base al factor de seguridad planteado, se procede a utilizar la ecuación 8, para calcular el área mínima requerida.

$$n = \frac{S_y}{\sigma} = \frac{S_y}{R_A/A} = \frac{S_y * A}{R_A}$$

$$A = \frac{n * R_A}{S_y}$$

[Ecuación 8.]

$$A = \frac{3 * (4975 N)}{285 * 10^6 N/m^2}$$

$$A = 5.24 * 10^{-5} m^2 * \frac{(100 cm)^2}{(1m)^2}$$

$$A = 0.524 cm^2$$

De acuerdo con el área transversal del Anexo II, para sección transversal se escoge un perfil cuadrado de dimensiones 20x20x1.2 mm. En base al área seleccionada se analizará bajo efectos dinámicos, en función a la tabla 10, que muestra las cargas máximas y mínimas que serán aplicadas.

Tabla 10: Datos para el diseño de columna a cargas dinámicas.

| PARÁMETRO | SÍMBOLO | MAGNITUD | UNIDAD |
|--------------|----------|----------|--------|
| Carga máxima | R_{A1} | 4975 | N |
| Carga mínima | R_{A2} | 69.96 | N |

Fuente: Elaboración propia

Esfuerzo medio y amplitud de esfuerzo:

$$\sigma'_{max} = \frac{R_{A1}}{A} = \frac{4975 N}{A}$$

$$\sigma'_{min} = \frac{R_{A2}}{A} = \frac{69.96 N}{A}$$

$$\sigma_m = \frac{\sigma'_{max} + \sigma'_{min}}{2} = \frac{4975 + 69.96}{2A} = \frac{2522.48}{A}$$

$$\sigma_a = \frac{\sigma'_{max} - \sigma'_{min}}{2} = \frac{4975 - 69.96}{2A} = \frac{2452.52}{A}$$

El límite de resistencia a la fatiga:

$$Se' = 0.5 S_{ut}$$

$$Se' = 0.5 (465 \text{ MPa})$$

$$Se' = 232.5 \text{ MPa}$$

Se seleccionará el método para no iterar:

$$Se \approx 0.3 Se'$$

$$Se \approx 0.3 (232.5 \text{ MPa})$$

$$Se \approx 69.75 \text{ MPa}$$

Aplicando el criterio de ASME Elíptica, se obtiene el siguiente factor de seguridad:

$$\left(\frac{n * \sigma_a}{Se}\right)^2 + \left(\frac{n * \sigma_m}{S_y}\right)^2 = 1$$

$$\frac{n^2 * \sigma_a^2}{Se^2} + \frac{n^2 * \sigma_m^2}{S_y^2} = 1$$

$$n^2 \left(\frac{\left(\frac{2452.52}{A}\right)^2}{Se^2} + \frac{\left(\frac{2522.48}{A}\right)^2}{S_y^2} \right) = 1$$

$$3^2 \left(\frac{\left(\frac{2452.52}{A}\right)^2}{(69.75 * 10^6)^2} + \frac{\left(\frac{2522.48}{A}\right)^2}{(285 * 10^6)^2} \right) = 1$$

$$3^2 \left(\frac{1.315 * 10^{-9}}{A^2} \right) = 1$$

$$A = \sqrt{9(1.315 * 10^{-9})}$$

$$A = 1.09 * 10^{-4} m^2 \frac{(100 \text{ cm})^2}{(1m)^2}$$

$$A = 1.09 \text{ cm}^2$$

Por lo tanto, el perfil seleccionado cuadrado 20x20x1.2 no cumple con las características calculadas, se procede a re seleccionar el elemento estructural por un perfil cuadrado 40x40x1.2 mm.

Aplicando la ecuación 9, se calcula el análisis del porcentaje de deformación máximo permitido: según la AISC es aceptado el 1.5%.

$$\% \delta = \frac{\delta}{L} \quad \text{[Ecuación 9.]}$$

$$\frac{1.5}{100} = \frac{\delta}{L}$$

$$\delta = \frac{1.5 L}{100}$$

$$\frac{R_A * L}{A * E} = \frac{1.5 L}{100}$$

$$A = \frac{100 R_A}{1.5 E}$$

$$A = \frac{100 (4975 \text{ N})}{1.5 (200 * 10^9) \text{ Pa}}$$

$$A = 1.66 * 10^{-6} m^2 * \frac{(100 \text{ cm})^2}{(1m)^2}$$

$$A = 0.017 \text{ cm}^2$$

El perfil seleccionado tiene un área superior para no sobrepasar el porcentaje de deformación máximo permitido, por lo tanto, es aceptable.

El análisis de pandeo para la columna a cargas de compresión se calcula aplicando las ecuaciones 10, 11 y 12, respectivamente.

Relación de esbeltez crítico:

$$\left(\frac{L}{k}\right)_1 = \left(\frac{2\pi^2 * C * E}{S_y}\right)^{1/2} \quad \text{[Ecuación 10.]}$$

$$\left(\frac{L}{k}\right)_1 = \left(\frac{2\pi^2 * \frac{1}{4} * 200 * 10^9}{285 * 10^6}\right)^{1/2}$$

$$\left(\frac{L}{k}\right)_1 = 58.85$$

Radio de giro:

$$k = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{4.38 \text{ cm}^4}{1.80 \text{ cm}^2}} = 1.56 \text{ cm} \quad \text{[Ecuación 11.]}$$

Relación de esbeltez de la columna:

$$\frac{L}{k} = \frac{90 \text{ cm}}{1.56 \text{ cm}} = 57.69 \quad \text{[Ecuación 12.]}$$

$$\frac{L}{k} < \left(\frac{L}{k}\right)_1 \quad \text{columna parabólica}$$

$$\frac{P_{cr}}{A} = S_y - \left(\frac{S_y * L}{2\pi k}\right)^2 * \frac{1}{CE}$$

$$\frac{4975}{A} = 285 * 10^6 - \left(\frac{285 * 10^6 * 0.9}{2\pi 0.0156} \right)^2 * \frac{1}{\left(\frac{1}{4}\right) * 200 * 10^9}$$

$$A = 3.36 * 10^{-5} m^2 * \frac{(100 \text{ cm})^2}{(1m)^2}$$

$$A = 0.336 \text{ cm}^2$$

Cumpliendo el análisis de pandeo bajo el perfil cuadrado 40x40x1.2 seleccionado se corrobora el diseño.

Resultados esperados

De acuerdo con el desarrollo de esta investigación y el modelo propuesto, se prevén los siguientes resultados que beneficiarán tanto a PIL S.A. como a sus operaciones en las estaciones de servicio:

- Optimización de tiempos operativos: Se espera una reducción significativa en los tiempos de operación de mantenimiento e izaje, pasando de un promedio actual de 3.4 horas por actividad a aproximadamente 1.5 horas. Esta mejora se fundamenta en la eliminación de la necesidad de construir estructuras provisionales y la implementación de un sistema eficiente de regulación de altura y movilidad de cargas.
- Reducción de Recursos humanos: Con la implementación del sistema de izaje propuesto, se proyecta optimizar el número de operarios requeridos por actividad. Actualmente, las operaciones demandan entre 3 a 6 trabajadores; con el nuevo sistema, se espera reducir este requerimiento a 2-3 operarios por actividad, manteniendo los mismos estándares de seguridad y eficiencia.
- Mejora en la seguridad ocupacional: Se anticipa una disminución significativa en los riesgos ergonómicos asociados con la manipulación manual de cargas. El sistema propuesto elimina la necesidad de improvisaciones y estructuras temporales, reduciendo la exposición del personal a situaciones de riesgo. Se espera una reducción del 80% en incidentes relacionados con la manipulación de cargas.
- Eficiencia en movilización de cargas: El diseño incorpora un sistema de ruedas industriales que permitirá la movilización eficiente de cargas en diferentes superficies de trabajo. Se

espera que esto reduzca en un 60% el tiempo dedicado al transporte de componentes entre diferentes ubicaciones dentro de las estaciones de servicio.

- Versatilidad operativa: La capacidad de regulación de altura y el sistema modular permitirán adaptarse a diferentes requerimientos operativos. Se proyecta que el sistema podrá cubrir el 90% de las operaciones de mantenimiento e izaje que actualmente requieren soluciones improvisadas.
- Retorno de inversión: Considerando la reducción en tiempos operativos, optimización de recursos humanos y eliminación de costos asociados a estructuras provisionales, se estima un retorno de la inversión en un período de 8 a 12 meses de operación continua.
- Mantenimiento y durabilidad: Se prevé que el diseño robusto y la selección de materiales de alta calidad resulten en una vida útil estimada de 5 años con mantenimiento preventivo regular, reduciendo los costos asociados a reparaciones y reemplazos frecuentes de estructuras provisionales.

Tabla 11: Tabla de comparación antes/después.

| INDICADOR | SITUACIÓN ACTUAL | PROPUESTA |
|---------------------------------|------------------|------------|
| Tiempo promedio de izaje | 3.4 horas | 1.5 horas |
| Nº de operarios requeridos | 3 a 6 | 2 a 3 |
| Estructuras improvisadas | Recurrentes | Eliminadas |
| Riesgo ergonómico | Alto | Bajo |
| Factor de seguridad estructural | No controlado | ≥ 2.3 |

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 11 podemos observar que la implementación del sistema propuesto mejora significativamente las condiciones actuales, reduciendo el tiempo de izaje en más del 60%, disminuyendo el personal requerido, y eliminando la necesidad de las estructuras improvisadas. Asimismo, incrementa la seguridad estructural con factores de seguridad validados por simulación.

Cronograma de actividades

En base a la propuesta planteada, la tabla 12 detalla la recopilación de actividades en un cronograma fijo para la estipulación de tiempos y desarrollo con el fin de llevar una correcta planificación para su ejecución.

Tabla 12: Cronograma de actividades.

| CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------|--|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| # | ACTIVIDADES | Semana 1 | Semana 2 | Semana 3 | Semana 4 | Semana 5 | Semana 6 | Semana 7 | Semana 8 | Semana 9 | Semana 10 | Semana 11 | Semana 12 | Semana 13 | Semana 14 | Semana 15 | Semana 16 |
| 1 | Investigación y recepción de necesidades | ■ | ■ | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | Selección de especificaciones para producto. | | | ■ | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | Selección de alternativa optima. | | | | ■ | | | | | | | | | | | | |
| 4 | Modelado CAD de selección propuesta. | | | | ■ | ■ | ■ | | | | | | | | | | |
| 5 | Análisis de los componentes del modelo. | | | | | | | ■ | ■ | | | | | | | | |
| 6 | Utilización CAE para su comportamiento. | | | | | | | | | ■ | ■ | ■ | | | | | |
| 7 | Rediseño del modelo. | | | | | | | | | | | | ■ | ■ | | | |
| 8 | Elaboración de planos para su posterior fabricación. | | | | | | | | | | | | | | ■ | | |
| 9 | Desarrollo del trabajo escrito | | | | | | | | | | | | | | | ■ | ■ |

Fuente: Elaboración propia

En la gráfica 3 se presenta la curva S del proyecto, la cual refleja el avance acumulado de cada fase durante un periodo de 16 semanas. Esta herramienta permite visualizar de manera clara y planificada la progresión del desarrollo técnico, desde la investigación de necesidades hasta el desarrollo del trabajo escrito.

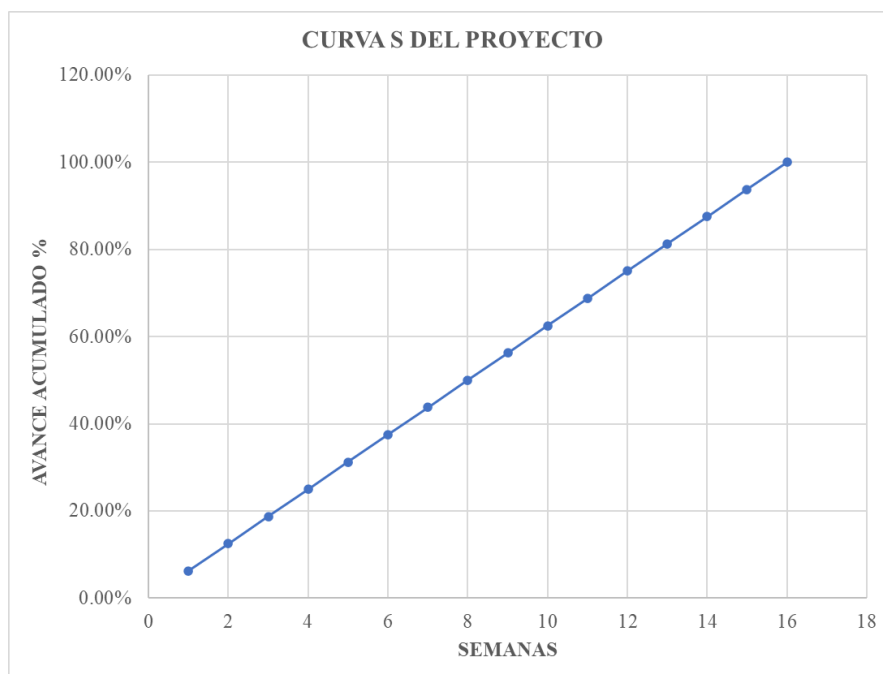


Gráfico 3: Curva S del proyecto.

Fuente: Elaboración propia

Estimación de costos

Para la propuesta desarrollada cabe recalcar que los gastos son considerablemente bajos, pero se estructurarán bajo los principios del autor, detallados en la tabla 13.

Tabla 13: Costos para el desarrollo del producto.

| No. | Elemento | Características | Costo \$ |
|---------------|-----------------------------|---|--------------------|
| 1 | Movilización | Disposición para movilización a taller, donde se encuentra material a utilizarse. | \$ 150,00 |
| 2 | Materiales | Insumo de oficina | \$100 |
| 3 | Diseño | Modelado del prototipo mediante software: Solidworks. | \$3.500 |
| 4 | Costos del personal técnico | Rubro al autor del proyecto | \$1.200 |
| 5 | Servicios básicos | Internet, Luz, Agua | \$ 200,00 |
| Total: | | | \$ 5.150,00 |

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO IV

EJECUCIÓN DE LA PROPUESTA Y RESULTADOS OBTENIDOS

Proceso de ejecución

Justificación de la ejecución

La implementación del sistema de izaje tipo pórtico desarrollado en los capítulos anteriores se justifica por múltiples factores críticos identificados durante la fase de diagnóstico:

1. **Optimización de tiempos operativos:** Los registros de campo documentados entre el 15 y 29 de enero de 2025 evidenciaron que las operaciones de mantenimiento e izaje tienen una duración promedio de 3.4 horas, requiriendo entre 2 a 6 operarios dependiendo de la complejidad. La implementación del sistema propuesto reducirá significativamente estos tiempos al eliminar la necesidad de construir estructuras improvisadas.
2. **Mitigación de riesgos ergonómicos:** Según lo mencionado por Llorca López et al. (2019), el 80% de los accidentes en operaciones de levantamiento se deben a procedimientos inadecuados y falta de equipos especializados. El sistema diseñado proporciona un control preciso durante las maniobras de izaje, reduciendo el riesgo de lesiones musculoesqueléticas para el personal operativo.
3. **Eficiencia y productividad:** El diagnóstico realizado evidenció que la manipulación de componentes pesados (hasta 1000 kg) actualmente demanda tiempos extendidos y recursos

humanos considerables. El sistema propuesto permitirá ejecutar estas operaciones con mayor eficiencia, optimizando los recursos humanos disponibles.

4. **Adaptabilidad a entornos variables:** Las operaciones en estaciones de servicio se realizan frecuentemente en áreas con superficies irregulares y no asfaltadas, presentando desafíos significativos para el manejo de cargas. El diseño modular con ruedas industriales específicas para terrenos irregulares responde directamente a esta necesidad.
5. **Movilidad y transporte:** El transporte y movilización de cargas por mecanismos manuales se ven altamente involucrado en las instalaciones, de tal manera que con la simplicidad del armado y desmontaje del sistema es apto para ser transportado a sitios donde se presente dicho requerimiento.

Desarrollo y seguimiento

En el desarrollo del tema de investigación se presenta actividades para un control y seguimiento, de acuerdo con la siguiente tabla 14. El Check list presentado permite dar seguimiento sistemático al avance del proyecto, enfocándose específicamente en las etapas de diseño y simulación conforme al alcance establecido. Cada actividad está alineada con el modelo operativo, garantizando que todos los aspectos críticos del desarrollo sean considerados y validados antes de la entrega final de la documentación técnica.

Tabla 14: Ficha de desarrollo y control de proyecto

| Fase | Actividad | Estado | Observaciones |
|----------------------|---|--------|--|
| DIAGNÓSTICO | Levantamiento de información en campo | ✓ | Completado según formato del Anexo I |
| | Análisis de tiempos de operación actuales | ✓ | Documentado en Tabla 1 |
| | Identificación de problemas en procedimientos existentes | ✓ | Dificultades en tiempos, recursos y seguridad |
| | Evaluación de necesidades específicas de los operarios | ✓ | Basado en encuestas y matriz QFD |
| DISEÑO CONCEPTUAL | Definición de especificaciones técnicas | ✓ | Definidos en Tabla 4 |
| | Establecimiento de parámetros de diseño | ✓ | Definidos en Tabla 5 |
| | Selección preliminar de materiales | ✓ | Detallados en Tabla 6 |
| | Evaluación del estudio previo y limitaciones | ✓ | --- |
| | Elaboración de bosquejos conceptuales | ✓ | --- |
| DISEÑO DETALLADO | Modelado 3D | ✓ | Generado en software CAD |
| | Cálculos estructurales de componentes principales | ✓ | Bases y criterios de diseño |
| | Selección de componentes comerciales (perfiles, teclé, ruedas) | ✓ | Basado en disponibilidad en el mercado |
| | Verificación de interferencias entre componentes | ✓ | Mediante análisis de ensamble |
| VALIDACIÓN Y ENTREGA | Simulación de comportamiento estructural | ✓ | Análisis FEA |
| | Análisis de elementos finitos en componentes principales. | ✓ | Evaluación de esfuerzos, desplazamientos y deformaciones |
| | Verificación de factor de seguridad | ✓ | Objetivo: $FS \geq 2.5$ |
| | Optimización de diseño según resultados | ✓ | Selección de perfiles, espesores y dimensiones. |
| | Elaboración de planos constructivos (Vistas explosionadas, BOM) | ✓ | Documentación ^{técnica} |

Fuente: Elaboración propia

Resultados obtenidos

El análisis por elementos finitos realizado en este estudio tiene como objetivo principal evaluar y comparar el comportamiento mecánico del elemento principal estructural, sometido a condiciones de carga similares. Esta metodología computacional permite predecir con precisión la distribución de esfuerzos, deformaciones y factores de seguridad en cada perfil.

A continuación, en la figura 21, se ensaya el perfil rectangular 150x50x3: el esfuerzo de von Mises no supera al coeficiente elástico del acero estructural, cuyo resultado de la capacidad de carga máxima rodea los 107.63 MPa.

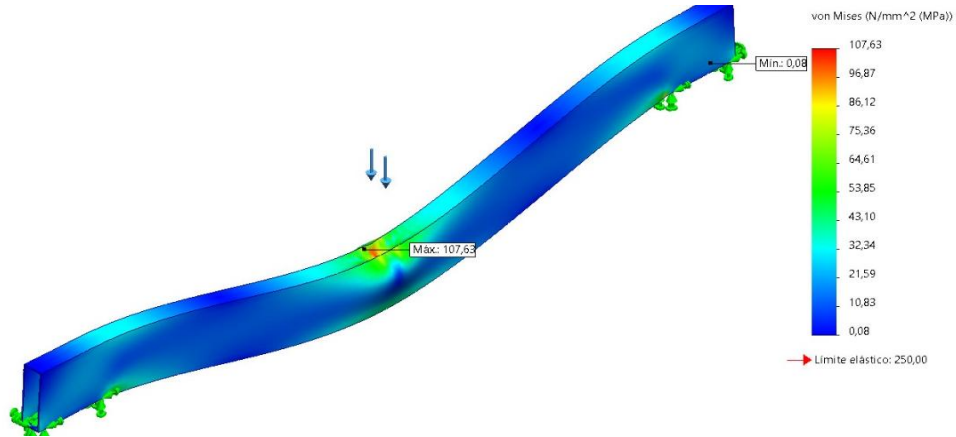


Figura 21. Esfuerzo de von Mises en perfil 150x50x3 mm.

Fuente: Elaboración propia

Se puede observar en la figura 22 que el desplazamiento de la viga por flexión resultante de la carga es de 0.59 mm, en el punto crítico de la viga por su deflexión.

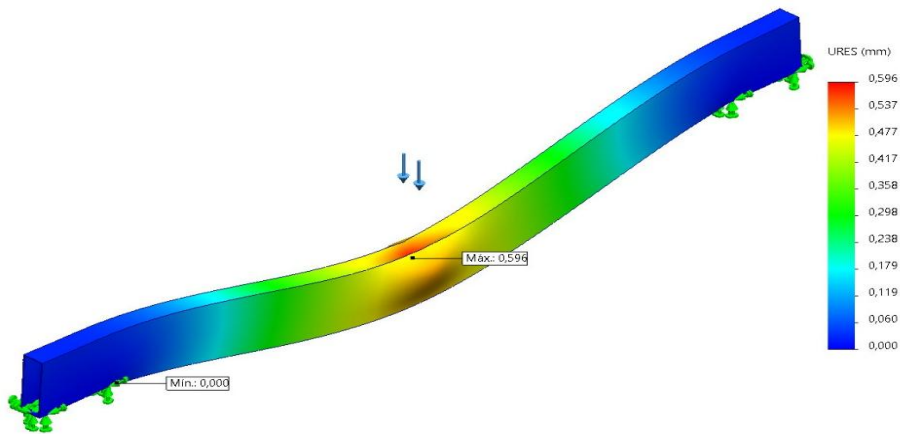


Figura 22. Deflexión en perfil 150x50x3 mm.

Fuente: Elaboración propia

La figura 23 muestra que se obtuvo un factor de seguridad resultante de 2.3 en el punto crítico de la viga, mediante el análisis efectuado.

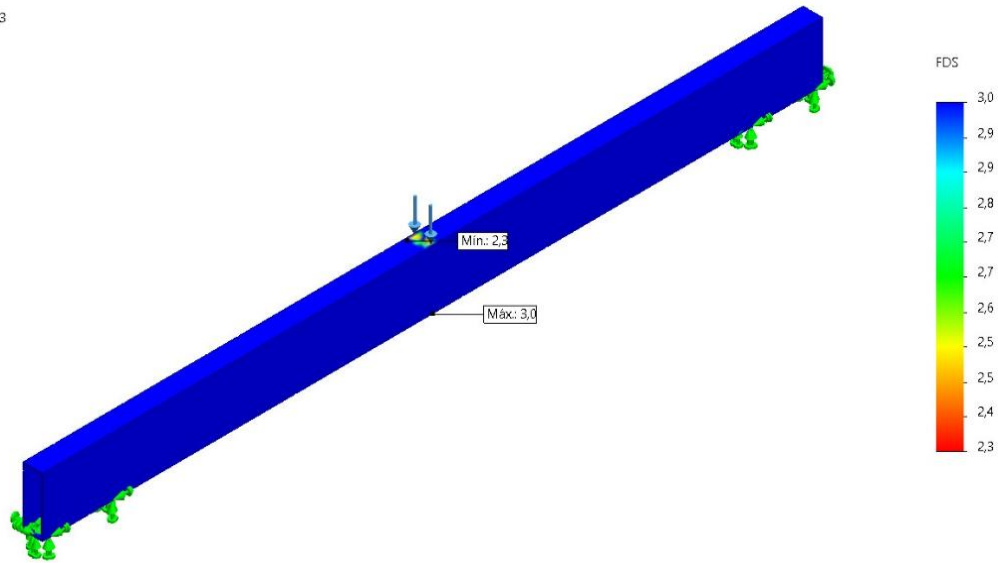
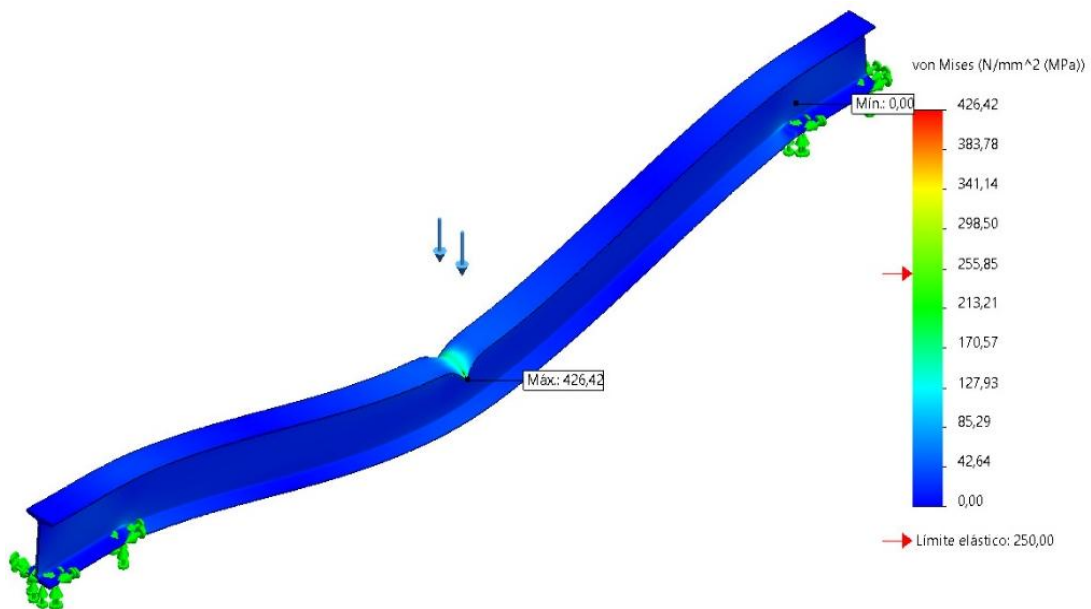


Figura 23. Factor de seguridad en perfil 150x50x3 mm.

Fuente: Elaboración propia

Con el fin de optimizar material y recursos, se ensaya el perfil IPN 120. Cuyos valores se muestran en la figura 24.



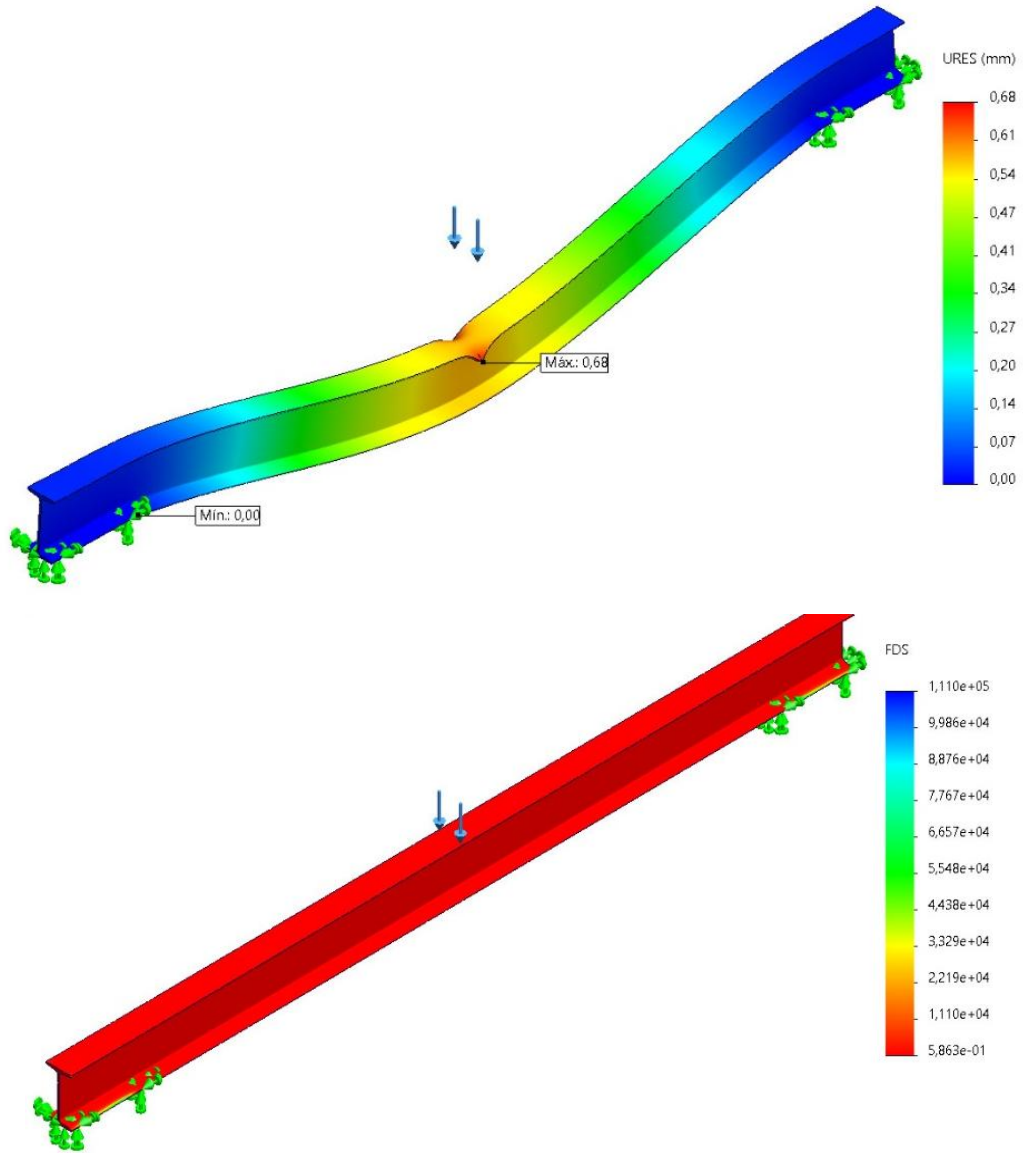


Figura 24. Análisis de elementos finitos en perfil IPN 120.

Fuente: Elaboración propia

De igual manera, para la sección IPE 120. Cuyos valores se muestran en la figura 25.

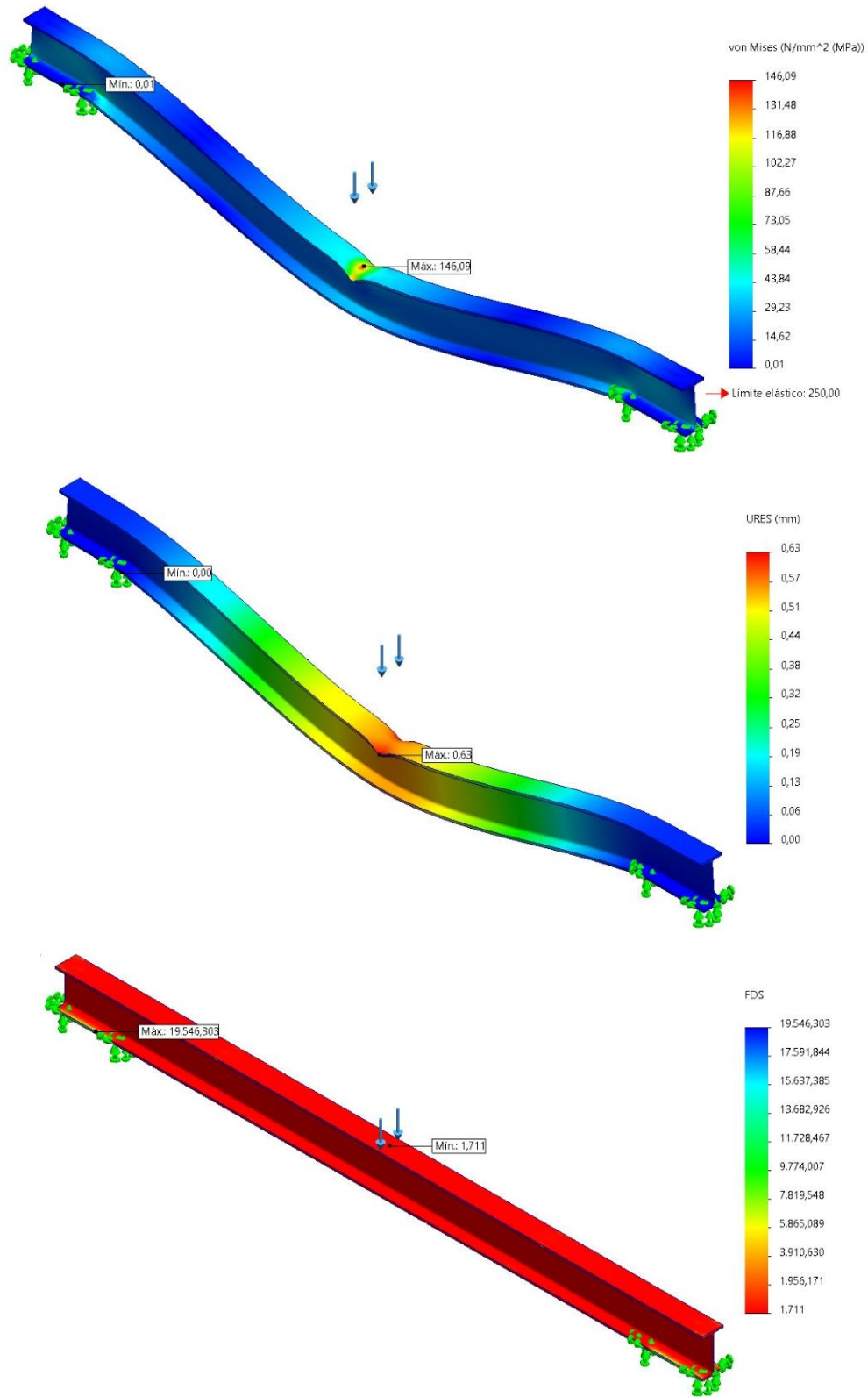


Figura 25. Análisis de elementos finitos en perfil IPN 120.

Fuente: Elaboración propia

Evaluación de la ejecución

Los resultados obtenidos de acuerdo con la tabla 15 proporcionan información crucial para la selección del perfil óptimo según los requerimientos específicos de la aplicación, considerando tanto el rendimiento estructural como la eficiencia en el uso de material: Tubo rectangular 150X50X3 mm.

Tabla 15: Comparación de FEM para perfiles estructurales

| Perfil | Esfuerzo de Von Mises [MPa] | Desplazamiento Máximo [mm] | Factor de Seguridad |
|------------------------------|-----------------------------|----------------------------|---------------------|
| Tubo rectangular 150×50×3 mm | 107.63 | 0.596 | 2.3 |
| IPN 120 | 426.42 | 0.68 | 0.59 |
| IPE 120 | 146.09 | 0.63 | 1.71 |

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones:

- El análisis realizado en campo entre el 15 y el 29 de enero de 2025 permitió evidenciar una alta dependencia de estructuras improvisadas, tiempos operativos prolongados (promedio de 3.4 horas por operación), y una participación de hasta seis operarios. Se identificaron condiciones de riesgo ergonómico elevadas, particularmente asociadas a lesiones musculoesqueléticas, lo que justificó la necesidad de una solución técnica.
- A partir del diagnóstico y los requerimientos de campo, se definieron parámetros técnicos clave como la capacidad de carga (1000 kg), dimensiones modulares del pórtico, tipo de ruedas para suelos irregulares, y materiales estructurales apropiados. Se consideraron perfiles tubulares, IPN e IPE, evaluando sus propiedades mecánicas, costos y disponibilidad, lo que permitió una selección técnica fundamentada.
- La simulación FEA demostró que el diseño propuesto es estructuralmente seguro, alcanzando un factor de seguridad de 2.3 con el perfil tubular rectangular 150x50x3 mm. Se evaluaron desplazamientos, esfuerzos y deformaciones bajo condiciones reales de carga, y se compararon distintos perfiles estructurales. El perfil seleccionado ofrece una combinación óptima entre resistencia, peso y facilidad de armado, cumpliendo con los objetivos operativos del sistema.
- Se diseñó y validó un sistema de izaje tipo pórtico para la manipulación de spools y líneas en estaciones de servicio de la empresa PIL S.A., en la ciudad de Joya de los Sachas. El

sistema cumple con los requerimientos técnicos y operativos identificados en el diagnóstico inicial, mejorando notablemente la eficiencia, la seguridad y la ergonomía en las operaciones. Su validación mediante simulación estructural confirmó su viabilidad y seguridad bajo condiciones reales de carga.

Recomendaciones

- Implementar el sistema de izaje diseñado en todas las estaciones de servicio de PIL S.A., especialmente en aquellas con superficies irregulares o limitaciones logísticas, priorizando su modularidad y facilidad de transporte.
- Estandarizar el uso de sistema a través de procedimientos operativos internos, incluyendo manuales de uso, protocolos de seguridad y rutinas de mantenimiento preventivo.
- Capacitar al personal operativo y de mantenimiento, enfocando los entrenamientos en el armado, desmontaje, transporte y uso correcto del sistema, así como en la identificación de posibles fallas o desgastes.
- Monitorear el desempeño del sistema en condiciones reales, recopilando datos operativos posteriores a la implementación para evaluar su impacto y realizar ajustes técnicos si fueran necesarios.
- Extender el modelo de validación empleado, es decir: diagnóstico, diseño y simulación; a otros procesos mecánicos de la empresa, promoviendo una cultura de mejora continua y adaptación de soluciones técnicas basadas en evidencia.

Referencias Bibliográficas

- ALTAMIRANO, Renzo; RAMOS, Nelson. Diseño de una herramienta mecánica para optimizar el tiempo de desmontaje de moldes de una planta de alimentos. Tesis de pregrado. Lima: Universidad San Ignacio de Loyola, 2023.
- ASESOR DE CALIDAD. *QFD – La casa de calidad: herramienta de gestión*. [en línea] 10 marzo 2017. Disponible en: <https://asesordecalidad.blogspot.com/2017/03/qfd-la-casa-de-la-calidad-herramienta.html>
- ARIAS BULLA, Ana; MATUTE SALAZAR, Ana; CÁRDENAS SÁNCHEZ, María. Propuesta de diseño y manual de procedimientos seguros para izaje de cargas en Multigrúas del Cesar. Tesis de pregrado. Bogotá: Universidad ECCI, 2022.
- BEDOYA, W. Implementación de un programa de normas técnicas en el taller de mecánica de la Universidad Técnica “Luis Vargas Torres” de Esmeraldas, Ecuador. *Sapienza: International Journal of Interdisciplinary Studies* [en línea], 3(2), 2022, p. 1337–1435. Disponible en: <https://journals.sapienzaeditorial.com>
- COHEN PADILLA, Harold; CARRILLO LANDAZABAL, Martha; BEDOYA MARRUGO, Elías. Análisis del impacto ergonómico asociado a la manipulación de cargas en trabajadores de equipos de perforación del sector petrolero. *Revista Nova publicación científica en ciencias biomédicas* [en línea], 18(34), 9 de julio de 2020, p. 109–124. DOI: 10.22490/24629448.3923
- GIORDANO, Walter; FRANCO, Neorén; DOMÍNGUEZ, Cristian; GARCÍA, Bruno; ACOSTA, Juan; PARODI, Facundo; DE BATTISTA, Agustín; SÁNCHEZ, Benjamín; DORSCH, Mauro. Análisis de dispositivos de izaje de carga para contribuir a la optimización de los diseños y su comportamiento a la fatiga. *Mecánica Computacional* [en línea], Vol. XL, n.º 36, 2023, p. 1310–1313. ISSN 2591-3522. Disponible en: <https://cimec.org.ar/ojs/index.php/mc/article/view/6697/6760>
- GONZÁLES, C. y RIVAS, T. *Modernización de procesos logísticos y su impacto en la seguridad laboral*. Revista Latinoamericana de Ingeniería, 2021, vol. 8, no. 2, p. 77-88.

- INSTITUTO ECUATORIANO DE SEGURIDAD SOCIAL. Estadísticas de Seguro de Riesgos de Trabajo. Quito: IESS, 2025.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). *ISO 23815-1:2007: Cranes – Maintenance – Part 1: General*. Ginebra: ISO, 2007.
- LLORCA LÓPEZ, José; GUTIÉRREZ ASCÓN, Jaime; VILLAR TIRAVANTTI, Lily. Plan de Seguridad en cargas suspendidas para reducir los índices de accidentabilidad en la Planta de Laminación Largos. SIDERPERÚ S.A.A. 2016. *INGnosis Revista de Investigación Científica* [en línea], 2(1), 2019, p. 82–100. DOI: 10.18050/ingnosis.v1i1.1976
- MASCARÓS MATEO, Vicente. *Integración de sensores y actuadores inteligentes en la Industria 4.0: la tecnología IO-Link*. Revista Economía Industrial, 2022, no. 427, p. 113-122. Disponible en: <https://www.mintur.gob.es/Publicaciones/Publicacionesperiodicas/EconomiaIndustrial/RevistaEconomiaIndustrial/427/MASCAROS%20MATEO.pdf>
- MINISTERIO DE TRABAJO DE ECUADOR (MDT). *Informe anual de accidentes laborales y condiciones de trabajo 2023*. Quito: Subsecretaría de Seguridad y Salud en el Trabajo, 2023.
- NUÑEZ, P. Propuesta ergonómica para la prevención de trastornos musculoesqueléticos en el izaje de motos en la estación de servicios Numa Rider Motos aplicando el método REBA y Snook y Ciriello. Tesis de pregrado. Quito: Universidad Central del Ecuador, 2024.
- OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH ADMINISTRATION (OSHA). *Guidelines for Safe Lifting*. Washington D.C.: U.S. Department of Labor, 2020.
- ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DEL TRABAJO. Seguridad y salud en el trabajo. Ginebra: OIT, 2025.
- ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (OMS). *Trastornos musculoesqueléticos relacionados con el trabajo: informe técnico*. Ginebra: OMS, 2019.
- PIL PROCTEK GROUP COMPANY. Información corporativa. [en línea]. PIL Proctek Group, 2025. Disponible en: <https://www.pilproctekgroup.com>

POVEDA, Marcelo; VÁSQUEZ, Pablo. Análisis de Variables y Propuesta de Mejora del Rendimiento de Montaje de Estructuras Metálicas en Cuenca-Ecuador. *MQRInvestigar* [en línea], 7(3), p. 432–460. ISSN 2588-0659. Disponible en: <https://www.investigarmqr.com/ojs/index.php/mqr/article/view/467>

RON, Pablo; ALMACHI, Alisson. Diseño, montaje y cálculo de maniobras de izaje de cargas. Tesis de pregrado. Quito: Universidad Tecnológica Indoamérica, 2024.

RUÍZ, Juan. Discapacidad por lumbalgia mecánica en los trabajadores del área de almacén de la empresa Group Logistic Montalvo, 2022. Tesis de pregrado. Lima: Universidad Norbert Wiener, 2022.

ANEXOS

Anexo I. Entrevista Diagnóstica - Sistema de Izaje

| | | | |
|---------|--|---------------|--|
| Nombre: | | Edad: | |
| Cargo: | | Departamento: | |

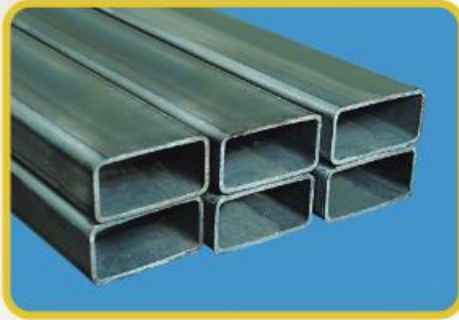
Relación del sistema de elevación para componentes, spools y líneas de procesos en la estación de servicio PIL S.A.; marque con una X en los casilleros donde considere su valoración.

| Aspectos Técnicos | SI | NO |
|---|--------------------------|--------------------------|
| 1. ¿Considera que los equipos actuales de izaje cumplen con los estándares de seguridad requeridos? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 2. ¿Ha observado fallas o deficiencias en los sistemas de izaje existentes? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 3. ¿La capacidad de carga de los equipos actuales es suficiente para las operaciones diarias? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 4. ¿Los sistemas actuales permiten una regulación adecuada de altura? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Aspectos Operativos | SI | NO |
| 5. ¿El tiempo actual de operación para el izaje es eficiente? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 6. ¿Los procedimientos de montaje y desmontaje son prácticos? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 7. ¿El sistema actual permite una movilidad adecuada en diferentes áreas de trabajo? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| 8. ¿La manipulación del equipo requiere más de dos operarios regularmente? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| Aspectos de Seguridad | SI | NO |
| 9. ¿Ha presenciado o experimentado incidentes relacionados con las operaciones de izaje? | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |

Observaciones Adicionales

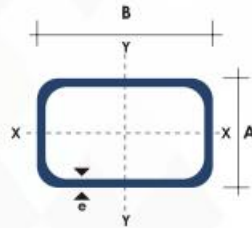
Anexo II. Catálogo de perfiles comerciales DIPAC.

TUBO ESTRUCTURAL RECTANGULAR



Especificaciones Generales:

| | |
|----------------------|-------------------------------------|
| Norma | NTE INEN 2415 |
| Calidad: | SAE J 403 1008 |
| Acabado: | Acero negro o galvanizado |
| Largo normal: | 6.00 m y medidas especiales |
| Dimensiones: | Desde 20mm x 40mm a 50mm x 150mm |
| Espesores: | Desde 1,20mm a 3,00mm |

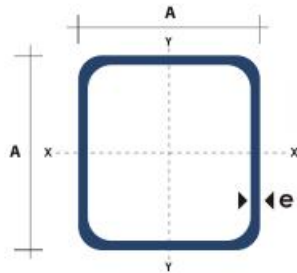


| Dimensiones | | | | Área | Ejes Y-Y | | | Ejes X-X | | |
|-------------|---------|-------------------|--------------|-------------------------|----------------------|----------------------|---------|----------------------|----------------------|----------------------|
| A mm | B mm | Espesor (e) mm | Peso Kg/m | Área cm ² | J cm ⁴ | W cm ³ | i cm | i cm ⁴ | W cm ³ | i cm ³ |
| 20 | 40 | 1,2 | 1,09 | 1,32 | 2,61 | 1,30 | 1,12 | 0,88 | 0,88 | 0,83 |
| 20 | 40 | 1,5 | 1,35 | 1,65 | 3,26 | 1,63 | 1,40 | 1,09 | 1,09 | 0,81 |
| 20 | 40 | 2,0 | 1,78 | 2,14 | 4,04 | 2,02 | 1,37 | 1,33 | 1,33 | 0,79 |
| 25 | 50 | 1,5 | 1,71 | 2,10 | 6,39 | 2,56 | 1,74 | 2,19 | 1,75 | 1,02 |
| 25 | 50 | 2,0 | 2,25 | 2,74 | 8,37 | 3,35 | 1,75 | 2,80 | 2,24 | 1,01 |
| 25 | 50 | 3,0 | 3,30 | 4,14 | 12,56 | 5,02 | 1,74 | 3,99 | 3,19 | 0,99 |
| 30 | 50 | 1,5 | 1,88 | 2,25 | 7,27 | 2,91 | 1,80 | 3,32 | 2,21 | 1,21 |
| 30 | 50 | 2,0 | 2,41 | 2,94 | 9,52 | 3,81 | 1,80 | 4,28 | 2,85 | 1,21 |
| 30 | 50 | 3,0 | 3,30 | 4,21 | 12,78 | 5,11 | 1,74 | 5,66 | 3,77 | 1,16 |
| 30 | 70 | 2,0 | 3,03 | 3,74 | 22,20 | 6,34 | 2,44 | 5,85 | 3,90 | 1,25 |
| 30 | 70 | 3,0 | 4,48 | 5,41 | 30,50 | 8,71 | 2,37 | 7,84 | 5,23 | 1,20 |
| 40 | 60 | 1,5 | 2,29 | 2,91 | 14,90 | 4,97 | 2,26 | 7,94 | 3,97 | 1,65 |
| 40 | 60 | 2,0 | 3,03 | 3,74 | 18,08 | 6,13 | 2,22 | 9,81 | 4,90 | 1,62 |
| 40 | 60 | 3,0 | 4,48 | 5,41 | 25,31 | 8,44 | 2,16 | 13,37 | 6,69 | 1,57 |
| 30 | 70 | 1,5 | 2,34 | 2,91 | 18,08 | 5,17 | 2,49 | 4,76 | 3,17 | 1,28 |
| 30 | 70 | 2,0 | 2,93 | 3,74 | 22,20 | 6,34 | 2,44 | 5,85 | 3,90 | 1,25 |
| 30 | 70 | 3,0 | 4,25 | 5,41 | 30,50 | 8,71 | 2,37 | 7,84 | 5,23 | 1,20 |
| 40 | 80 | 1,5 | 2,76 | 3,74 | 31,75 | 7,94 | 2,91 | 10,77 | 5,39 | 1,70 |
| 40 | 80 | 2,0 | 3,66 | 4,54 | 37,32 | 9,33 | 2,87 | 12,70 | 6,35 | 1,67 |
| 40 | 80 | 3,0 | 5,42 | 6,61 | 52,16 | 13,04 | 2,81 | 17,49 | 8,75 | 1,63 |
| 50 | 100 | 2,0 | 4,52 | 5,74 | 74,94 | 14,99 | 3,61 | 25,65 | 10,26 | 2,11 |
| 50 | 100 | 3,0 | 6,71 | 8,41 | 106,34 | 21,27 | 3,56 | 35,97 | 14,39 | 2,07 |
| 50 | 150 | 2,0 | 6,17 | 7,74 | 207,45 | 27,66 | 5,18 | 37,17 | 14,87 | 2,19 |
| 50 | 150 | 3,0 | 9,17 | 11,41 | 298,35 | 39,78 | 5,11 | 52,54 | 21,02 | 2,15 |

TUBO ESTRUCTURAL CUADRADO

Especificaciones Generales:

| | |
|---------------|----------------------------|
| Norma: | NTE INEN 2415 |
| Calidad: | SAE J 403 1008 |
| Acabado: | Acero negro o Galvanizado |
| Largo Normal: | 6.00m y medidas especiales |
| Dimensiones: | Desde 20mm a 100mm |
| Espesores: | Desde 1,20mm a 5,00mm |



| Dimensiones | | | Área | Ejes X-Xe Y-Y | | |
|-------------|-------------------|--------------|-------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| A mm | Espesor mm (e) | Peso Kg/m | Área cm ² | I cm ⁴ | W cm ³ | i cm ³ |
| 20 | 1,2 | 0,72 | 0,90 | 0,53 | 0,53 | 0,77 |
| 20 | 1,5 | 0,88 | 1,05 | 0,58 | 0,58 | 0,74 |
| 20 | 2,0 | 1,15 | 1,34 | 0,69 | 0,69 | 0,72 |
| 25 | 1,2 | 0,90 | 1,14 | 1,08 | 0,87 | 0,97 |
| 25 | 1,5 | 1,12 | 1,35 | 1,21 | 0,97 | 0,95 |
| 25 | 2,0 | 1,47 | 1,74 | 1,48 | 1,18 | 0,92 |
| 30 | 1,2 | 1,09 | 1,38 | 1,91 | 1,28 | 1,18 |
| 30 | 1,5 | 1,35 | 1,65 | 2,19 | 1,46 | 1,15 |
| 30 | 2,0 | 1,78 | 2,14 | 2,71 | 1,81 | 1,13 |
| 40 | 1,2 | 1,47 | 1,80 | 4,38 | 2,19 | 1,25 |
| 40 | 1,5 | 1,82 | 2,25 | 5,48 | 2,74 | 1,56 |
| 40 | 2,0 | 2,41 | 2,94 | 6,93 | 3,46 | 1,54 |
| 40 | 3,0 | 3,54 | 4,44 | 10,20 | 5,10 | 1,52 |
| 50 | 1,5 | 2,29 | 2,85 | 11,06 | 4,42 | 1,97 |
| 50 | 2,0 | 3,03 | 3,74 | 14,13 | 5,65 | 1,94 |
| 50 | 3,0 | 4,48 | 5,61 | 21,20 | 4,48 | 1,91 |
| 60 | 2,0 | 3,66 | 3,74 | 21,26 | 7,09 | 2,39 |
| 60 | 3,0 | 5,42 | 6,61 | 35,06 | 11,69 | 2,34 |
| 75 | 2,0 | 4,52 | 5,74 | 50,47 | 13,46 | 2,97 |
| 75 | 3,0 | 6,71 | 8,41 | 71,54 | 19,08 | 2,92 |
| 75 | 4,0 | 8,59 | 10,95 | 89,98 | 24,00 | 2,87 |
| 100 | 2,0 | 6,17 | 7,74 | 122,99 | 24,60 | 3,99 |
| 100 | 3,0 | 9,17 | 11,41 | 176,95 | 35,39 | 3,94 |