



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

PROPUESTA TECNOLÓGICA

“Diseño de una estructura metálica con un puente grúa para el área de mantenimiento y bodega en la empresa Pulpa Moldeada S.A.”

Propuesta Tecnológica presentado previo a la obtención del Título
de Ingeniero en Electromecánica

Autores:

Pedro Fidel Tisalema Tasigchana
Jhonny Fabio Vallejo Ordoñez

TUTOR:

Ing. Luis Miguel Navarrete López. Mg

LATACUNGA - ECUADOR
FEBRERO - 2024

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

TISALEMA TASIGCHANA PEDRO FIDEL con número de cédula N°.0550246284, **VALLEJO ORDOÑEZ JHONNY FABIO** con número de cédula N°.0605241686, declaramos ser autores de la presente **PROPUESTA TECNOLÓGICA: “DISEÑO DE UNA ESTRUCTURA METÁLICA CON UN PUENTE GRÚA PARA EL ÁREA DE MANTENIMIENTO Y BODEGA EN LA EMPRESA PULPA MOLDEADA S.A”**, siendo el Ing. Luis Miguel Navarrete López. Mg. Tutor del presente trabajo; y, eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certificamos que las ideas, conceptos procedimientos y resultados vertidos en la presente propuesta tecnológica, son de nuestra exclusiva responsabilidad.

Latacunga, febrero 23 del 2024



.....

Tisalema Tasigchana Pedro Fidel
C.I. 055024628-4



.....

Vallejo Ordoñez Jhonny Fabio
C.I. 060524168-6

AVAL DEL TUTOR DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA

En calidad de Tutor de la Propuesta Tecnológica sobre el título:

“DISEÑO DE UNA ESTRUCTURA METÁLICA CON UN PUENTE GRÚA PARA EL ÁREA DE MANTENIMIENTO Y BODEGA EN LA EMPRESA PULPA MOLDEADA S.A”, propuesta tecnológica de: **Tisalema Tasigchana Pedro Fidel** con número de cédula N.º.0550246284 y **Vallejo Ordoñez Jhonny Fabio** con número de cédula N.º.0605241686, de la carrera de Ingeniería en Electromecánica, considero que dicha Propuesta Tecnológica es merecedor del aval de aprobación al cumplir las normas técnicas, traducción y formatos previstos, así como también ha incorporado las observaciones y recomendaciones propuestas en la pre-defensa.

Latacunga, 23 febrero de 2024



.....
Ing. Luis Miguel Navarrete López. Mg

C.C. 180374728-4

TUTOR

AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban la presente propuesta tecnológica de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas; por cuanto los postulantes: **Tisalema Tasigchana Pedro Fidel** con número de cédula N.º.0550246284 y **Vallejo Ordoñez Jhonny Fabio** con número de cédula N.º. 0605241686 con el título de propuesta tecnológica. “**DISEÑO DE UNA ESTRUCTURA METÁLICA CON UN PUENTE GRÚA PARA EL ÁREA DE MANTENIMIENTO Y BODEGA EN LA EMPRESA PULPA MOLDEADA S.A**”, ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de sustentación del trabajo de titulación.

Por lo antes expuesto, se autoriza grabar los archivos correspondientes en un CD, según la normativa institucional.

Latacunga, 23 de febrero de 2024



.....
Ing. Enrique Torres Tamayo. PhD

C.C: 175712194-0

LECTOR 1 (PRESIDENTE)



.....
Ing. Héctor Laurencio Alfonso. PhD

C.C: 175836725-2

LECTOR 2 (MIEMBRO)



.....
Ing. Segundo Ángel Cevallos Betún, Ms.C

C.C: 050178243-7

LECTOR 3 (MIEMBRO)

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios por la vida, por haberme permitido seguir en adelante después de varios obstáculos presentados.

Agradezco a mis padres y hermanos, en especial a mi padre Pablo Tisalema quien con su sabiduría y orientación espiritual me iluminó mi camino, a mi madre Martha Tasigchana por su sacrificio, amor incondicional y su constante paciencia, han sido el apoyo en la consecución de este sueño.

Finalmente, a los catedráticos de la Universidad Técnica de Cotopaxi por sus conocimientos impartidos a lo largo de la trayectoria universitaria, a los docentes que contribuyeron en el desarrollo del presente proyecto, por último, al grupo de compañeros que hemos coincidido en el camino.

Pedro Tisalema

DEDICATORIA

Me es enfático dedicar el presente proyecto a mi padre Pablo Tisalema, a mi hermano Carlos Tisalema, no lo hubiera logrado sin su ausencia, quienes me llenaron de consejos y buenas costumbres, nos veremos en lo eterno.

A mi sagrada madre Martha Tasigchana por sus consejos sabientes, su cariño y su esfuerzo empleado en mí, para ser un buen hombre, me ha enseñado a seguir en adelante pese a las circunstancias que se presenten en la vida, motor y motivo a la cual dedico con infinita gracia.

A mis queridos hermanos Pablo y Marco, a mis abuelitos, José Tasigchana y Florinda Cayo, a mis tíos y tías, gracias por el apoyo y sus consejos.

Finalmente, me es grato dedicar a mi sobrina Valeria Tisalema, fuente de inspiración y motivo para seguir triunfando en esta vida, además a alguien cuyo apoyo e influencia ha sido silencioso, sutil y constante en momentos de oscuridad.

Pedro Tisalema

AGRADECIMIENTO

Iniciar una carrera profesional y terminarla de manera satisfactoria es un gran logro personal, en primer lugar, quiero agradecer a Dios por haberme permitido cumplir este gran sueño, también a mis padres (Alonso Vallejo, Mariana Ordoñez) quienes me brindaron su apoyo incondicional, de igual manera quiero dar las gracias a todas las personas que me ayudaron y apoyaron en el cumplimiento de mi objetivo.

Jhonny Vallejo

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mis padres Alonso Vallejo y Mariana Ordoñez por ser mi apoyo durante mi carrera profesional, uno de mis grandes sueños era poder lograr un título profesional y gracias a ustedes lo he podido lograr, día tras día me dieron los mejores consejos, que hicieron darme cuenta que el estudio era el camino para llegar a ser una persona de bien, pues sin sus palabras quizá no hubiera entendido lo que significa ser todo un profesional, me siento feliz de poder agradecerles la confianza que depositaron en mí, gracias por estar a mi lado y sobre todo por la paciencia durante todo este tiempo, lo que más deseo es que siempre se sientan orgullosos de tenerme como hijo.

Jhonny Vallejo

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

TITULO: “DISEÑO DE UNA ESTRUCTURA METÁLICA CON UN PUENTE GRÚA PARA EL ÁREA DE MANTENIMIENTO Y BODEGA EN LA EMPRESA PULPA MOLDEADA S.A.”

Autores:

Tisalema Tasigchana Pedro Fidel

Vallejo Ordoñez Jhonny Fabio

RESUMEN

La empresa Pulpa Moldeada S.A. se ve afectada debido a retrasos en el área de mantenimiento por la dificultad que representa operar con equipos pesados, esto a su vez, provoca retrasos en los cronogramas de mantenimiento de los motores y reductores, impactando de manera directa en la eficiencia de la línea de producción. Se desarrolló el diseño de una estructura metálica y de un sistema electromecánico de izaje y movilidad para mejorar los tiempos de respuesta por parte del área de mantenimiento. Utilizando el método de diseño basado en Factores de Carga y Resistencia se garantiza el diseño y la estabilidad del puente grúa frente a cargas variables. Se identificaron parámetros clave, como requisitos de carga y tiempos de mantenimiento, antes de abordar el diseño. En base a las recomendaciones de la normativa Ecuatoriana NEC-2015 se realizó un análisis de elementos finitos con SAP2000 y ANSYS para evaluar el comportamiento del pórtico puente grúa, con esto se busca evitar las paradas no planificadas de la línea de producción, requiriendo una inversión de alrededor de los 12275,64\$ para su implementación, con esto se prevé una mejora del 15% de los tiempos de mantenimiento y un retorno de inversión progresiva en un tiempo de 3 años con 9 meses y 15 días, especialmente en función del sistema de izaje implementado. La capacidad nominal del sistema es de 29080 kg (29 t) y un factor de seguridad de 3,125, tomando en cuenta la combinación dinámica de estudio (D+L+LT), permitiendo en esta infraestructura la instalación de diferentes sistemas de izaje fijos-móviles, sin que superen la capacidad de diseño de 1000kg para el puente grúa y 18720 kg para bodega.

Palabras Clave: Cargas, Secciones, Izaje, Movilidad, Capacidad.

TECHNICAL UNIVERSITY OF COTOPAXI

FACULTY OF ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES

THEME: "DESIGN OF A METALLIC STRUCTURE WITH A BRIDGE CRANE FOR THE MAINTENANCE AND WAREHOUSE AREA IN THE COMPANY PULPA MOLDEADA S.A.".

Authors:

Tisalema Tasigchana Pedro Fidel
Vallejo Ordoñez Jhonny Fabio

ABSTRACT

The company Pulpa Moldeada S.A. is affected by delays in the maintenance area due to the difficulty of operating with heavy equipment, and it causes delays in the maintenance schedules of motors and reducers, directly impacting the efficiency of the production line. For this reason, it was developed a design of a metallic structure and an electromechanical lifting and mobility system to improve the response time of the maintenance area. The design method based on Load and Resistance Factors, the design and stability of the bridge crane against variable loads is guaranteed. Key parameters, such as load requirements and maintenance times, were identified before approaching the design. Based on the recommendations of the Ecuadorian standard NEC-2015, a finite element analysis was performed with SAP2000 and ANSYS to evaluate the behavior of the gantry crane. It intended to avoid unplanned stops of the production line, requiring an investment of about \$12275.64 for its implementation, expected to improve 15% of maintenance times and a progressive return on investment in a time of three years with nine months and 15 days, depending on the hoisting system implemented. The nominal capacity of the system is 29080 kg (29 t) and a safety factor of 3.125, taking into account the dynamic combination of study (D+L+LT), allowing in this infrastructure the installation of different fixed-mobile lifting systems, without exceeding the design capacity of 1000kg for the bridge crane and 18720 kg, for the warehouse.

Keywords: Loads, Sections, Lifting, Mobility, Capacity.

ÍNDICE GENERAL

1.	INTRODUCCIÓN.....	3
1.1.	Antecedentes.....	3
1.2.	Justificación.....	3
1.3.	Planteamiento del problema.....	4
1.3.1.	Formulación del problema.....	4
1.4.	OBJETIVOS.....	4
1.4.1.	Objetivo general.....	4
1.4.2.	Objetivos específicos.....	4
1.4.3.	Tareas por objetivo.....	5
1.5.	BENEFICIARIOS.....	5
1.5.1.	Beneficiarios directos.....	5
1.5.2.	Beneficiarios indirectos.....	5
2.	MARCO TEÓRICO.....	6
2.1.	Normativas internacionales.....	6
2.1.1.	Normas para diseños de estructuras.....	6
2.1.2.	Normativas para el diseño de puentes grúa.....	6
2.1.3.	Seguridad industrial.....	7
2.1.4.	Estructuras metálicas.....	7
2.1.5.	Funcionalidad.....	7
2.2.	Acero como material estructural.....	8
2.2.1.	Requisitos de materiales conforme a la NEC-15.....	8
2.3.	Acero ASTM A36.....	9
2.3.1.	Características mecánicas y físicas.....	9
2.3.2.	Requerimientos del acero para aplicaciones sísmicas.....	9
2.4.	Diseño sísmico NEC-SE-DS.....	10
2.4.1.	Comportamiento sísmico de las estructuras de acero.....	10

2.4.2.	Deriva de la losa	10
2.4.3.	Espectros elásticos de diseño.....	11
2.4.4.	Factor de zona Z	11
2.5.	Propiedades de secciones estructurales.....	11
2.5.1.	Perfiles para viguetas, vigas y columnas.....	11
2.5.2.	Sección Viga IPE	12
2.5.3.	Tubo cuadrado	12
2.6.	Ductilidad del acero	12
2.6.1.	La ductilidad MD (Moderada).....	12
2.7.	Secciones (relación ancho-espesor)	13
2.7.1.	Diseño de miembros	13
2.7.2.	Secciones compactas	13
2.8.	Tipos de pórticos.....	13
2.8.1.	Pórticos intermedios IMF	13
2.9.	Juntas y conexiones	14
2.9.1.	Juntas soldadas	14
2.9.2.	Juntas PJP.....	14
2.9.3.	Juntas CJP.....	14
2.9.4.	Placa base	15
2.9.5.	Conexiones precalificadas (método SMAW)	15
2.10.	Bases de diseño	15
2.10.1.	Diseño en base a factores de carga y resistencia (LRFD) o (DFCR)	15
2.11.	Cargas gravitacionales.....	16
2.11.1.	Carga viva.....	16
2.11.2.	Carga muerta.....	16
2.11.3.	Carga puntual.....	16
2.12.	Equipos de elevación y transporte.....	17

2.12.1.	Grúa pórtico con tecele.....	17
2.12.2.	Puente grúa	17
2.12.3.	Viga IPE como puente grúa	17
2.13.	Herramientas informáticas	17
2.13.1.	Software CAD	17
2.13.2.	Software CAE.....	18
3.	MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS	18
3.1.	Guía de diseño LRFD.	18
3.1.1.	Determinar las cargas aplicadas.	19
3.1.2.	Establecer las combinaciones de Cargas.	19
3.1.3.	Realizar el análisis estructural.	19
3.1.4.	Verificar la resistencia.	19
3.1.5.	Comprobar desplazamientos y deformaciones.	19
3.1.6.	Documentar el diseño.	20
3.2.	Criterios de selección de los componentes del puente grúa.....	20
3.2.1.	Capacidad de carga:	20
3.2.2.	Longitud de la viga del carril:.....	20
3.2.3.	Altura de elevación:.....	20
3.2.4.	Frecuencia de uso:	20
3.3.	Criterios para la valoración económica.....	21
3.3.1.	Optimización de costos.....	21
3.3.2.	Planificación financiera	21
3.3.3.	Comparación de alternativas	21
3.3.4.	Evitar costos ocultos.....	21
3.4.	Diseño de estructura de acero	21
3.4.1.	Antecedentes del proyecto.....	22
3.4.2.	Requerimientos de construcción.....	23

3.5.	Proceso del diseño	23
3.5.1.	Espectro de diseño sismorresistente	23
3.5.2.	Diseño de secciones	26
3.5.3.	Parámetros de compacidad relación ancho - espesor	27
3.5.4.	Definición de materiales en el software de simulación.	27
3.5.5.	Análisis de cargas para columnas	28
3.5.6.	Análisis de cargas para vigas.....	29
3.5.7.	Combinaciones de cargas	30
3.5.8.	Diseño de la Losa	31
3.5.9.	Configuración del software CAE	32
3.5.10.	Método de elementos finitos ANSYS.....	32
3.5.11.	Deformaciones en la viga IPE	35
3.6.	Conexiones eléctricas	37
3.6.1.	Dimensionamiento de las cargas a instalarse	37
3.6.2.	Acometida principal	37
3.6.3.	Circuito de luminarias	38
3.6.4.	Circuito de tomacorrientes.....	38
3.6.5.	Cargas especiales	38
4.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	39
4.1.	Análisis y resultados de la estructura.....	39
4.1.1.	Criterio de prediseño.	39
4.1.2.	Antecedentes para el prediseño	40
4.1.3.	Cálculo de espectro de diseño sismorresistente.....	40
4.1.4.	Combinaciones de cargas NEC-SE-CG-cargas-no-sísmicas.....	41
4.1.5.	Cálculos losa compuesta.....	43
4.1.6.	Análisis de secciones en software CAE.	43
4.1.7.	Resultados de SAP2000.	52

4.1.8.	Análisis de deformación de tecla (pórtico puente grúa).....	55
4.2.	Dimensionamiento eléctrico	62
4.2.1.	Dimensionamiento de las cargas a instalarse	62
4.2.2.	Selección de la grúa	63
4.2.3.	Acometida principal	63
4.2.4.	Circuito de luminarias	64
4.2.5.	Circuito de tomacorrientes.....	64
4.2.6.	Circuitos de cargas especiales	65
4.3.	Valoración económica del proyecto	66
4.3.1.	Impacto del Proyecto	67
5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	68
5.1.	Conclusiones.....	68
5.2.	Recomendaciones	68
6.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69
6.1.	Bibliografías.....	69

INFORMACIÓN GENERAL

Título del proyecto:

“Diseño de una estructura metálica con un puente grúa para el área de mantenimiento y bodega en la empresa Pulpa Moldeada S.A.”

Fecha de inicio:

26 de octubre 2023

Fecha de finalización:

29 de febrero 2024

Lugar de ejecución:

Región: Sierra

Provincia: Cotopaxi

Cantón: Latacunga

Parroquia: Lasso

Facultad que auspicia: Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas

Carrera que auspicia: Ingeniería Electromecánica

Proyecto de investigación vinculado:

Uso eficiente de la energía en sistemas electromecánicos en el sector industrial y comunitario del país.

Equipo de trabajo:

Tisalema Tasigchana Pedro Fidel

Vallejo Ordoñez Jhonny Fabio

Tutor:

Ing. Mg. Luis Miguel Navarrete López

Área de Conocimiento:**Área:**

Ingeniería, Industria y construcción.

Sub-Área:

Ingeniería y profesiones afines.

Línea de investigación:

Procesos Industriales

Sub líneas de investigación de la Carrera:

Diseño construcción y mantenimiento de elementos, prototipos y sistemas electromecánicos.

1. INTRODUCCIÓN

La incorporación de un puente grúa marca un hito significativo en la mejora de la eficiencia operativa dentro de entornos industriales. Este equipo diseñado específicamente para manejar cargas pesadas, no solo impulsa la productividad y optimiza la logística, sino que también redefine los estándares de seguridad laboral. En este análisis, exploraremos los aspectos esenciales vinculados a la instalación de un puente grúa, resaltando sus beneficios sustanciales y su habilidad para adaptarse a las cambiantes demandas de los espacios industriales. Cada paso de este proceso desempeña un papel crucial en la capacidad para manipular y gestionar cargas pesadas en el ámbito industrial. Estos dispositivos no solo mejoran la seguridad laboral al reducir la exposición a riesgos asociados con la manipulación de las cargas, también destacan por su versatilidad y capacidad de adaptación, convirtiéndolos en activos sumamente valiosos para una gestión eficiente del espacio en plantas industriales.

1.1. ANTECEDENTES

El uso de puentes grúa en la industria se originó en la necesidad de optimizar el manejo de cargas pesadas durante la Revolución Industrial del siglo XIX. Inicialmente, se empleaban métodos manuales y poleas, pero estos resultaban lentos, ineficientes y peligrosos para los trabajadores. La búsqueda de mayor eficiencia llevó al desarrollo de soluciones avanzadas. El concepto moderno de puente grúa surgió en el siglo XX con la tecnología de acero e ingeniería industrial. Su uso se popularizó en fábricas y almacenes para agilizar la manipulación de materiales pesados y mejorar la seguridad laboral. Con el tiempo, avances en diseño, materiales y tecnología de control han mejorado la eficiencia y seguridad de los puentes grúa, convirtiéndolos en parte integral de operaciones industriales globales. La evolución continua de estos equipos refleja la constante búsqueda de mejoras en la productividad y seguridad industrial.

1.2. JUSTIFICACIÓN

Pulpa Moldeada S.A., una empresa especializada en la producción masiva de pulpa de cartón con sede en Latacunga, Cotopaxi-Ecuador, está enfocada en mejorar su servicio de mantenimiento y bodega. Para lograrlo, está considerando la instalación de un puente grúa sobre una infraestructura metálica resistente. Esta elección ofrece ventajas clave, como resistencia, durabilidad y la capacidad de soportar cargas pesadas, lo que resultaría en una mejora significativa de la eficiencia y productividad de la empresa, proporcionando un amplio

almacenamiento y capacidad de carga, facilitando la movilidad de equipos pesados, y posibilitando un almacenamiento eficiente de materiales esenciales para la producción de pulpa moldeada. Además, permite la conservación de equipos de mantenimiento, optimizando la realización de reparaciones y montajes de forma eficaz y segura.

1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La empresa está enfrentando dificultades económicas significativas y riesgos de seguridad de los trabajadores debido a las complicaciones en el izaje y desplazamiento de motores y reductores en el área de mantenimiento. El peso considerable de estos equipos dificulta su manipulación segura sin ayuda externa, lo que ha resultado en accidentes laborales. Además, existe una falta de espacio de almacenamiento para el stock de mantenimiento, y la ausencia de lugares adecuados para el albergue de las herramientas de trabajo está contribuyendo a un deterioro anticipado de las mismas.

1.3.1. Formulación del problema

Complicación en el proceso de izaje y movilidad de los motores de 850 kg máx. y reductores de 350 kg dentro del área de mantenimiento, está generando pérdidas a la empresa debido al tiempo de respuesta para mantener la línea de producción activa.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo general

Diseñar un sistema electromecánico de izaje y movilidad mediante el uso de un software de modelado, focalizado en una estructura metálica para el área de mantenimiento, almacenamiento, bodega e inventario en la empresa Pulpa Moldeada S.A.

1.4.2. Objetivos específicos

- Investigar las bases teóricas necesarias para adquirir conocimientos básicos, en base a las normativas vigentes para el desarrollo de estructuras metálicas.
- Realizar el análisis numérico y modelado del puente grúa mediante el uso de Software CAD-CAE.
- Analizar los resultados obtenidos que permitan garantizar una estructura con rangos aceptables por las normativas aplicadas.

1.4.3. Tareas por objetivo

Objetivos específicos	Actividades (tareas)	Resultados esperados	Técnicas, Medios e Instrumentos
Investigar las bases teóricas necesarias para adquirir conocimientos básicos, en base a las normativas vigentes para el desarrollo de estructuras metálicas.	<ul style="list-style-type: none"> - Revisión de artículos científicos, otorgadas por diferentes entidades, editoriales y fuentes confiables. - Recopilación de información de acuerdo a las normativas en uso. <ul style="list-style-type: none"> - Visitas de campo para levantamiento de información. 	<ul style="list-style-type: none"> - Nuevos conocimientos adquiridos. - Experiencia en el área de trabajo. - Obtención de las medidas de campo. 	<ul style="list-style-type: none"> - Uso de normas nacionales e internacionales.
Realizar el análisis numérico y modelado del puente grúa mediante el uso de Software CAD-CAE.	<ul style="list-style-type: none"> - Revisión de normativas de aplicación para estructuras metálicas. - Diseño y simulación del comportamiento de la estructura metálica. - Realizar el espectro de diseño de peligro sísmico usando la norma NEC-SE-DS. 	<ul style="list-style-type: none"> - Agilidad con el Software. - Adecuada distribución de las cargas. - Estructura sismorresistente. 	<ul style="list-style-type: none"> - Software SAP2000. - Software ANSYS. - Software Autodesk Fusion 360.
Analizar los resultados obtenidos que permitan garantizar una estructura con rangos aceptables por las normativas aplicadas.	<ul style="list-style-type: none"> - Realizar un análisis entre los resultados obtenidos y los valores recomendados por la normativa NEC-SE-DS. - Analizar las deformaciones máximas permitidas para puentes grúa. 	<ul style="list-style-type: none"> - Valores adecuados que no excedan los recomendados por la normativa. - El diseño cumpla con la demanda capacidad en las secciones utilizadas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Método de diseño LRFD para estructuras Metálicas. - Software Excel.

1.5. BENEFICIARIOS

1.5.1. Beneficiarios directos

Los empleados del área de mantenimiento de la empresa Pulpa Moldeada S.A y los Tesistas.

1.5.2. Beneficiarios indirectos

Los clientes se beneficiarían de una mejora en la calidad y la disponibilidad de los productos de la empresa, la comunidad se beneficiaría de la creación de nuevos puestos de trabajo y los proveedores podrían proveer más productos debido a una mayor área de bodega para almacenar el stock.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. NORMATIVAS INTERNACIONALES

2.1.1. Normas para diseños de estructuras

Las normativas han sido creadas, probadas y certificadas para garantizar diferentes procesos. En el área de la construcción existen varias formas y maneras de seguir e interpretar las normas generales, existen una serie de organizaciones que dictan especificaciones especializadas para cada una de las actividades a realizarse, para el caso de infraestructuras podemos mencionar:

- Las normas de calidad Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC) [1].
- La Norma American Institute of Steel Construction (AISC) [2].
- La Norma International Building Code (IBC) [3].
- La American Society for Testing and Materials (ASTM).
- La Norma American Welding Society (AWS) [4].

2.1.2. Normativas para el diseño de puentes grúa

Para el diseño de un puente grúa existen varias normativas con criterios de diseño distintas y una serie de recomendación y parámetros que se debe cumplir según y las más destacadas son:

- ANSI B30.2: Este estándar de Estados Unidos establece los requisitos mínimos que deben cumplir los puentes grúa en cuanto a su diseño, construcción, ensamblaje, pruebas, inspección, operación, mantenimiento y desmontaje. Es ampliamente reconocido y utilizado a nivel global.
- DIN 15018: La norma alemana DIN 15018 especifica los criterios necesarios para el diseño y la construcción de puentes grúa y pórticos destinados a la industria. Es una normativa altamente detallada y técnica, ampliamente adoptada en varios países europeos.
- CMAA 70: Esta normativa de la Asociación de Fabricantes de Grúas de América (CMAA) establece los estándares para el diseño, construcción, pruebas y operación de puentes grúa y pórticos utilizados en la industria pesada.

Otras normas relevantes:

- FEM 1001: Norma europea para el diseño de grúas de taller.

- ISO 4301: Norma internacional para el diseño de grúas móviles.
- AS/NZS 1418: Norma australiana/neozelandesa para el diseño de grúas.
- GB 3811: Norma china para el diseño de grúas.

2.1.3. Seguridad industrial

La seguridad industrial comprende normas y medidas aplicadas en empresas para prevenir accidentes y proteger la salud de los trabajadores, buscando un entorno laboral seguro y saludable. Se fundamenta en la identificación y evaluación de riesgos, implementando medidas como instalaciones seguras, equipos en buen estado, procesos de trabajo seguros y capacitación de los trabajadores. Es una responsabilidad compartida entre la empresa y los empleados, donde la empresa debe proporcionar un entorno seguro, y los trabajadores deben seguir las normas establecidas [5]:

- Para proteger la salud y la seguridad de los trabajadores.
- Para mejorar la productividad.
- Para reducir los costes.

2.1.4. Estructuras metálicas

Las estructuras metálicas son aquellas que están hechas de acero, aluminio u otros metales. Son utilizadas en una amplia gama de aplicaciones, incluyendo la construcción, la industria, el transporte y la energía. Según McCormac, las estructuras metálicas son aquellas que están hechas de materiales metálicos y que están destinadas a soportar cargas y esfuerzos. Se aplica a todas las estructuras metálicas, independientemente de su tamaño o complejidad [6].

2.1.5. Funcionalidad

La funcionalidad de una estructura metálica según la norma ecuatoriana de la construcción (NEC) es la de soportar cargas y esfuerzos de forma segura y eficiente, deben ser diseñadas, fabricadas e instaladas de acuerdo con los requisitos de la NEC para garantizar su seguridad y funcionalidad. La NEC establece los siguientes requisitos para la funcionalidad de las estructuras metálicas [1]:

- Deformaciones- Limitación de daños.
- Ductilidad.

- Condición de resistencia -Seguridad de vida.
- La NEC también establece requisitos específicos para el diseño, la fabricación e instalación de estructuras metálicas. Estos requisitos incluyen:
 - Diseño: El diseño de las estructuras metálicas debe realizarse por un profesional cualificado. El diseño debe tener en cuenta los requisitos de la NEC, así como las condiciones específicas del proyecto.
 - Fabricación: La fabricación de las estructuras metálicas debe realizarse por un fabricante cualificado. La fabricación debe cumplir con los requisitos de la NEC y con las especificaciones del proyecto.
 - Instalación: La instalación de las estructuras metálicas debe realizarse por un instalador cualificado. La instalación debe cumplir con los requisitos de la NEC y con las especificaciones del proyecto [1].

2.2. ACERO COMO MATERIAL ESTRUCTURAL

El acero industrial, una aleación de carbono-hierro con hasta un 2,11% de carbono, se fortalece con elementos como cromo, tungsteno, manganeso, níquel, vanadio, cobalto, molibdeno, cobre, azufre y fósforo. Su uso se popularizó gracias al crecimiento de la industria siderúrgica, destacando por su alta resistencia en construcciones. Ecuador adoptó las estructuras de acero en 1982, prefiriéndolas por su rapidez, eficiencia y menor costo en comparación con edificaciones convencionales por las características principales que presentan los aceros como son [1]:

- Esfuerzo de fluencia
- Esfuerzo a la tensión
- Elongación mínima
- Módulo de elasticidad

2.2.1. Requisitos de materiales conforme a la NEC-15.

Los aceros estructurales seleccionados para su uso en aplicaciones sísmicas se eligen teniendo en cuenta tanto sus propiedades inelásticas como su capacidad de soldabilidad. En líneas generales, estos tipos de aceros exhiben las siguientes características:

- Una meseta de fluencia claramente definida en el diagrama esfuerzo-deformación unitaria.
- Una notable capacidad de deformación inelástica, como una elongación del 20% o más en una longitud de 50mm.
- Excelente soldabilidad.

Dado al notable avance en la producción, las instalaciones industriales necesitaban estructuras más extensas, con luces cada vez mayores, hasta llegar al punto en que las características del hierro resultaban insuficientes. Los avances en la siderurgia facilitaron la disponibilidad de aceros estructurales que satisfacían de manera óptima las crecientes demandas. Las plantas siderúrgicas crearon calidades con propiedades mecánicas claramente definidas, lo que permitía alcanzar índices de trabajo más elevados [7].

2.3. ACERO ASTM A36

2.3.1. Características mecánicas y físicas

El acero ASTM A36, uno de los tipos más usuales de aceros al carbono en la construcción, ofrece una serie de características mecánicas típicas, detalladas en el Anexo L referente a las propiedades mecánicas y físicas de este material. Estas propiedades hacen que el acero ASTM A36 sea apropiado para diversos usos estructurales, tales como la edificación de puentes, construcción de edificios, montaje de plataformas marinas y fabricación de equipos de transporte, entre otros. Su coeficiente de expansión térmica compatible con aplicaciones estructurales minimiza problemas de cambios dimensionales bajo variaciones de temperatura. La destacada soldabilidad facilita la eficiente unión de componentes en diversas configuraciones. Estas cualidades hacen del Acero ASTM A36 una elección versátil y confiable para construir infraestructuras diversas, desde edificaciones hasta puentes, destacando su equilibrio entre resistencia, tenacidad y facilidad de manipulación, con posibles variaciones según las condiciones de fabricación y requisitos específicos del proyecto [1].

2.3.2. Requerimientos del acero para aplicaciones sísmicas

La Norma Ecuatoriana de Construcción (NEC) establece requisitos para estructuras en Ecuador, especialmente en acero para aplicaciones sísmicas. Exige resistencia para soportar fuerzas sísmicas sin daños, requiriendo acero lo suficientemente fuerte y dúctil para cargas estáticas y dinámicas durante un terremoto. Un diseño sismorresistente implica la disipación de energía

sísmica, exigiendo flexibilidad al acero. La NEC establece la calidad del acero, siguiendo la Norma Ecuatoriana de Materiales (NEM), que requiere acero de grado A36 o superior. Los aceros aprobados sísmicamente se eligen por propiedades inelásticas y soldabilidad, cumpliendo características específicas [7].

2.4. DISEÑO SÍSMICO NEC-SE-DS

La NEC-SE-DS establece requisitos mínimos para estructuras sismorresistentes en Ecuador, enfocándose en estructuras de acero. La norma busca que estas estructuras disipen la energía sísmica mediante deformaciones inelásticas, aprovechando la alta resistencia y ductilidad del acero. Se exigen perfiles laminados o ensamblados, diseñados para resistir fuerzas sísmicas y el uso de elementos que absorban energía sin colapsar, cumplir con estos requisitos asegura un comportamiento sísmico adecuado, permitiendo a las estructuras de acero resistir movimientos del terreno sin daños significativos [8].

2.4.1. Comportamiento sísmico de las estructuras de acero

La Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-SE-DS, establece una clasificación de los daños estructurales frente a un sismo, basada en el grado de afectación de la estructura. Esta clasificación es la siguiente [9]:

- Daño leve
- Daño moderado
- Daño severo
- Daño colapso

2.4.2. Deriva de la losa

La deriva de la losa se define como el desplazamiento horizontal de la losa bajo la acción de las fuerzas sísmicas. La Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-SE-DS establece los siguientes requisitos para el control de la deriva de la losa:

- La deriva de la losa no debe exceder el 2 % de la luz libre de la losa.
- La deriva de la losa debe ser uniforme a lo largo de la losa.

El espesor de la losa también es un factor importante a considerar en el control de la deriva. En general, un espesor de losa mayor proporcionará mayor rigidez y, por lo tanto, ayudará a controlar la deriva, distribuyendo uniformemente las cargas sísmicas sobre la losa [8].

2.4.3. Espectros elásticos de diseño

El espectro de respuesta elástica de aceleraciones S_a se muestra como una relación con la aceleración gravitatoria correspondiente al nivel de sismo designado, teniendo en cuenta diversos factores, que incluyen:

- La influencia del factor de la zona sísmica Z .
- El tipo de suelo en la ubicación de la estructura.
- La consideración de los coeficientes de amplificación del suelo F_d , F_s , F_a [8].

2.4.4. Factor de zona Z

El factor Z en la NEC-SE-DS se utiliza para calcular la aceleración del suelo en Ecuador según la zona sísmica. Ecuador está dividido en seis zonas sísmicas, siendo las zonas 4 y 5 las más críticas, con valores de Z más altos. Esto significa que las estructuras en estas zonas deben ser diseñadas para soportar fuerzas sísmicas más intensas. El factor Z se determina como la aceleración máxima anticipada en roca durante un evento sísmico designado, expresada como una proporción de la aceleración debida a la gravedad. La NEC-SE-DS proporciona los valores del factor Z para las seis zonas sísmicas de Ecuador [10].

2.5. PROPIEDADES DE SECCIONES ESTRUCTURALES

2.5.1. Perfiles para viguetas, vigas y columnas.

Los perfiles utilizados en viguetas, vigas y columnas pueden variar según el material de construcción (acero) y las especificaciones del proyecto. A continuación, te proporcionaré ejemplos de perfiles comunes utilizados en estructuras de acero:

Tabla 2.1. Perfiles ASTM normalizados.

Descripción de perfiles normalizados	
Secciones	Descripción
I (IPN, IPE, HEA, HEB)	Perfiles en forma de "I" que son eficientes en la resistencia a flexión y utilizados comúnmente para vigas.
H (HSS)	Vigas de sección hueca cuadrada o rectangular, que proporcionan resistencia a flexión y torsión.

La tabla 2.1 muestra los diferentes perfiles que existen y se debe considerar si estos están disponibles en el mercado verificando el catálogo de los fabricantes [11].

2.5.2. Sección Viga IPE

Una viga IPE representa un elemento estructural fabricado en acero mediante laminación en caliente, caracterizado por su perfil en forma de I en su sección transversal. Su versatilidad las hace idóneas para diversas aplicaciones, tales como construcción de puentes, edificaciones, infraestructuras industriales y maquinaria. Los elementos principales que componen una viga IPE incluyen:

Tabla 2.2. Características mecánicas del perfil IPE [11].

Características mecánicas IPE-A36	
Módulo elástico	$200 \cdot 10^9 Pa$
Densidad de peso	$77,000 N/m^3$
Resistencia a la flexión	$248 \cdot 10^6 Pa$
Resistencia a la cizalladura	$143 \cdot 10^6 Pa$
Resistencia a la fluencia	$248 \cdot 10^6 Pa$

2.5.3. Tubo cuadrado

Los tubos cuadrados son elementos comunes en el diseño de estructuras metálicas, especialmente en aplicaciones donde se requiere resistencia a la compresión y la torsión.

Tabla 2.3 Características mecánicas del tubo cuadrado [12].

Características mecánicas Tubo Cuadrado CFSHS 200X200X5	
Módulo elástico	$200 \cdot 10^9 Pa$
Densidad de peso	$77,000 N/m^3$
Resistencia a la flexión	$248 \cdot 10^6 Pa$
Resistencia a la cizalladura	$143 \cdot 10^6 Pa$
Resistencia a la fluencia	$248 \cdot 10^6 Pa$

2.6. DUCTILIDAD DEL ACERO

2.6.1. La ductilidad MD (Moderada)

Esta característica se somete a evaluación mediante la realización de pruebas de tracción, las cuales determinan el porcentaje de elongación que el material puede experimentar antes de fracturarse. Los materiales con una ductilidad moderada, generalmente exhibiendo un alargamiento entre el 10% y el 20%, son ampliamente empleados en una diversidad de aplicaciones, incluyendo la construcción de estructuras metálicas, la fabricación de componentes mecánicos y la producción de bienes de consumo. Esta cualidad les otorga la capacidad de soportar cargas y vibraciones, desempeñando un papel fundamental en la prevención de roturas en distintos contextos de utilización [6].

2.7. SECCIONES (RELACIÓN ANCHO-ESPESOR)

2.7.1. Diseño de miembros

El diseño de miembros para estructuras metálicas es el proceso de seleccionar y dimensionar los miembros de una estructura de acero para que puedan soportar las cargas que se les aplicarán. El diseño debe garantizar que los miembros sean lo suficientemente fuertes y rígidos para evitar el colapso o la deformación excesiva.

El diseño de miembros para estructuras metálicas se basa en la American Institute of Steel Construction (AISC): Las normas AISC son las más utilizadas en el diseño de estructuras metálicas en los Estados Unidos [13].

Existen 3 tipos de miembros:

- Diseño de miembros a tracción
- Diseño de miembros a compresión
- Diseño de miembros a flexión

2.7.2. Secciones compactas

En el diseño de estructuras metálicas, las secciones compactas son aquellas que cumplen con los requisitos de compactación establecidos por una normativa internacional. Estos requisitos se basan en la teoría de la plasticidad y tienen como objetivo garantizar que la sección resista los esfuerzos de flexión y cortante sin sufrir una fluencia local, además de estas secciones la norma nos menciona que existen otros tipos de secciones las cuales deben ser consideradas en el diseño de estructuras metálicas [2].

2.8. TIPOS DE PÓRTICOS

2.8.1. Pórticos intermedios IMF

Los pórticos intermedios IMF son estructuras de acero diseñadas para resistir cargas sísmicas mediante el uso de elementos que se deforman plásticamente, aunque en menor medida que los pórticos especiales SMF. Esto permite la absorción de energía sísmica a un costo menor que los pórticos SMF. Se clasifican en dos tipos.

- Pórticos IMF de momento-columna fuerte, viga débil.
- Pórticos IMF de momento-columna débil, viga fuerte [2].

2.9. JUNTAS Y CONEXIONES

2.9.1. Juntas soldadas

La AWS D1.1, de la American Welding Society, establece requisitos para el diseño de juntas soldadas en estructuras de acero. Bajo el título "Structural Welding Code – Steel" y la AISC-360-16 [13]. Ofrece directrices detalladas para la fabricación e inspección de estas uniones. Incluye la preparación de bordes, el tipo de soldadura, métodos de inspección y otros requisitos para garantizar calidad e integridad. Los soldadores deben seguir estas directrices para asegurar la seguridad y rendimiento adecuado en las estructuras soldadas [4].

- Juntas a tope: Las piezas a unir se colocan en contacto entre sí.
- Juntas en ángulo: Las piezas a unir se colocan formando un ángulo entre sí.
- Juntas de filete: Las piezas a unir se colocan formando una esquina.
- Juntas de ranura: Las piezas a unir se colocan formando una ranura en una de las piezas.

2.9.2. Juntas PJP.

Los requisitos para soldaduras en ranura tubulares con PJP, con estado precalificado, establecen que dichas soldaduras, excluyendo conexiones en T, Y y K, pueden utilizarse sin ensayos de calificación de WPS, siempre que cumplan con las dimensiones de junta indicadas. Lo mismo aplica para conexiones en T-, Y- y K- con PJP, soldadas por SMAW, GMAW o FCAW, que pueden emplearse sin ensayos de calificación, cumpliendo las limitaciones de dimensiones. Estos detalles son aplicables también a soldaduras calificadas según GMAW-S 10.14.4.3.10.9.1.1 para conexiones de sección rectangular con igual resistencia. Las dimensiones de esquina y radios del tubo principal que se presentan permiten el uso de soldaduras en filete en zonas de pie y talón. Si las dimensiones de esquina o radio del tubo principal son menores a los valores, se requiere una junta de muestra lateral para verificar el tamaño de la soldadura, realizada en posición horizontal. Este requisito puede omitirse si la tubería ramal está biselada, para soldaduras en ranura con CJP [4].

2.9.3. Juntas CJP.

Los requisitos para las soldaduras en ranura con penetración de junta completa (CJP) se dividen en dos categorías principales. Para juntas a tope, se permite el uso de WPS precalificadas siempre que la soldadura se realice en ambos lados o en un solo lado con respaldo, excluyendo

la SAW para diámetros menores a 24 pulgadas. No hay detalles precalificados para juntas a tope realizadas desde un solo lado sin respaldo. En el caso de conexiones tubulares T, Y y K, se describen detalles específicos de las soldaduras en ranura con CJP realizadas desde un solo lado sin respaldo en tubos circulares. Las dimensiones de junta y ángulos de ranura con perfiles alternativos y mejorados para diferentes espesores. Estos detalles están precalificados para los procesos SMAW, FCAW y pueden aplicarse a GMAW-S según 10.14.4.3. Todos los detalles están sujetos a las limitaciones establecidas en los requisitos generales [4].

2.9.4. Placa base

El dimensionamiento de la placa base según la AISC implica seguir pautas específicas para el diseño de estructuras de acero. Factores clave incluyen evaluar cargas aplicadas, considerar propiedades del acero, definir dimensiones y espesor de la placa base, evaluar condiciones del suelo, cumplir con requisitos de seguridad y tener en cuenta consideraciones de diseño [13].

2.9.5. Conexiones precalificadas (método SMAW)

La norma AWS D1.1/D1.1M:2020, "Structural Welding Code—Steel", proporciona requisitos para el diseño, fabricación y ensayo de conexiones soldadas estructurales de acero. En el caso de las conexiones precalificadas (método SMAW). La norma AWS D1.1/D1.1M:2020 también proporciona requisitos para la inspección y prueba de las conexiones precalificadas. Estos requisitos incluyen la inspección visual, la prueba de ultrasonidos y la prueba de partículas magnéticas [4].

2.10. BASES DE DISEÑO

2.10.1. Diseño en base a factores de carga y resistencia (LRFD) o (DFCR)

El diseño en base a factores de carga y resistencia (LRFD), también conocido como diseño por capacidad, es un método de diseño estructural que se basa en el concepto de que la resistencia de una estructura debe ser mayor que las cargas que actúan sobre la misma [14]. La Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-SE-AC establece el método DFCR como el método de diseño sísmico obligatorio para las estructuras en Ecuador [1].

El diseño LRFD se basa en los siguientes principios:

- Resistencia
- Cargas

- Factores de carga
- Factores de resistencia

2.11. CARGAS GRAVITACIONALES

2.11.1. Carga viva

La carga viva, también llamada sobrecarga de uso, es la carga debida al peso de las personas, muebles, equipos y otros objetos que se encuentran en una estructura. La carga viva es una carga variable que puede variar con el tiempo. La Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-SE-CG establece los siguientes tipos de carga viva [15]:

- Carga viva uniformemente distribuida (q): es la carga viva que se distribuye uniformemente sobre una superficie.
- Carga viva concentrada (P): es la carga viva que se aplica en un punto.
- Carga viva variable (q_{var}): es la carga viva que varía con el tiempo.

2.11.2. Carga muerta

La carga muerta, también llamada peso propio, es la carga debida al peso de los materiales y componentes estructurales de una estructura. La carga muerta es una carga permanente que actúa sobre la estructura durante toda su vida útil. La Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-SE-CG establece los siguientes tipos de carga muerta [15]:

- Peso propio de los elementos estructurales: es el peso de los elementos estructurales de la estructura, como vigas, columnas, muros, cubiertas, etc.
- Peso propio de los acabados: es el peso de los acabados de la estructura, como pisos, techos, paredes, etc.
- Peso propio de los equipos: es el peso de los equipos instalados en la estructura, como ascensores, montacargas, etc.

2.11.3. Carga puntual

Se refiere a una fuerza concentrada en un punto específico de la estructura, no distribuida uniformemente. En el diseño estructural, estas cargas pueden ser fuerzas o momentos, aplicados en ubicaciones específicas. Estas cargas se consideran en el análisis estructural para evaluar la capacidad de la estructura para resistir fuerzas concentradas. Consultar la normativa AISC,

como AISC 360, proporciona detalles sobre el manejo y cálculo de cargas puntuales en el diseño de estructuras de acero en conformidad con los estándares de la AISC [2].

2.12. EQUIPOS DE ELEVACIÓN Y TRANSPORTE

2.12.1. Grúa pórtico con tecle

La grúa pórtico con tecle consta de dos vigas principales llamadas pórticos, apoyadas sobre bases. El tecle, parte móvil de la grúa, se desplaza a lo largo de los pórticos y se emplea para levantar y transportar cargas. Utilizada en diversos entornos como almacenes y fábricas, los componentes clave incluyen los pórticos, el tecle, una cabina del operador en la parte superior del tecle, y un gancho para el levantamiento de cargas. Se clasifican en grúas pórtico de una viga, para cargas más ligeras y espacios reducidos, y grúas pórtico de dos vigas, para cargas más pesadas y aplicaciones con espacio disponible [16].

2.12.2. Puente grúa

Un puente grúa es un tipo de grúa que consta de una viga principal, llamada puente, que se apoya sobre columnas. El carro, que es la parte móvil de la grúa, se mueve a lo largo del puente, los puentes grúa se pueden clasificar en dos tipos principales:

- Puentes grúa de una viga: Los puentes grúa de una viga tienen un solo puente. Se utilizan para cargas más ligeras y para aplicaciones donde el espacio es limitado.
- Puentes grúa de dos vigas: Los puentes grúa de dos vigas tienen dos puentes. Se utilizan para cargas más pesadas y para aplicaciones donde el espacio no es un problema.

La NEC establece los requisitos para el diseño y de puentes grúa en Ecuador [1].

2.12.3. Viga IPE como puente grúa

Las vigas IPE son perfiles de acero en forma de "I" comúnmente usados en la construcción de puentes grúa debido a su eficiencia estructural y capacidad de carga. Estas vigas son seleccionadas considerando factores como longitud, capacidad de carga, conexiones y condiciones de servicio. Su elección se basa en la resistencia y capacidad para manejar cargas pesadas. El diseño debe cumplir con normativas de seguridad y construcción [11].

2.13. HERRAMIENTAS INFORMÁTICAS

2.13.1. Software CAD

El término "Software CAD" se traduce como Diseño Asistido por Computadora y abarca programas informáticos que posibilitan la creación, edición y modificación de diseños en 2D y 3D. Estos programas son ampliamente utilizados por profesionales como ingenieros, arquitectos, diseñadores industriales, delineadores y artistas para diversas aplicaciones creativas y técnicas. Las funciones clave del software CAD incluyen herramientas de dibujo para crear elementos geométricos, modelado 2D y 3D para desarrollar representaciones bidimensionales y tridimensionales, así como la capacidad de edición y modificación de diseños. Además, permiten realizar simulaciones y análisis para evaluar el comportamiento y rendimiento de los diseños, así como generar documentación técnica, como planos y modelos 3D. Ejemplos destacados de software CAD incluyen AutoCAD, reconocido como uno de los programas más populares, SolidWorks, utilizado ampliamente para diseño 3D de productos, y Fusion 360, un programa CAD 3D basado en la nube que ofrece una amplia gama de funcionalidades. En resumen, el software CAD emerge como una herramienta poderosa que ayuda a los profesionales a crear diseños más precisos, eficientes y visualmente atractivos [17].

2.13.2. Software CAE

El CAE, o Ingeniería Asistida por Computadora en inglés (Computer-Aided Engineering), se refiere a programas informáticos que simulan, analizan y optimizan productos y sistemas antes de su construcción. Estas herramientas realizan simulaciones para reproducir comportamientos, análisis para detectar problemas y optimización para mejorar el rendimiento, seguridad y eficiencia de productos y sistemas. Tipos de software CAE incluyen Análisis de Elementos Finitos (FEA), Mecánica de Fluidos Computacional (CFD), Análisis Térmico, Análisis de Vibraciones y Optimización de Diseño. Entre las ventajas se destacan la reducción de costos al evitar prototipos físicos costosos, mejora del diseño, aumento de la eficiencia y mejora de la seguridad. Ejemplos notables de software CAE son ANSYS y SAP2000 [17].

3. MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS

3.1. GUÍA DE DISEÑO LRFD.

Este enfoque tiene como objetivo garantizar la seguridad y confiabilidad de las estructuras al considerar tanto las cargas como las resistencias de los materiales de manera probabilística, la metodología recomendada es la que se refleja en los siguientes apartados de acuerdo a las recomendaciones de la Norma Ecuatoriana de la construcción (NEC-15) [1].

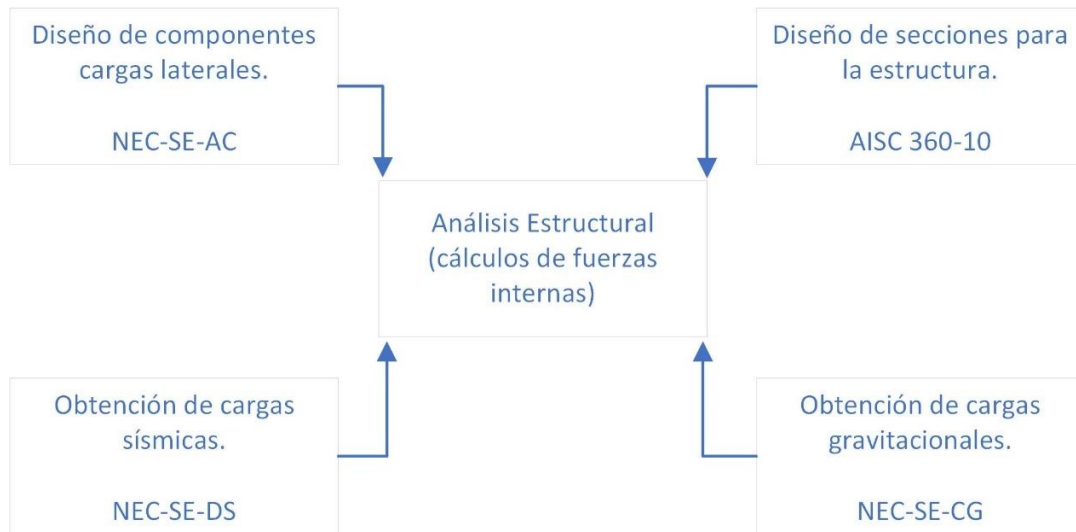


Figura 3.1. Recomendaciones de Diseño.

3.1.1. Determinar las cargas aplicadas.

Es esencial identificar y analizar todas las cargas que afectarán la estructura, dividiéndolas en cargas muertas (peso permanente) y cargas vivas (variables como personas y mobiliario). Este análisis garantiza la estabilidad y resistencia requeridas en diversas situaciones y usos [14].

3.1.2. Establecer las combinaciones de Cargas.

Desarrollar diferentes combinaciones de cargas de acuerdo con los criterios establecidos por los códigos de diseño locales. Estas combinaciones representan escenarios de carga extremos y deben ser analizadas para determinar los efectos más desfavorables [1].

3.1.3. Realizar el análisis estructural.

Utilizar métodos de análisis estructural para determinar las fuerzas internas y los momentos en la estructura bajo las combinaciones de cargas establecidas [7].

3.1.4. Verificar la resistencia.

Comparar las fuerzas y momentos obtenidos del análisis con las resistencias de los elementos estructurales. Asegurarse de que la resistencia nominal sea mayor o igual a las cargas aplicadas, considerando los factores de resistencia [2].

3.1.5. Comprobar desplazamientos y deformaciones.

Evaluar los desplazamientos y deformaciones de la estructura para garantizar que cumpla con los requisitos de servicio y no presente un comportamiento inaceptable [7].

3.1.6. Documentar el diseño.

Preparar documentación detallada que incluya los cálculos de resistencia, los resultados del análisis y cualquier otra información relevante para respaldar el diseño de la estructura [18].

3.2. CRITERIOS DE SELECCIÓN DE LOS COMPONENTES DEL PUENTE GRÚA

3.2.1. Capacidad de carga:

La determinación de la carga máxima que la grúa deberá levantar y mover, esto es esencial para seleccionar una grúa con la capacidad adecuada para la aplicación específica. La empresa Pulpa Moldeada S.A. cuenta con varios equipos electromecánicos que requieren de un mantenimiento correctivo, entre los más relevantes están reductores y los motores eléctricos siendo estos los equipos más pesados con los que cuenta la industria, contando con el reductor más grande con un peso máximo de 350 kg y el motor de mayor envergadura y potencia cuenta con un peso de 850 kg.

Una vez identificadas las cargas que requieren del sistema electromecánico de izaje y movilidad para su mantenimiento se ha dimensionado un puente grúa con la capacidad de elevar una tonelada de peso muerto (1000kg), esto dado la carga máxima que será aplicada que está en función del equipo más pesado, siendo este el motor eléctrico de 850kg.

3.2.2. Longitud de la viga del carril:

Evaluar la longitud de la viga del carril del puente grúa, ya que esto afectará el alcance de la grúa. La viga debe ser lo suficientemente larga para cubrir toda el área de trabajo teniendo esta una luz de 4.7m siendo esta la dimensión máxima del área asignada dentro de la empresa para el taller mecánico donde se ubicará el puente grúa.

3.2.3. Altura de elevación:

Calcular la altura máxima a la que la grúa deberá elevar la carga. Esto es crucial para garantizar que la grúa tenga la altura de gancho adecuada y que no haya obstrucciones en el recorrido vertical de 2.4 metros de longitud que tiene de altura de la planta baja de la edificación del puente grúa.

3.2.4. Frecuencia de uso:

Determinar la frecuencia con la que se utilizará la grúa. Para operaciones intensivas, se puede requerir una grúa con mayor durabilidad y componentes resistentes, la empresa Pulp Moldeada S.A. ha sido muy exacta en este apartado y solicitó una grúa destinada a un bajo uso la cual tendrá una frecuencia de uso de 1 o 2 veces máximo a los dos meses, dado que es el tiempo en el cual se realizan los procesos de reparación de los equipos según el cronograma de actividades de mantenimiento de la empresa.

3.3. CRITERIOS PARA LA VALORACIÓN ECONÓMICA

3.3.1. Optimización de costos

La valoración económica permite analizar diferentes opciones y materiales para la estructura metálica, ayudando a seleccionar la opción más eficiente y económica. Esto contribuye a optimizar los costos totales de la construcción.

3.3.2. Planificación financiera

Calcular el valor económico implica llevar a cabo una planificación financiera exhaustiva con el fin de prevenir sorpresas presupuestarias durante la ejecución del proyecto. Este enfoque contribuye significativamente a asegurar la sostenibilidad financiera del proyecto desde sus fases iniciales.

3.3.3. Comparación de alternativas

Al evaluar diferentes enfoques y diseños, se pueden comparar las alternativas en términos de costos y beneficios. Esto proporciona una base sólida para la toma de decisiones, permitiendo seleccionar la solución más rentable y adecuada para las necesidades del proyecto.

3.3.4. Evitar costos ocultos

La valoración económica identifica posibles costos ocultos asociados con la construcción de una estructura metálica. Esto incluye considerar aspectos como la preparación del sitio, cimentación, transporte, instalación y posibles ajustes en el diseño.

3.4. DISEÑO DE ESTRUCTURA DE ACERO

El diseño empieza desde los requerimientos de uso, empezamos desde la selección del tipo de estructura que se encuentra en el grupo de edificación esto en base a las recomendaciones de las normas NEC-SE-AC, NEC-SE-CG, NEC-SE-DS y otras normas internacionales y

especificaciones técnicas, teniendo en cuenta la aplicación a la cual va estar sometida la estructura [19].

3.4.1. Antecedentes del proyecto

La empresa Pulpa Moldeada S.A. se encuentra ubicada en la ciudad de Latacunga, provincia de Cotopaxi, Ecuador. La dirección exacta es la siguiente:

- Dirección: Km 1 Cajón Veracruz - Principal s/n y Secundaria Vía Portoviejo - Santa Ana Lasso, 050112, Latitud -0.760745 Longitud -78.633344.

La empresa se encuentra en una zona industrial de la ciudad, cerca de la carretera Panamericana. El acceso a la empresa es fácil y seguro. La empresa Pulpa Moldeada S.A. es una empresa líder en la producción de productos de pulpa moldeada en Ecuador. La empresa ofrece una amplia gama de productos, incluyendo bandejas, cajas, empaques, y otros productos. La empresa cuenta con una moderna planta de producción y un equipo de profesionales experimentados.

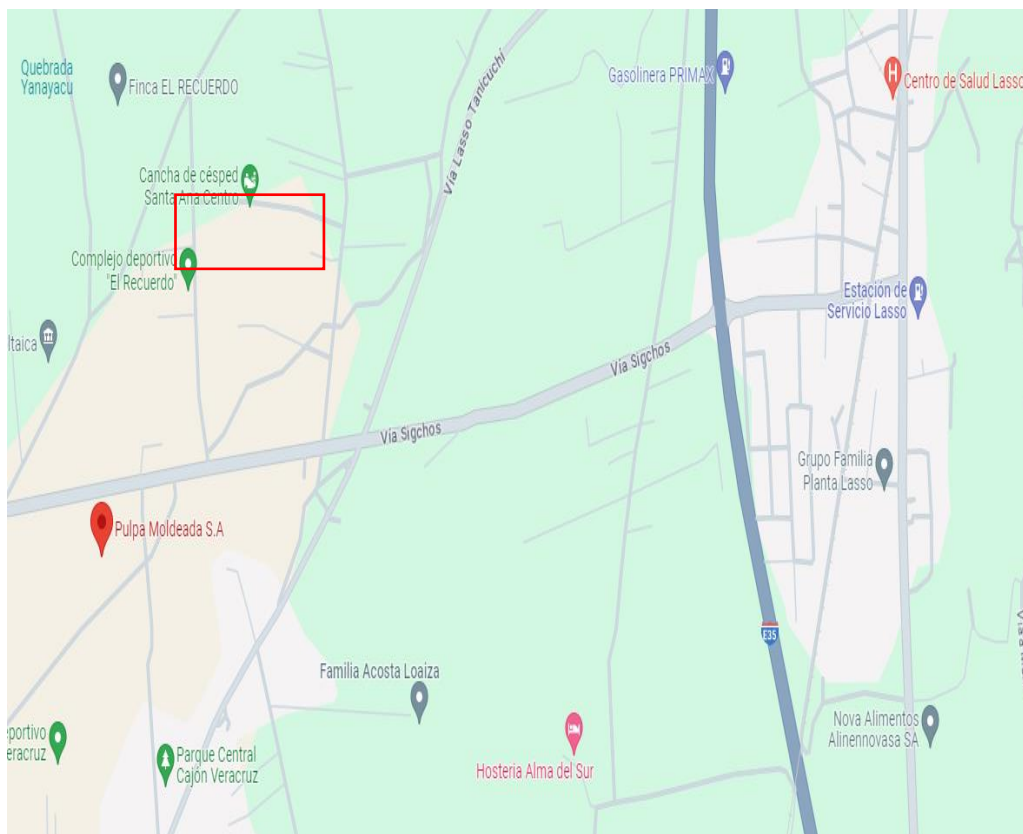


Figura 3.2. Ubicación Google Maps de la empresa Pulpa Moldeada S.A.

La estructura metálica que va a ser destinada a soportar el sistema electromecánico de izaje y movilidad para el área de mantenimiento y bodega de la empresa Pulpa Moldeada S.A. requiere los siguientes parámetros para su diseño, los mismo que fueron solicitados por parte del Gerente

y Dueño de la empresa. Los datos arquitectónicos fueron proporcionados por el gerente y propietario de la empresa Pulpa Moldeada S.A.

Tabla 3.4. Requerimientos de uso.

Requerimientos de la Empresa Pulpa Moldeada S.A.	
Planta baja sin columnas en el centro	(5.2 x 6) m
En el primer piso área de bodega	(5.2 x 6) m
Luz de pórtico principal	5,2m
Espacio entre pórticos laterales	3 m
Altura de columnas	3 m
Tipo de suelo	D
Material	ASTM A36
Espesor de Losa	0,10m
Nota 1: La losa debe soportar 10 Toneladas (10000 kg) de carga viva en el piso 1 destinado al área de bodega, adicional debe soportar 1 Tonelada (1000kg) en la parte central de la planta baja.	
Nota 2: Por la disponibilidad económica y el presupuesto que la empresa, tienen destinado para la construcción de la estructura únicamente un tecele fijo en el área central para el izaje de los motores y generadores.	

Estos datos arquitectónicos (Requerimientos de planta) fueron entregados en presencia del tutor el Ing. Luis Miguel Navarrete López. Mg por parte del gerente y propietario de la empresa Pulpa Moldeada S.A, a los tesisistas a manera de boceto con el fin de que estos parámetros se materialicen en el desarrollo del diseño de la estructura con los datos de la tabla 3.5.

3.4.2. Requerimientos de construcción

Los requisitos para la construcción abarcan aspectos fundamentales como la mano de obra, los materiales y la tecnología aplicada en el proceso. Asimismo, en el catálogo se evalúa la disponibilidad de stock ofrecida por los proveedores, lo cual incide directamente en los materiales disponibles para llevar a cabo el proyecto. A fin de determinar con precisión los recursos con los que contamos, se recomienda consultar el Anexo 2 que incluye información detallada de los catálogos de proveedores como NOVACERO, DIPAC, IMPORTACEROS y KUBIEC [20].

3.5. PROCESO DEL DISEÑO

3.5.1. Espectro de diseño sismorresistente

El cálculo del espectro de diseño sismorresistente es esencial en la planificación de estructuras destinadas a resistir los impactos sísmicos. Este espectro representa la máxima respuesta anticipada de una estructura ante un movimiento sísmico específico, teniendo en cuenta su

frecuencia de vibración. Su determinación se basa en la información sísmica de la ubicación de la estructura, considerando factores como la magnitud del sismo, la distancia al epicentro, la profundidad del foco y las propiedades del suelo. La representación del espectro de diseño puede adoptar la forma de una tabla, que presenta valores correspondientes a diferentes frecuencias de vibración, o un gráfico, que ilustra la relación entre la respuesta de la estructura y la frecuencia de vibración [1].

Para realizar la tabla del espectro de diseño sismorresistente lo primero que necesitamos es obtener el valor del Factor de Importancia (I), el cual se puede obtener de la tabla 6 sección 4.1 de la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-SE-DS [8], el coeficiente de importancia es de 1.0 ya que es el valor correspondiente a la categoría de otras estructuras y se puede evidenciar en la tabla 3.5.

Tabla 3.5. Factor de importancia I.

Denominación	Clasificación	Coefficiente I
Otras estructuras	Todas las estructuras de edificación y otras que no clasifican dentro de las categorías anteriores	1,0

Luego es necesario colocar el Factor de Reducción de Respuesta (R), el factor R depende del tipo de estructura a diseñarse, para estructuras metálicas de ductilidad moderada se ocupa un valor de R igual a 5. El factor de amplificación espectral (η), depende únicamente de la ubicación geográfica de donde estamos ya que la edificación está diseñada para ser implementada en la Provincia de Cotopaxi, nos acogemos al valor proporcionado por la norma NEC-SE-DS en su sección 3.3.1 [9], para la relación de amplificación espectral en la región sierra:

$$\eta = 2,48 : \textit{Provincias de la Sierra, Esmeraldas y Galápagos.}$$

La norma divide al país en seis zonas sísmicas y nos da el mapa de peligro sísmico, la empresa Pulpa Moldeada S.A. donde se va llevar a cabo la implementación de la estructura, se encuentra dentro de la zona sísmica V cuyos valores se pueden evidenciar en la tabla 3.6 de valores del factor Z en función a la zona sísmica.

Si no es posible localizar o identificar el área específica en el mapa de amenazas sísmicas según la NEC-15, la normativa sugiere utilizar los datos proporcionados en la tabla de poblaciones ecuatorianas. En nuestro caso, se debe consultar la sección 10.2 de la NEC-SE-DS para determinar el valor del factor Z recomendado. Para la Provincia de Cotopaxi, específicamente el Cantón Latacunga, se utilizará un valor de factor Z de 0,40, basado en los valores indicados

en la tabla 3.6. Esto se justifica por el hecho de que Latacunga y sus alrededores se encuentran en una zona sísmica de alto riesgo, como se detalla en dicha tabla.

Tabla 3.6. Valores del factor Z en Latacunga [9].

POBLACIÓN	PARROQUIA	CANTÓN	PROVINCIA	Z
Alaques	Alaques (Alaquez)	Latacunga	Cotopaxi	0,40
Guaitacama	Guaitacama (Guaytacama)	Latacunga	Cotopaxi	0,40
Mariscal Sucre	Poalo	Latacunga	Cotopaxi	0,40
Latacunga	Latacunga	Latacunga	Cotopaxi	0,40
San Juan de Pastocalle	San Juan de Pastocalle	Latacunga	Cotopaxi	0,40
Tanicucha	Tanicuchi	Latacunga	Cotopaxi	0,40
Toacaso	Toacaso	Latacunga	Cotopaxi	0,40
Mulalo	Mulalo	Latacunga	Cotopaxi	0,40
San Agustín de Callo	Mulalo	Latacunga	Cotopaxi	0,40

El tipo de suelo que comúnmente se encuentra en la región sierra y se usó para el diseño y construcción de la nave industrial o galpón de la empresa Pulpa Moldeada S.A. ocuparon un suelo tipo D, con estos antecedentes se opta también por ocupar el mismo tipo de suelo para el estudio de la estructura del puente grúa, una vez identificado el tipo de suelo procedemos a encontrar tres factores, que sería el factor de sitio (F_a), factor de sitio (F_d) y el factor de comportamiento inelástico del suelo (F_s), estos tres factores están directamente relacionados con el tipo de suelo.

Los valores recomendados por la norma NEC-SE-DS en su sección 3.2.2., para un tipo de suelo D los valores recomendados son los que se evidencian en la tabla 3.7 [8].

Tabla 3.7. Tipos de suelo y Factores de sitio F_a , F_d y F_s .

Coefficientes de perfil de suelo	Tipo de perfil del subsuelo	I	II	III	IV	V	IV
F_a	D	1,6	1,4	1,3	1,25	1,2	1,12
F_d	D	1,62	1,45	1,36	1,28	1,19	1,11
F_s	D	1,02	1,06	1,11	1,19	1,28	1,40

Una vez obtenido los valores requeridos para F_a , F_d y F_s calculamos el periodo crítico (TC) mediante la siguiente fórmula:

$$T_c = 0,55 \cdot F_s \cdot \frac{F_d}{F_a} \quad (1)$$

Donde:

F_a Se trata del factor de aumento para el período corto del suelo en la región; (adim.)

F_d Se trata del factor de amplificación de suelo que incrementa los valores del espectro elástico de respuesta de desplazamientos para el diseño en terrenos rocosos; (adim.)

F_s Este factor aborda la amplificación del suelo, teniendo en cuenta que la respuesta de los suelos es no lineal y la reducción del período del sitio que está influenciada por la intensidad, la frecuencia del contenido del movimiento sísmico y sus relativos desplazamientos. (adim.)

T_c Es el periodo crítico de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que simboliza el sismo utilizado para el diseño; (adim.) [8].

Continuando con el proceso se encuentra el Factor en el espectro para diseño elástico (r), donde la norma NEC-SE-DS nos menciona que el espectro de diseño elástico el factor usado dependerá su valor de la ubicación geográfica donde se encuentra el proyecto, este al estar ubicado en la ciudad de Latacunga y cuyo suelo se determinó previamente como tipo (D) el valor de (r) sería igual a 1, esto se puede evidenciar en la recomendación de la norma en su sección 3.3.1 donde nos dice que (r) es igual a 1, para todo los tipos de suelos con excepción del tipo de suelo E el cual su valor es de (r) igual a 1,5 [8].

La normativa establece en su sección 6.3.3 que para calcular el periodo de la aceleración espectral (S_a), se emplea una estimación inicial del periodo estructural, obtenida mediante ciertos métodos. Este valor de periodo (T) facilita el cálculo de las fuerzas sísmicas que deben aplicarse a la estructura y permite dimensionarla de forma apropiada [9].

Tomamos un factor de irregularidad en planta (Φ_p)=1 y un factor de irregularidad en elevación (Φ_e)=0,90 y como tipo de estructura tenemos una de acero sin arriostamientos, la norma nos da un coeficiente de (C_t) igual a 0,072 y un coeficiente para cálculo del periodo (α) de 0,8. El periodo natural de vibración (T_1) sería igual al coeficiente (C_t) por la altura de la estructura de 6,2 m elevado al Coeficiente para cálculo de periodo (α).

$$T_1 = C_t \cdot Hn^\alpha \quad (2)$$

3.5.2. Diseño de secciones

Ecuación del sistema basado en deformaciones

$$\delta = \frac{5}{384} \cdot \frac{q \cdot L^4}{E \cdot I} \quad (3)$$

q = carga

L = carga

δ = deformación

E = Módulo de elasticidad

I = Inercia

$$\delta_{m\acute{a}x} = \frac{L}{360} \quad (4)$$

Ecuación para determinar la altura del perfil

$$h(cm) = 6,5 \cdot L(m) \quad (5)$$

Ecuación para determinar la base del perfil

$$b = \frac{h}{3} \quad (6)$$

3.5.3. Parámetros de compacidad relación ancho - espesor

$$\lambda = 0,30 \cdot \sqrt{\frac{E}{Fy}} \quad (7)$$

E = módulo de elasticidad

λ = compacidad

Fy = esfuerzo de fluencia

3.5.4. Definición de materiales en el software de simulación.

La configuración de los parámetros para nuestro caso se basará en los requerimientos de diseño que fueron proporcionado por la empresa en los cuales destacan una estructura con una luz de 5,2m sin columnas intermedias y que la estructura pueda soportar un peso de 10 toneladas (10000 kg) como carga viva.

Una vez descrito los requerimientos principales pasamos a la configuración de los parámetros del software como será el tipo de acero y el tipo de hormigón que se va trabajar cada uno con sus características técnicas específicas, dentro del software el primer parámetro en configurar sería el acero con el cual se va a trabajar.

En ecuador el acero más común es el acero ASTM-A36. Una vez definido el acero con el cual se va trabajar también definiremos los datos de las propiedades del hormigón 210 kg/cm² [21].

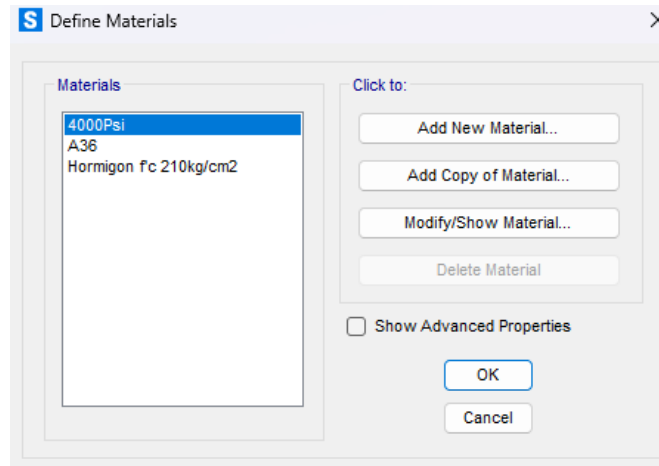


Figura 3.3. Definición de materiales para el modelo, A36 y $f'c$: 210kg/cm²

3.5.5. Análisis de cargas para columnas

Una vez definidos los materiales, se procede al análisis de cargas para las columnas de la estructura, siguiendo un proceso recomendado por la normativa de ingeniería estructural. Las columnas, como elementos verticales, transmiten cargas desde vigas o losas superiores hasta las cimentaciones en la base. El análisis implica calcular y estudiar las fuerzas y momentos para que la columna sea capaz de resistir las cargas sin fallar, existen ciertos aspectos clave del análisis de cargas para columnas que incluyen los mostrados en la tabla 3.8 [15]:

Tabla 3.8. Datos de las cargas.

Área de Losa para C1-C2-C5-C6		
L1:	2,60	m
L2:	1,50	m
Área total:	3,90	m ²
Área de Losa para C3-C4		
L1:	2,60	m
L2:	3,00	m
Área total:	7,80	m ²
CARGA MUERTA		Unidad
C1-C2-C5-C6	1170,00	kg
C3 -C4	2340,00	kg
CARGA VIVA		Unidad
C1-C2-C5-C6	2340	kg
C3-C4	4680	kg

Además de los valores mostrados en la tabla 3.10 existe otro tipo de carga que sería la carga axial o puntual de la estructura la cual se refiere a una carga que actúa a lo largo del eje central de la columna. Es una carga que se aplica directamente sobre la longitud de la columna como se muestra en la tabla 3.9.

Tabla 3.9. Cargas de uso.

CARGAS DE USO	Cargas muertas:	300	kg/m^2
	Cargas Vivas:	600	kg/m^2

Con todos los valores obtenidos tanto en las tablas 3.8 y 3.9 se realiza el cálculo de las fuerzas que actúan en las vigas, tomando en cuenta los valores de luces y cargas que interactúan en la estructura metálica como se puede observar en la Figura 3.4.

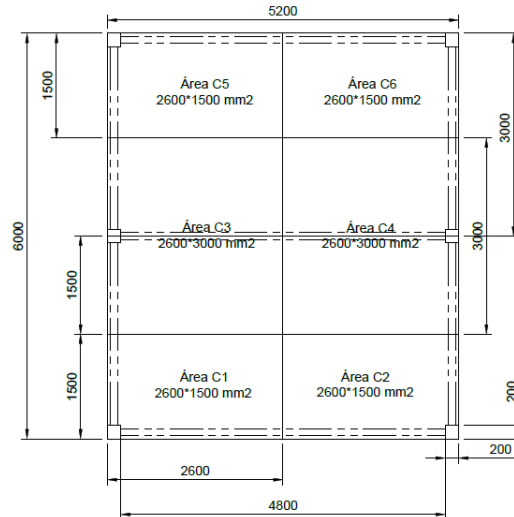


Figura 3.4. Dimensiones de áreas de losa para vigas y columnas.

3.5.6. Análisis de cargas para vigas

La estructura metálica cuenta con cargas de la tabla 3.11 para lo cual la norma NEC-SE-CG nos da ciertos parámetros para el dimensionamiento de estas y en base a estas recomendaciones se obtuvieron los resultados de la tabla 3.10 [15].

Tabla 3.10. Cargas vivas en vigas.

Área de Losa para V1 - V3		
L1:	5,20	m
L2:	1,50	m
A total:	7,80	m^2
Área de Losa para V2		
L1:	5,20	m
L2:	3,00	m
A total:	15,60	m^2
CARGA MUERTA		Unidad
V1 - V3	450	kg/m
V2	900	kg/m
CARGA VIVA		Unidad
V1 - V3	900	kg/m
V2	1800	kg/m

La carga distribuida en una estructura se refiere a una carga que se distribuye a lo largo de una cierta área en lugar de estar concentrada en un punto específico, también se debe considerar la carga que el puente grúa va a estar actuando bajo la losa como se visualiza en la tabla 3.11.

Tabla 3.11. Cargas de uso para el diseño.

CARGAS DE USO	Carga muerta:	300	kg/m^2
	Cargas Vivas:	600	kg/m^2
PUENTE GRÚA	Carga viva:	1000	kg

Los valores que se visualiza en la tabla 3.11, son en base al área que va a estar sometida la carga distribuida figura 3.5.

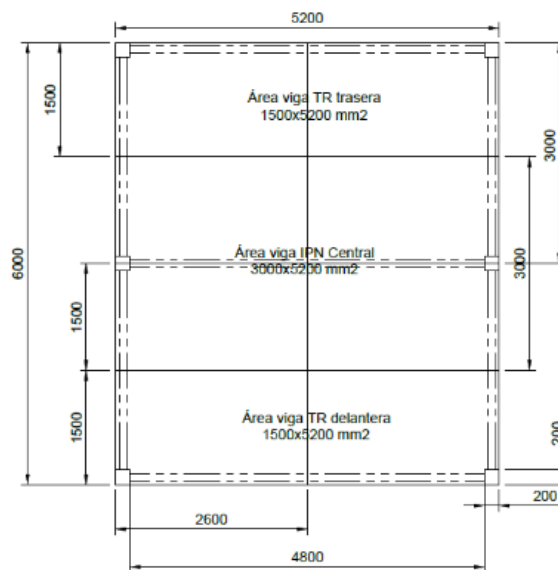


Figura 3.5. Dimensiones de áreas de losa para vigas.

3.5.7. Combinaciones de cargas

La norma NEC-SE-CG-Cargas-No-Sísmicas, menciona que las combinaciones de carga son utilizadas para evaluar la capacidad de una estructura para resistir diversas cargas simultáneas. Estas combinaciones incluyen factores de carga muerta, carga viva, carga de viento, carga de nieve, entre otras, dependiendo de la ubicación geográfica y las características específicas del diseño estructural [15].

La empresa Pulpa Moldeada S.A. desea implementar su taller mecánico dentro de la nave industrial que cuenta la empresa donde realizan todos los demás procesos, al estar la estructura dentro de una infraestructura cerrada está la protege del viento, la nieve, ceniza y otros factores externos que suelen presentarse en estructuras que se encuentran a la intemperie o campo abierto.

En el contexto sísmico, también se consideran combinaciones específicas de cargas sísmicas, ya que los terremotos pueden generar fuerzas significativas en las estructuras, esto requiere un análisis de combinaciones de cargas como se muestra en la tabla 3.12, los cuales posteriormente se ocuparán para dimensionar los perfiles del diseño y garantiza que el mismo se encuentren dentro del rango permisible de los valores proporcionados por la normativa.

Estas combinaciones fueron realizadas según la tabla de combinaciones de la NEC-SE-CG-Cargas-No-Sísmicas.

Tabla 3.12. “Combinación de cargas según la NEC-SE-CG-Cargas-No-Sísmicas”[15].

Denominación	Combinaciones
1	1,4D
2	1,2 D+1,6 L+0,5max[L _r ; S; R]
3	1,2D+1,6max [L _r ; S; R]+max[L;0,5W]
4	1,2 D+1,0W+L+0,5max[L _r ; S; R]
5	1,2 D+1,0 E+L+0,2 S
6	0,9 D+1,0 W
7	0,9 D+1,0 E

Con estas condiciones se procede a aplicar las combinaciones de cargas dentro del software de simulación, las cuales permiten apreciar las deformaciones máximas y mínimas que sufre la estructura y con esto poder corregir la selección de perfiles hasta que estos valores de deformaciones estén en el rango permisible de la normativa y garantice la integridad de la estructura.

3.5.8. Diseño de la Losa

El diseño de la losa se la realiza principalmente en base al uso que se le va dar, al ser una losa la cual va estar destinada a almacenar el stock de mantenimiento para los equipos de la empresa esta debe soportar grandes cargas, la cual van a ser diseñada partir de los parámetros de la tabla 3.12. Una vez determinados los valores y combinaciones a ocuparse se dispone a seleccionar una plancha de losa deck que soporte y distribuya dichas cargas sin colapsarse para eso ocupamos los valores de los catálogos de DIPAC Y NOVACERO [20].

Tabla 3.13. Especificaciones Técnicas en base al catálogo.

Datos	Dimensionamiento
Área total de la Losa	31,2 m ²
Luz de pórtico principal	5,2 m
Luz de pórtico secundario	3m
Ancho útil plancha deck	0,975m
Espacio entre pórticos laterales	3m
Altura de plancha deck 55mm	0,055m
Espesor de la Losa	0,105m
Novalosa 55mm	7,47 kg / m ²
Hormigón 75mm	179,8 kg / m ²
Malla electrosoldada	10x10 cm de 8mm
Carga Muerta	300 kg / m ²
Carga Viva de uso	600 kg / m ²

Fórmulas para el cálculo de las combinaciones de carga de losa compuesta.

$$\text{Carga ultima sobre impuesta} = 1,2D + 1,6L \quad (8)$$

$$\text{Carga de servicio sobre impuesta} = D + L \quad (9)$$

$$\text{Carga sobre impuesta} = 1,4D \quad (10)$$

3.5.9. Configuración del software CAE

La configuración del software se lleva a cabo siguiendo los parámetros previamente mencionados, de acuerdo con los principios establecidos por la metodología que se ocupa. Este enfoque garantiza una implementación coherente y eficiente del software, alineada con las directrices establecidas por dicha metodología utilizado el software SAP2000.

3.5.10. Método de elementos finitos ANSYS.

Para el análisis del comportamiento de los pórticos y en especial el pórtico puente grúa se emplea el uso de un software de simulación de ingeniería estructural o mecánica estructural ANSYS, posteriormente se realiza el análisis de los resultados obtenidos tales como; tensión, deformación, estrés y diagramas de las secciones que se utilizan para la simulación [22].

Análisis de elementos finitos.

También conocido como resolución numérica basado en que un componente o cualquiera, puede ser particularizado o discretizado en un conjunto de pequeños componentes que tienen una geometría simple y un comportamiento físico conocido, es decir a un cuerpo que es irregular se divide en componentes conocidos, que pueden ser figuras geométricas para obtener un resultado aproximado.

Para el proceso de mallado, es importante mencionar que existen algunos tipos o métodos de mallado, se genera principalmente un mallado estándar que nos ofrece el programa para comparar el número de nodos y de elementos, posteriormente gracias al apartado de (metrics – Element Quality) en ANSYS se analiza la calidad de malla, entre el valor de 0 a 1, donde 0 es un valor pésimo de mallado y 1 es un valor de mallado excelente o perfecto, para visualizar la calidad de malla se dirige al apartado de (Quality – Average), con esos valores se puede visualizar si los elementos tienen una forma bien definida, esto depende de la calidad de malla que se realice [22].

Para corregir el método de mallado de buena calidad (1), se debe tomar en cuenta cuál de los siguientes tipos de elementos se está analizando.

Tipos de elementos:

1D: Elementos esbeltos de una dimensión (Vigas, columnas), la cual para tener una calidad de malla (1) se debe trabajar con líneas, posteriormente se configura la característica del perfil.

2D: Elementos de superficies o elementos de dos dimensiones (Placas, chapas metálicas, plásticas) que tienen un espesor.

3D: Elementos volumétricos (piezas de motores utilizados en el ámbito automotriz).

Para la simulación de perfiles en el Software, se emplea los siguientes pasos;

Como paso 1, primero se añaden los bloques de geometría y análisis estructural, en los cuales se define los materiales, la geometría del perfil y sus dimensiones como se puede visualizar en la figura 3.6.

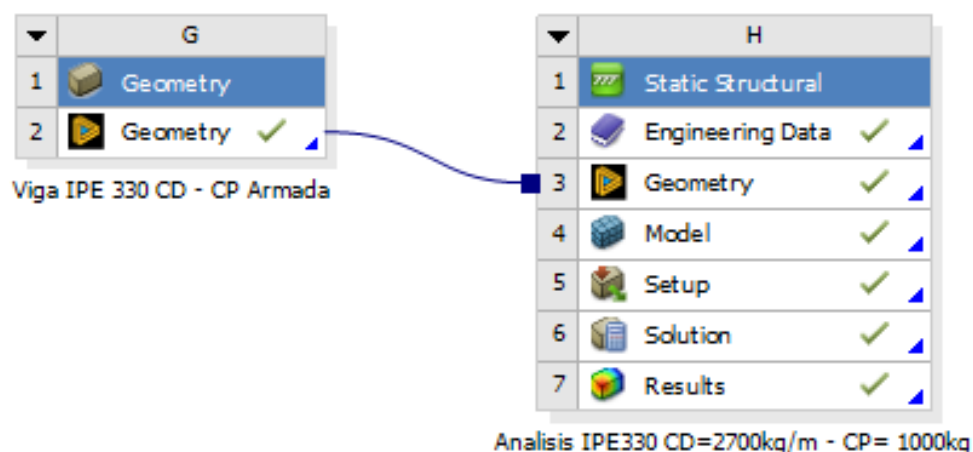


Figura 3.6. Configuración de bloques para la simulación de perfiles en ANSYS.

Posteriormente se configura el modelo (Model) en el cual se está desarrollando la simulación, agregando sus características, tales como; la geometría, cargas distribuidas y puntuales, apoyos, reacciones, activando la gravedad que incorpora el peso del perfil, como se puede observar en la figura 3.7.

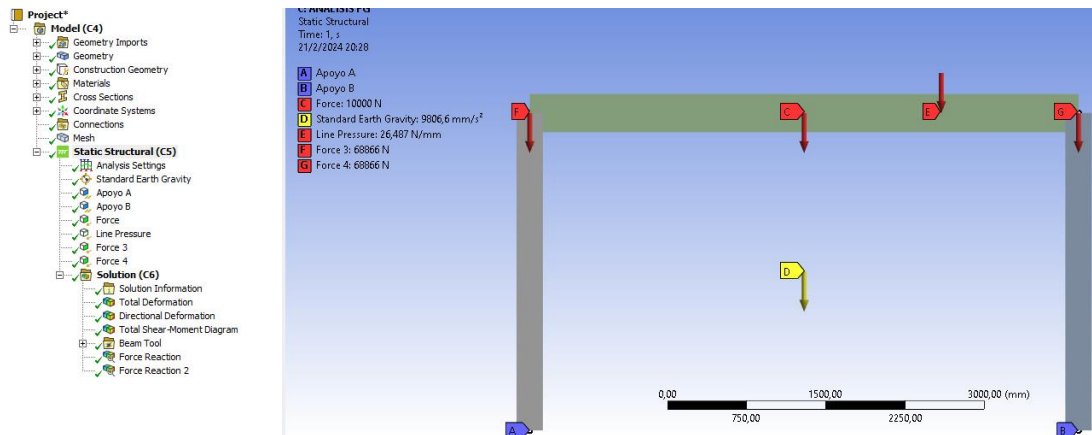


Figura 3.7. Configuración del modelo y geometría de los perfiles en ANSYS.

Para el proceso de mallado, es importante mencionar que para secciones o perfiles es recomendable trabajar como elementos esbeltos, es decir se traza la geometría de las líneas y se carga la configuración del perfil, elementos de una dimensión (1D), con esto se busca que las secciones tengan una buena calidad de malla tipo 1 y que los resultados se aproximen y coincidan con los calculados, la calidad de malla se puede observar en la figura 3.8, donde 1 se usa para elementos de una dimensión (líneas) y en la parte izquierda se visualiza elementos con geometría no muy bien definida, calidad 0.139.

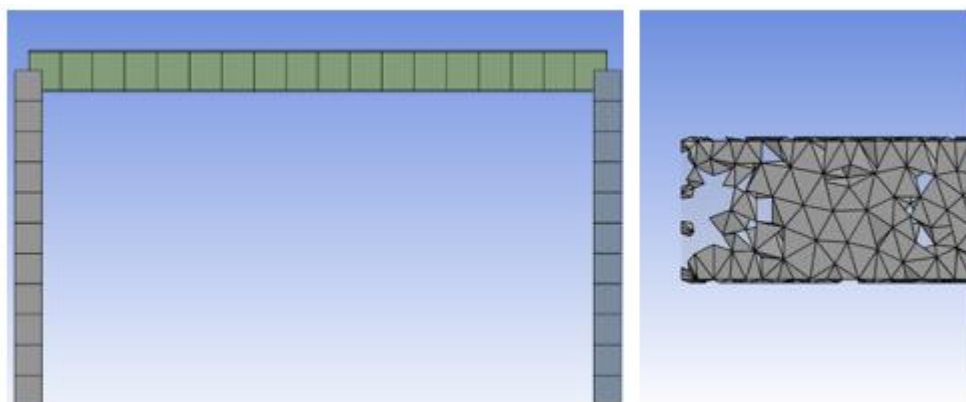


Figura 3.8. Calidad de malla 1 – 0,139.

Una vez realizado el mallado, se agrega los apartados de los resultados que se necesita analizar en el software, tales como: deformación, diagramas, estrés de perfiles, fuerzas de reacciones, valores que serán analizados en los siguientes apartados.

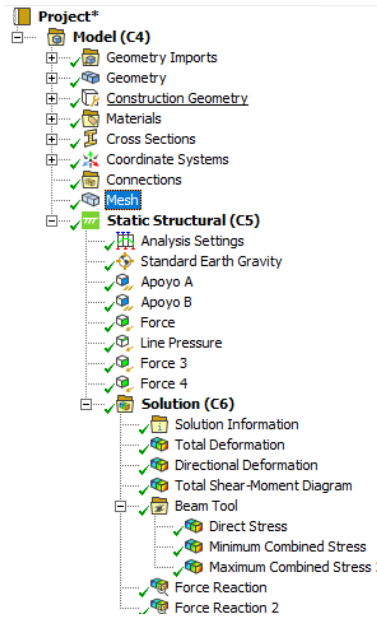


Figura 3.9. Ventana de resultados a ser analizados.

3.5.11. Deformaciones en la viga IPE

El perfil IPE al soportar el puente grúa y el peso de las cargas que se somete en los diferentes momentos y posiciones mientras el carro se desplaza en diferentes posiciones a diferencia del tecele que es estático y se encuentra en el centro de la viga, para garantizar la integridad de la estructura se realizará un análisis de deformaciones cada 10 cm en el pórtico puente grúa para analizar las deformaciones, cargas axiales y cargas últimas (PU) que interactúan en las distintas posiciones que se podría encontrar el puente grúa.

3.5.12. Análisis para juntas y conexiones soldadas

Las normas AISC-360-16 y la AWS D1.1 2020 nos ofrecen las siguientes recomendaciones para el diseño de las juntas de conexión ver tabla 3.14, 3.15 y 3.16.

Tabla 3.14. “Tabla J2.3 de la AISC 360-16” [13].

Espesor mínimo de Garganta Efectiva	
Espesor de material de parte unida más delgada, mm	Espesor mínimo de garganta efectiva, mm
Hasta 6 inclusive	3
Entre 6 y 13	5

Tabla 3.15. “Tabla J2.4 de la AISC 360-16” [13].

Tamaño Mínimo de Soldadura de Filete	
Espesor de parte unida más delgada, mm	Tamaño mínimo de soldadura de filete[a], mm
Hasta 6 inclusive	3
Entre 6 y 13	5

Tabla 3.16 “Tabla 5.5 AWS D1.1 2020” [4].

Tamaño mínimo precalificado de las soldaduras en ranura con PJP	
Espesor del metal base (T) (mm)	Tamaño mínimo de la soldadura (mm)
3-5	2
5-6	3
6-12	5
12-20	6

Tamaño máximo de soldaduras de filete AWS D1.1 2020

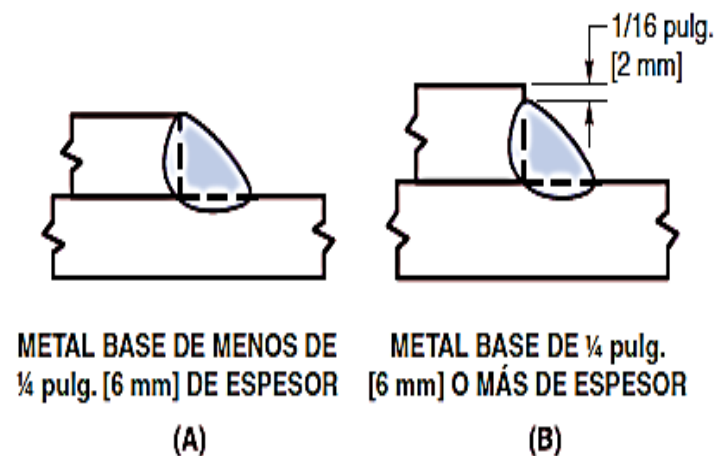


Figura 3.10. Tamaño máximo a lo largo de los bordes de las juntas [4].

Para el análisis de soldadura se consideró los siguientes detalles, empleando las tablas y las siguientes normas AWS D1.1 – D1.8; AISC 360-16 (Juntas de conexiones).

Inspección de esfuerzos admisibles AWS D1.1, anexo G.

Ángulo de biselado

De acuerdo con el Código de Soldadura Estructural AWS D1.1, el ángulo de biselado para soldadura en perfiles estructurales se calcula en función del espesor de los perfiles que se van a unir. La fórmula es la siguiente:

$$\alpha = 45^\circ - 0,05 \cdot t \quad (11)$$

donde:

α es el ángulo de biselado en grados.

t es el espesor de los perfiles en milímetros.

A continuación, se muestra una tabla con los valores de ángulos de biselado recomendados para soldaduras en perfiles estructurales según AWS D1.1: Tabla 6.1 AWS D1.1, considerando el espesor menor del metal base.

Tabla 3.17. Valores de ángulos de biselado.

Esesor de los perfiles (mm)	Ángulo de biselado (°)
5-10	40-45
10-20	35-40
20-30	30-35
30-40	25-30

3.6. CONEXIONES ELÉCTRICAS

3.6.1. Dimensionamiento de las cargas a instalarse

El dimensionamiento de las cargas que se instalarán constituye un paso esencial para asegurar la seguridad, eficiencia y confiabilidad de un sistema eléctrico. Este procedimiento implica la evaluación de la capacidad de diversos componentes del sistema, tales como cables, conductores, interruptores, transformadores y dispositivos de protección.

El propósito es garantizar que estos elementos sean capaces de soportar de manera adecuada la demanda energética de las cargas que serán conectadas al sistema eléctrico en cuestión, para estimar la carga total que se instalará en la estructura de la figura 3.11:

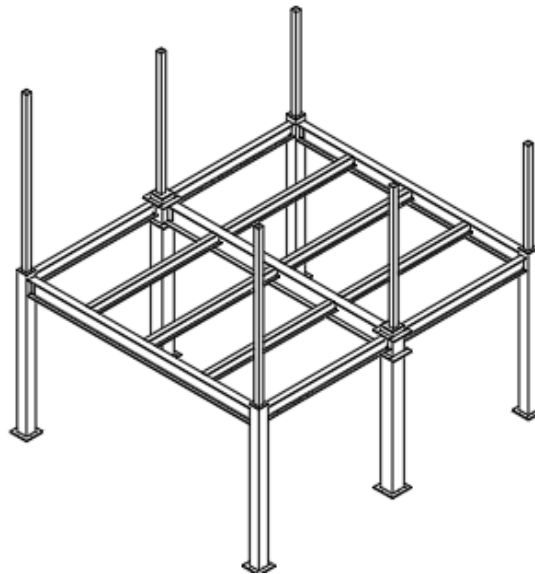


Figura 3.11. Lugar donde se llevará a cabo la instalación eléctrica.

3.6.2. Acometida principal

La acometida principal es la encargada de energizar el tablero de distribución de donde saldrán los demás circuitos de Luminarias, tomacorrientes y tecles este debe tener una protección igual o superior a la carga instalada este valor estará vinculado a la disponibilidad de los termomagnéticos en el mercado teniendo en cuenta que el conductor principal debe soportar un amperaje:

Fórmula para obtener la potencia del sistema

$$\Sigma Ct = (c1 + c2 + c3) \quad (12)$$

Fórmula para tener la intensidad del sistema

$$I_{(A)} = \frac{P_W}{V_V} \quad (13)$$

3.6.3. Circuito de luminarias

El diseño del circuito de iluminación está determinado por la carga instalada y el área de la estructura. Según la norma NEC-SB-IE, se requiere un mínimo de circuitos de acuerdo al área de la estructura, revisar anexo L. De acuerdo con estas pautas, para nuestra estructura, que tiene un área de $32m^2$, es suficiente con un único circuito de iluminación, ya que no se justifica la instalación de más. Además, la normativa especifica que estos circuitos no deben exceder los 15 puntos de iluminación ni una carga máxima de 15A [23].

3.6.4. Circuito de tomacorrientes

Como se puede ver en la tabla 3.20, dadas las condiciones del área de la estructura el circuito de tomacorrientes igualmente se recomienda mínimo un circuito de tomacorrientes con una carga máxima de 20 amperios, y no exceder las 10 salidas [23].

3.6.5. Cargas especiales

Las cargas especiales eléctricas son aquellas que, debido a características particulares, requieren análisis y tratamiento específico en el sistema eléctrico, impactando en la calidad de la energía, estabilidad y seguridad. Se caracterizan por potencia elevada, impacto en calidad de energía, comportamiento no lineal y necesidades específicas de protección.

La identificación se basa en criterios como potencia, tipo de carga y requerimientos de protección. Ejemplos incluyen hornos eléctricos, motores potentes y centros de datos. Según la normativa NEC-SB, en instalaciones eléctricas se requiere que el calibre del conductor sea capaz de soportar al menos el 125 % de la corriente de protección del circuito, tal como se detalla en la tabla 3.21.

Tabla 3.18. Capacidad de protección.

Calibre del conductor AWG	14	12	10	8	6
Capacidad máxima de interruptor (amperios)	15/16	20	30/32	40	50

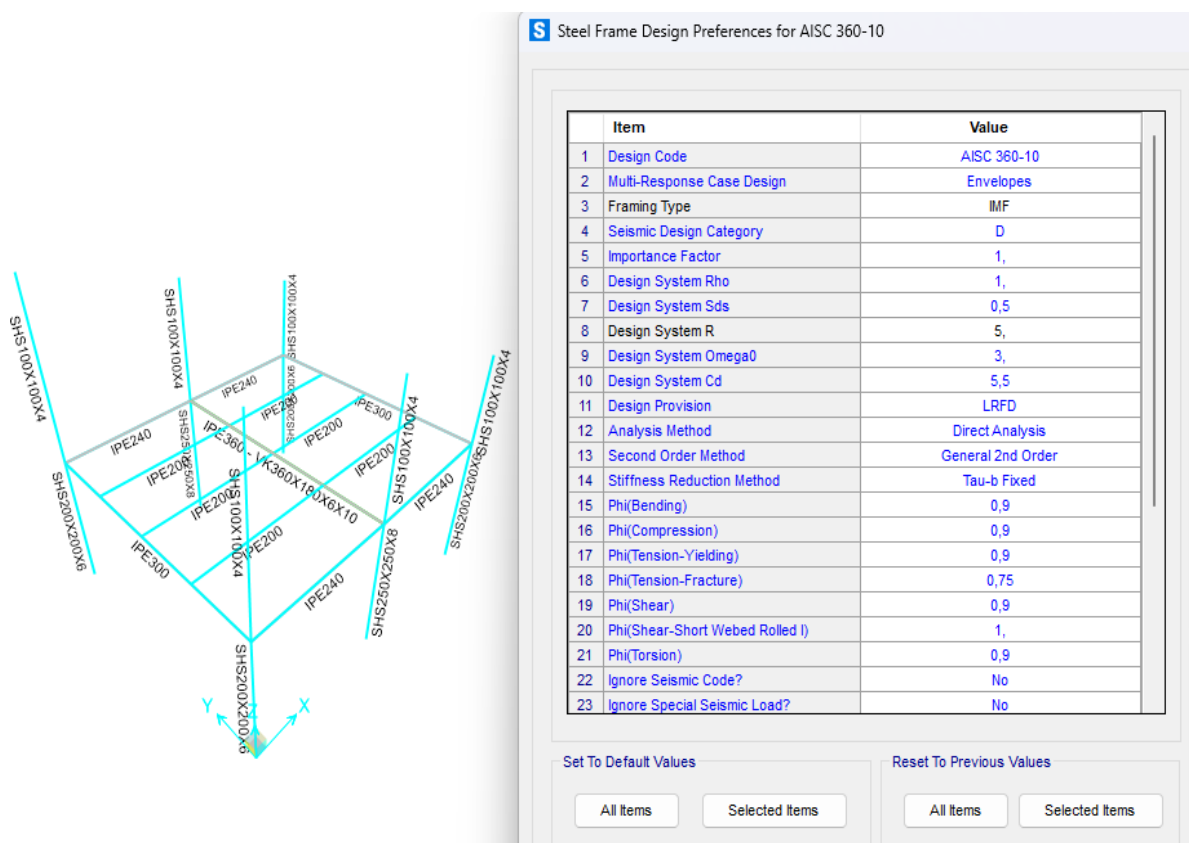
4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. ANÁLISIS Y RESULTADOS DE LA ESTRUCTURA.

Los resultados presentados a continuación se basan en los parámetros definidos en la metodología de diseño. Luego, se lleva a cabo un análisis detallado de estos resultados para evaluar los comportamientos de las secciones, los pórticos, las derivas y las deformaciones del puente grúa. Este análisis se realiza utilizando software CAD-CAE, que asegura la integridad estructural cumpliendo con los criterios establecidos por las normativas y cálculos correspondientes. Este enfoque garantiza una evaluación exhaustiva y precisa de la estructura del puente grúa en concordancia con los estándares y regulaciones aplicables.

4.1.1. Criterio de prediseño.

Según la norma AISC 360-10 - AISC 341-16 se menciona que los elementos (vigas principales, vigas secundarias, columnas), deben comportarse dúctilmente [2].



El diagrama a la izquierda muestra un modelo estructural de un puente grúa con secciones de acero etiquetadas como SHS, IPE y K. A la derecha se muestra la ventana de configuración de preferencias de diseño para AISC 360-10, que incluye una tabla de parámetros de diseño.

Item	Value
1 Design Code	AISC 360-10
2 Multi-Response Case Design	Envelopes
3 Framing Type	IMF
4 Seismic Design Category	D
5 Importance Factor	1,
6 Design System Rho	1,
7 Design System Sds	0,5
8 Design System R	5,
9 Design System Omega0	3,
10 Design System Cd	5,5
11 Design Provision	LRFD
12 Analysis Method	Direct Analysis
13 Second Order Method	General 2nd Order
14 Stiffness Reduction Method	Tau-b Fixed
15 Phi(Bending)	0,9
16 Phi(Compression)	0,9
17 Phi(Tension-Yielding)	0,9
18 Phi(Tension-Fracture)	0,75
19 Phi(Shear)	0,9
20 Phi(Shear-Short Webed Rolled I)	1,
21 Phi(Torsion)	0,9
22 Ignore Seismic Code?	No
23 Ignore Special Seismic Load?	No

Figura 4.12. Criterios de aceptación de prediseño.

La figura 4.12 define los parámetros de prediseño para que la estructura se comporte dúctilmente mediante una configuración de pórticos IMF.

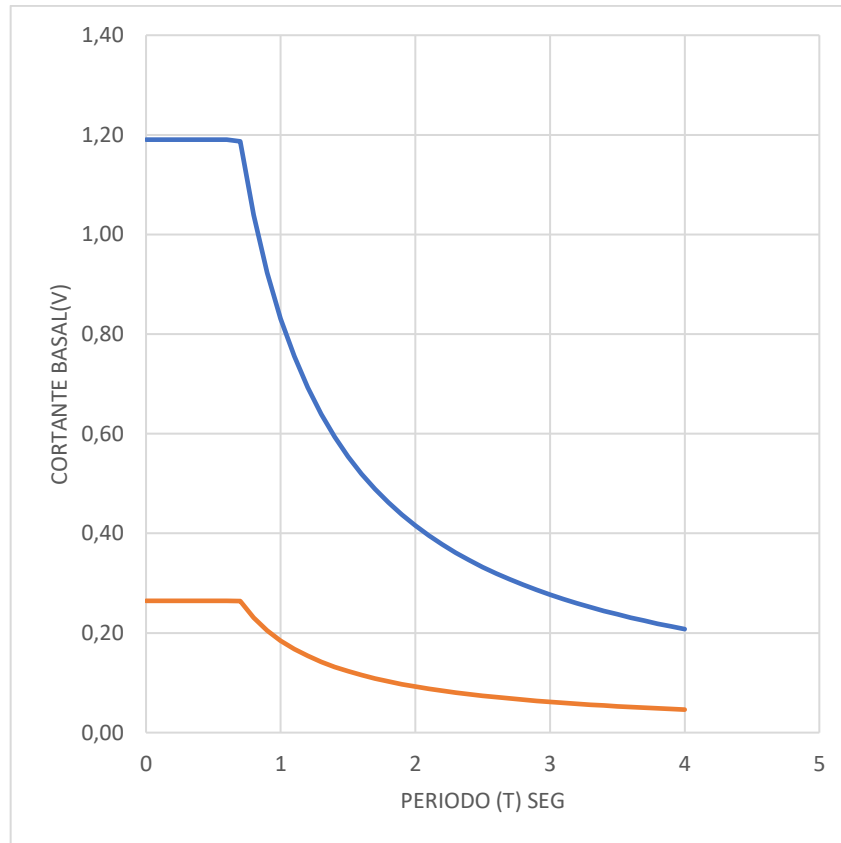


Figura 4.14. Espectro de diseño sismorresistente.

Se muestra el resultado en la línea azul con el cual la NEC-2015 supone que el sismo vendrá cada 475 años, se evalúa en condiciones elásticas, es decir sin tomar en cuenta los factores de disipación de energía (ductilidad), la línea naranja es el sismo modificado tomando en cuenta los factores que nos menciona la normativa, el gráfico relaciona la fuerza que va a tener el sismo y está relacionada al porcentaje del peso, con un factor R de 5, obteniendo un valor de 0,2645 de coeficiente de cortante basal en el inicio de la curva de la línea naranja, mismo que será utilizado en la simulación del software CAE.

4.1.4. Combinaciones de cargas NEC-SE-CG-cargas-no-sísmicas.

Según las recomendaciones de la normativa, revisar tabla 3.14 [15].

- Carga muerta: $DEAD = 300kg/m^2$
- Carga viva: $LIVE = 600kg/m^2$
- Carga tecla (puntual): $LT = 1000kg$
- Sismos estáticos: $SX ; SY$
- Sismos dinámicos: $SDX ; SDY$

Tabla 4.19. Combinaciones de carga para el caso de estudio.

Combinaciones	
C1	1,4D
C2	1,2D+1,6L
C3	1,2D+L+SY
C4	1,2D+L-SY
C5	1,2D+L+SX
C6	1,2D+L-SX
C7	0,9D+SY
C8	0,9D-SY
C9	0,9D+SX
C10	0,9D-SX
C11	1,2D+L+SDX
C12	1,2D+L+SDY
C13	0,9D+SDX
C14	0,9D+SDY
C15	D
C16	D+L
C17	D+L+LT

Las combinaciones de cargas C15-C16, se establecen como combinaciones que garanticen la seguridad para que la estructura no se deforme, además la C17, es una combinación dinámica para incorporar al tecla (puente grúa), como una carga puntual para posteriormente analizar su comportamiento.

Cargas para pórticos (vigas principales)

Tabla 4.20. Cálculos de cargas distribuidas.

Carga distribuida total		
Pórtico 1 – Pórtico 3	1350	kg/m
Pórtico 2	2700	kg/m

Se realiza el metrado de cargas para calcular la carga distribuida que actúan en las vigas, revisar tabla 3.12 y figura 3.5.

Cargas para columnas.

Tabla 4.21. Cálculos de cargas axiales.

Carga total en columnas (axial)		
Pórtico 1 – Pórtico 3	3510	kg
Pórtico 2	7020	kg

Se realiza un metrado de cargas para calcular las cargas axiales que actúan en las columnas, revisar tabla 3.10 y figura 3.4.

4.1.5. Cálculos losa compuesta

En base a las especificaciones técnicas proporcionadas por el catálogo que se puede visualizar la tabla 3.15, se obtienen los siguientes resultados utilizando las ecuaciones 8,9,10.

Tabla 4.22. Resultados del cálculo de la losa compuesta.

Carga última sobre impuesta	1320 kg/m^2
Carga de servicio sobre impuesta	900 kg/m^2
Carga sobre impuesta	420 kg/m^2
Separación entre viguetas secundarias	1,25m

Según la carga última sobreimpuesta se elige del catálogo la placa deck, con las siguientes características:

Tabla 4.23. “Propiedades de la sección Novalosa simple 55mm”[20].

Propiedades	
Espesor de Novalosa (mm)	Peso (kg/m^2)
0,76	7,47

Tabla 4.24. “Propiedades de la sección compuesta Novalosa 55mm”[20].

Espesor	Espesor de losa (cm)	Volumen de hormigón (m^3/m^2)	Peso de hormigón (kg/m^2)
0,76	5	0,07491	179,8

Tabla 4.25. “Carga viva no factorada Novalosa 55mm (kg/m^2)”[20].

Espesor de placa colaborante (mm)	Espesor losa (cm)	Separación entre apoyos (m)
		1,6
0,76	5	1714

De acuerdo a la carga última calculada anteriormente ($1320kg/m^2$) se elige una placa deck de 55mm de altura de onda, con espesor de 0,76mm que soporta $1714kg/m^2$ a una distancia de 1,6 m entre apoyos, con las características descritas en las tablas anteriores.

4.1.6. Análisis de secciones en software CAE.

Los siguientes resultados son en base a las ecuaciones del apartado 3.5.2; 3.5.3.

Resultado de acuerdo a las ecuaciones 3 y 4 de sistema basado en deformaciones, considerando la longitud efectiva de las secciones.

$$\delta_{m\acute{a}x} = \frac{5,2}{360} = 0,0144 \text{ m (criterio inicial)}$$

$$\delta_{m\acute{a}x} = \frac{4,8}{360} = 0,0133 \text{ m (criterio de dise\~{n}o)}$$

Y los resultados para determinar la altura del perfil se han obtenido aplicando la ecuaci3n 5.

$$h = 31,2 \text{ cm} \gg 30 \text{ cm}$$

$$b = 10,4 \text{ cm} \gg 10 \text{ cm}$$

Se puede optar por vigas de cat3logo que ofrecen caracteristicas mec3nicas consideradas, tomando en cuenta al p3rtico central el cual est3 sometido a una carga axial (puente grúa).

Columnas:

- Tubo cuadrado 200X200X6 – 250X250X8 – 100X100X3

Vigas:

- IPE300 – 240 – 200
- IPE330 - VK360X180X6X10 (Uso puente grúa)

Clasificaci3n de secci3n seg3n su relaci3n ancho-espesor, revisar ecuaci3n 7.

VIGA IPE300

$$8,64\text{mm} \gg 10,7\text{mm PATIN (IPE300)}$$

$$8 \text{ mm} \gg 7,1 \text{ mm ALMA (IPE300)}$$

Tomando estas consideraciones, y realizando c3lculos y simulaciones mostradas, posteriormente se analizan los c3lculos y simulaciones pertinentes para evidenciar su comportamiento.

Resultados de deformaciones y simulaci3n de perfiles y p3rticos.

An3lisis y simulaciones de las reacciones y momentos para verificar el comportamiento de las secciones.

Carga distribuida: 1350 kg/m

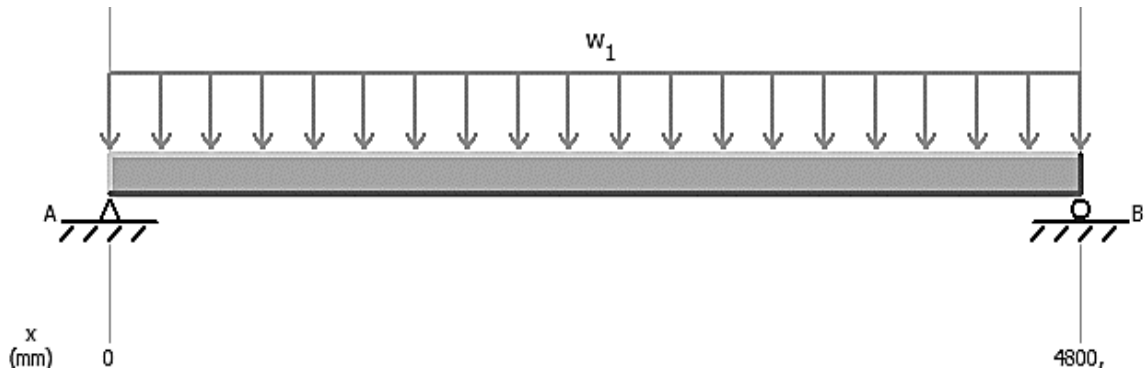


Figura 4.15. DCL de carga distribuida en viga IPE300

Mediante el DCL de la figura 4.15, se obtienen los resultados mostrados en la tabla 4.29, valores calculados de la viga aplicando una carga distribuida.

Tabla 4.26. Resultados de reacciones y momentos.

Reacciones - Momentos	
Punto A (0m)	Punto B(4,8m)
$R_A = 31800N$ (3243,6 kgf)	$R_B = 31800N$ (3243,6 kgf)
$M_A = 25400 N \cdot m$ (2590,8 kg · m)	$M_B = -25400 N \cdot m$ (-2590,8 kg · m)

Además de realizar los cálculos de la tabla 4.29, se analiza el comportamiento o la afectación de la carga distribuida provocada en el perfil, obteniendo resultados mostrados en la tabla 4.30.

Tabla 4.27. Relaciones de comportamiento.

Resultados de cálculo		
Cizalladura(cortante)		
Máximo	Límite	Relación
$16,8 \times 10^6 Pa$	$143 \times 10^6 Pa$	12 %
Tensión parte superior		
Máximo	Límite	Relación
$45,6 \times 10^6 Pa$	$248 \times 10^6 Pa$	18 %
Compresión parte superior		
Máximo	Límite	Relación
$22,8 \times 10^6 Pa$	$248 \times 10^6 Pa$	9%
Tensión parte inferior		
Máximo	Límite	Relación
$22,8 \times 10^6 Pa$	$248 \times 10^6 Pa$	9 %
Compresión parte inferior		
Máximo	Límite	Relación
$45,6 \times 10^6 Pa$	$248 \times 10^6 Pa$	18 %
Desplazamiento: 0,0011 m		

Los cálculos mostrados en la tabla 4.29 y 4.30, relaciona la capacidad del material ASTM A36, con la carga que se está aplicando sobre la viga IPE300, mostrando un porcentaje de afectación.

Simulación en ANSYS:

Es importante mencionar la diferencia de valores de los resultados que nos arrojan los programas SAP2000 y ANSYS, donde SAP está enfocado al análisis de estructuras metálicas y toma valores de cargas gravitacionales y de sismos, a diferencia del software CAE – ANSYS, en el cual se imponen los valores calculados para la simulación y previamente se obtiene valores de deformaciones similares en ambos software, con la diferencia que el segundo nos permite apreciar el valor de estrés máximo para el cálculo real del factor de seguridad. Considerando esto se realiza una simulación de la viga IPE300 aplicando la carga distribuida que actúa en la sección, esta simulación se ejecuta siguiendo los pasos mencionados en el apartado 3.5.10.

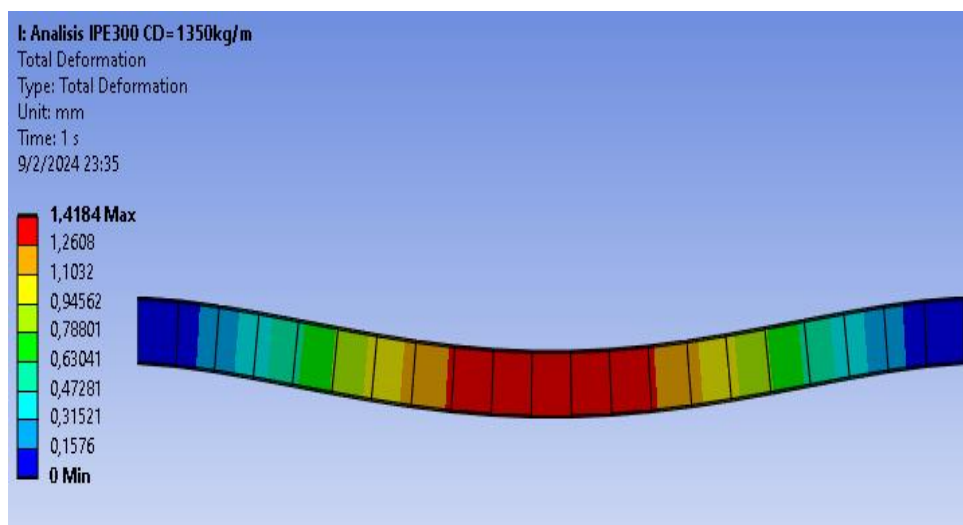


Figura 4.16. Simulación en ANSYS viga IPE300

Realizando la simulación se obtiene los siguientes resultados:

Tabla 4.28. Resultados de simulación viga IPE300.

Resultados de simulación en ANSYS	
Deformación máxima	1,4184 mm
Reacción en A	32744 N
Reacción en B	32744 N
Estrés máximo	49,011 MPa

Aplicando la carga distribuida en la sección, en la figura 4.16 y tabla 4.31, se visualiza los resultados de la simulación en la cual la viga IPE300 presenta una deformación de 1,41 mm de desplazamiento, estrés máximo de 49,011 MPa y sus respectivas reacciones en el punto A y punto B.

Simulación de pórtico 1 – pórtico 3

Pórtico Columna 200X200X6 – Viga IPE300

Esta simulación se ejecuta siguiendo los pasos mencionados en el apartado 3.5.10.

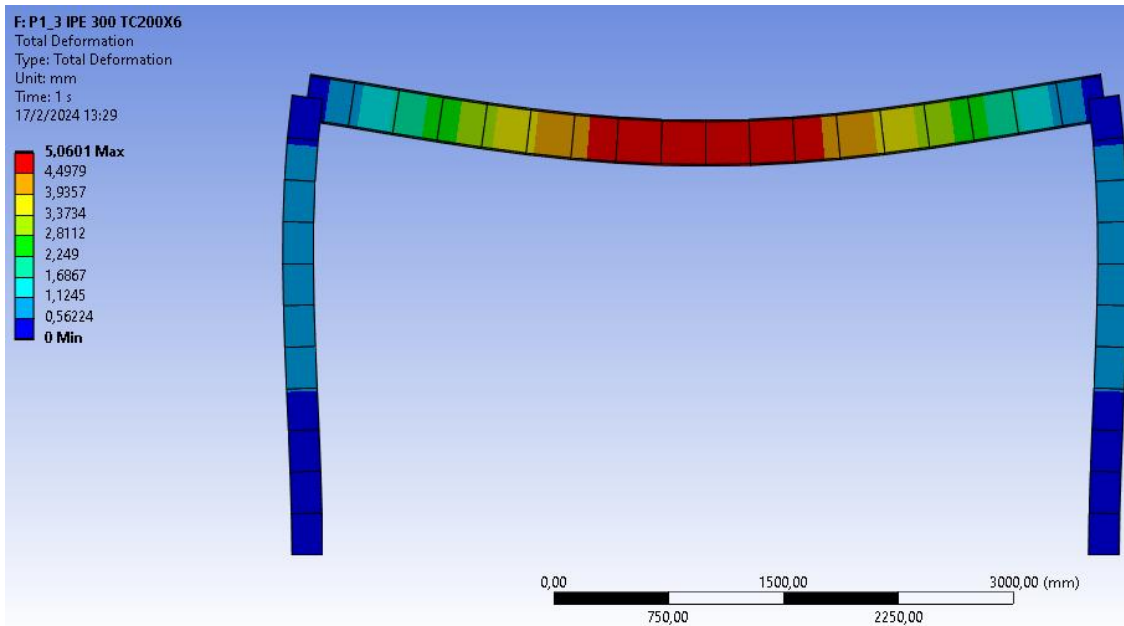


Figura 4.17. Simulación de pórtico 1 – pórtico 3.

Realizando la simulación del pórtico se obtiene los siguientes resultados:

Tabla 4.29. Resultado del pórtico 1 - 3.

Resultados de simulación en ANSYS	
Deformación máxima	5,0601 mm
Reacción en A	70981 N
Reacción en B	70981 N
Estrés máximo	53,33 MPa

Tomando en cuenta la carga distribuida que se encuentra aplicado en la viga figura 3.17, se visualiza que la deformación máxima es de 5,0601 mm y el estrés máximo presentado en la viga es de 53,33 MPa, tabla 32.

Simulación en Fusión 360.

Se realiza una simulación utilizando en el software CAD fusión 360, para analizar el comportamiento del pórtico, utilizando las secciones que pertenecen al mismo, Columna 200X200X6 – Viga IPE300.

Tabla 4.30. Cargas para pórticos

Cargas asignadas
Carga distribuida en pórtico: 1350kg
Carga axial en columna: 3510 kg
PU: 12600,221 kg

Se realiza la simulación en el software CAD fusión 360, para analizar el pórtico de la estructura, aplicando las cargas mencionadas en la tabla 4.33.

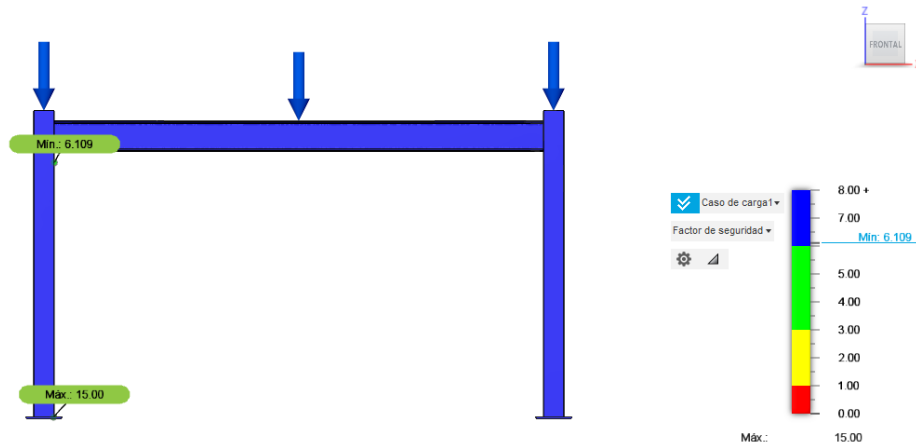


Figura 4.18. Simulación de pórtico en fusión 360.

Aplicando las cargas que se encuentran en la tabla 30, las cuales actúan en el pórtico de la figura 18, se obtienen los resultados.

Tabla 4.31. Resultados de simulación

Resultados de simulación en Fusión 360	
Factor de seguridad	máx: 15 – min: 6,109
Estrés (Von Mises) (máx.)	40,63 MPa
Desplazamiento(máx.)	1,238 mm

Se analiza la deformación máxima de 1,238 mm y el estrés de 40,36 MPa, tabla 4.34, que se encuentra en los perfiles utilizados para la simulación.

VIGA IPE330 - VK (Carril puente grúa)

Carga puntual: 1000kg a 2,4 m de la viga.

Carga distribuida: 2700 kg/m

Para realizar los cálculos se toma en cuenta las cargas mostradas en el presente apartado, carga distribuida y carga puntual.

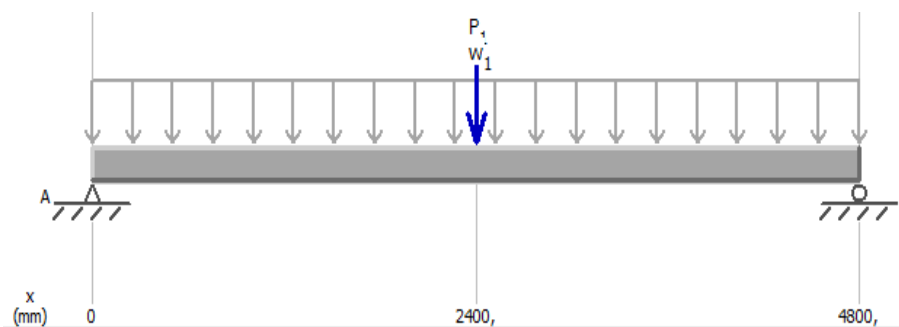


Figura 4.19. DCL de carga distribuida y carga puntual(P) en la viga IPE330 - VK.

Mediante el DCL, de la figura 4.19, se obtienen los resultados mostrados en la tabla 4.35, valores calculados de la viga aplicando una carga distribuida y una carga puntual que actúa en la viga del puente grúa.

Tabla 4.32. Resultados de reacciones y momentos.

Reacciones - Momentos	
Punto A (0m)	Punto B(4,8m)
$R_A = 68500 \text{ N (6987 kgf)}$	$R_B = 68500 \text{ N (6987 kgf)}$
$M_A = 56700 \text{ N/m (5783,4 kgf /m)}$	$R_A = -5.880 \text{ N/m (-5783,4 kgf /m)}$

Además de realizar los cálculos de la tabla 4.32, se analiza el comportamiento o la afectación de la carga distribuida y puntual que provoca en el perfil, obteniendo resultados mostrados en la tabla 4.33.

Tabla 4.33. Relaciones de comportamiento.

Resultados de cálculo		
Cizalladura(cortante)		
Máximo	Límite	Relación
31,2 $\times 10^6 \text{ Pa}$	143 $\times 10^6 \text{ Pa}$	22 %
Esfuerzo de flexión en la cara superior de la viga		
Máximo	Límite	Relación
79,5 $\times 10^6 \text{ Pa}$	248 $\times 10^6 \text{ Pa}$	32 %
Compresión parte superior		
Máximo	Límite	Relación
43,9 $\times 10^6 \text{ Pa}$	248 $\times 10^6 \text{ Pa}$	32 %
Esfuerzo de flexión en la cara inferior de la viga		
Máximo	Límite	Relación
43,9 $\times 10^6 \text{ Pa}$	248 $\times 10^6 \text{ Pa}$	18 %
Compresión parte inferior		
Máximo	Límite	Relación
79,5 $\times 10^6 \text{ Pa}$	248 $\times 10^6 \text{ Pa}$	32 %
Desplazamiento: 0,00179 m		

Los cálculos mostrados en la tabla 4.32 y 4.33, relaciona la capacidad del material ASTM A36 con la carga que se está aplicando sobre la viga IPE330, mostrando un porcentaje de afectación, cuando se aplica la carga distribuida de $2700\text{kg}/\text{m}$ y la carga puntual de 1000kg en la viga IPE330, la cual está destinada al uso del puente grúa [24].

Simulación en ANSYS

Se realiza una simulación de la viga IPE330 - VK aplicando la carga distribuida que actúa en la sección y la carga puntual del puente grúa, esta simulación se ejecuta siguiendo los pasos mencionados en el apartado 3.5.10.

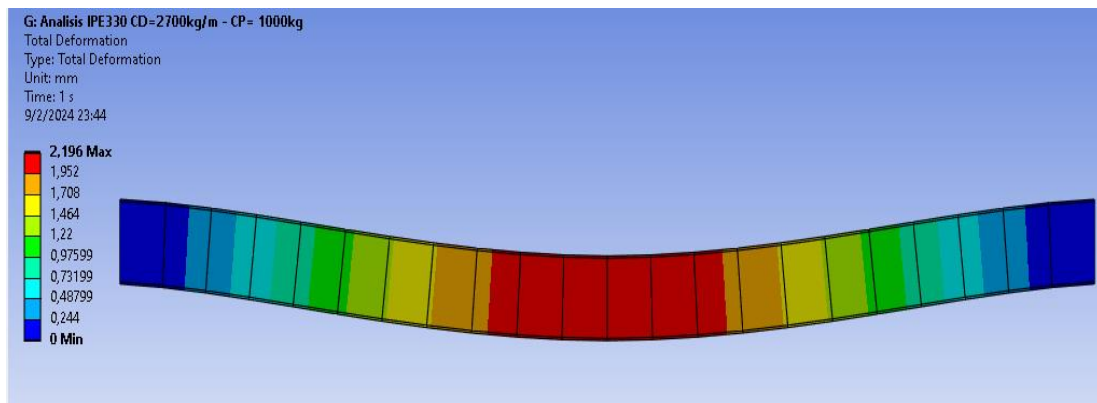


Figura 4.20. Simulación en ANSYS.

Empleando los pasos de simulación y aplicando las cargas en la viga, se obtienen los siguientes resultados.

Tabla 4.34. Resultados de simulación Viga IPE330 - VK.

Resultados de simulación en ANSYS	
Deformación máxima	2,196 mm
Reacción en A	69516 N
Reacción en B	69516 N
Estrés máximo	79,613 MPa

Aplicando carga distribuida y puntual en la sección, en la figura 4.20 y tabla 3.34 se visualiza los resultados de la simulación en la cual la viga IPE330 - VK presenta una deformación de 2,196 mm de desplazamiento, estrés máximo de 79,613 MPa y sus respectivas reacciones en los apoyos A y apoyos B.

Simulación de pórtico 2 (Pórtico puente grúa) en ANSYS

Pórtico 2. Columna 250X250X8 – Viga IPE330 – VK, esta simulación se ejecuta siguiendo los pasos mencionados en el apartado 3.5.10.

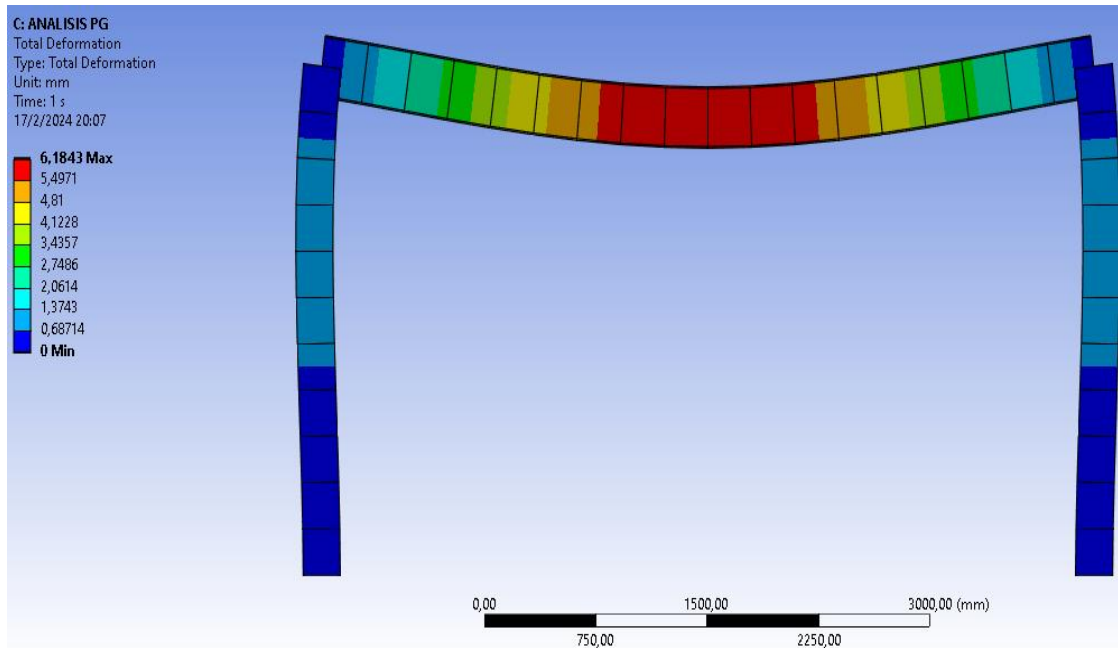


Figura 4.21. Simulación de pórtico 2.

Empleando los pasos de simulación y aplicando las cargas en el pórtico, carga distribuida y carga puntual, se obtienen los siguientes resultados.

Tabla 4.35. Resultados del pórtico 2.

Resultados de simulación	
Deformación máxima	6,1843 mm
Reacción en A	145650 N
Reacción en B	145650 N
Estrés máximo	79,58 MPa

Tomando en cuenta la carga distribuida en la viga IPE330 – VK y la carga del puente grúa, se visualiza que la deformación máx. es de 6,1843 mm y el estrés máximo presentado en la viga es de 79,58 MPa, tabla 4.35.

Simulación en Fusión 360.

Se realiza una simulación utilizando en el software CAD fusión 360, para analizar el comportamiento del pórtico, utilizando las secciones que pertenece al mismo, Columna 250X250X8 – Viga IPE330 – VK.

Tabla 4.36. Carga para pórtico 2.

Cargas asignadas
Carga puntual: 1000kg
Carga distribuida total en pórtico: 2700kg
Carga axial en columna: 7020 kg
PU: 12600,221 kg

Se realiza la simulación en el software CAD fusión 360, para analizar el pórtico del puente grúa, aplicando las cargas mencionadas en la tabla 4.36.

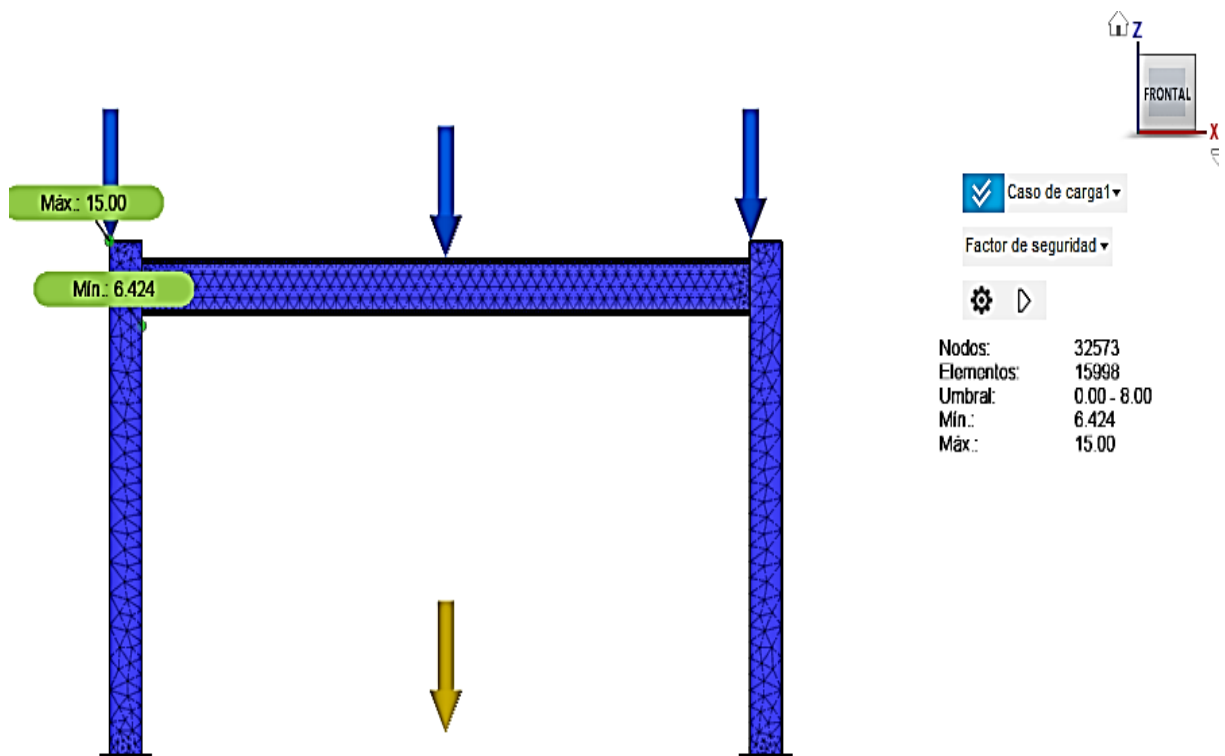


Figura 4.22. Simulación del pórtico 2 (pórtico puente grúa).

Aplicando las cargas que se encuentran en la tabla 4.36, las cuales actúan en el pórtico de la figura 4.22, se obtienen los siguientes resultados.

Tabla 4.37. Resultados de simulación Fusión 360.

Resultados de simulación	
Factor de seguridad	<i>máx:</i> 15 <i>min:</i> 6,424
Estrés (Von Mises) (máx.)	28,643 MPa
Desplazamiento(máx.)	1,513 mm

La deformación máxima de 1,513 mm y el estrés de 28,643 MPa, tabla 4.37, que se encuentra en las secciones utilizadas para el puente grúa.

4.1.7. Resultados de SAP2000.

Comportamiento de la estructura.

Se realiza un análisis del comportamiento de la estructura, frente a sismos dinámicos, sismos estáticos y cargas impuestas sobre la losa (control de derivas, puente grúa), una vez terminada el análisis se procede al diseño dentro del cual se realiza un análisis de las secciones que conforman la estructura.

Análisis de torsión

Para el análisis de torsión, se emplean los resultados de las tablas (SAP2000) que muestran 12 formas de vibrar, cada una con un periodo distinto: desplazamiento U (X, Y, Z) y rotación R (X, Y, Z). Se requiere analizar el Modo 1 y el Modo 2, considerando los periodos reales del programa. Los datos se presentan en la tabla 4.38.

Tabla 4.38. Porcentaje de masa en cada forma de vibrar SAP 2000.

Participación de masa en forma de vibrar (torsión)				
Nro. de modo	Periodo (segundos)	Desplazamiento (UX)	Desplazamiento (UY)	Rotación (RZ)
Mode 1	0,261213	0,891	0	0
Mode 2	0,216929	0	0,971	0,002435
Mode 3	0,191672	0	0,007373	0,854

Se debe hacer el cálculo del porcentaje de la masa que participa en la forma de vibrar de la tabla 4.41, de acuerdo a la NEC-SE-DS, se obtienen los siguientes resultados [8].

Tabla 4.39. Resultados de torsión.

Modo 1:	Modo 2:
$\frac{RZ}{UX \text{ o } UY}$ $\therefore \frac{0,00}{0,891} = 0,00$ $= 0,00\% < 15\%$ <p>: OK</p>	$\frac{RZ}{UX \text{ o } UY}$ $\therefore \frac{0,002435}{0,971} = 0,0025$ $= 0,0025 = 0,25\% < 15\%$ <p>: OK</p>

En los modos 1 y 2 de la tabla 4.39, se observa principalmente desplazamiento sin una rotación significativa en RZ, ya que se emplean secciones de catálogo consideradas compactas y armadas. Según la normativa, el límite establecido es del 15% de la masa que puede vibrar. Las estructuras experimentan torsión debido a la mala distribución de masas y a la rigidez incorrecta de las secciones (vigas y columnas), para esto se propone redistribuir la rigidez o aumentar la inercia en las secciones, utilizando aquellas que sean más rígidas y cambiando las secciones en las áreas donde la torsión sea más evidente.

Análisis de sismos $S_x - S_y$

La relación de sismos se da por una comparación de métodos, esto sustituye al método modal espectral, el software SAP2000, presenta esta facilidad para que el estudio se realice utilizando

sismos dinámicos dependiendo de varios parámetros, de la geografía en la cual se va a construir la estructura, y otros factores que nos menciona la norma NEC-SE-DS.

La NEC-SE-DS compara los enfoques del sismo estático y dinámico, estableciendo que el valor obtenido por el método estático es referencial. Por otro lado, en el análisis dinámico, se espera un valor cercano al 80% del estático para estructuras regulares y al menos un 85% para estructuras irregulares [9].

Tabla 4.40. Relación método estático – dinámico.

Cálculo de cortante basal			
Denominación	Tipo de sismo	Cortante basal	
		Kgr(X)	Kgr(Y)
SX	Estático	4495,4	1,622E-11
SY	Estático	1,509E-11	4495,4
SDX	Dinámico	3635,23	1,501E-05
SDY	Dinámico	6,513E-06	3952,67

Se emplean los valores obtenidos de la tabla 4.40, extraídos del programa CAE - SAP2000, para realizar el siguiente cálculo.

Tabla 4.41. Resultado método estático - dinámico.

Relación método dinámico – método estático	
Eje (UX)	Eje (UY)
$SDX \gg SX$ $\% = \frac{3635,23}{4495,4} = 0,8086 = 81\% OK$	$SDY \gg SY$ $\% = \frac{3952,67}{4495,4} = 0,879 = 88\% OK$

En nuestro estudio cumple la relación entre ambos métodos, es decir, el método dinámico debe ser al menos el 80% del método estático, tabla 4.41.

Derivas.

La NEC-15 (NEC-SE-DS) establece valores máximos de deriva en los siguientes casos, estos valores son expresados como porcentaje de la altura de piso por lo que son adimensionales:

Tabla 4.42. “Derivas NEC – SE – DS”.

Estructuras compuestas por:	Máximo [sin unidad]
Hormigón armado, estructuras metálicas, y de madera	0,02
Mampostería	0,01

Es esencial analizar las deformaciones para prevenir movimientos excesivos en la estructura. La función de la deriva es mantener la estabilidad y evitar daños en elementos no estructurales como ventanas y paredes, así como prevenir efectos p - delta. La altura de la estructura es un factor clave, ya que, a mayor altura, mayor tendencia a deformarse.

Deriva inelástica: se utiliza el sismo inelástico para encontrar el valor de la deriva inelástica Δi , el espectro más pequeño. La NEC-SE-DS nos menciona que la deriva elástica Δe máxima permitida es del 2%, deriva que viene con el sismo completo sin tomar en cuenta la reducción realizada, tabla 4.42 [7].

Se realiza un cálculo en Excel:

Deriva en el eje X.

Tabla 4.43. Derivas en el eje (X).

Piso	Altura	Desplazamiento absoluto	Desplazamiento relativo	Deriva Inelástica	Deriva Elástica
2	6,2	0,004	0,0014	0,000225806	0,000847: 0,08% OK
1	3	0,0026	0,0026	0,000866667	0,003250: 0,338% OK

Deriva en el eje Y.

Tabla 4.44. Derivas en el eje (Y).

Piso	Altura	Desplazamiento absoluto	Desplazamiento relativo	Deriva Inelástica	Deriva Elástica
2	6,2	0,0096	0,0068	0,001096774	0,00411: 0,41% OK
1	3	0,0028	0,0028	0,000933333	0,00350: 0,35% OK

Los valores del primer piso son los que se consideran. Según la tabla 4.43-4.44, si cumplen con el límite del 2% establecido por NEC-SE-DS. En caso contrario, se requiere intervenir en la estructura debido a problemas de rigidez insuficiente, sería necesario reforzar para evitar deformaciones excesivas mediante el aumento de secciones con mayor inercia [7].

4.1.8. Análisis de deformación de tecla (pórtico puente grúa).

Una vez cumplido los parámetros mencionados en las NEC-SE-DS, se realiza un análisis enfático del pórtico puente grúa, con una carga puntual de 1000 kg_f en el centro de la viga en el estudio de SAP2000. El software nos evidencia deformaciones, mediante el cual la máxima

deformación, encontrada es de $-0,0068m$ o $6,8\text{ mm}$, esta deformación se encuentra en la parte central en la que está ubicada el tecele, para validar el presente análisis se realizó cálculos y simulaciones aplicando cargas en la viga de estudio IP330 - VK, teniendo como resultado, los siguientes valores, obtenidos en la figura 4.23.

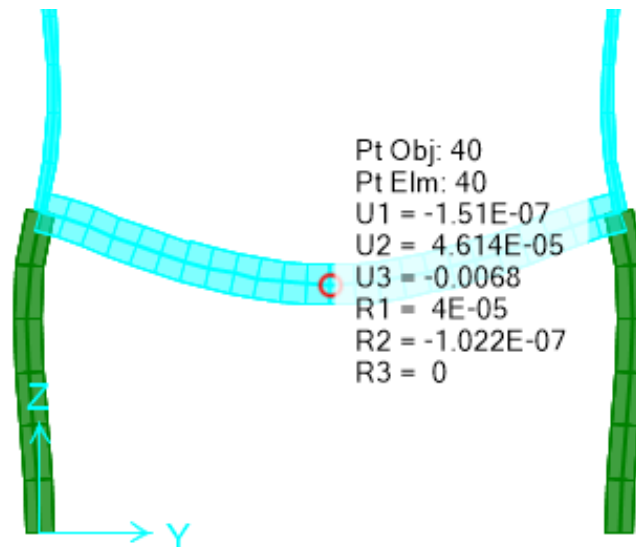


Figura 4.23. Deformación del pórtico puente grúa.

Eficiencia de la estructura

En la figura 4.24 se realiza el análisis demanda – capacidad, el mismo análisis muestra que tan cerca se encuentra el elemento de experimentar un fallo, es decir si la sección está excediendo su capacidad de carga, la capacidad del elemento se evalúa de acuerdo a diferentes situaciones como, condiciones de apoyo, y propiedades mecánicas de la sección.

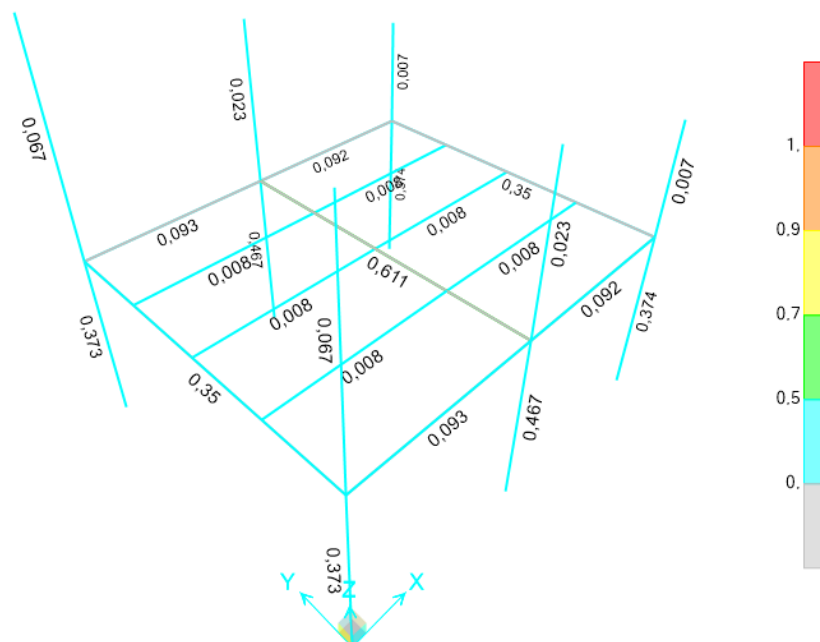


Figura 4.24. Análisis demanda – capacidad.

Análisis viga crítica.

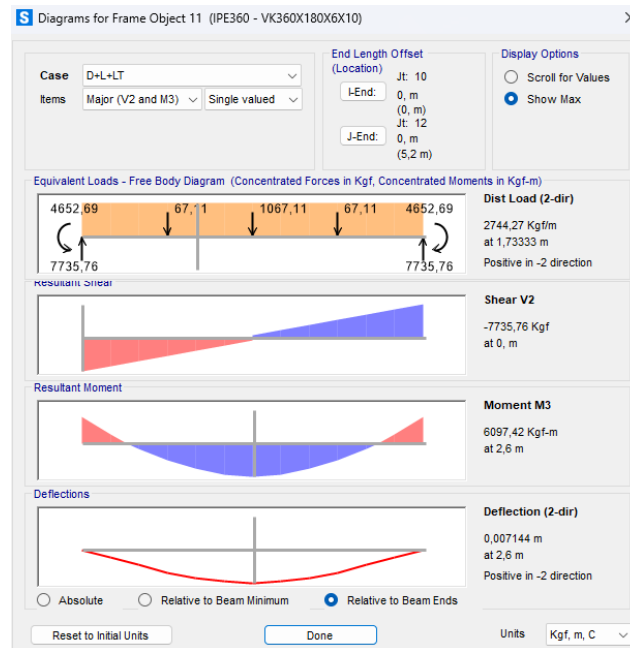


Figura 4.25. Resultados de reacciones y momentos SAP2000.

En la figura 4.25, se encuentra el resultado de fuerzas de la viga crítica, estos datos se tomaron de los diagramas de cortante y diagramas de momento generados por el software SAP 2000 basado en el diseño estructural. El DCL de la viga crítica, se comporta de la tal manera debido a que la combinación incluye al tecele en el pórtico.

Cortante:

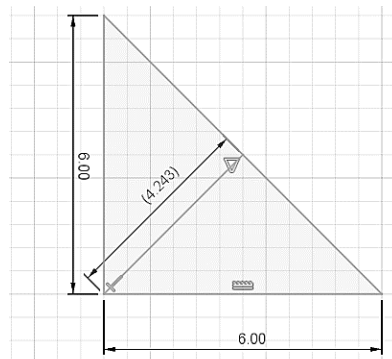


Figura 4.26. Filete de tamaño 6 mm.

$$\text{sen } 45 = \frac{g}{6}$$

$$g = 0,707 \cdot 6 = 4,242 \text{ mm}$$

$$A_1 = g \cdot L$$

$$A_1 = 4,242 \text{ mm} \cdot 340 \text{ mm} = 1442,28 \text{ mm}^2$$

$$V_{\text{máx}} = 7735,76 \text{ kgf} = 7,73 \text{ ton}$$

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

$$0,30 \cdot (\sigma E7018) = \frac{F}{1060,5 \text{ mm}^2}$$

$$F = 0,30 \cdot (480 \text{ MPa}) \cdot 1442,28 \text{ mm}^2$$

$$F = 207688,32 \text{ N} = 21,184 \text{ ton}$$

$$\therefore 21,184 \text{ ton} > 7,73 \text{ ton} : \text{OK}$$

Tracción

Sección de viga

IPE 360

$$\text{longitud de alma}(l) = h - 2 \cdot t$$

$$L = 360 - 2 \cdot (10) = 340 \text{ mm}$$

$$\text{Espesor de alma} = 6$$

$$A_2 = 180 \text{ mm} \cdot 10 \text{ mm} = 1800 \text{ mm}^2$$

$$\sigma A36 = 250 \text{ MPa}$$

$$F = 250 \text{ MPa} \cdot 1800 \text{ mm}^2 = 450000 \text{ N}$$

$$F = 45,9 \text{ ton}$$

$$\therefore 45,9 \text{ ton} > 7,73 \text{ ton} \text{ OK}$$

Diseño de juntas soldadas para conexiones.

Las diferentes juntas empleadas en las conexiones utilizando E7018 serán:

- uniones viga-columna
- viga-viga
- columna-placa base.

Placa base

Las bases de las columnas, compuestas de hormigón y una placa base de acero, aseguran la resistencia necesaria para soportar las cargas axiales, tanto máximas como habituales.

Para el dimensionamiento de placa base se acoge a los resultados de cargas axiales realizadas en los anteriores apartados y tomando en cuenta los cálculos que nos arroja el programa SAP 2000, apartado 3.5.9.

Placa base Pórtico 1 – Pórtico 3.

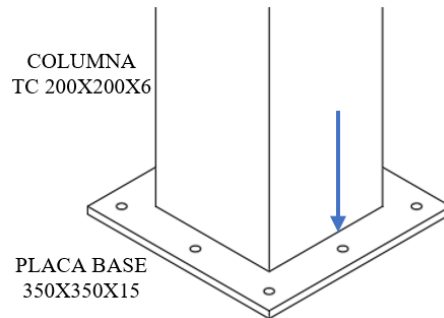


Figura 4.27. Forma de conexión de columna y placa base.

Considerando el espesor menor del material que se va a unir, en la figura 4.27 se presenta la unión Columna(6mm) – Placa base (15mm), se emplea una conexión soldadura de ranura PJP a compresión normal, tomando en cuenta PU, agregando un filete de refuerzo, revisar tablas 3.14-3.17, revisar anexo G [25].

Tabla de resultados:

Tabla 4.45. Datos de placa base.

Resultados placa base	
Dimensión longitudinal(N):	35cm
Dimensión transversal(B):	35cm
Material	ASTM A36
Espesor de placa	15mm
Soldadura de columna	E70XX
Tamaño de soldadura (PJP)	<i>PJP, filete reforzado</i>
Soporte o Pedestal	
Dimensión longitudinal	50cm
Dimensión transversal	50cm
Material	$f'c$ 210kg/cm ²
Ancla	
Tipo de ancla	Con cabeza, hexagonal
Ancla	5/8"
Longitud de ancla	30cm
Material	F1554 Gr105

Se visualiza en la tabla 4.45, los materiales y procesos que se debe realizar para la implementación de la placa base en las columnas que no pertenecen al pórtico del puente grúa.

Placa base Pórtico 2.

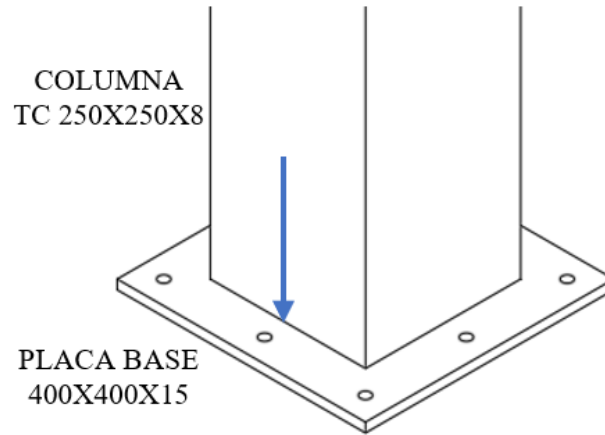


Figura 4.28 Conexión Columna – Placa base.

Considerando el espesor menor del material que se va a unir, en la figura 4.28 se presenta la unión Columna(8mm) – Placa base (15mm), se emplea una conexión soldadura de ranura PJP a compresión normal, tomando en cuenta PU, agregando un refuerzo de filete reforzado, revisar tablas 3.14-3.17, revisar anexo G [25].

Tabla de resultados:

Tabla 4.46. Datos de placa.

Resultados en la Placa Base	
Tamaño longitudinal(N):	40cm
Sección transversal(B):	40cm
Acero	ASTM A36
Espesor de placa	15mm
Soldadura de columna	E70XX
Dimensión de la soldadura (PJP)	<i>PJP</i> = <i>min. 5 mm - máx. 6mm</i>
Soporte o Pedestal	
Dimensión longitudinal	55cm
Dimensión transversal	55cm
Material	$f'c$ 210kg/cm ²
Ancla	
Tipo de ancla	Con cabeza, hexagonal
Ancla	5/8"
Longitud de ancla	30cm
Material	F1554 Gr105

Se visualiza en la tabla 4.49, los materiales y procesos que se debe realizar para la implementación de la placa base en la columna que pertenece al pórtico del puente grúa.

Conexión; Columna – Viga Pórtico 1 – Pórtico 3

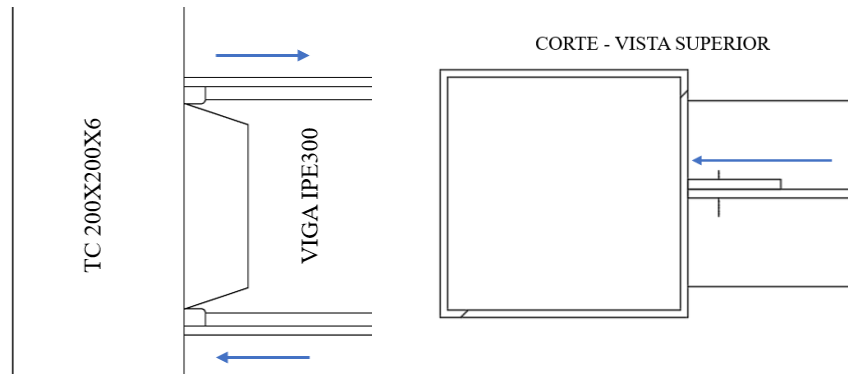


Figura 4.29. Conexión Columna – Viga principal.

Resultados de conexión simple; Columna 200X200X6 – Viga IPE300.

Tabla 4.47. Conexión Columna – Viga.

Resultados de la junta de conexión.	
Reacciones de tracción patín superior	5340,15 kg
Reacciones de compresión patín inferior	5340,15 kg
Conexión patín superior - columna	CJP, biselado, filete reforzado
Conexión patín inferior - columna	CJP, biselado, filete reforzado
Conexión alma - columna	CJP, biselado, filete reforzado
Conexión placa cortante - columna	PJP, biselado, filete reforzado
Conexión placa cortante – alma IPE300	Filete máx. 6: min 5 mm.

Considerando el espesor menor del material que se va a unir, en la figura 4.29 y tabla 4.47, se presenta la unión Columna(6mm) – Viga IPE300, se emplea una conexión soldadura de ranura CJP a tracción normal en el patín superior, y CJP a compresión normal en el patín inferior, tomando en cuenta la reacciones que se presentan en la conexión agregando un refuerzo de filete, además se emplea una conexión de alma Viga IPE300, agregando una placa de cortante de 8 mm, conexión CJP de cizallamiento(cortante) filete de refuerzo, revisar tablas 3.14-3.17, revisar anexo G [26].

Conexión; Columna - Viga Pórtico 2

Se emplea una conexión tipo anillo (collarín) lo cual utilizan placas que cubren la parte superior e inferior de la viga IPE 330 – VK y rodea a la columna, la conexión ofrecer varias ventajas cuando la viga se encuentra sometida a momento, ya a que el pórtico está destinado para el uso del puente grúa, revisar tablas 3.14-3.17, revisar anexo G [26].

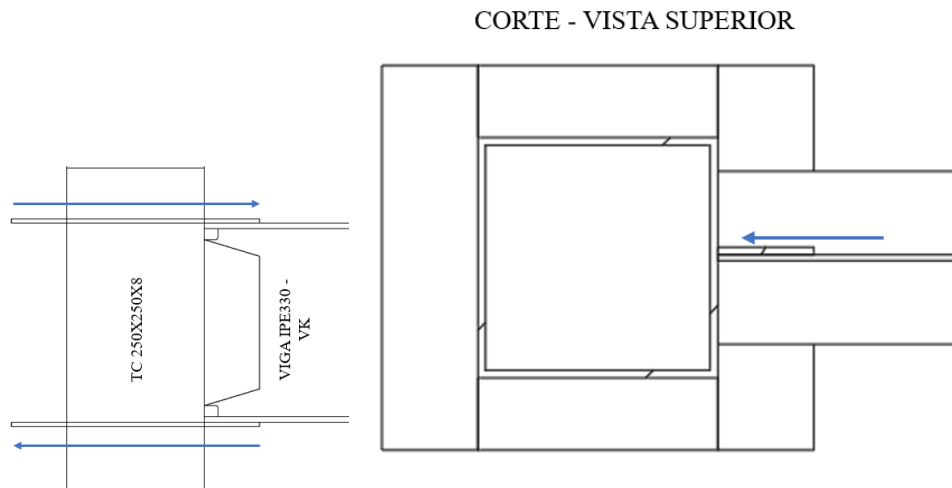


Figura 4.30. Conexión Columna – Viga IPE 330- VK.

Resultados de conexión anillo (collarín); Columna 200X200X8 – Viga IPE 330 – VK.

Tabla 4.48. Resultados de reacciones y momentos.

Resultados de junta de conexión.	
Reacciones de tracción patín superior	7735,76 kg
Reacciones de compresión patín inferior	7735,76 kg
Conexión placa patín superior - columna	CJP, biselado, filete reforzado
Conexión placa patín inferior - columna	CJP, biselado, filete reforzado
Conexión alma - columna	CJP, biselado, filete reforzado
Conexión placa cortante - columna	PJP, biselado, filete reforzado
Conexión placa cortante – alma IPE300	Filete máx. 6: mín. 5 mm.
Conexión placas – viga IPE330	Filete máx. 6: mín. 5 mm.

Considerando el espesor menor del material que se va a unir, en figura 30 y tabla 4.48 se presenta la unión Columna(8mm) – Viga IPE330 - VK, se emplea una conexión soldadura de ranura CJP a tracción normal en la placa y el patín superior, y CJP a compresión normal en la placa y el patín inferior, tomando en cuenta la reacciones que se presentan en la conexión agregando un filete de refuerzo, además se emplea una conexión de alma Viga IPE330 -VK, agregando una placa de cortante de 8 mm, conexión CJP de cizallamiento(cortante) filete de refuerzo, revisar tablas 3.14-3.17, revisar anexo G [27].

4.2. DIMENSIONAMIENTO ELÉCTRICO

4.2.1. Dimensionamiento de las cargas a instalarse

Se optó por realizar el diseño de los circuitos de luminarias y tomacorrientes que llevará la estructura. Para esto lo primero que se realiza el análisis de las cargas que van a instalarse

revisar anexo diagrama unifilar, utilizando la ecuación 12 se obtuvo la potencia del total instalada en el sistema sería de:

$$8400 W$$

y la intensidad total del sistema usando la ecuación 13 es de:

$$38 A$$

Tomando en cuenta un factor de servicio de 1.15 nos queda una intensidad total del sistema de:

$$43 A$$

4.2.2. Selección de la grúa

La grúa se ha seleccionado en función de las cargas de los equipos que se van a izar y movilizar, tenido estos equipos un peso máximo de 850kg, la grúa seleccionada pertenece al catálogo de KITO siendo el modelo (N)ERM010LD-L/S el más llamativo y completo para los requerimientos de la empresa, constando con una capacidad de Izaje de una tonelada, una elevación máxima de 3m, una longitud del cable de la botonera de 2,5 metros, una velocidad de elevación variable de 4,3m/min y 0,7 m/min, integrando para el caso del izaje un motor trifásico de un potencia de 1122 watts con un voltaje de 220v a 60 Hz y una corriente de 5.1A. Para el sistema de Traslación ocupa un motor de una potencia de 700 watts con un voltaje de 220v a 60Hz y una corriente de 3.2A [16].

Principalmente se escogió este modelo de grúa debido a una característica fundamental que las demás grúas no poseían, y es que este modelo nos permite variar el ajuste esta ajustarlo al ancho del patín de la viga IPE donde será montada, Tiene un rango de ajuste desde los 154mm hasta los 305mm cuya cualidad fue fundamental desde el inicio, ya que este nos permitía reajustar las dimensiones del perfil IPE sin tener que dimensionar una grúa para cada ancho de patín diferente únicamente, se debe cumplir que la viga soporte la capacidad de carga de la grúa teniendo esta un peso neto de máximo 79 kg, cumpliendo así que esta tenga un peso menor de 150 kg ya que es el resultante de la capacidad para la cual se diseñó la viga menos la carga del motor, aplicando así una carga máxima de 929 kg al pórtico del puente grúa, revisar anexo H.

4.2.3. Acometida principal

Para la acometida principal que alimentara el nuevo tablero de distribución de donde se alimentarán los distintos circuitos, por lo tanto, se dimensiona un termomagnético de 50A como protección principal del tablero de distribución esto en función a la potencia total que se va

instalar en el sistema. y un calibre de conductor número 8 THHN que soporta 50 amperios y una temperatura de 90° Celsius [23].

4.2.4. Circuito de luminarias

Para la estructura los circuitos de luminarias se han separado por pisos obteniendo así un circuito independiente en la planta baja y otro en el primer piso, para 6 luminarias de una potencia de 100 watts como se muestra en la siguiente figura.



Figura 4.31. Diagrama eléctrico de luminarias.

La potencia del circuito se obtuvo aplicando la ecuación 12 dándonos como resultado una potencia en cada uno de los circuitos de:

$$P_w = 600 W$$

Y una intensidad según la ecuación 13 de:

$$5 A$$

Para lo cual se dimensiona una protección de 16 A y un calibre de conductor número 16 THHN revisar anexo.

4.2.5. Circuito de tomacorrientes

De igual manera que los circuitos de luminarias se realizó 2 circuitos independientes cada uno de ellos diseccionados para 6 tomacorrientes de 200 watts como se muestra la figura 4.32.

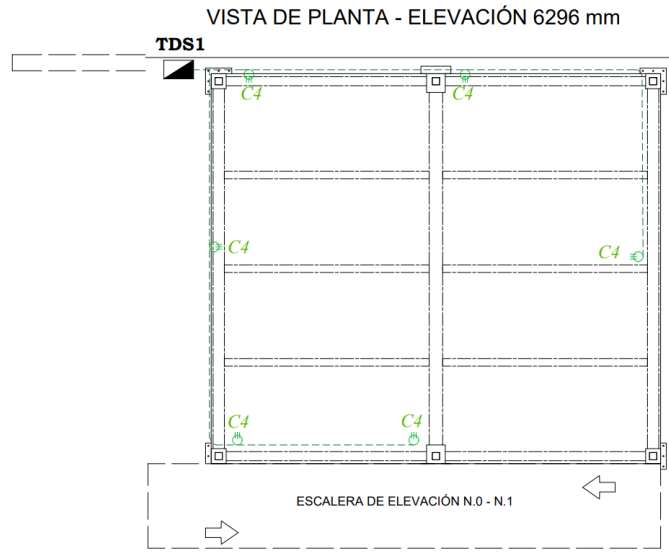


Figura 4.32. Diagrama eléctrico tomacorrientes 120V.

Utilizando las ecuaciones 12 y 13 se obtiene una potencia de 1200w y una intensidad de 10 amperios en cada uno de los circuitos, siguiendo las recomendaciones de la NEC-SB de instalaciones eléctricas, se ocupa una protección de 20A y calibre de conductor número 12 THHN [23].

4.2.6. Circuitos de cargas especiales

En la planta baja donde se ubica el taller mecánico se ha optado por colocar 4 tomas especiales de 220v de una potencia de 1200 watts para estas tomas especiales se ha decidido colocar una protección de 32 amperios y calibre de conductor 10 THHN debido a los picos altos de corriente que tienen ciertos equipos durante su arranque.

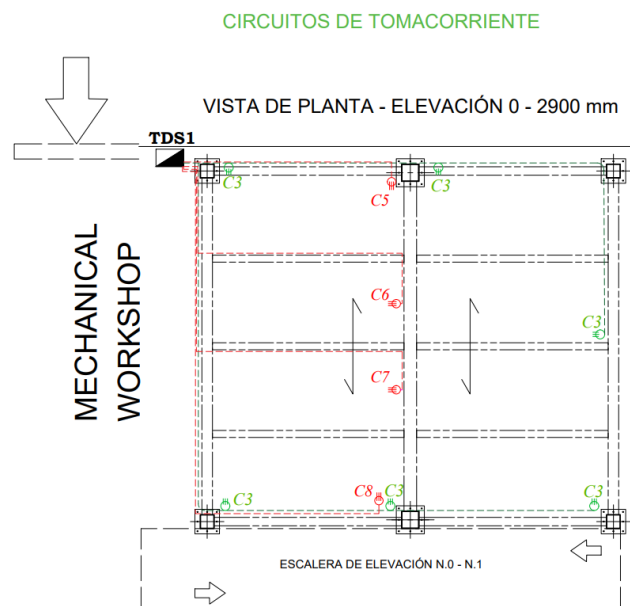


Figura 4.33. Diagrama eléctrico tomacorrientes 220V.

4.3. VALORACIÓN ECONÓMICA DEL PROYECTO

Al analizar detalladamente los costos asociados a la construcción del puente grúa para la empresa Pulpa Moldeada S.A., los cuales principalmente involucran el costo del acero ASTM A-36, transporte, mano de obra, viáticos y el costo mismo de la elaboración del diseño, se abren oportunidades clave específicas para este proyecto. Entre estas ventajas se encuentran la mejora financiera, la toma de decisiones informada, un control preciso de los gastos, la capacidad de negociación efectiva, una planificación logística eficiente, la optimización del uso de recursos, la reducción de riesgos financieros. Este enfoque se rige como una estrategia esencial para asegurar la ejecución exitosa del proyecto, brindando beneficios adaptados a las necesidades particulares de la empresa Pulpa Moldeada S.A. en la construcción del puente grúa.

Una vez identificada la cantidad de acero ASTM A-36 que se requiere para llevar a cabo la estructura revisar anexo J, se procede a determinar el costo del acero, el costo del transporte y la mano de obra calificada que se requiere para llevar a cabo el proyecto identificando así el costo total del mismo y el capital necesario que se requiere.

Tabla 4.49. Costos de la implementación.

Costos de la Estructura			
Costos	Costo por kilo	Cantidad (kg)	Costo total
Acero ASTM A-36	\$2,00	2953,43	\$5.906,88
Mano de obra Calificada	\$1,00	2953,43	\$2.953,44
Mano de obra más consumibles	\$1,30	2953,43	\$3.839,47
Diseño	\$0,20	2953,43	\$590,69
Transporte del material	\$0,03	2953,43	\$88,60
Costo total de la estructura sin insumos incluidos			\$9.539,60
Costo total de la estructura con los insumos incluidos			\$10.425,64
Costo por kilo de acero armado sin insumos			\$3,23
Costo por kilo de acero armado con insumos			\$3,53

Una vez identificado el costo que contempla la implementación de la estructura tomando en cuenta la tabla anterior se asumen que contratar al soldador que ya incluye los insumos en su tarifa de precio de 1.30 \$ por kilogramo de acero armado es la decisión más acertada ya que elimina todos los gastos ocultos y extras que se puedan generar, una vez analizado el costo de la estructura se realiza la selección de la grúa que se va instalar cumpliendo cada una de las siguientes propuestas con la capacidad de carga y requerimientos técnicos necesarios.

Tabla 4.50. Costo total de la implementación del puente grúa.

Costo del Puente Grúa			
Denominación	Capacidad	Altura de elevación	Costo
Tecele Eléctrico BP Polipasto BP01953	1200 kg	6 m	\$370,00
Tecele Eléctrico Polipasto KITO (N)ERMO0LD-L/S	1000 kg	3 m	\$1850,00
Tecele Manual Century 2T	2000 kg	3 m	\$66,00
Tecele Manual Century 4T70224	1000 kg	3 m	\$55,55
Costo total de la estructura con el tecele BP Polipasto BP01953			\$10.795,64
Costo total de la estructura con el tecele (N)ERMO0LD-L/S			\$12.275,64
Costo total de la estructura con el tecele Century 2T			\$10.491,64
Costo Total de la estructura con el tecele Century 4T70224			\$10.481,19

El costo total de la estructura varía depende del tipo de grúa que se llegara instalar, se recomienda instalar el Polipasto KITO (N)ERMO0LD-L/S, por su confiabilidad dado que cuenta con más características técnicas que han permitido realizar un análisis más profundo para su elección, mirar anexos catálogo de KITO.

El retorno de la inversión será progresivo, para esto se analizó la eliminación de gastos que generara el puente grúa que es la contratación de un montacargas para elevar y mover los generadores de 350kg y motores de 850kg, siendo el costo de contratación por hora de \$45, siendo necesarias al menos 6 horas de uso para el montacargas en un mantenimiento, el costo de este es de \$270.

Según el cronograma de actividades de la empresa se planea realizar uno o dos mantenimientos cada dos meses, teniendo un costo total de 3240\$ por el uso del montacargas en un año, la implementación del puente grúa tiene un costo total de 12275,64\$, esta inversión eliminará el costo de contratación del montacargas, con el ahorro de ese dinero la empresa recupera el valor de la inversión de manera progresiva en un lapso de 3 años con 9 meses y 15 días.

4.3.1. Impacto del Proyecto

El proyecto presentará un impacto económico de carácter moderado, ya que la implementación de un sistema electromecánico de izaje y movilidad mejora significativamente el proceso de mantenimiento. Esto se traduce en la eliminación de paradas innecesarias en la línea de producción, derivadas de los retrasos en el área de mantenimiento debido a la falta de entrega oportuna de motores y reductores. Este cambio se reflejará en un incremento notable de la productividad y las ganancias para la empresa.

Además de su impacto económico, el proyecto también tiene repercusiones sociales positivas. La introducción de este sistema conlleva mejoras sustanciales en las condiciones laborales, contribuyendo a la mitigación de los riesgos asociados al trabajo. Este aspecto no solo resguarda la salud y seguridad de los trabajadores, sino que también tiene el potencial de mejorar la percepción y reputación de la empresa en términos de responsabilidad social y compromiso con el bienestar de su personal.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- A través de la aplicación de la normativa ecuatoriana de construcciones en acero NEC-2015, la estructura opera a una capacidad del 50%, los perfiles principales de los pórticos, con especial énfasis en el pórtico central designado para el uso del puente grúa, funcionan a una capacidad del 61% de la resistencia del acero ASTM A-36. Este rendimiento se traduce en una deformación aproximada de 6-7 milímetros, respaldada por un factor de seguridad de 3,125, y se mantiene dentro del límite del 2% de la deriva permitido por la normativa vigente.
- La viga IPE330 o su semejante de KUBIEC, la cual soporta el puente grúa está sometida a un esfuerzo cortante de 75,86 kN (7735,76 kgf) y un momento de 45,16 $kN_f \cdot m$ (4604,92 $kg_f \cdot m$) según el software SAP2000, tomando en cuenta la carga dinámica de estudio, por ello se opta en utilizar conexiones tipo anillo evitando el pandeo local en las columnas, en la fase de construcción se utilizarán electrodos E7018 para garantizar la robustez y la integridad estructural de la conexión.
- La capacidad nominal de la estructura es de 29080 kg (29 t), tomando en cuenta la combinación dinámica de estudio (D+L+LT), siendo el valor nominal de la sobrecarga muerta de 9360 kg y de carga viva para el uso de bodegas 18720 kg, distribuida en los 31,2m² del área de la losa, considerando una carga puntual del puente grúa de 1000 kg en el pórtico gravitacional central.
- El costo del acero armado por kilogramo varía según el tipo de armado y el sistema de izaje utilizado, con un rango de (3,23 - 3,53) \$/kg de acero, se espera un retorno de inversión progresivo, cuya duración depende del sistema equipado por la empresa, con capacidades nominales de hasta 1 tonelada.

5.2. RECOMENDACIONES

- Realizar un estudio de suelo para determinar con precisión el nivel freático del mismo.
- Las juntas de conexión de las secciones soldadas deben ir únicamente soldadas con electrodos E7018.
- En caso de considerar la implementación futura de esta obra, se torna imperativo llevar a cabo un análisis económico actualizado de la estructura.
- Realizar un estudio de cargas de viento, lluvia, ceniza y nieve si se desea implementar la estructura a la intemperie.
- Ejecutar ensayos destructivos y no destructivos, utilizando probetas que simulen las juntas soldadas.
- El proceso de suelda de las juntas de conexión soldadas, únicamente deben ser realizadas por soldadores calificados.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

6.1. BIBLIOGRAFÍAS

- [1] D. A. Valencia, «NEC-SE-AC: Estructuras de Acero». Dirección de Comunicación Social, MIDUVI, 1 de diciembre de 2014. Accedido: 13 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/documentos-normativos-nec-norma-ecuatoriana-de-la-construccion/>
- [2] C. A. Ahumada, «Especificación ANSI/AISC 360-10 para Construcciones de Acero». Asociación Latinoamericana del Acero, 2010. [En línea]. Disponible en: <https://saavedraonline.files.wordpress.com/2016/10/aisc-360-2010-v22-espa.pdf>
- [3] Washington State, «International Building Code 2021 Edition». Olympia Washington. Accedido: 26 de julio de 2023. [En línea]. Disponible en: https://www.sbcc.wa.gov/sites/default/files/2023-04/2021%20IBC%20Insert%20Pages%201st%20Printing_0.pdf
- [4] Comité D1 de Soldadura Estructural de la Sociedad Americana de Soldadura (AWS), «Código de soldadura estructural— Acero». American Welding Society AWS D1.1/D1.1M:2020, 2020.
- [5] A. G. García, *Seguridad industrial*. Ecoe Ediciones, 2008.
- [6] Jack. C. McCORMAC y S. F. Csernak, *Diseño de estructuras de acero 5a. Edición*. 2012.
- [7] D. A. Valencia, «NEC-SE-DS: PELIGRO SÍSMICO Diseño Sismo Resistente parte 1». Dirección de Comunicación Social, MIDUVI, 1 de diciembre de 2014. Accedido: 23 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/documentos-normativos-nec-norma-ecuatoriana-de-la-construccion/>
- [8] D. A. Valencia, «NEC-SE-DS: PELIGRO SÍSMICO Diseño Sismo Resistente parte 2». Dirección de Comunicación Social, MIDUVI, 1 de diciembre de 2014. Accedido: 24 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en:

- <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/documentos-normativos-nec-norma-ecuatoriana-de-la-construccion/>
- [9] D. A. Valencia, «NEC-SE-DS: PELIGRO SÍSMICO Diseño Sismo Resistente parte 3». Dirección de Comunicación Social, MIDUVI, 1 de diciembre de 2014. Accedido: 25 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/documentos-normativos-nec-norma-ecuatoriana-de-la-construccion/>
- [10] D. A. Valencia, «NEC-SE-DS: PELIGRO SÍSMICO Diseño Sismo Resistente parte 4». Dirección de Comunicación Social, MIDUVI, 1 de diciembre de 2014. Accedido: 26 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/documentos-normativos-nec-norma-ecuatoriana-de-la-construccion/>
- [11] DIPAC MANTA S.A., «Productos de acero», DIPAC Productos de Acero. Accedido: 9 de julio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://dipacmanta.com/>
- [12] IMPORT ACEROS S.A., «IMPORT ACEROS», Catálogo de Productos. Accedido: 11 de julio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.importaceros.com/catalogo-perfiles-tuberias-acero/>
- [13] C. A. Ahumada, «Especificación ANSI/AISC 360-16 para Construcciones de Acero». Asociación Latinoamericana del Acero, 2010. [En línea]. Disponible en: https://www.canacero.org.mx/aceroenmexico/descargas/especificacion_para_construccion_es_de_acero-aisc_360-16.pdf
- [14] N. E Sánchez, «Guía de análisis y diseño estructural en mampostería integral por el método LRFD para la empresa Baico», Instituto Tecnológico de Costa Rica Escuela de Ingeniería en Construcción, Costa Rica, 2022. Accedido: 23 de agosto de 2023. [En línea]. Disponible en: https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/14040/TF9283_BIB307376_Nicole_Sanchez_Araya.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- [15] D. A. Valencia, «NEC-SE -CG: Cargas (No Sísmicas)». Dirección de Comunicación Social, MIDUVI, 1 de diciembre de 2014. Accedido: 18 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/documentos-normativos-nec-norma-ecuatoriana-de-la-construccion/>
- [16] KITO CORPORATION, «Polipastos / tecles eléctricos de cadena», KITO AMERICAS. Accedido: 18 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.kitoamericas.com/>
- [17] J. D. M.- Bautista, «Evolución de los softwares de simulación para el Diseño y Construcción en la Industria», *Polo Conoc.*, vol. 5, n.º 8, Art. n.º 8, ago. 2020, doi: 10.23857/pc.v5i8.1665.
- [18] M. A. Duarte, «Guía de Diseño 3: Guía práctica para el diseño de estructuras de acero de conformidad con la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC 2015». Imprenta Activa, 1 de septiembre de 2016. Accedido: 29 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/documentos-normativos-nec-norma-ecuatoriana-de-la-construccion/>
- [19] M. A. Duarte, «Guía de Diseño 1: Guía práctica de diseño de viviendas de hasta 2 pisos con luces de hasta 5 metros.» Imprenta Activa, 1 de septiembre de 2016. Accedido: 3 de agosto de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/documentos-normativos-nec-norma-ecuatoriana-de-la-construccion/>
- [20] NOVACERO S.A., «NOVACERO El Acero del Futuro», Líneas de Productos. Accedido: 10 de julio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.novacero.com/>

- [21] D. P. PAZMIÑO y D. X. PAZMIÑO, «Diseño sismo resistente de una estructura metálica para una vivienda de dos plantas con un área de construcción de 125 m² ubicada en la provincia de pichincha según norma NEC-155», UPS, Quito, 2022. Accedido: 15 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/23434>
- [22] J. A. Bustamante y Patricio Javier Jacome Correa, «Evaluación del comportamiento estructural mediante el método de elementos finitos de conexiones viga - columna sin y con rigidizadores sometidas a flexión», Tesis de grado, UPS, Quito, 2022. Accedido: 13 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/23453>
- [23] A. D. Sandoya, «NEC-SB-IE: Instalaciones Eléctricas». Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI), febrero de 2018. Accedido: 30 de octubre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/documentos-normativos-nec-norma-ecuatoriana-de-la-construccion/>
- [24] KUBIEC S.A., «KUBIEC Más que un Buen Acero», Categorías de Productos. Accedido: 10 de julio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://kubiec.com/>
- [25] M. F. Castillo, «Estudio de zonificación en base a la determinación de la capacidad portante del suelo en las cimentaciones de las viviendas del casco urbano de la parroquia la Matriz del cantón Patate provincia de Tungurahua», Tesis de grado, UTA, Ambato, 2017. Accedido: 30 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/25755>
- [26] C. G. Gallegos, «Estudio de las conexiones soldadas de columnas compuestas RCFT con vigas metálicas tipo I comúnmente usadas en Ecuador», Tesis de Mg, EPN, Quito, 2017. Accedido: 29 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19030>
- [27] H. H. Pillajo, «Evaluación de la conexión precalificada: viga de sección reducida – columna cajón relleno, para pórticos de momento a base de planchas de Acero A36 soldadas», Tesis de Mg, EPN, Quito, 2017. Accedido: 14 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/17493>