

Escuela Superior Politécnica del Litoral

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

Diseño Estructural de Galpón para Ensamblaje Metálico con Puente Grúa y
Energía Solar en Guayaquil.

INGE - 2893

Proyecto Integrador

Previo la obtención del Título de:

Ingeniero Civil

Presentado por:

Freddy Elian Valarezo Andrade

Carlos Daniel García Zambrano

Guayaquil - Ecuador

Año: 2025

Dedicatoria

Dedico este proyecto a mis padres, Fredy y Eliana, cuyo apoyo incondicional, amor y sacrificio han sido el motor que me impulsó a alcanzar cada una de mis metas.

A mis abuelos, Pablo y Aura, quienes con su ejemplo de vida me inspiran a perseverar. A mi querida Abuelita, Narcisa, que ha estado siempre cerca de mí brindándome su cariño y consejos. También, en memoria de mi abuelo, Wilmer, cuya ausencia física no impide que su recuerdo y enseñanzas sigan presentes en cada logro. A mis hermanos, con quienes comparto no solo lazos de sangre, sino también sueños y alegrías. A mi querida novia, Fátima, por su paciencia, compañía y motivación constante, que me han sostenido en los momentos más exigentes de este camino universitario. Y a toda mi familia, que siempre creyó en mí siendo una fuente de aliento y orgullo en cada paso de mi formación.

Dedicatoria

Dedico este proyecto a mis principales motores, Daniel y María, que gracias a sus esfuerzos eh podido llegar hasta este punto muy importante. A mis hermanos, que cada día ven en mí alguien a quien poder imitar y que deseo que sigan el mismo camino.

A mis abuelos, Alciviades y Pito, que desde el Cielo se alegran de este paso muy importante de su nieto. Y mis abuelas Lourdes y Olaya, que con todo su cariño siempre me alentaban a seguir mis metas.

A mi enamorada Cielito que desde que nos conocimos estuvo allí para darme todo su apoyo, su motivación y cariño.

A toda mi familia y amistades, que creyeron siempre en que este sueño se haría realidad y podría llegar hasta este punto de mi vida.

Carlos Daniel García Zambrano

Agradecimientos

A Dios por darme fuerza, sabiduría y resiliencia necesaria para culminar este proyecto y lograr convertirme en profesional.

A mi familia, en especial a mis padres, Fredy y Eliana, cuyo apoyo incondicional y confianza en mí han sido fundamentales para alcanzar este logro. Los amo.

A mis tíos, quienes me brindaron un hogar durante mi vida universitaria: a mis tíos Eduardo y Gema, mi tía Flor y mi tía Patricia. A todos ellos, mi más sincero agradecimiento por su hospitalidad y respaldo.

A mis amigos de mi territa Chone, que con su compañía hicieron más llevadero este camino.

De manera especial, a mis amigos del grupo “TEAM BARU”, con quienes compartí experiencias, aprendizajes y apoyo mutuo en momentos más importantes de la universidad.

Finalmente, a mis profesores y tutores, por sus conocimientos, enseñanzas y orientación, que han sido claves para mi desarrollo profesional.

~ Freddy Elian Valarezo Andrade

Agradecimientos

Agradezco a Dios por permitirme llegar hasta este momento, por la fuerza, paciencia y sabiduría. A mis padres que desde que les dije que deseaba estudiar esta carrera no dudaron en apoyarme, en ayudarme a tomar decisiones y darme fuerzas también para seguir adelante, gracias por todo, los amo mucho.

A mi familia, que cada día deseaba que pueda cumplir este sueño. A mi enamorada, que sigue mi misma carrera y no deja de apoyarme en todas las decisiones que tome y darme ese cariño que me complementa.

A mis abuelitos, los que desde el cielo celebran y siempre desearon lo mejor para mí, así como los de aquí en tierra que nunca paran de alentarme para seguir logrando metas.

A mis amistades, los de mi colegio, de la universidad, esos grupitos que siempre estuvieron para los momentos más complicados.

Finalmente, a los profesores y tutores, que,
gracias a sus enseñanzas y conocimientos, pude estar
hasta este punto muy importante.

Carlos Daniel García Zambrano

Declaración Expresa

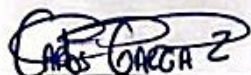
Nosotros Carlos Daniel García Zambrano y Freddy Elian Valarezo Andrade acordamos y reconocemos que:

La titularidad de los derechos patrimoniales de autor (derechos de autor) del proyecto de graduación corresponderá al autor o autores, sin perjuicio de lo cual la ESPOL recibe en este acto una licencia gratuita de plazo indefinido para el uso no comercial y comercial de la obra con facultad de sublicenciar, incluyendo la autorización para su divulgación, así como para la creación y uso de obras derivadas. En el caso de usos comerciales se respetará el porcentaje de participación en beneficios que corresponda a favor del autor o autores.

La titularidad total y exclusiva sobre los derechos patrimoniales de patente de invención, modelo de utilidad, diseño industrial, secreto industrial, software o información no divulgada que corresponda o pueda corresponder respecto de cualquier investigación, desarrollo tecnológico o invención realizada por nosotros durante el desarrollo del proyecto de graduación, pertenecerán de forma total, exclusiva e indivisible a la ESPOL, sin perjuicio del porcentaje que nos corresponda de los beneficios económicos que la ESPOL reciba por la explotación de nuestra innovación, de ser el caso.

En los casos donde la Oficina de Transferencia de Resultados de Investigación (OTRI) de la ESPOL comunique a los autores que existe una innovación potencialmente patentable sobre los resultados del proyecto de graduación, no se realizará publicación o divulgación alguna, sin la autorización expresa y previa de la ESPOL.

Guayaquil, 27 de mayo del 2025.



Carlos Daniel García Zambrano



Freddy Elian Valarezo Andrade

Evaluadores



M.Sc. Lenin Dender Aguilar

Profesor de Materia



M.Sc. Carlos Quishpe Otacoma

Tutor de proyecto

Resumen

El presente proyecto tiene como objetivo diseñar la estructura de un galpón industrial sostenible para una empresa metalmecánica en Guayaquil, integrando puente grúa y sistema fotovoltaico en la cubierta. La investigación se justifica en la necesidad de contar con espacios industriales funcionales y seguros que optimicen los procesos de fabricación, reduzcan costos operativos y minimicen el impacto ambiental. Para su desarrollo, se emplearon normas técnicas vigentes (NEC-SE-DS, NEC-SE-CG, AISC), herramientas de modelación estructural en SAP2000 y Tekla Structures, así como un análisis preliminar del suelo basado en registros geotécnicos cercanos al sitio. Se calcularon cargas gravitacionales, sísmicas y de operación del puente grúa, verificando la resistencia y rigidez de pórticos, columnas y vigas. Además, se estimó la capacidad de carga admisible del terreno a partir del registro de perforación disponible. Los resultados demostraron que la estructura cumplió con los requisitos de servicio y diseño, garantizando estabilidad frente a cargas sísmicas y de operación. Asimismo, se evidenció que la incorporación de paneles solares permite reducir costos de operación administrativa al abastecer las oficinas del complejo industrial. Se concluye que el diseño propuesto representa una alternativa estructural eficiente y sostenible, que integra funcionalidad, seguridad y energía limpia, contribuyendo al desarrollo industrial local.

Palabras Clave: galpón industrial, sostenibilidad, puente grúa, energía solar, diseño estructural.

Abstract

The objective of this project is to design the structure of a sustainable industrial warehouse for a metalworking company in Guayaquil, integrating a bridge crane and photovoltaic system into the roof. The research is justified by the need for functional and safe industrial spaces that optimize manufacturing processes, reduce operating costs, and minimize environmental impact. For its development, current technical standards (NEC-SE-DS, NEC-SE-CG, AISC), structural modeling tools in SAP2000 and Tekla Structures, as well as preliminary soil analysis based on geotechnical records near the site were used. Gravitational, seismic, and operating loads of the bridge crane were calculated, verifying the strength and stiffness of frames, columns, and beams. In addition, the permissible load capacity of the ground was estimated based on the available drilling records. The results showed that the structure met the service and design requirements, ensuring stability against seismic and operational loads. It was also shown that the incorporation of solar panels reduces administrative operating costs by supplying power to the offices of the industrial complex. It is concluded that the proposed design represents an efficient and sustainable structural alternative that integrates functionality, safety, and clean energy, contributing to local industrial development.

Keywords: *industrial warehouse, sustainability, bridge crane, solar energy, structural design.*

Índice general

Resumen	I
Abstract	II
Índice general	III
Abreviaturas	VII
Simbología	VIII
Índice de figuras	IX
Índice de tablas	XII
ÍNDICE DE PLANOS	XIII
Capítulo 1	1
1. Introducción	2
1.1 Antecedentes.....	3
1.2 Descripción del Problema.....	3
1.3 Justificación del Problema.....	4
1.4 Objetivos.....	7
1.4.1 Objetivo general	7
1.4.2 Objetivos específicos.....	7
Capítulo 2	9
2. MATERIALES Y MÉTODOS	10
2.1 Revisión de literatura.....	10
2.1.1 Estructuras industriales: características y funciones	10
2.1.2 Sistemas estructurales para galpones metálicos	11
2.1.3 Diseño sismorresistente de galpones industriales	11
2.1.4 Integración de puentes grúa en galpones industriales	12
2.1.5 Sistemas fotovoltaicos en cubiertas metálicas	13
2.1.6 Sostenibilidad e infraestructura industrial.....	14

2.2	Área de estudio	14
2.2.1	Ubicación geográfica.....	14
2.2.2	Área Geológica.....	16
2.2.3	Clima	17
2.2.4	Vientos	19
2.3	Trabajo de campo y laboratorio	21
2.3.1	Estudio de mecánica de suelos	21
2.4	Análisis de datos	24
2.5	Análisis de alternativas	26
2.5.1	Criterios de Evaluación	26
2.5.2	Planteamiento de Alternativas estructurales	28
2.5.3	Selección de la mejor alternativa	31
2.5.4	Restricciones del proyecto para la selección de la alternativa	32
Capítulo 3		33
3.	DISEÑOS Y ESPECIFICACIONES	34
3.1	Geometría de la estructura	34
3.2	Prediseño de los elementos estructurales.....	35
3.2.1	Análisis de Cargas	35
3.2.2	Comportamiento del pórtico idealizado	36
3.2.3	Predimensionamiento de los elementos	37
3.3	Análisis Estructural en SAP2000	38
3.3.1	Materiales y secciones.....	38
3.3.2	Asignación de Cargas.....	39
3.3.3	Análisis Modal	46
3.3.4	Participación de Masa	50
3.3.5	Derivas de Piso.....	51

3.3.6	Demanda/Capacidad.....	53
3.4	Diseño Estructural y Detallamiento de los Elementos Estructurales del Galpón.....	54
3.4.1	Diseño y detallamiento de los elementos de la cercha	54
3.4.2	Diseño y detallamiento de las columnas	58
3.4.3	Diseño de la Ménsula	61
3.4.4	Diseño de la Viga Carrilera	62
3.4.5	Diseño de la cimentación	64
3.5	Mezzanine de oficinas	68
3.6	Instalaciones de Agua Potables y Sanitarias.....	70
3.7	Instalaciones Eléctricas.....	71
3.8	Cálculo de la Demanda Eléctrica de los Paneles Solares	72
Capítulo 4		74
4.	ESTUDIO DEL IMPACTO AMBIENTAL	75
4.1	Descripción del proyecto (máximo de 300 palabras)	75
4.2	Línea base ambiental	76
4.3	Actividades del proyecto	76
4.4	Identificación de impactos ambientales.....	78
4.5	Valoración de impactos ambientales	79
4.6	Medidas de prevención/mitigación.....	79
Capítulo 5		81
5.	PRESUPUESTO	82
5.1	Estructura Desglosada de Trabajo	82
5.2	Especificaciones Técnicas	82
5.3	Rubros y análisis de precios unitarios	83
5.4	Cantidades de obra (Revisar).....	83
5.5	Costo del proyecto	86

5.6	Cronograma de obra	86
Capítulo 6		87
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	88
6.1	Conclusiones.....	88
6.1.1	Objetivo General	88
6.1.2	Condición Geotécnica y Sismo	88
6.1.3	Modelo estructural y cargas	88
6.1.4	Demanda sísmica y periodos.....	88
6.1.5	Derivas y desempeño	89
6.1.6	Resistencia de Miembros	89
6.1.7	Elementos especiales.....	89
6.1.8	Cimentaciones	89
6.1.9	Selección de Alternativa.....	89
6.2	Recomendaciones	89
7.	REFERENCIAS	91
PLANOS Y ANEXOS		94

Abreviaturas

ESPOL Escuela Superior Politécnica del Litoral

ASTM American Society for Testing and Materials

NACE National Association of Corrosion Engineer

SSC Electrodo de Plata Cloruro de Plata

CSE Electrodo de Cobre Sulfato de Cobre

HWL High Water Level

LWL Low Water Level

CIS Inspección pasó a paso, medición de potenciales de encendido

MPY Milésimas de pulgadas por año

Simbología

mil	Milésima de pulgada
mg	Miligramo
pH	Potencial de Hidrógeno
m	Metro
mV	Milivoltio
Cu	Cobre
Ni	Níquel
C	Carbono
Mn	Manganeso
P	Fósforo

Índice de figuras

Figura 1. <i>Perfiles expuestos al ambiente en el terreno de METAL INDUSTRIAL JOSÉ CAMPUZANO S.A.</i>	5
Figura 2. <i>Camión obstaculizando el tráfico en la vía principal de METAL INDUSTRIAL JOSÉ CAMPUZANO S.A.</i>	5
Figura 3. <i>Chozas metálicas para sandblasting en METAL INDUSTRIAL JOSÉ CAMPUZANO S.A.</i>	6
Figura 4. <i>Ubicación geográfica de las instalaciones de METAL INDUSTRIAL JOSÉ CAMPUZANO S.A.</i>	15
Figura 5. <i>Mapa geográfico con coordenadas de terreno de construcción [GOOGLE EARTH].</i>	15
Figura 6. <i>Hoja Geológica Guayaquil (Instituto de Investigación Geológico y Energético (IIGE), 2018).</i>	16
Figura 7. <i>Perfil Geológico según la ubicación de Mapasingue Oeste</i>	17
Figura 8. <i>Mapa de Alerta por Lluvias, tormenta y viento (INAMHI, 2025)</i>	18
Figura 9. <i>Tiempo histórico de Viento de los últimos 12 meses (MSN El Tiempo, 2025)</i>	19
Figura 10. <i>Tiempo histórico de Viento año 2024 (MSN El Tiempo, 2025)</i>	20
Figura 11. <i>Ubicación aledaña del sitio del registro de perforación, sector General Quisquis</i>	22
Figura 12. <i>Sondeos y registro de perforación realizados en el sector General Quisquis</i>	22
Figura 13. <i>Visita Técnica a METAL INDUSTRIAL JOSÉ CAMPUZANO</i>	25
Figura 14. <i>Diseño geométrico del galpón industrial con columnas y vigas de celosía (tipo cercha)</i>	28
Figura 15. <i>Diseño geométrico del Galpón industrial con columnas y vigas de alma llena (perfil tipo I)</i>	29
Figura 16. <i>Diseño geométrico del Galpón industrial con columnas cuadradas de alma llena y vigas de celosía.</i>	30
Figura 17. <i>Geometría de la Estructura en SAP2000</i>	35
Figura 18. <i>Diagrama de Momento obtenido por SAP2000</i>	37
Figura 19. <i>Diagrama de Cortante obtenido por SAP2000</i>	37
Figura 20. <i>Carga viva de techo asignada a las correas en SAP2000</i>	40
Figura 21. <i>Sobrecarga impuesta asignada a las correas en SAP2000</i>	41

Figura 22. Carga de Viento Barlovento asignada a las columnas y cordones superiores en SAP2000	41
Figura 23. Carga de Viento Sotavento asignada a los cordones inferiores en SAP2000	42
Figura 24. Detalles del puente grúa monorriel - Catálogo del Fabricante de Puente Grúa ABUS	43
Figura 25. Plano de puente grúa monorriel de 10 Ton - Catálogo del Fabricante de Puente Grúa ABUS	43
Figura 26. Carga puntual de 16 TON debido a la carga izada máxima y el peso del polipasto ...	44
Figura 27. Representación de la acción del puente grúa mediante cargas equivalentes aplicadas en las columnas	45
Figura 28. Espectro Elástico e inelástico para un suelo tipo D en Guayaquil	46
Figura 29. Periodo Fundamental según la NEC-SE-DS 2015	47
Figura 30. Primer modo de vibración de la estructura en SAP2000. Traslación Pura en dirección X	48
Figura 31. Segundo modo de vibración de la estructura en SAP2000. Traslación Pura en dirección Y	48
Figura 32. Tercer modo de vibración de la estructura en SAP2000. Rotación Pura	49
Figura 33. Participación de Masa Modal según la NEC-SE-DS	50
Figura 34. Desplazamientos máximos en el pórtico debido al sismo estático en dirección X	51
Figura 35. Desplazamientos máximos en el pórtico debido al sismo estático en dirección Y	51
Figura 36. Diseño de los perfiles de acero A36 conformados en caliente en SAP2000, vista 3D	53
Figura 37. Diseño de elementos Cold Formed, de correas, establecidas en SAP2000	53
Figura 38. Diseño de los elementos conformado en caliente - SAP2000, vista lateral	54
Figura 39. Diseño de los elementos de la cercha bajo la normativa AISC 360 - 10	55
Figura 40. Detallamiento de los elementos de la cercha en Tekla Estructures	57
Figura 41. Detallamiento de la unión entre 2 perfiles C de la cercha en Tekla Estructures	57
Figura 42. Detallamiento de la sección de la columna a partir de 2 canales C hechos por flejes y platina de respaldo	60

Figura 43. <i>Detallamiento de la columna con ménsula a partir de 2 canales C y platina de respaldo</i>	60
Figura 44. <i>Detallamiento y dimensiones de la ménsula</i>	61
Figura 45. <i>Detallamiento y perfiles A572-50 de la ménsula</i>	62
Figura 46. <i>Modelamiento de la viga carrilera en Tekla Structures</i>	63
Figura 47. <i>Detallamiento y perfiles A572-50 de la viga carrilera</i>	64
Figura 48. <i>Carga Axial P y momentos Mx y My impuesta en el plinto con mayor demanda</i>	65
Figura 49. <i>13 varillas de $\phi 12\text{mm}$ @ 14.5cm en la dirección X del plinto</i>	66
Figura 50. <i>Vista Lateral del plinto en dirección X. Longitud del gancho 18 cm</i>	66
Figura 51. <i>14 varillas de $\phi 12\text{mm}$ @ 14.5cm en la dirección Y del plinto</i>	67
Figura 52. <i>Vista Lateral del plinto en dirección Y. Longitud del gancho 18 cm</i>	67
Figura 53. <i>Modelamiento del Mezzanine destinado para oficinas en Tekla Structures</i>	69
Figura 54. <i>Detallamiento de la Novalosa</i>	69
Figura 56. <i>Peso Total en Kg de la estructural principal del Galpón Industrial</i>	84
Figura 57. <i>Peso Total en Kg de la estructural secundaria del Galpón Industrial</i>	85
Figura 58. <i>Peso Total en Kg de la estructura de Mezzanine para oficinas del Galpón Industrial</i>	85

Índice de tablas

Tabla 1. <i>Coordenadas del terreno de METAL INDUSTRIAL JOSÉ CAMPUZANO</i>	16
Tabla 2. <i>Cálculo de la capacidad portante del suelo a partir del q_u de resistencia a la compresión simple</i>	23
Tabla 3. <i>Nivel de importancia de los criterios de evaluación con respecto a las necesidades del cliente</i>	27
Tabla 4. <i>Matriz de Evaluación de alternativas</i>	31
Tabla 5. <i>Cargas gravitacionales de la estructura de galpón</i>	35
Tabla 6. <i>Carga Máxima total de servicio de la estructura de galpón</i>	36
Tabla 7. <i>Carga lineal aplicada sobre el pórtico idealizado</i>	36
Tabla 8. <i>Perfiles obtenidos del prediseño</i>	38
Tabla 9. <i>Materiales y secciones de la estructura del galpón industrial</i>	39
Tabla 10. <i>Factores de zona para construcción del espectro sísmico</i>	46
Tabla 11. <i>Cálculo del periodo Manual (Método 1)</i>	47
Tabla 12. <i>Periodo fundamental de la estructura mediante el método 2</i>	49
Tabla 13. <i>Participación de Masa Modal</i>	50
Tabla 14. <i>Desplazamientos articulares de nodos del pórtico debido a sismos y combinaciones de carga</i>	52
Tabla 15. <i>Control de derivas de piso</i>	52
Tabla 16. <i>Datos de comprobación de esfuerzos del acero en SAP2000</i>	55
Tabla 17. <i>Propiedades mecánicas y geometría de la columna para el galpón</i>	58
Tabla 18. <i>Cálculo de la sección compacta o sísmicamente compacta de la columna cajón</i>	58
Tabla 19. <i>Chequeo de presiones en dirección X y Y del plinto</i>	65

ÍNDICE DE PLANOS

PLANO 1 Plano General

PLANO 2 Planos de Conjunto

PLANO 3 Plano Sanitario

PLANO 4 Plano Eléctrico

Capítulo 1

1. INTRODUCCIÓN

El diseño de galpones metálicos es fundamental en la infraestructura industrial moderna debido a su versatilidad, rapidez de montaje y durabilidad. Según Taipe (2014) las estructuras metálicas prefabricadas representan una solución eficiente que combina resistencia estructural con costos operativos reducidos. Además, estudios como los de Khan et al. (2023), señalan que este tipo de construcciones pueden reducir hasta en un 50 % los tiempos de ejecución en comparación con métodos tradicionales, lo que resulta clave para empresas que buscan mejorar su productividad y adaptarse rápidamente a las demandas del mercado. Por otro lado, estas estructuras facilitan la flexibilidad para futuras ampliaciones o modificaciones, lo que es especialmente valioso para sectores dinámicos como el metalmecánico.

El presente trabajo tiene como finalidad el diseño de un galpón industrial para una empresa metalmecánica ubicada en Guayaquil, Ecuador. Esta empresa se especializa en el suministro, fabricación, montaje y mantenimiento de estructuras metálicas, incluyendo labores como la eliminación de oxidación y el reemplazo de piezas dañadas. Actualmente, opera en un terreno abierto sin protección, lo que limita su capacidad operativa y expone sus actividades a las condiciones climáticas. El diseño propuesto busca ofrecer un espacio funcional, cubierto y seguro que permita ampliar la capacidad productiva y optimizar el uso del terreno disponible.

Desde la perspectiva académica y profesional, este proyecto es una oportunidad para aplicar y consolidar conocimientos de Ingeniería Civil, especialmente en diseño estructural, selección adecuada de materiales y cumplimiento de normativas técnicas vigentes. Además, el desarrollo del galpón permitirá al autor fortalecer competencias en proyectos reales que demandan soluciones prácticas y eficientes, contribuyendo al crecimiento profesional y a la generación de valor para el entorno industrial local.

1.1 Antecedentes

La empresa METAL INDUSTRIAL JOSÉ CAMPUZANO S.A. fue fundada en el año 2004 por el señor José Campuzano. Todo comenzó como un pequeño taller en el sur de Guayaquil, impulsado por su experiencia y conocimientos en la fabricación de estructuras metálicas. Poco a poco, y gracias al esfuerzo constante y la calidad del trabajo, la empresa fue creciendo y posicionándose en el sector metalmecánico. Hoy en día, se encuentra establecida en una zona industrial por la vía a Daule, en Guayaquil, desde donde opera de manera más organizada y con mayor capacidad.

Actualmente, la empresa se dedica a la fabricación, montaje y mantenimiento de estructuras metálicas, brindando sus servicios a clientes industriales, constructores y particulares que requieran soluciones en metal. Cuenta con un galpón adecuado para la producción y con un terreno adicional recién adquirido, ubicado justo al lado, que permitirá futuras ampliaciones. Aproximadamente 30 personas forman parte de su equipo de trabajo, lo que ha permitido mantener un nivel de producción constante y eficiente. El diseño del nuevo galpón que se plantea en este proyecto busca apoyar el crecimiento de la empresa, mejorar la operatividad y facilitar el manejo de estructuras de mayor tamaño mediante la incorporación de un puente grúa.

1.2 Descripción del Problema

METAL INDUSTRIAL JOSÉ CAMPUZANO S.A. actualmente realiza sus procesos de ensamblaje de estructuras metálicas en un patio de tierra, lo que afecta la seguridad, calidad y productividad del trabajo. Actividades como soldadura se ejecutan en condiciones inadecuadas, y los perfiles se pintan en las veredas, exponiéndose a la humedad, al polvo y peatones que puedan circular alrededor del sector. Cuentan con montacargas para el izaje de estructuras, pero estos presentan dificultades de operación, porque el terreno de tierra provoca que las llantas patinen o

se estanquen en la tierra debido a que se forma lodo por el estancamiento de agua en épocas lluviosas.

Por otra parte, los tráileres que transportan el material deben detenerse en plena vía pública, obstruyendo el tránsito mientras cargan o descargan los perfiles o estructuras. Además, las oficinas administrativas presentan un alto consumo energético por deficiencias en iluminación y ventilación. Estas condiciones evidencian la necesidad urgente de un galpón industrial con: piso de hormigón, área de maniobra, puente grúa y un diseño estructural adecuado. Además, se plantea incluir sistemas fotovoltaicos en la cubierta para reducir el consumo energético en oficinas, y colocar cubiertas translúcidas para mejorar la iluminación dentro de todo el galpón.

Esta problemática potencialmente padece otras empresas que se dedican a la metalmecánica, ya que carecen de la infraestructura adecuada para su productividad en taller. Este proyecto busca optimizar la operación, aumentar la seguridad y productividad, y reducir costos operativos de manera sostenible.

1.3 Justificación del Problema

Actualmente, la empresa metalmecánica no dispone de una infraestructura adecuada para el manejo, almacenamiento y procesamiento de materiales metálicos, lo cual genera condiciones operativas desfavorables que afectan tanto la seguridad como la productividad. En la Figura 1, se observa que los perfiles de acero son almacenados directamente sobre un terreno sin compactar, sin protección contra la humedad ni delimitación de zonas de trabajo, lo que favorece su deterioro prematuro, incrementa los riesgos laborales y dificulta las tareas de selección y manipulación de material. Además, los trabajos de corte y soldadura se realizan en este mismo entorno, exponiendo al personal y a los equipos a condiciones inadecuadas.

Figura 1.

Perfiles expuestos al ambiente en el terreno de METAL INDUSTRIAL JOSÉ CAMPUZANO S.A.



Por otro lado, se ha identificado que las maniobras logísticas, como el ingreso de camiones con plataformas de carga, generan congestión vehicular en los alrededores del acceso principal, debido a la falta de un espacio interno que permita una adecuada circulación y descarga de materiales pesados.

Figura 2.

Camión obstaculizando el tráfico en la vía principal de METAL INDUSTRIAL JOSÉ CAMPUZANO S.A.



Asimismo, el proceso de sandblasting, fundamental para el tratamiento superficial de estructuras metálicas, se realiza actualmente en una choza metálica improvisada, con condiciones de seguridad, ventilación y ergonomía claramente deficientes.

Figura 3.

Chozo metálica para sandblasting en METAL INDUSTRIAL JOSÉ CAMPUZANO S.A.



Estas situaciones evidencian la necesidad urgente de diseñar un galpón industrial moderno y funcional, que integre un sistema estructural eficiente, espacio para el funcionamiento de un puente grúa y zonas destinadas al almacenamiento, soldadura y granallado de materiales. El poseer

este tipo de espacios impacta directamente la productividad en serie, ya que, al no tener las condiciones adecuadas, el proceso de fabricación no tendrá la mejor calidad.

La incorporación de sistemas fotovoltaicos en la cubierta permitirá además abastecer energéticamente las oficinas adyacentes, fomentando la sostenibilidad operativa. También ayudará a obtener reservas de energías para cuando ocurran los apagones que suelen ocurrir en el país, volviendo un negocio resiliente. Esta intervención no solo busca mejorar la calidad de los procesos internos, sino también garantizar un entorno más seguro, ordenado y eficiente para los trabajadores, alineado con los objetivos de desarrollo sostenible y las exigencias del sector industrial en Guayaquil.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

- Diseñar un galpón industrial sostenible para una empresa metalmecánica en guayaquil, integrando un puente grúa y sistemas fotovoltaicos en la cubierta, mediante el uso de técnicas de diseño eficiente y energéticamente sostenible; para la optimización de procesos operativos, reducción de costos energéticos y la minimización del impacto ambiental, contribuyendo así al desarrollo sostenible de la empresa.

1.4.2 Objetivos específicos

1. Diseñar la estructura de un galpón industrial aplicando criterios técnicos actualizados y herramientas de análisis estructural, con el fin de asegurar su comportamiento adecuado y funcionalidad de la edificación.
2. Desarrollar un modelo digital del proyecto en un entorno BIM, mediante la integración de información arquitectónica y estructural con el uso de software especializado; para la coordinación entre disciplinas y facilitando así la toma de decisiones en obra.

3. Elaborar un presupuesto completo a partir del análisis de cantidades de obra insumos y tiempos de ejecución, con el propósito de la obtención de un flujo de caja que permita una planificación financiera eficaz a lo largo del proceso constructivo.
4. Redactar una memoria técnica que contenga todos los aspectos relevantes del diseño y ejecución del proyecto, siguiendo los lineamientos establecidos por la normativa local; para la redacción formal y técnica de la documentación requerida ante el municipio.

Capítulo 2

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Revisión de literatura

En la ciudad de Guayaquil – Ecuador, se ha notado un fuerte desarrollo de galpones y bodegas industriales impulsada por el auge del comercio electrónico y las necesidades logísticas asociadas. La construcción de “bodegas corporativas” con espacios combinados de almacenamiento y oficinas ha crecido notablemente, especialmente tras un aumento del 40 % en ventas online entre 2019–2020, según informes del sector inmobiliario (Coba, 2021).

Para la construcción de galpones industriales en regiones sísmicas como la franja costera de Ecuador, no solo se deben considerar las demandas laterales de las fuerzas sísmicas, sino también los efectos verticales en el diseño junto con las combinaciones de carga extremas, particularmente cuando se incluye equipo industrial como puente grúa (Valdés et al., 2021).

En este contexto, muchas investigaciones internacionales y nacionales han contribuido a la comprensión técnica del comportamiento de estas estructuras bajo diversas condiciones.

2.1.1 Estructuras industriales: características y funciones

Un galpón o nave industrial es una edificación de gran tamaño, por lo general de una sola planta, diseñada para actividades industriales como: producción, almacenamiento o ensamblaje. Estas estructuras se caracterizan por su diseño funcional, que permite espacios amplios y sin obstáculos internos, lo que facilita la movilidad y operación de maquinaria y personal (Chudley & Greeno, 2010). Por lo general, estas estructuras se construyen con perfiles de acero, debido a su facilidad constructiva y buen desempeño ante cargas dinámicas y sísmicas.

De acuerdo con la Universidad Técnica Federico Santa María, un galpón estructural es una construcción destinada a albergar procesos industriales específicos, como cámaras de refrigeración, y su diseño debe considerar aspectos como la resistencia estructural y la eficiencia en la distribución del espacio (Seguel, 2005).

2.1.2 Sistemas estructurales para galpones metálicos

Entre los sistemas estructurales más utilizados en galpones metálicos destacan los marcos resistentes a momento, las cerchas, y el sistema Steel Framing. Fajardo et al. (2023) compararon dos sistemas aplicados en la costa ecuatoriana: el sistema tradicional con perfiles laminados en caliente y el sistema moderno de Steel Framing que usa perfiles conformados en frío de bajo espesor. Concluyeron que este último no solo cumplía con los requisitos de derivas establecidos por la NEC-15 y ASCE 7, sino que representaba un ahorro económico del 16% sin comprometer la seguridad estructural.

Por otro lado, Ahiwale & Khartode (2021) realizaron un estudio paramétrico de una cercha de acero de 25 m de luz, sometida a análisis dinámico no lineal. Se observó que el componente vertical del sismo puede aumentar hasta un 123% los esfuerzos axiales en los cordones inferiores, lo cual refuerza la necesidad de seleccionar correctamente el sistema estructural para galpones de gran luz.

Asimismo, Suwondo et al. (2024) compararon dos configuraciones: sistemas de marcos resistentes a momento ordinario (OMRFS) e intermedios (IMRFS), diseñados según la normativa SNI 1726. Aunque ambos sistemas mostraron comportamientos similares en términos de esfuerzo interno, el OMRFS resultó hasta 4.5% más económico, destacando su eficiencia en regiones de sismicidad moderada como Guayaquil.

2.1.3 Diseño sismorresistente de galpones industriales

El diseño sismorresistente en estructuras de gran luz es un aspecto crítico, especialmente en zonas como la costa ecuatoriana o Chile. Rusek et al. (2020) aplicaron el método espectral del Eurocódigo 8 a una nave existente sin diseño sismorresistente, mostrando que incluso en estructuras con documentación incompleta es posible evaluar su desempeño mediante modelos por elementos finitos y registros sísmicos reales.

Por su parte, Lisperguier et al. (2023) evaluaron el comportamiento sísmico de una nave metálica con pórticos resistentes a momento y puente grúa interior, ubicada en Viña del Mar. Usando análisis Pushover, Time-History y el método N2 (Fajfar), concluyeron que los métodos tradicionales coinciden en que la dirección transversal es más dúctil. Sin embargo, el método N2 fue inconsistente y poco representativo en esta tipología. Además, se evidenció que la carga del puente grúa no modificó sustancialmente el desempeño sísmico, siempre que se incluya adecuadamente en el modelo estructural.

2.1.4 Integración de puentes grúa en galpones industriales

Los puentes grúa son dispositivos mecánicos esenciales en instalaciones industriales, empleados para izar y transportar cargas en el plano horizontal. Su presencia introduce cargas móviles verticales y horizontales que deben considerarse desde el diseño. Según Lisperguier et al. (2023), aunque el puente grúa no alteró significativamente el comportamiento sísmico global del galpón analizado, sí generó una distribución de masas asimétrica que puede afectar la respuesta dinámica. Para ello, se modelaron cargas máximas y mínimas en posiciones opuestas, considerando tanto análisis estáticos como dinámicos no lineales.

Almeida et al. (2022) realizaron un estudio del diseño estructural de un galpón industrial de acero con puente grúa, empleando análisis estático lineal a través del software SAP2000. Se evaluaron las acciones gravitacionales, eólicas y aquellas inducidas por la operación de la grúa, como las fuerzas de frenado longitudinal y transversal del carro y el puente. El proyecto contempló un sistema de celosía en cubierta, columnas con bayonetas y una viga carrilera (bearing beam) dimensionada para soportar las cargas de impacto según normativa brasileña. Se analizaron 308 combinaciones de carga, de las cuales 80 fueron consideradas críticas. La inclusión del puente grúa no solo implicó una complejidad adicional en los esfuerzos internos, sino también en los requerimientos de rigidez y estabilidad del marco estructural.

Adicional a eso, Richard et al. (2011) analizaron la respuesta sísmica de estructuras industriales con soporte para puentes grúa, utilizando análisis estático equivalente, espectral y dinámico tiempo-historia. El estudio incluyó dos puentes grúa de 40 toneladas cada uno en estructuras ubicadas en zonas de alta sismicidad como Vancouver y Seattle. Se evidenció que, aunque los métodos actuales estiman bien los desplazamientos, subestiman los esfuerzos internos en columnas críticas. Además, se identificó una demanda inelástica significativa que puede superar la capacidad estructural, especialmente en sistemas de baja ductilidad. El estudio evidencia la necesidad de ajustar los factores de modificación sísmica en normativas, dado que éstos podrían inducir errores en el diseño si no se consideran modos de vibración superiores y condiciones reales de operación.

Por su parte, Lehner et al. (2019) realizaron un análisis de fatiga en una estructura real de soporte de puente grúa construida en los años 1920 en la República Checa. Se utilizó un modelo tridimensional del entramado con elementos remachados sometidos a cargas cíclicas, integrando simulaciones Monte Carlo y el conteo de ciclos tipo rainflow. Se concluyó que los elementos más críticos deben evaluarse mediante modelos detallados y se predijo su vida útil remanente con base en la regla de daño acumulado de Palmgren-Miner. Este tipo de análisis no solo resulta valioso para evaluar estructuras antiguas, sino que también permite anticipar cómo se comportarán a lo largo del tiempo construcciones más recientes, como galpones que utilizan puentes grúa.

2.1.5 Sistemas fotovoltaicos en cubiertas metálicas

El uso de paneles solares en cubiertas industriales significa una estrategia efectiva para reducir costos energéticos y emisiones de carbono. Según el estudio de Muñoz et al. (2023), los sistemas fotovoltaicos de cubierta (Rooftop PVs) permiten el autoabastecimiento energético en instalaciones industriales. El artículo propone nuevos parámetros de análisis según la norma IEC 61724, tales como el self-consumption ratio, performance ratios y el self-sufficiency index, que

permiten evaluar el desempeño real del sistema considerando la generación, consumo y exportación a red.

En Ecuador, la integración de paneles solares en superficies industriales está comenzando a ganar terreno. Un estudio de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito evaluó una empresa plástica y concluyó que, aunque el uso de tecnología fotovoltaica industrial es aún bajo, ofrece reducciones significativas en consumo energético y huella de carbono (Aulestia & Celi, 2017).

2.1.6 Sostenibilidad e infraestructura industrial

El uso de paneles solares y materiales eficientes están alineados con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). Como muestran los estudios de Fajardo et al. (2023) y Suwondo et al. (2024), optar por sistemas estructurales más ligeros y rentables no solo permite reducir costos, sino también disminuir significativamente la huella de carbono asociada a la producción y transporte de materiales; respondiendo al ODS 9 (Industria, innovación e infraestructura).

Por su parte, los estudios de Muñoz et al. (2023), sobre sistemas solares en cubiertas (Rooftop PV), revelan que la energía solar puede cubrir hasta el 37% del consumo total de una ciudad industrializada, lo que respalda su aporte al ODS 7 (Energía asequible y no contaminante) como una solución clave para el desarrollo de ciudades sostenibles.

2.2 Área de estudio

2.2.1 Ubicación geográfica

El proyecto se realizará en un terreno de la empresa METAL INDUSTRIAL JOSÉ CAMPUZANO S.A., la cual se encuentra ubicada en el sector Mapasingue Oeste, en la parroquia Tarqui perteneciente a la ciudad de Guayaquil, provincia del Guayas. La empresa tiene su matriz en un terreno esquinero entre la Av. 6ta 209 y Calle Segunda.

Tabla 1.

Coordenadas del terreno de METAL INDUSTRIAL JOSÉ CAMPUZANO

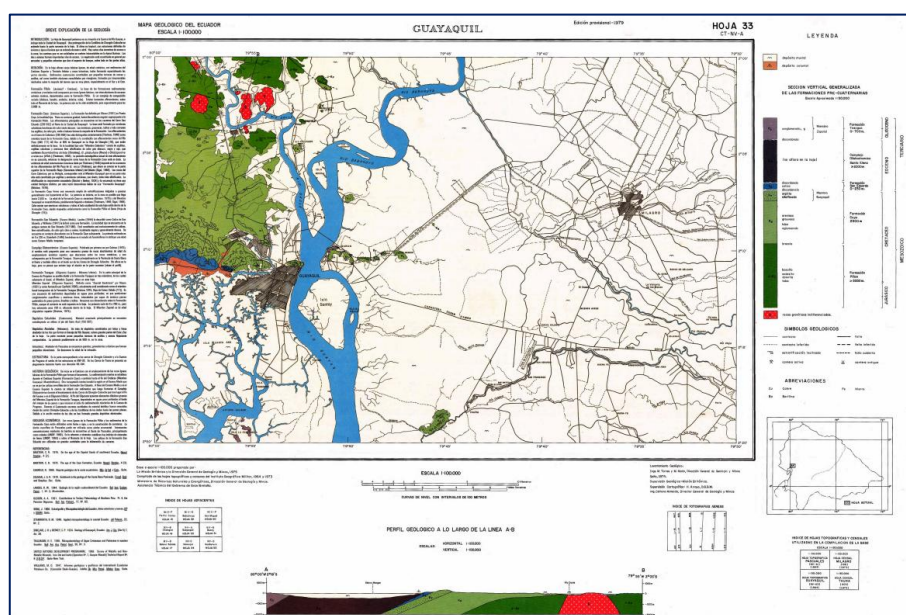
Puntos	Latitud	Longitud
P1	2° 9'23.34"S	79°56'1.36"O
P2	2° 9'23.59"S	79°56'1.85"O
P3	2° 9'24.64"S	79°56'1.41"O
P4	2° 9'24.44"S	79°56'0.88"O

2.2.2 Área Geológica

METAL INDUSTRIAL JOSÉ CAMPUZANO S.A. se encuentra ubicada en el sector de Mapasingue Oeste, en la ciudad de Guayaquil, provincia del Guayas. Según la Hoja Geológica de Guayaquil (escala 1:100 000), ver Figura 2.3., elaborada por el Instituto Geofísico del Ecuador, esta zona se encuentra asentada sobre la Formación Cayo, correspondiente al Cretácico Tardío, con un espesor aproximado de 2500 metros.

Figura 6.

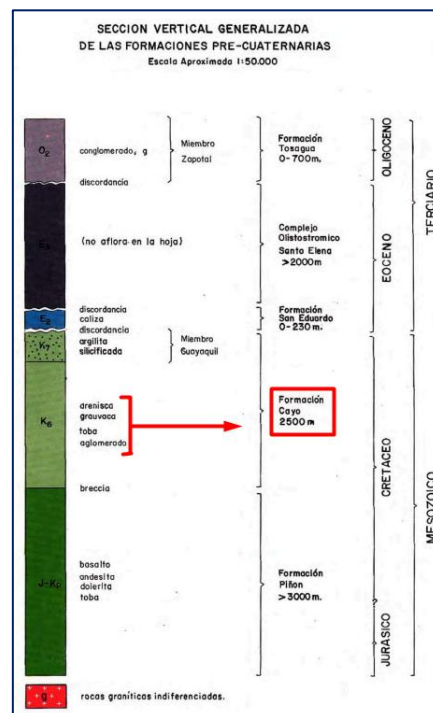
Hoja Geológica Guayaquil (Instituto de Investigación Geológico y Energético (IIGE), 2018)



Esta formación está compuesta principalmente por areniscas, grauvacas, tobas y aglomerados volcánicos, materiales de origen sedimentario y piroclástico que caracterizan al subsuelo de este sector, ver Figura 2.4. Las areniscas y grauvacas, al ser rocas sedimentarias consolidadas, presentan una buena capacidad portante, mientras que las tobas y aglomerados volcánicos pueden mostrar una variabilidad en su resistencia y compacidad, dependiendo de su grado de cementación y alteración.

Figura 7.

Perfil Geológico según la ubicación de Mapasingue Oeste



Desde el punto de vista geotécnico, se trata de un terreno generalmente estable, aunque la heterogeneidad litológica de la formación sugiere la necesidad de realizar un estudio de suelos in situ que confirme la profundidad de la roca competente y los niveles de resistencia admisible para el diseño de la cimentación.

2.2.3 Clima

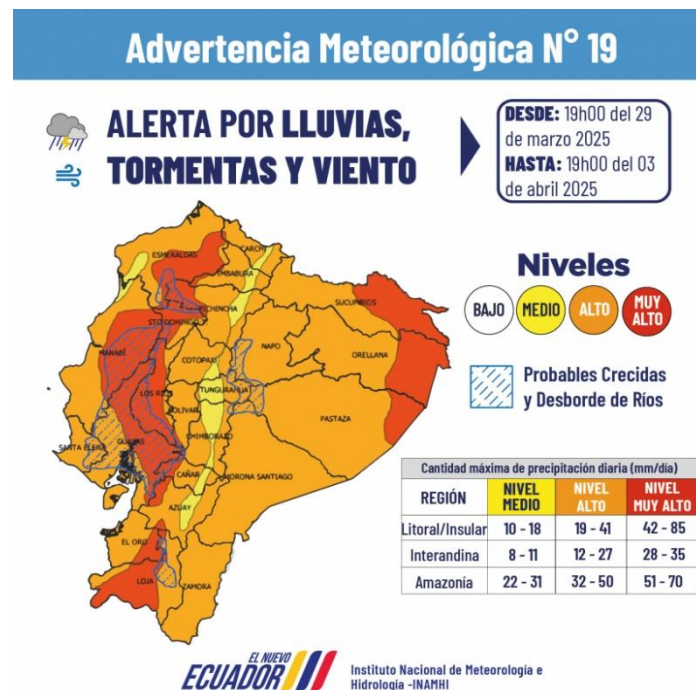
Según el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), el territorio ecuatoriano presenta una alta variabilidad climática influenciada por factores como la zona

intertropical de convergencia, el fenómeno de El Niño, y la presencia de la cordillera de los Andes. En particular, la ciudad de Guayaquil, ubicada en la región litoral del país, se caracteriza por un régimen tropical monzónico, con una estación lluviosa definida entre enero y abril, y un periodo seco de mayo a diciembre.

De acuerdo con el Mapa de Precipitación Media Anual del INAMHI (2025), Guayaquil presenta un rango de 1000 a 1500 mm de lluvia al año, con picos que pueden superar los 200 mm mensuales durante la temporada húmeda. Estas condiciones generan altos niveles de humedad ambiental y carga pluvial, lo cual debe ser considerado en el diseño de cubiertas metálicas, sistemas de drenaje pluvial y protecciones contra corrosión en estructuras expuestas.

Figura 8.

Mapa de Alerta por Lluvias, tormenta y viento (INAMHI, 2025)



Además, en años con presencia del fenómeno El Niño, la ciudad experimenta precipitaciones extraordinarias que pueden duplicar o triplicar los valores normales, incrementando el riesgo de inundaciones urbanas y sobrecargas en cubiertas. Por tanto, el diseño estructural del galpón industrial contempla la verificación de cargas por lluvia sobre la cubierta,

de acuerdo con la NEC-SE-Cargas, así como la implementación de un sistema eficiente de evacuación pluvial.

2.2.4 Vientos

El comportamiento del viento es un factor clave en el diseño estructural de edificaciones industriales livianas. La alta sensibilidad de estas estructuras tipo pórtico o de cubierta ligera frente a la presión del viento hace que este parámetro sea determinante tanto en el diseño de los elementos estructurales como en la selección del tipo de cubierta, anclajes y sistemas de arriostramiento transversal.

De acuerdo con los registros históricos de la plataforma MSN El Tiempo (2025), la ciudad de Guayaquil presenta velocidades promedio de viento entre 7 y 11 km/h en este año.

Figura 9.

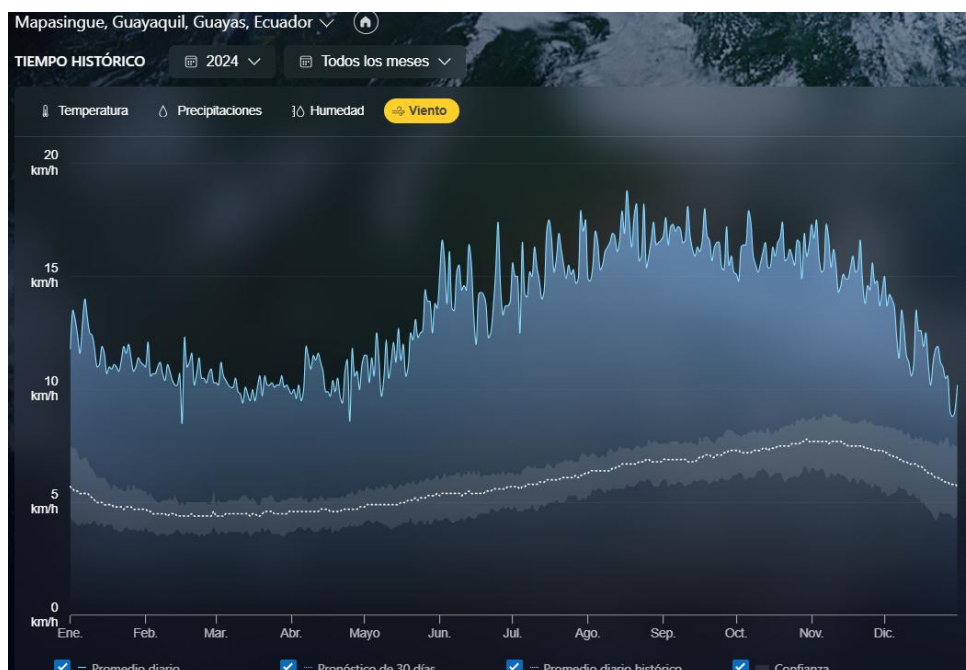
Tiempo histórico de Viento de los últimos 12 meses (MSN El Tiempo, 2025)



Sin embargo, en base a los datos meteorológicos históricos del sector Mapasingue Oeste, Guayaquil, el promedio récord del tiempo histórico de vientos corresponden al año 2024. Se observa que dicho año presentó una tendencia de vientos más intensos en comparación con los promedios registrados en años anteriores desde 1951, ver Figura 2.6.

Figura 10.

Tiempo histórico de Viento año 2024 (MSN El Tiempo, 2025)



El gráfico climatológico evidencia que los meses entre julio y octubre concentran los valores más elevados de velocidad del viento, alcanzando ráfagas que superan los 15 km/h, y con promedios diarios mantenidos entre 10 y 14 km/h en varios tramos del año. Estas condiciones responden al patrón climático regional influenciado por la estación seca y por la circulación costera del Pacífico, que intensifica la brisa marina en zonas elevadas y expuestas como Mapasingue.

Considerando la exposición del galpón industrial y la tipología estructural, se deberán aplicar los criterios de la NEC (2015) de Cargas (No Sísmicas), tomando en cuenta el valor de velocidad básica de diseño (V) en función de la categoría de riesgo del edificio, su altura, y la zona de exposición. Sin embargo, para fines estructurales, se utiliza el valor mínimo determinado por la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-SE-Viento, que establece una velocidad básica de viento de diseño de 21 m/s (75 km/h) para la región costera donde se localiza el proyecto.

2.3 Trabajo de campo y laboratorio

En el marco del proyecto actual, se llevó a cabo una inspección técnica en el lugar donde se tiene previsto realizar la construcción del galpón industrial para la empresa METAL INDUSTRIAL JOSE CAMPUZANO. Durante esta visita, se pudo observar la zona destinada para la futura edificación.

Sin embargo, debido a limitaciones logísticas, el terreno de la empresa había sido ocupado para fabricaciones en serie; por lo cual, no se pudo realizar un estudio geotécnico específico en el predio del proyecto ubicado en el sector de Mapasingue Oeste, Guayaquil. No obstante, se ha llevado a cabo un análisis preliminar basado en la Hoja Geológica de Guayaquil (Instituto de Investigación Geológico y Energético (IIGE), 2018), ver *Figura 6*, complementado con investigaciones académicas y parámetros recomendados por la normativa ecuatoriana vigente (NEC-SE-CG y NEC-SE-DS, 2015).

De acuerdo con la carta geológica, ver *Figura 6*, el área de Mapasingue Oeste se encuentra sobre formaciones coluviales y de pie de monte, compuestas principalmente por limo arcilloso, arena fina y gravas sueltas, producto de arrastre de laderas y material aluvial poco consolidado. Esta condición sugiere un suelo de baja a media capacidad de carga, con cierta variabilidad lateral.

Con base en este análisis, se considera razonable clasificar el suelo del sitio como de tipo D (perfil de suelo blando) según la (NEC-SE-DS, 2015), ya que se estima una velocidad promedio de propagación de ondas de corte (V_s) menor a 360 m/s, lo cual implica un comportamiento sísmico más flexible y una mayor amplificación de ondas.

2.3.1 Estudio de mecánica de suelos

Para complementar la caracterización geotécnica del terreno, se obtuvo un registro de perforación realizado en un sector cercano al predio del proyecto, específicamente en Mapasingue Este, Guayaquil. Si bien no corresponde al mismo lote, la proximidad geográfica y la similitud en

los estratos identificados permiten considerar este registro como una referencia válida para los cálculos preliminares de cimentación del galpón industrial.

Figura 11.

Ubicación aledaña del sitio del registro de perforación, sector General Quisquis



Este registro de perforación fue realizado por la compañía GEOCIMENTOS S.A. la cual consta con sus instalaciones en el Km. 5½ Vía a Daule de Mapasingue Oeste Av. 7ma. La compañía tiene una gran trayectoria en laboratorio de materiales, perforaciones, ensayos y sondeos, y nos facilitó los resultados de los sondeos realizados en el sector General Quisquis.

Figura 12.

Sondeos y registro de perforación realizados en el sector General Quisquis

GEOCIENTOS S.A. <i>Ingeniería Civil, Geotécnica y Ambiental</i> LABORATORIO DE MATERIALES PERFORACIONES Y SONDEOS DISEÑOS Dirección : Km. 5½ Vía a Daule. Mapasingue Oeste Av. 7ma #448 Teléfonos: 5014438 - 5028591 - 2013480 email: info@geocimientos.com				<table><tr><th colspan="3">NOMENCLATURA</th></tr><tr><td>ω</td><td colspan="2">Humedad Natural</td></tr><tr><td>LL</td><td colspan="2">Limite Líquido</td></tr><tr><td>LP</td><td colspan="2">Limite Plástico</td></tr><tr><td>IP</td><td colspan="2">Índice Plástico</td></tr><tr><td>γ</td><td colspan="2">Peso Unitario</td></tr><tr><td>qu</td><td colspan="2">Resistencia Compr. Simple</td></tr><tr><td>Qu (mm)</td><td colspan="2">Resistencia Compr. Remoldeado</td></tr><tr><td>ε</td><td colspan="2">Deformación</td></tr><tr><td>Qu_{Pen}</td><td colspan="2">Resistencia Penetrómetro</td></tr><tr><td>Su_{Tor}</td><td colspan="2">Resistencia Torvane</td></tr><tr><td>N</td><td colspan="2">Número de Golpes</td></tr><tr><td>N₆₀</td><td colspan="2">Número de Golpes (Corregido)</td></tr></table>				NOMENCLATURA			ω	Humedad Natural		LL	Limite Líquido		LP	Limite Plástico		IP	Índice Plástico		γ	Peso Unitario		qu	Resistencia Compr. Simple		Qu (mm)	Resistencia Compr. Remoldeado		ε	Deformación		Qu _{Pen}	Resistencia Penetrómetro		Su _{Tor}	Resistencia Torvane		N	Número de Golpes		N ₆₀	Número de Golpes (Corregido)		<table><tr><th colspan="2">SIMBOLOGÍA</th></tr><tr><td>RELLENO</td><td>*****</td></tr><tr><td>GRAVA</td><td></td></tr><tr><td>ARENA</td><td></td></tr><tr><td>LIMO</td><td></td></tr><tr><td>ARCILLA</td><td></td></tr><tr><td>TURBA</td><td></td></tr></table>				SIMBOLOGÍA		RELLENO	*****	GRAVA		ARENA		LIMO		ARCILLA		TURBA		<table><tr><td colspan="2">OBRA :</td><td colspan="2">Estación de bombeo Mapasingue Este</td></tr><tr><td colspan="2">UBICACIÓN:</td><td colspan="2">Mapasingue Este</td></tr><tr><td colspan="2">SONDEO:</td><td colspan="2">1</td></tr><tr><td colspan="2">SOLICITANTE:</td><td colspan="2">Ing. Miguel Cabrera</td></tr><tr><td colspan="2">REVISADO POR:</td><td colspan="2">Ing. Francisco Grau</td></tr><tr><td colspan="2">FECHA:</td><td colspan="2">17/01/2018</td></tr><tr><td colspan="2">NIVEL FREÁTICO:</td><td colspan="2">2.50 m.</td></tr><tr><td colspan="2">COORDENADAS:</td><td colspan="2">17M 619972 E 9761597 S</td></tr><tr><td colspan="4">OBSERVACIONES:</td></tr></table>				OBRA :		Estación de bombeo Mapasingue Este		UBICACIÓN:		Mapasingue Este		SONDEO:		1		SOLICITANTE:		Ing. Miguel Cabrera		REVISADO POR:		Ing. Francisco Grau		FECHA:		17/01/2018		NIVEL FREÁTICO:		2.50 m.		COORDENADAS:		17M 619972 E 9761597 S		OBSERVACIONES:			
NOMENCLATURA																																																																																																								
ω	Humedad Natural																																																																																																							
LL	Limite Líquido																																																																																																							
LP	Limite Plástico																																																																																																							
IP	Índice Plástico																																																																																																							
γ	Peso Unitario																																																																																																							
qu	Resistencia Compr. Simple																																																																																																							
Qu (mm)	Resistencia Compr. Remoldeado																																																																																																							
ε	Deformación																																																																																																							
Qu _{Pen}	Resistencia Penetrómetro																																																																																																							
Su _{Tor}	Resistencia Torvane																																																																																																							
N	Número de Golpes																																																																																																							
N ₆₀	Número de Golpes (Corregido)																																																																																																							
SIMBOLOGÍA																																																																																																								
RELLENO	*****																																																																																																							
GRAVA																																																																																																								
ARENA																																																																																																								
LIMO																																																																																																								
ARCILLA																																																																																																								
TURBA																																																																																																								
OBRA :		Estación de bombeo Mapasingue Este																																																																																																						
UBICACIÓN:		Mapasingue Este																																																																																																						
SONDEO:		1																																																																																																						
SOLICITANTE:		Ing. Miguel Cabrera																																																																																																						
REVISADO POR:		Ing. Francisco Grau																																																																																																						
FECHA:		17/01/2018																																																																																																						
NIVEL FREÁTICO:		2.50 m.																																																																																																						
COORDENADAS:		17M 619972 E 9761597 S																																																																																																						
OBSERVACIONES:																																																																																																								

PROF (m)	CAMBIO DE ESTRATO	DESCRIPCIÓN DE MATERIAL	ESTRATIG.	MUESTRA			ω %	GRANULOMETRÍA (PASANTE)					LÍMITES DE ATTERBERG			γ T/m³	qu T/m²	Qu (mm) T/m²	ε %	Qu _{Pen} T/m²	Su _{Tor} T/m²	SPT	
				#	PROFUNDIDAD	SUCS		# 4	# 10	# 40	# 200	LL	LP	IP	N							N ₆₀	
1	1.00	GRAVA ARCILLOSA de compacidad media, color café		1	0,50 a 1,00	GC	14	59	52	40	28	42	18	25	-	-	-	-	-	-	11-12 (23)	17	
2	3.00	ARENA ARCILLOSA de baja compacidad, de color Café		2	1,50 a 2,00	SC	18	73	64	49	27	33	17	16	-	-	-	-	-	-	8-8-4 (12)	9	
3				2,50 a 3,00	SC	35	76	70	60	49	46	21	25	-	-	-	-	-	-	-	-	1-1-1 (2)	2
4		ARCILLA de alta plasticidad, de consistencia media a blanda, de color gris verdoso.		4	3,50 a 4,00	CH	53	100	100	99	96	78	27	51	1.76	7.4	-	15.0	10.0	-	-	-	
5				4,50 a 5,00	CH	60	100	100	100	99	91	34	57	-	-	-	-	-	-	-	-	3-4-5 (9)	8
6				5,50 a 6,00	CH	79	99	99	97	90	113	30	83	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3-1-1 (2)
Fin del sondeo																							

El registro evidencia la presencia de estratos de gravas arcillosas, arenas arcillosas y arcillas de alta plasticidad, con profundidades variables. A partir de los ensayos realizados (SPT, granulometría y resistencia a la compresión simple q_u), fue posible obtener parámetros de resistencia al corte (c , ϕ) y peso unitario (γ), los cuales se emplearon en el análisis de capacidad portante.

➤ Capacidad Portante del Suelo

Para la estimación de la capacidad portante última (q_{ult}) y posteriormente la capacidad portante admisible (q_a), se utilizó la teoría clásica:

Teoría de Terzaghi (1943): Considera la capacidad portante de zapatas superficiales bajo la hipótesis de falla generalizada en suelos homogéneos, aplicando la expresión:

$$q_{ult} = cN_c + \gamma D_f N_q + 0.5\gamma B N_\gamma$$

Tabla 2.

Cálculo de la capacidad portante del suelo a partir del q_u de resistencia a la compresión simple

Cálculo De Capacidad Portante (Terzaghi - $\Phi=0$)

PARÁMETRO	Valor	Condiciones NO drenadas
Ancho De Zapata, B (M)	1,5	
Largo De Zapata L (M)	2	
Profundidad De Desplante, Df (M)	1,5	
Peso Unitario Del Suelo, γ (T/M ³)	1,76	
Resistencia A Compresión Simple, Q_u (T/M ²)	10	
F.S.	3	
Resistencia No Drenada, S_u (T/M ²)	5	$S_u = \frac{q_u}{2}$
Factor De Forma, S_c	1,3	1.3 (para zapata cuadrada)
Factor De Profundidad, D_c	1,2	$q_{ult} = 5,14 \cdot S_u \cdot S_c \cdot d_c + \gamma \cdot D_f$ $q_a = \frac{q_{ult}}{F.S.}$
Capacidad Última, Q_{ult} (T/M ²)	42,73	
Capacidad Admisible, Q_a (T/M ²)	14,24	

De esta manera, se obtuvo un valor de capacidad portante admisible ($q_a = 14.24$ Ton/m²), que permitirá diseñar y dimensionar las cimentaciones superficiales (plintos aislados) garantizando condiciones de seguridad y servicio para la estructura del galpón.

➤ Caracterización del Tipo del Suelo

El $S_u \approx 50$ kPa del CH cae dentro del rango de Clase D y no evidencia arcillas muy blandas (< 25 kPa). En los granulares, aunque hay valores puntuales de $N_{60} < 15$, éstos no constituyen un estrato continuo de gran espesor; además, no se cuenta con $V_{S,30}$. En ausencia de mediciones de onda de corte y con sondeos someros, la NEC permite adoptar por defecto la Clase D, siempre que no se verifiquen las condiciones que obligan a Clase E/F.

Por lo anterior, y a efectos de diseño sísmico del galpón, se adopta el “Tipo de Suelo D” como opción conservadora y compatible con los parámetros observados ($S_u \approx 50$ kPa; N_{60} predominantemente en 8–17, con varios ≥ 15). Se deja constancia de que la clasificación podría actualizarse si una investigación geofísica (medición $V_{S,30}$) o sondeos más profundos demuestran un promedio $N_{60} \leq 15$ en un espesor significativo o la presencia de arcillas muy blandas ($S_u < 25$ kPa).

2.4 Análisis de datos

Por medio de la visita técnica se dieron varias indicaciones y criterios por parte del cliente para el diseño del galpón industrial, teniendo en cuenta que, las dimensiones del área del proyecto son de 20 m de ancho y 40 m de largo; teniendo así un área total de construcción de 800 m².

Figura 13.

Visita Técnica a METAL INDUSTRIAL JOSÉ CAMPUZANO



De igual forma, el cliente remarcó el uso al cual estaría destinado el galpón, el cual sería para la soldadura, fabricación y almacenamiento de perfiles y estructuras metálicas; además de tener un área para el sandblasting y pintura.

METAL INDUSTRIAL JOSE CAMPUZANOS S.A. cuenta con un galpón existente en donde labora su personal operativo y dentro del mismo galpón cuentan con 2 pisos de oficinas para el personal administrativo. La empresa se ha quedado corta de espacio y quiere seguir expandiéndose en el mercado de la metalmecánica. Por esto el cliente requiere otro galpón a lado de este ya existente para poder conectarlos y tener procesos de armado de estructuras más ágiles y eficaces.

2.5 Análisis de alternativas

Para la elección de la alternativa óptima del diseño estructural del galpón, se necesitan conocer ciertos criterios que puedan ser cuantificados, y de esa manera elegir la opción de diseño que mejor se adapte a las solicitudes del proyecto y consiga a las necesidades del cliente.

2.5.1 Criterios de Evaluación

Se han definido cinco criterios de evaluación que permiten analizar el desempeño de cada opción desde una perspectiva integral. Estos criterios consideran no solo aspectos técnicos, sino también constructivos, funcionales y estéticos, en concordancia con los objetivos del proyecto.

- **Estético**

Este criterio evalúa la apariencia arquitectónica y visual de la estructura, considerando la armonía entre elementos, la percepción de modernidad y la integración del galpón con su entorno urbano o industrial. Se valoran estructuras con acabados más limpios, mayor transparencia visual o formas que transmitan ligereza y orden estructural.

- **Económico**

Se refiere al costo total estimado de cada alternativa, considerando materiales, mano de obra, transporte, montaje y otros factores asociados. Este criterio es fundamental en la toma de decisiones, ya que se busca una solución eficiente que optimice los recursos disponibles sin comprometer la calidad estructural ni operativa del proyecto.

- **Facilidad y Tiempo de Construcción**

Este criterio considera la complejidad constructiva de cada alternativa, el tiempo estimado de montaje, la disponibilidad de materiales en el mercado local, y la necesidad (o no) de procesos especiales como soldaduras en altura, armado en sitio o prefabricación. Se valoran las alternativas que permitan una ejecución más rápida, segura y con menor dependencia de equipos pesados o mano de obra calificada difícil de encontrar.

- **Estructural**

Este aspecto evalúa el comportamiento mecánico de cada configuración estructural frente a cargas gravitacionales, viento, sismo y cargas especiales como el puente grúa. Se toma en cuenta la rigidez global, resistencia a esfuerzos críticos, control de deformaciones y eficiencia del sistema estructural según la tipología adoptada. También se consideran los factores de seguridad y cumplimiento normativo.

- **Operabilidad**

Analiza la funcionalidad del espacio interior del galpón una vez construido, en relación con los procesos industriales que se desarrollarán. Se valora la capacidad de permitir un libre desplazamiento del puente grúa, la existencia de claros amplios sin obstrucciones, la facilidad de mantenimiento, y la adaptabilidad de la estructura a futuras modificaciones o ampliaciones.

Los parámetros mencionados anteriormente no tienen la misma importancia, por lo cual en base a criterios propios y del cliente, se establece un nivel de importancia que tiene cada criterio con respecto a las solicitudes del proyecto:

Tabla 3.

Nivel de importancia de los criterios de evaluación con respecto a las necesidades del cliente

Criterio	% Importancia
Económico	25%
Estético	5%
Facilidad y tiempo de Construcción	15%
Estructural	25%
Operabilidad	30%
TOTAL	100%

2.5.2 Planteamiento de Alternativas estructurales

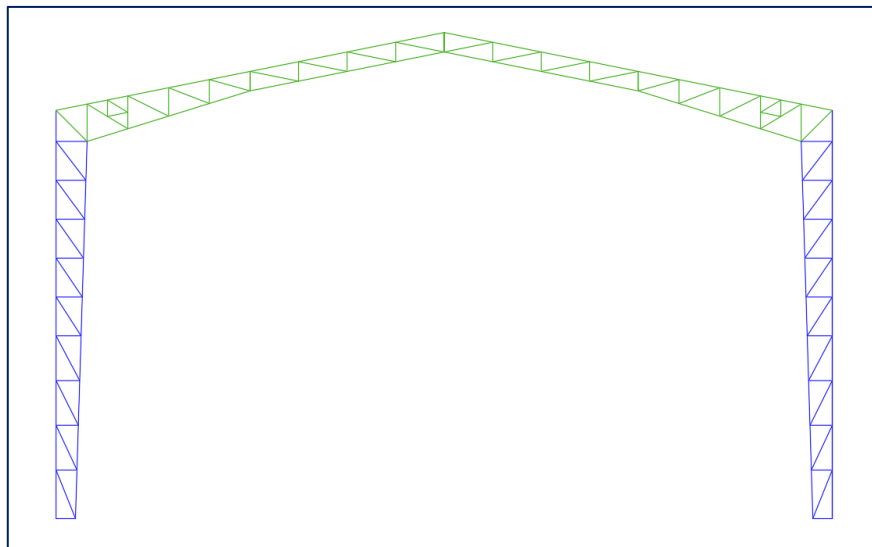
Durante la etapa de conceptualización estructural del galpón industrial, se evaluaron diferentes configuraciones con el objetivo de garantizar la funcionalidad del puente grúa, optimizar el uso del espacio interior y facilitar la construcción en el contexto local de Guayaquil. A continuación, se describen las tres alternativas consideradas:

2.5.2.1 Alternativa #1: Galpón industrial con columnas y vigas de celosía (tipo cercha).

Esta fue la primera opción analizada debido a su eficiencia estructural en términos de peso propio y cobertura de grandes luces. Las vigas tipo cercha permiten reducir la cantidad de material utilizado y ofrecen un desempeño adecuado frente a cargas gravitacionales distribuidas. No obstante, al considerar la presencia de un puente grúa, se identificaron serias limitaciones. Las estructuras reticuladas no están diseñadas para absorber las cargas dinámicas puntuales ni las fuerzas horizontales generadas por la aceleración, frenado y carga excéntrica del puente grúa. Además, la necesidad de conexiones más elaboradas, mayor altura útil y puntos de apoyo adicionales comprometen la funcionalidad y seguridad del sistema en este tipo de galpón.

Figura 14.

Diseño geométrico del galpón industrial con columnas y vigas de celosía (tipo cercha)

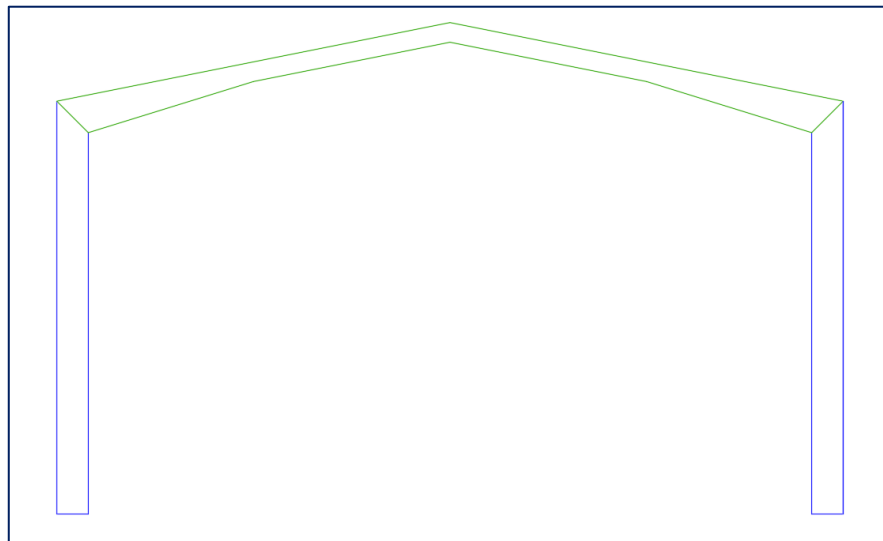


2.5.2.2 Alternativa #2: Galpón industrial con columnas y vigas de alma llena (perfil tipo I).

La segunda alternativa propuesta consistía en utilizar perfiles tipo I para conformar tanto columnas como vigas, lo cual ofrece ventajas en términos de resistencia estructural y rigidez frente a cargas concentradas, como las inducidas por un puente grúa. Este sistema es ampliamente utilizado en galpones industriales de mediana y gran escala, debido a su simplicidad y confiabilidad. Sin embargo, en el contexto local, se identificaron limitaciones importantes relacionadas con la disponibilidad de perfiles I de gran dimensión, los cuales deben ser importados o fabricados por encargo, generando mayores costos y tiempos prolongados de espera. Además, el peso considerable de estos elementos incrementa la dificultad del montaje y eleva la demanda de grúas para la instalación, lo que repercute negativamente en el cronograma de ejecución. En función de estos factores, se decidió analizar una tercera alternativa que permitiera mantener la eficiencia estructural, reducir tiempos y adaptarse mejor al entorno local.

Figura 15.

Diseño geométrico del Galpón industrial con columnas y vigas de alma llena (perfil tipo I)

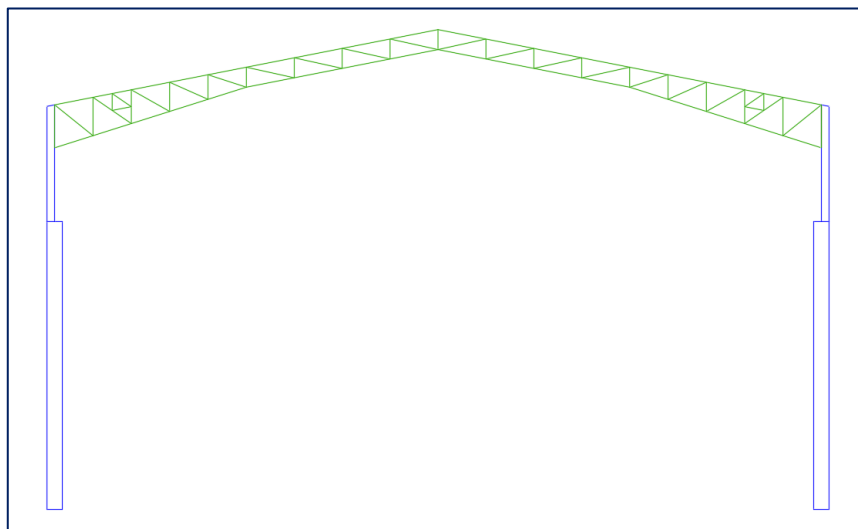


2.5.2.3 Alternativa #3: Galpón industrial con columnas cuadradas de alma llena y vigas de celosía.

Finalmente, se planteó una tercera opción que combina la eficiencia estructural de las vigas tipo cercha con la practicidad de columnas cuadradas de alma llena, fabricadas a partir de canales tipo C soldados entre sí. Esta configuración ofrece ventajas significativas: por un lado, las columnas cuadradas reducen el área de ocupación en planta, liberando espacio útil para el tránsito de operarios y maquinaria; por otro lado, su fácil fabricación en sitio mediante la unión de perfiles C facilita el proceso constructivo. Además, estos perfiles están disponibles en el stock del cliente, lo cual elimina los tiempos de espera por adquisición y reduce costos logísticos. Las vigas tipo cercha, al estar diseñadas específicamente para soportar cargas puntuales y distribuidas, permiten cubrir luces amplias sin comprometer la eficiencia estructural. Esta alternativa resulta ser la más compatible con los objetivos del proyecto, al combinar funcionalidad, facilidad constructiva y aprovechamiento de recursos existentes.

Figura 16.

Diseño geométrico del Galpón industrial con columnas cuadradas de alma llena y vigas de celosía.



2.5.3 Selección de la mejor alternativa

Para seleccionar la mejor alternativa y la más aceptada, es necesario recopilar las opiniones y actitudes del cliente y sus colaboradores. Se evalúa cada alternativa en un rango de 1 a 10; además, se considera el % de importancia para cada criterio evaluado dado en la *Tabla 3*.

Tabla 4.

Matriz de Evaluación de alternativas

Criterio	% Importancia	Alternativas		
		#1	#2	#3
Económico	25%	10	5	7
Estético	5%	7	10	8
Facilidad y tiempo de Construcción	15%	6	7	8
Estructural	25%	4	7	10
Operabilidad	30%	6	7	9
TOTAL =	100%	65.5 %	69 %	85.5 %

Según (Simpson Steel, 2020), las estructuras tipo cercha suelen ser significativamente más económicas, ya que utilizan menos acero y requieren menos equipos pesados para su ensamblaje, lo que justifica su ventaja económica frente a marcos de alma llena, ponderando con 10 puntos para la alternativa #1, 5 puntos para la #2 y 7 puntos para la #3 por tratarse de un sistema mixto.

Sin embargo, las cerchas resultan laboriosas a la hora de su fabricación en taller, debido a la cantidad de elementos a unir con soldadura. Pasa lo contrario con las cerchas de alma llena, en donde mediante pliegos de láminas de acero se hacen los cortes para el alma y los patines de la viga y se suelda a lo largo juntando las piezas.

En contraste, la compañía LEGACY (2025) afirma que los marcos de alma llena superan ampliamente a las cerchas en capacidad de carga y durabilidad, especialmente frente a cargas concentradas e impactos puntuales, lo cual es crítico para proyectos con puentes grúa.

Entonces, tras evaluar estas tres configuraciones estructurales mediante criterios técnicos y operativos, se descartó la Alternativa #1 debido a su incompatibilidad con la operación de un puente grúa, al emplear vigas tipo celosía poco aptas para cargas dinámicas puntuales. La Alternativa #2, aunque estructuralmente robusta, presenta altos costos y tiempos prolongados por la necesidad de perfiles tipo I de difícil acceso local. Finalmente, la Alternativa #3 obtuvo la mayor puntuación (85.5 %) al combinar eficiencia estructural, facilidad constructiva y disponibilidad de materiales en bodega, lo que la posiciona como la solución óptima para este proyecto.

2.5.4 Restricciones del proyecto para la selección de la alternativa

La elección de la alternativa estructural estuvo condicionada por diversas restricciones propias del contexto del proyecto. En primer lugar, se identificó una limitación en la disponibilidad local de perfiles estructurales, especialmente los perfiles tipo I, cuyo abastecimiento depende de importaciones o fabricación por pedido, lo que incrementa tanto los costos como los tiempos de entrega. Además, el cliente ya cuenta en bodega con perfiles tipo canal C, lo cual constituye una restricción presupuestaria y logística que favorece el aprovechamiento de recursos existentes.

Por otro lado, la necesidad de liberar espacio operativo interior para el desplazamiento del puente grúa y maniobras del personal impone una restricción dimensional, donde las columnas de menor huella (como cuadradas) resultan más ventajosas. Finalmente, el cronograma ajustado del proyecto limita el uso de elementos estructurales que requieran ensamblajes complejos o montaje especializado, lo cual también motivó la elección de una alternativa más práctica y de rápida ejecución.

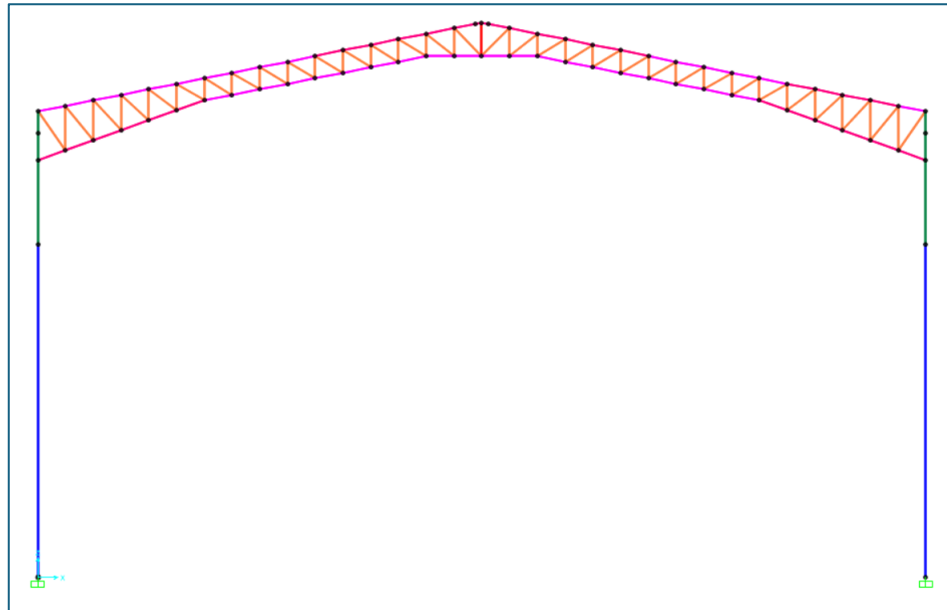
Capítulo 3

3. DISEÑOS Y ESPECIFICACIONES

El diseño del galpón industrial se lleva a cabo mediante el uso del software SAP2000, hojas de cálculo en PTC Mathcad, Python y Excel. Se inicia con un pre-dimensionamiento utilizando un pórtico idealizado en donde obtenemos las mayores demandas debido a cargas gravitacionales y, finalmente, se determinan los perfiles más apropiados que puedan soportar dichas cargas aplicadas con la menor cantidad de peso posible.

3.1 Geometría de la estructura

La configuración de la cercha adoptada responde a la investigación de criterios técnicos, revisión de documentación previa y a proyectos reales. Se tienen tres cambios de sección en donde se define una altura de 1,10 m en los extremos próximos a las columnas, 0.75 m en la zona de cumbrera y en los tramos intermedios 0,50 m. Esta gradación de alturas permite optimizar el uso del material, reduciendo peso donde los esfuerzos son menores y reforzando la sección donde se concentran mayores momentos y cortantes.

Figura 17.*Geometría de la Estructura en SAP2000*

La adopción de esta geometría busca mantener una adecuada rigidez global, la disposición escalonada de la altura de la cercha contribuye a un reparto más uniforme de esfuerzos y minimiza deformaciones verticales, mejorando el desempeño frente a cargas distribuidas como el peso propio, el revestimiento de cubierta y la acción del viento

3.2 Prediseño de los elementos estructurales

3.2.1 Análisis de Cargas

Se considera cargas gravitacionales permanentes que actúan sobre la estructura como parte del prediseño. La carga viva corresponde a actividades de mantenimiento, mientras que la carga muerta contempla el peso propio de la cubierta, instalaciones eléctricas y mecánicas, así como el sistema de paneles solares proyectado.

Tabla 5.*Cargas gravitacionales de la estructura de galpón*

CARGAS GRAVITACIONALES		
CARGA VIVA (CV)		
Mantenimiento	71,38	kgf/m ²

CARGA MUERTA (CM)		
Cubierta	7	kgf/m ²
Inst. eléctricas	10	kgf/m ²
Inst. mecánicas	18	kgf/m ²
Paneles Solares	12,4	kgf/m ²

Como el proyecto se ubica en una región costera, no se considera cargas ambientales de granizo o caída de ceniza volcánica, ya que no representan un riesgo significativo en la zona.

Tabla 6.

Carga Máxima total de servicio de la estructura de galpón

Carga Máxima Total (Por servicio)		
CVT	71,38	kgf/m ²
CMT	47,4	kgf/m ²
CV + CM	118,78	kgf/m ²

Se determinó la carga máxima total por servicio y se obtuvo la carga lineal equivalente aplicada sobre el pórtico, la cual será utilizada en el análisis estructural posterior.

Tabla 7.

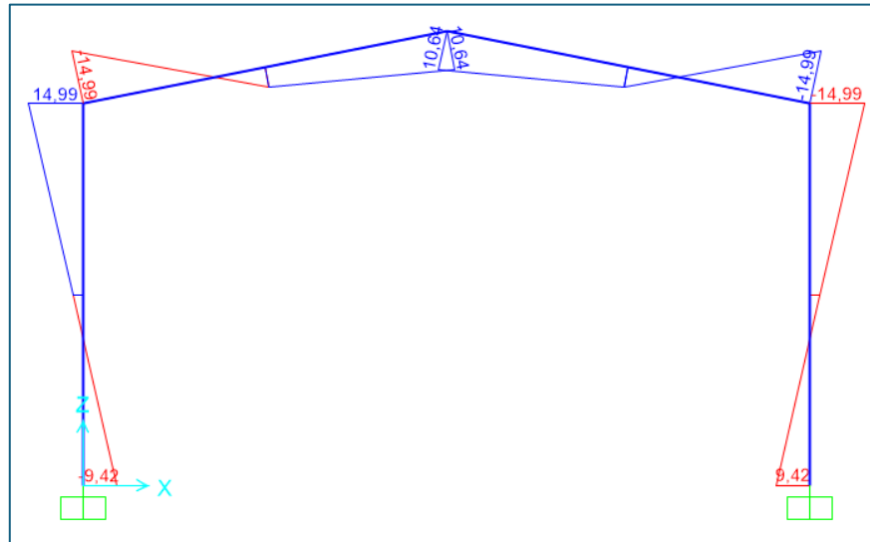
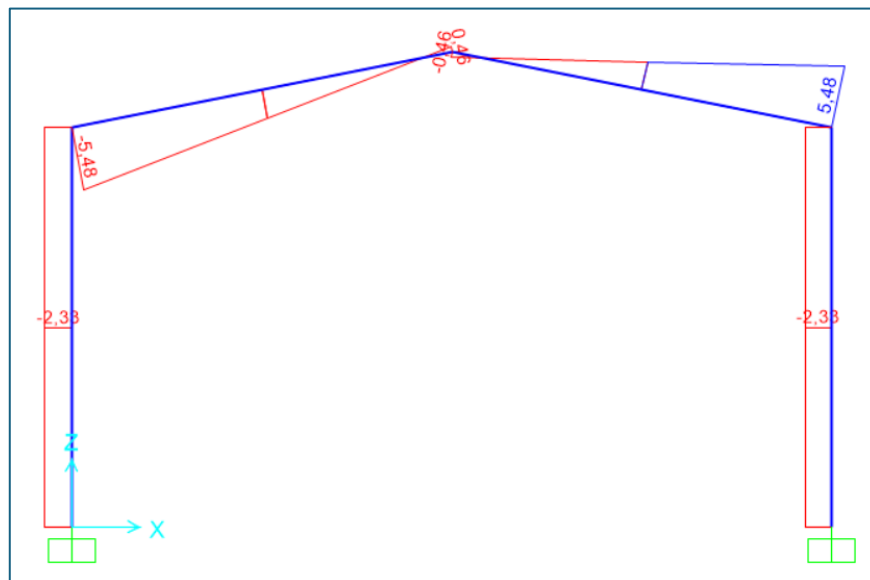
Carga lineal aplicada sobre el pórtico idealizado

Carga Lineal aplicada sobre el pórtico		
Anch colab	5	m
W	593,9	kgf/m

Los cálculos detallados y procedimientos empleados para la obtención de estos valores se presentan en el *Anexo A*.

3.2.2 Comportamiento del pórtico idealizado

Antes de diseñar los elementos del galpón, los cuales estarán sometidos a diferentes cargas, se efectúa el análisis del pórtico idealizado aplicando la carga distribuida previamente obtenida.

Figura 18.*Diagrama de Momento obtenido por SAP2000***Figura 19.***Diagrama de Cortante obtenido por SAP2000*

3.2.3 Predimensionamiento de los elementos

La Tabla 9 presenta los perfiles propuestos para cada elemento, los cuales cumplen con las exigencias preliminares de resistencia y rigidez, considerando únicamente las cargas gravitacionales obtenidas en el apartado 3.2.1. Este procedimiento permitió estimar perfiles iniciales que servirán como base para el posterior análisis y diseño definitivo de la estructura.

Tabla 8.*Perfiles obtenidos del prediseño*

PERFILES DEL PREDISEÑO		
Elemento	Perfil	[U]
Cordón Sup	C 200x50x4	mm
Cordón Inf	C 200x50x4	mm
Ángulos dobles	2L 40x40x3	mm
Correas	G 175x50x15x3	mm
Columnas	2C 300x100x6	mm

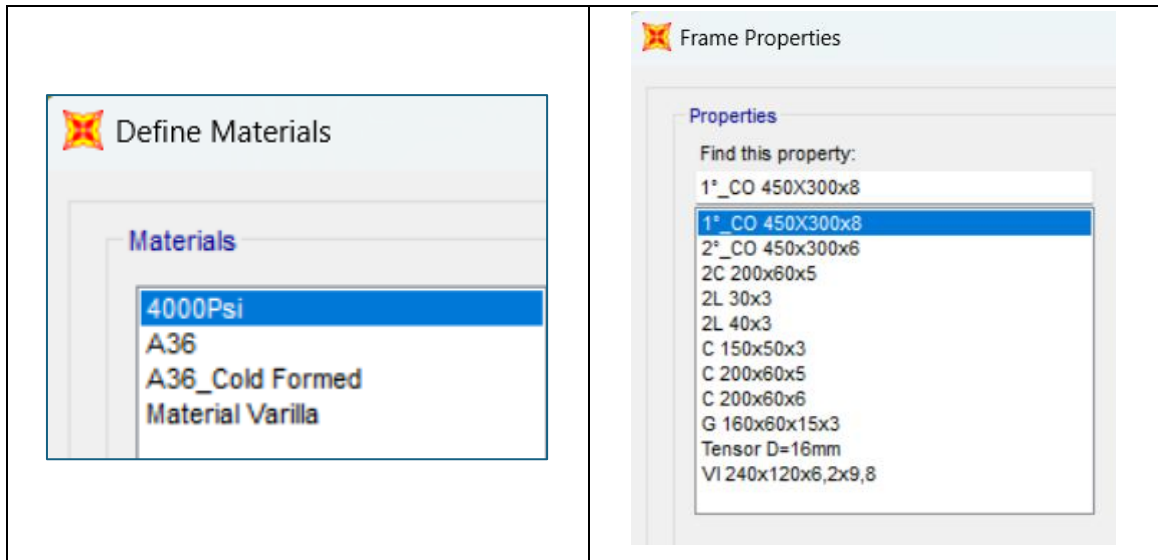
Es importante señalar que estas dimensiones de perfiles corresponden únicamente a un dimensionamiento preliminar, sujeto a ajustes posteriores tras el análisis estructural integral que considere todas las solicitaciones, incluidas las cargas sísmicas, de viento y puente grúa.

El detalle completo de los cálculos realizados, así como las fórmulas y parámetros empleados en el Mathcad, se encuentra en el *Anexos*.

3.3 Análisis Estructural en SAP2000

3.3.1 Materiales y secciones

Al realizar pruebas con el pórtico 2D propuesto, luego llevándolo a 3D en el programa SAP2000 e ingresando los sismos de diseño, carga de viento y carga de puente grúa; algunos perfiles no cumplían con el diseño estructural. Es por esto, que se procedió a aumentar las dimensiones establecidas en el diseño.

Tabla 9.*Materiales y secciones de la estructura del galpón industrial*

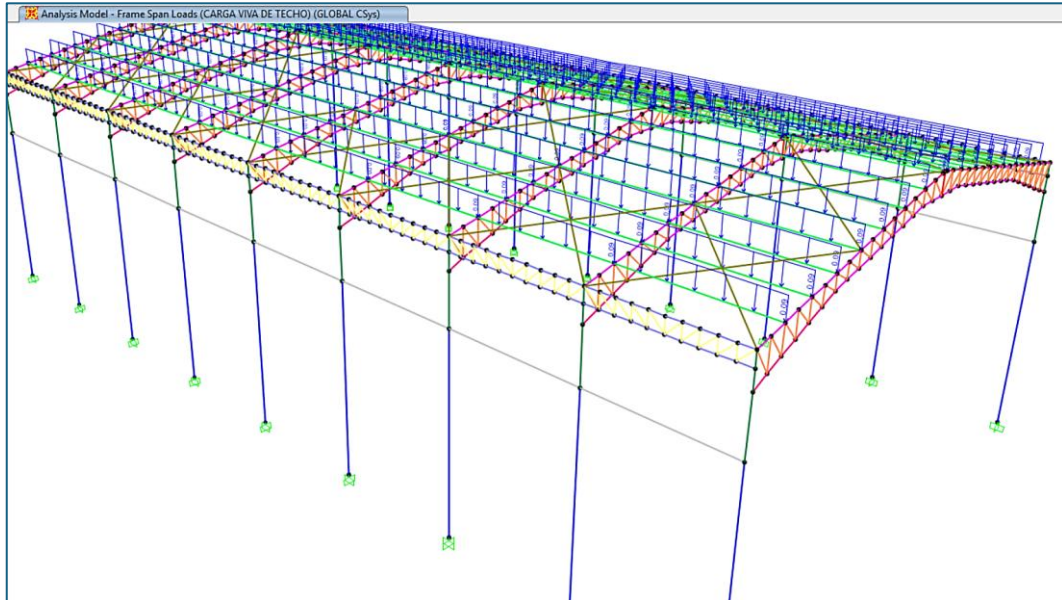
3.3.2 Asignación de Cargas

En el modelo estructural del galpón industrial se consideraron todas las cargas relevantes que podrían actuar durante su vida útil, de acuerdo con lo establecido en la normativa ecuatoriana vigente (NEC-SE-DS y NEC-SE-CG). La asignación de cada tipo de carga se realizó de la siguiente manera:

1. **Carga Viva (CV):** Se asignó una sobrecarga de uso asociada a labores de mantenimiento en cubierta, valor definido según los criterios normativos. Esta carga se aplicó de forma lineal sobre las correas, garantizando que el diseño considere la presencia eventual de personal, herramientas y materiales ligeros en labores de mantenimiento o reparación.

Figura 20.

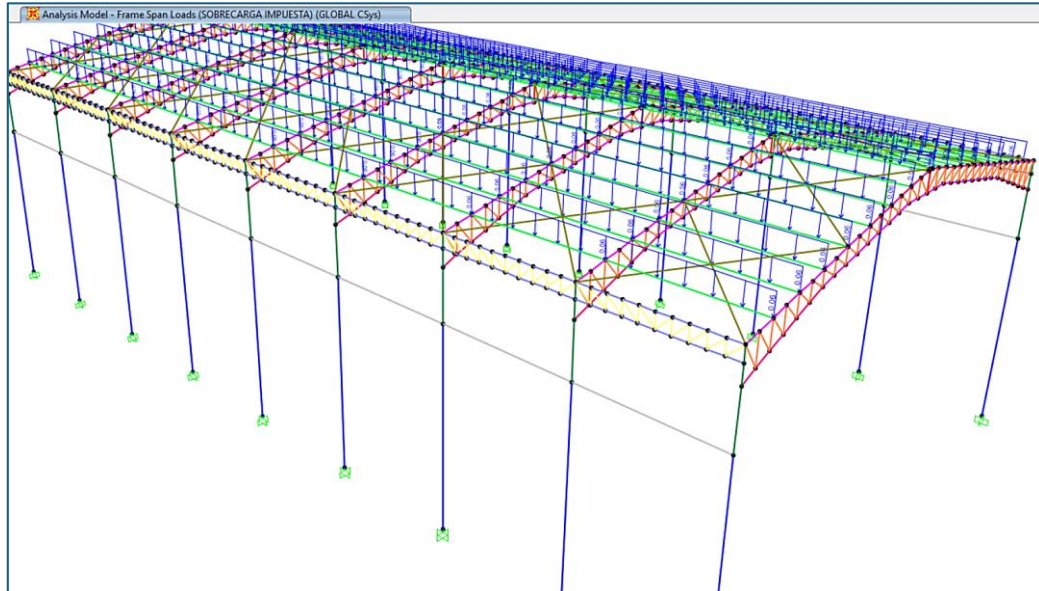
Carga viva de techo asignada a las correas en SAP2000



2. **Carga Muerta (CM):** Con el fin de tener un cálculo más preciso, la carga muerta fue subdividida en dos componentes:
 - Peso propio de la estructura. - calculado automáticamente por el software de modelado a partir de las propiedades geométricas y de densidad de los elementos estructurales (perfiles metálicos, placas, etc.).
 - Sobrecarga impuesta. - correspondiente al peso de elementos no estructurales permanentes, tales como la cubierta, instalaciones eléctricas, instalaciones mecánicas y paneles solares. Los valores fueron obtenidos a partir de catálogos de fabricantes y experiencias previas en proyectos similares.

Figura 21.

Sobrecarga impuesta asignada a las correas en SAP2000



3. **Cargas de Viento:** Se consideraron las presiones y succiones producidas por el viento, aplicando las combinaciones en barlovento y sotavento según la NEC-SE-CG, considerando la ubicación geográfica, categoría de exposición y altura de la edificación. Estas cargas se distribuyeron sobre los elementos de cerramiento y la estructura principal.

Figura 22.

Carga de Viento Barlovento asignada a las columnas y cordones superiores en SAP2000

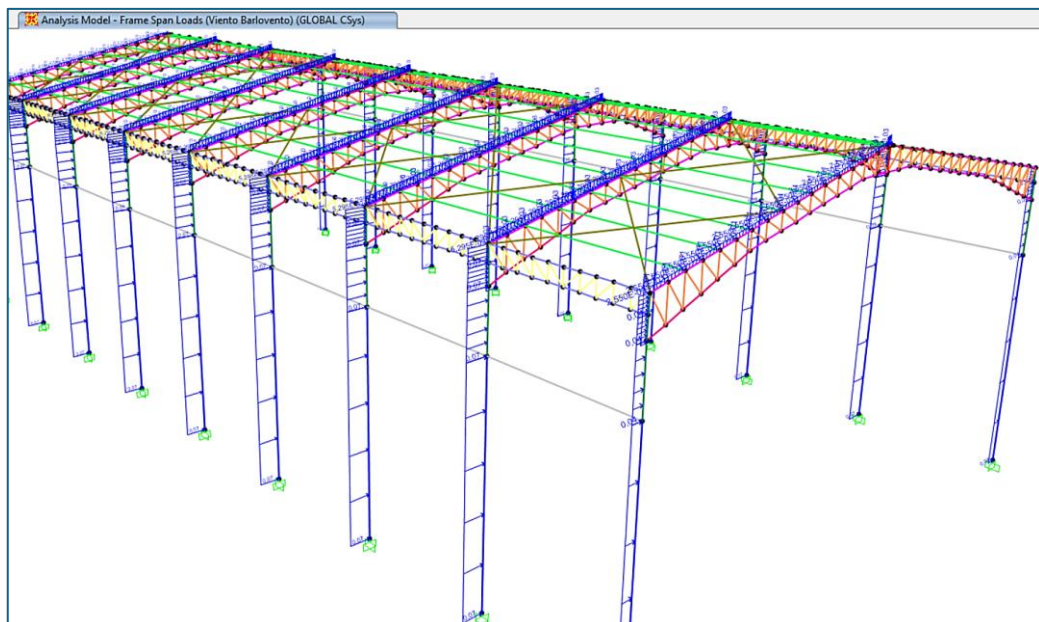
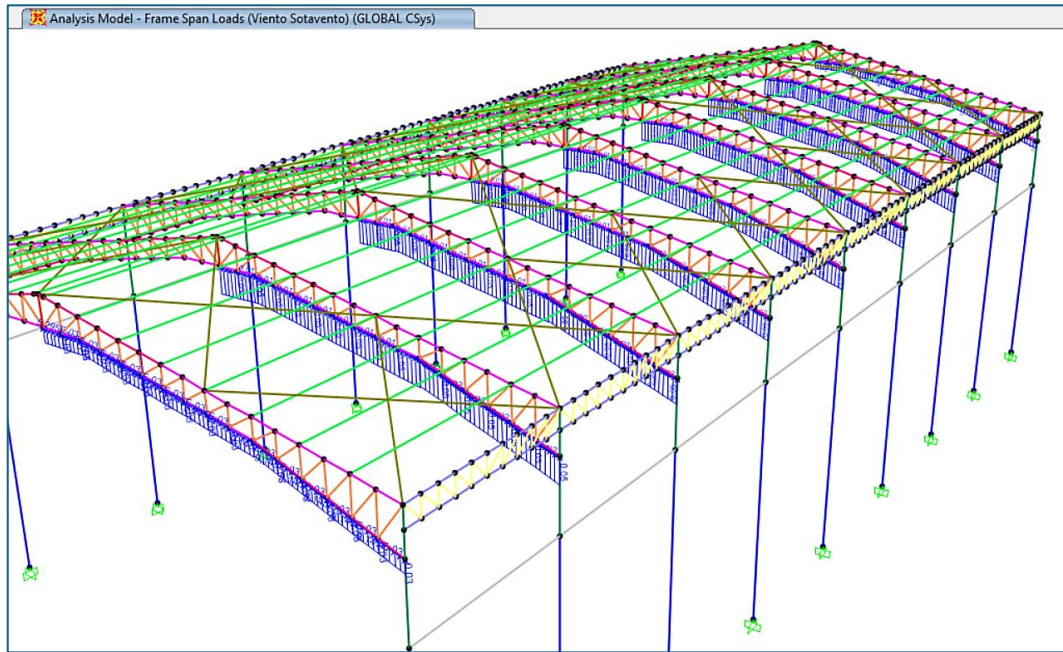


Figura 23.

Carga de Viento Sotavento asignada a los cordones inferiores en SAP2000



Los cálculos detallados, en hojas de cálculo de Mathcad, y procedimientos empleados para la obtención de estos valores se presentan en el *Anexos*.

4. **Cargas del Puente Grúa:** Para el modelado de los efectos del puente grúa, se emplearon los datos proporcionados en el catálogo técnico del fabricante. Se consideró la carga puntual máxima generada sobre la viga carrilera y el momento flector adicional debido al desplazamiento de la carga suspendida. Estos efectos se modelaron en los puntos de apoyo del equipo, garantizando que la estructura soporte tanto las condiciones de carga estática como las dinámicas asociadas a su operación.

➤ **Detalles del Puente grúa de 10 Ton**

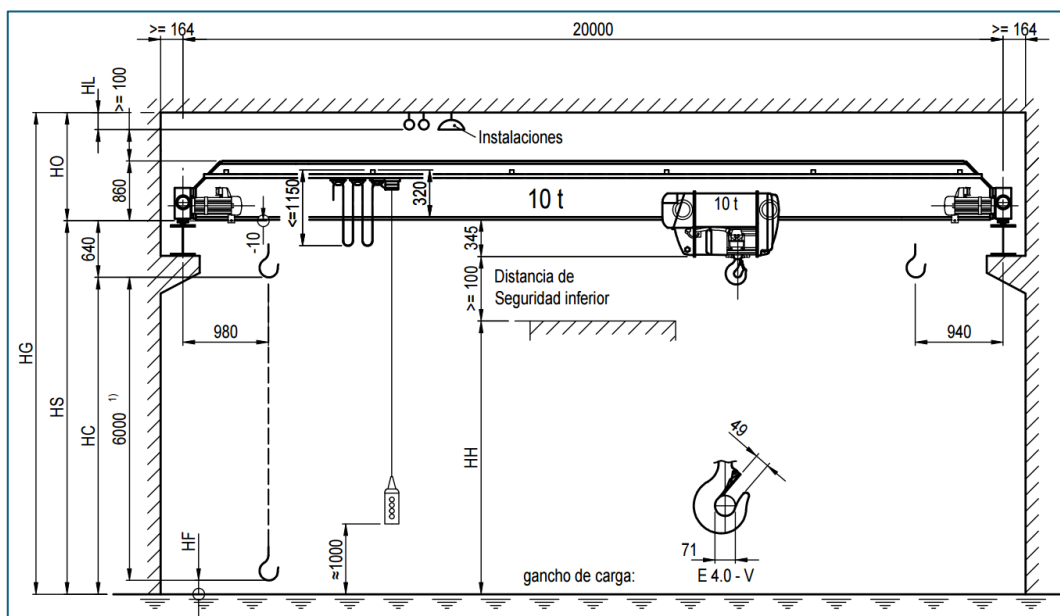
Figura 24.

Detalles del puente grúa monorriel - Catálogo del Fabricante de Puente Grúa ABUS

Grúa	ELK 10 t x 20000 mm
Base de cálculos	DIN 15018, H2/B3
Carro	GM 3000.10000 H-242.41.6000.4.E 160.24
Grupo F.E.M	2m / M5
Lugar producción	Uso en naves cerradas
Condiciones ambientales	-5° C hasta +40° C, sin requerimientos particulares
Trasl. grúa	6 / 24 m/min
Trasl. del carro	6 / 24 m/min
Elevación	1 / 6 m/min
Peso total	5890 kg (de ello Carro 658 kg)

Figura 25.

Plano de puente grúa monorriel de 10 Ton - Catálogo del Fabricante de Puente Grúa ABUS



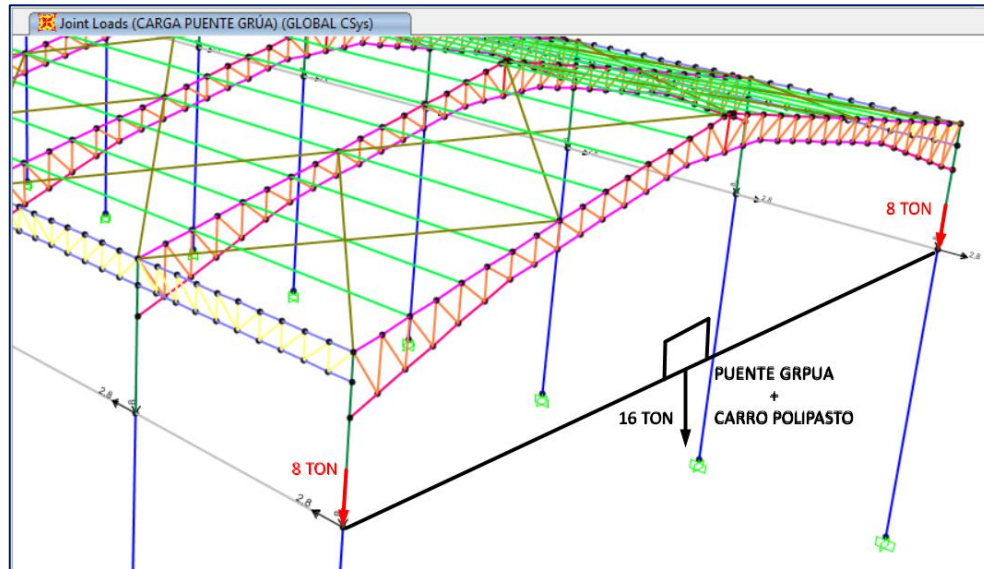
Los planos detallados y características específicas del puente grúa monorriel de 10 TON se presentan en el **Anexo C**.

➤ Cálculo de la cargas y momentos del Puente grúa de 10 Ton

Del peso total correspondiente a la carga izada por el puente grúa más el carrito polipasto, obtenemos una carga puntual de 16 Ton aplicada a la mitad de la luz libre del galpón en donde es una de las posiciones más críticas. Se divide la carga en partes iguales entre las dos columnas adyacentes al eje de traslación del equipo; recibiendo cada una, una carga de 8 Ton a la altura de la ménsula (7.50 m).

Figura 26.

Carga puntual de 16 TON debido a la carga izada máxima y el peso del polipasto



Por motivos estratégicos para el análisis modal, no se modelaron la ménsula, ni la viga carrilera o el puente grúa, debido a que:

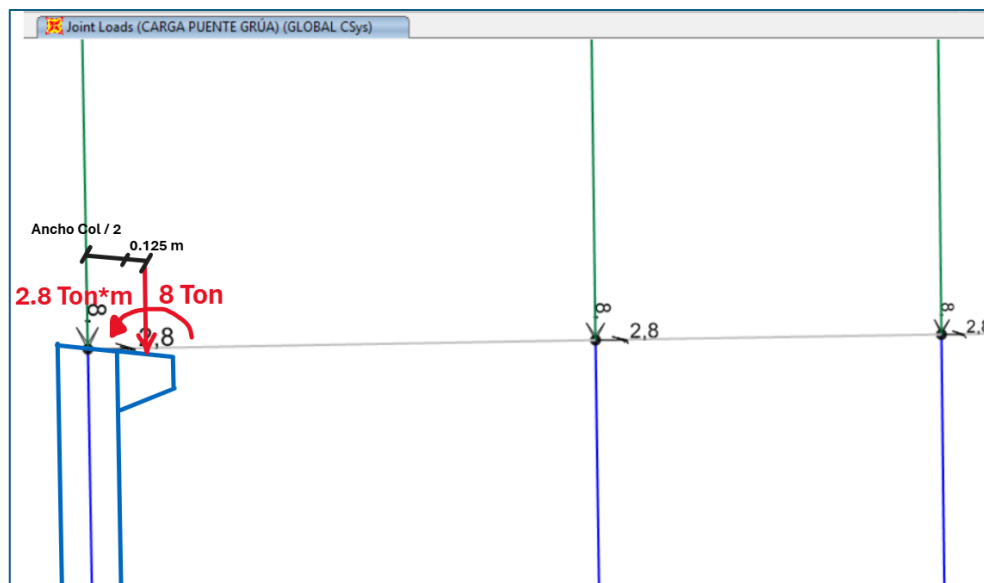
- Incluir esos elementos volumétricos rígidos y las cargas móviles asociadas altera significativamente los modos de vibración naturales de la estructura, lo que puede inducir resultados poco realistas (como cambios en el período dominante de más del 20–30 %) como demuestra Aydin (2022), quien observó un aumento del 27.9 % en el período con grúa incluida.
- En lugar de modelarlos directamente, se representó la acción del puente grúa mediante cargas equivalentes aplicadas en las columnas: la carga puntual dividida entre dos columnas y un momento flector para compensar la excentricidad generada por la ménsula y la viga carrilera. Esta simplificación permite conservar un perfil modal apropiado, sin introducir rigideces localizadas que deformen los resultados del análisis modal.

Esta metodología es coherente con prácticas recomendadas en literatura técnica, donde se suele aplicar la carga del puente grúa como carga puntual o carga en rueda y efectos exteriores, sin modelar todos los componentes de forma explícita (Gairhe, 2015).

Entonces, se consideró el momento flector generado por la excentricidad producida por la carga de 8 Ton sobre la ménsula; la cual se calculó como la suma de la mitad del ancho de la columna más una distancia aproximada equivalente a la mitad de la longitud de la ménsula de apoyo de la viga carrilera.

Figura 27.

Representación de la acción del puente grúa mediante cargas equivalentes aplicadas en las columnas



Estas solicitaciones se representaron en el modelo estructural mediante una carga puntual vertical (8 Ton) aplicada en cada columna, junto con el momento flector asociado (2.8 Ton*m). Para mantener un criterio conservador en el análisis, tanto la carga como el momento fueron aplicados en todos los pórticos del galpón, garantizando así que el diseño absorba de manera adecuada los efectos del puente grúa en cualquier posición de operación.

3.3.3 Análisis Modal

Para el análisis modal de la estructura, se determina el período fundamental de vibración T mediante un cálculo manual desarrollado en Excel, siguiendo el Método 1 establecido en la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-15, sección Sismo Resistencia. Para ello, se debe de calcular el espectro sísmico y el coeficiente basal utilizando los factores de zona, la tipología del suelo, altura de la estructura, importancia de la estructura y coeficiente de elevación y planta.

Tabla 10.

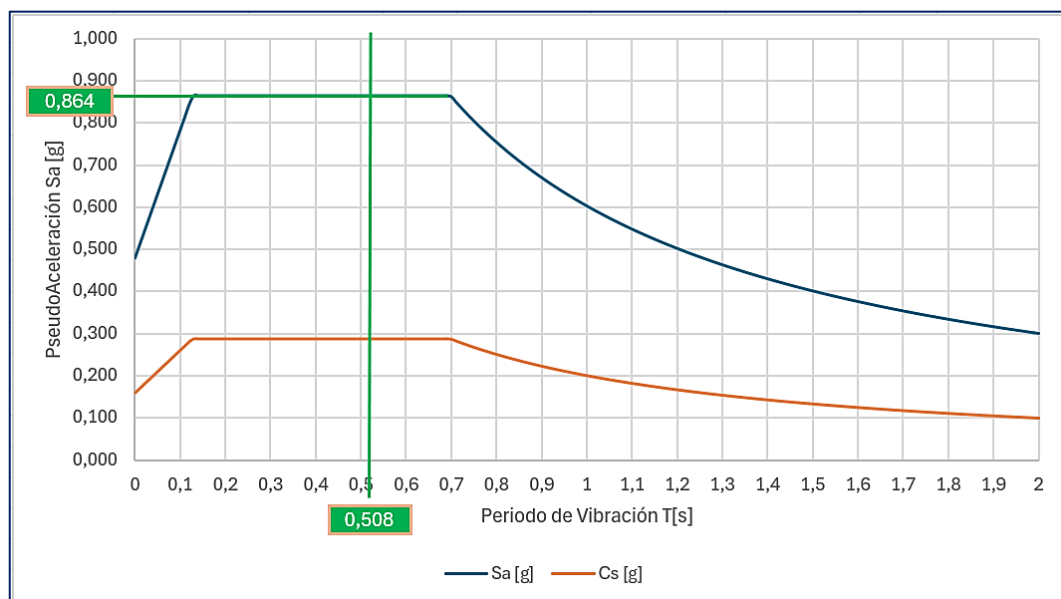
Factores de zona para construcción del espectro sísmico

Coeficiente Cs. Espectro Elástico e Inelástico		
Ciudad: Guayaquil		
h	11,5	m
Z(g)	0,4	
Tipo de Suelo	D	
Fa	1,20	
Fd	1,19	
Fs	1,28	
n	1,80	
r	1	

I	1
R	3
Ø_p	1
Ø_e	1

Figura 28.

Espectro Elástico e inelástico para un suelo tipo D en Guayaquil



De acuerdo con lo establecido en la NEC-SE-DS 2015:

Figura

29.

Periodo Fundamental según la NEC-SE-DS 2015

b. Método 2

El período fundamental T puede ser calculado, utilizando las propiedades estructurales y las características de deformación de los elementos resistentes, en un análisis apropiado y adecuadamente sustentado. Este requisito puede ser cumplido mediante la utilización de la siguiente expresión, aplicada en cada dirección principal de la estructura o por medio de un análisis modal:

Sin embargo, el valor de T_a calculado según el método 2 no debe ser mayor en un 30% al valor de T_a calculado con el Método 1.

Por lo tanto, se realiza el cálculo manual del período fundamental mediante el Método 1 (expresiones empíricas) empleando una hoja de cálculo en Excel y, posteriormente, el período fundamental computacional mediante análisis modal en SAP2000 (Método 2). Ambos resultados se comparan para verificar el cumplimiento de la condición establecida por la normativa.

Tabla 11.

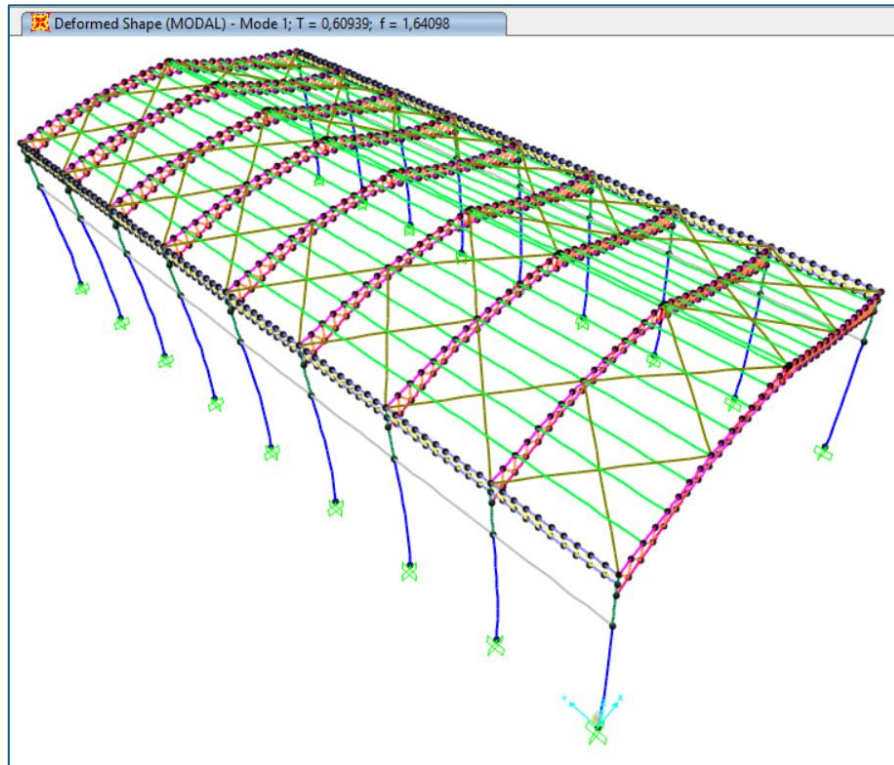
Cálculo del periodo Manual (Método 1)

		Periodo Manual			
En X			En Y		
Periodo Fundamental T			Periodo Fundamental T		
Ct	0,072		Ct	0,073	
hn	11,5		hn	11,5	
α	0,8		α	0,75	
T1	0,508	[s]	T2	0,456	[s]
Demanda Sísmica			Demanda Sísmica		
Sa (T1) =	0,864	[g]	Sa (T2) =	0,864	[g]
Coeficiente Basal (V)			Coeficiente Basal (V)		
Cs [g]	0,288	[g]	Cs [g]	0,288	[g]

Posteriormente, se modela el galpón industrial en SAP2000, ejecutando un análisis modal para obtener los períodos y modos de vibración propios de la estructura (Método 2).

Figura 30.

Primer modo de vibración de la estructura en SAP2000. Traslación Pura en dirección X

**Figura 31.**

Segundo modo de vibración de la estructura en SAP2000. Traslación Pura en dirección Y

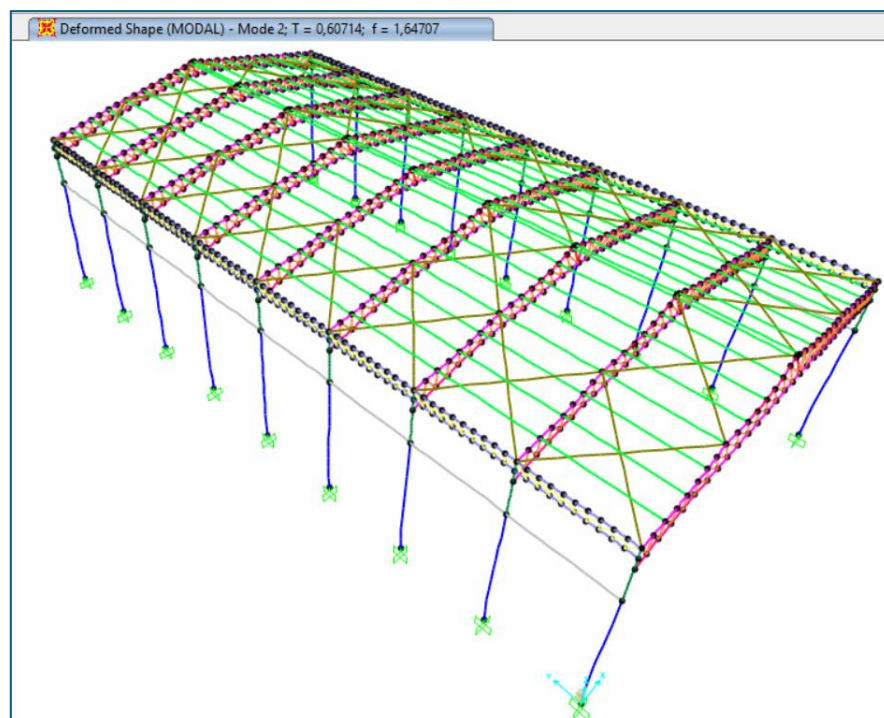
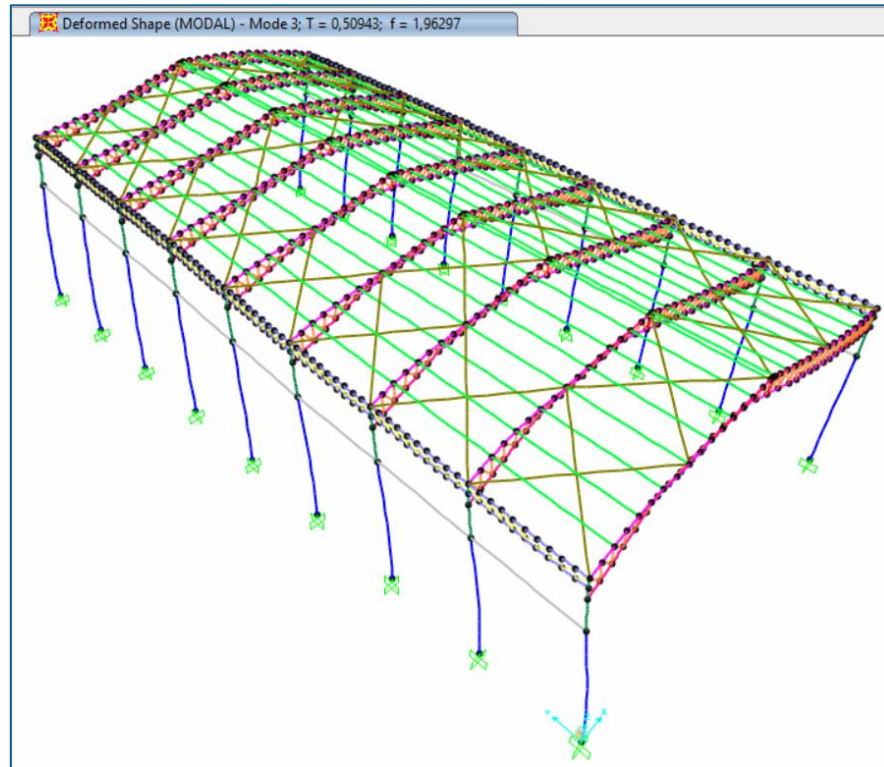


Figura 32.

Tercer modo de vibración de la estructura en SAP2000. Rotación Pura



De acuerdo con lo establecido por la NEC, el período obtenido con el análisis modal no debe superar en más de un 30 % el valor calculado mediante el Método 1. Entonces:

Tabla 12.

Periodo fundamental de la estructura mediante el método 2

Método 1: Manual		
T₁	0,508	[s]
No debe ser > en un 30%		1,30
Método 2: Computacional		
T_a=	0,660	[s]

Finalmente, ninguno de los 3 primeros modos de vibración del galpón industrial, modelados en el software SAP2000, no exceden el límite propuesto por la NEC, siendo este $T_a = 0.660$ s. Este resultado garantiza que la estructura presenta una rigidez adecuada frente a la acción sísmica, evitando que el modelo refleje un comportamiento excesivamente flexible que podría subestimar las fuerzas sísmicas de diseño.

3.3.4 Participación de Masa

En el análisis modal realizado, se obtuvo una participación modal acumulada superior al 90 % de la masa total de la estructura en cada una de las direcciones horizontales principales, cumpliendo plenamente con lo establecido en el Capítulo 6, Sección 6.2.2 (e) de la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-SE-DS).

Tabla 13.

Participación de Masa Modal

TABLE: Modal Participating Mass Ratios								
CASE	MODE	Period sec	UX	UY	RZ	SumUX	SumUY	SumRZ
MODAL	1	0,681182	0,948945	5,92E-09	5,51E-08	0,948945	5,92E-09	1,86E-08
MODAL	2	0,539137	6,33E-09	0,964868	6,48E-09	0,948945	0,964868	8,32E-07
MODAL	3	0,511528	1,86E-08	6,18E-07	6,96E-09	0,948945	0,964869	0,942021
MODAL	4	0,352859	1,44E-07	1,13E-07	0,497007	0,948946	0,964869	0,942021
MODAL	5	0,330413	2,48E-10	5,12E-08	2,89E-07	0,948946	0,964869	0,942629
MODAL	6	0,301109	1,46E-10	4,73E-10	1,14E-07	0,948946	0,964869	0,94263
MODAL	7	0,301018	9,45E-11	4,94E-08	2,83E-07	0,948946	0,964869	0,942806
MODAL	8	0,300433	2,10E-11	5,46E-09	4,47E-10	0,948946	0,964869	0,942806
MODAL	9	0,300392	1,36E-08	6,57E-11	2,29E-08	0,948946	0,964869	0,942806
MODAL	10	0,300305	8,42E-11	7,58E-09	1,44E-09	0,948946	0,964869	0,942823
MODAL	11	0,300067	3,30E-08	1,74E-09	1,09E-08	0,948946	0,964869	0,942823
MODAL	12	0,299972	5,36E-10	2,13E-09	3,53E-08	0,948946	0,964869	0,942852

Estos resultados indican que el modelo estructural captura adecuadamente la respuesta dinámica global de la estructura, garantizando que la mayor parte de la masa estructural participa en los modos considerados.

Figura 33.

Participación de Masa Modal según la NEC-SE-DS

Todos los modos que involucren la participación de una masa modal acumulada de al menos el 90 % de la masa total de la estructura, en cada una de las direcciones horizontales principales consideradas (NE-SE-DS, Capítulo 6.2.2 (e)).

3.3.5 Derivas de Piso

La estructura presentó deformaciones y derivas de piso inferiores a las máximas admisibles.

Figura 34.

Desplazamientos máximos en el pórtico debido al sismo estático en dirección X

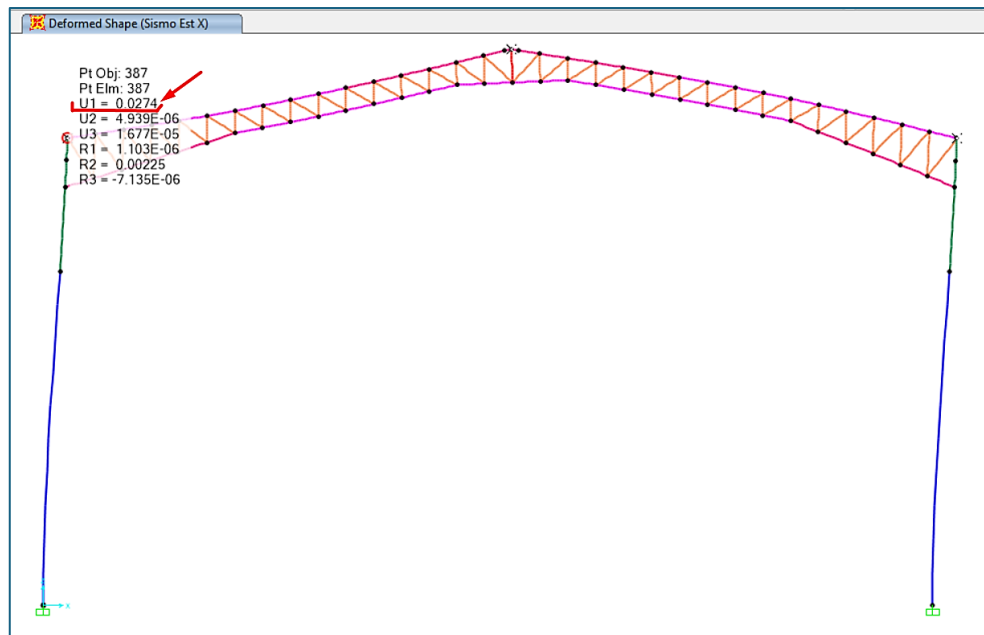
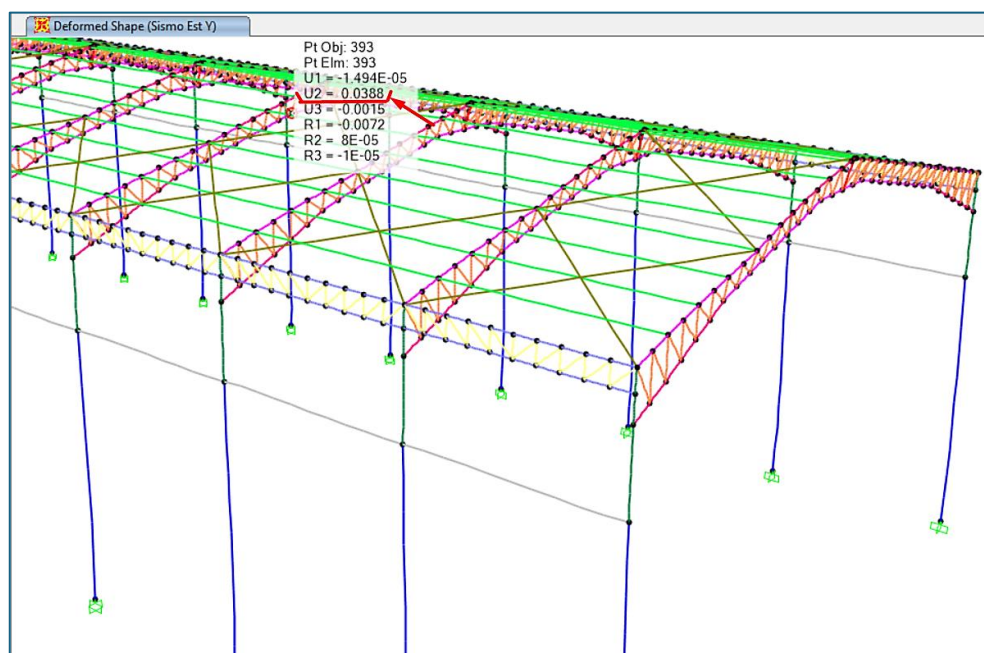


Figura 35.

Desplazamientos máximos en el pórtico debido al sismo estático en dirección Y



Para estructuras metálicas, la norma establece un límite permisible ($\Delta_{Máx}$) de 0.02. Por lo tanto, se realizó el siguiente chequeo para controlar las derivas de piso:

Tabla 14.

Desplazamientos articulares de nodos del pórtico debido a sismos y combinaciones de carga.

TABLE: Joint Displacements					
Joint	OutputCase	CaseType	U1	U2	U3
			m	m	m
481	Sismo Est X	LinStatic	0,028331	-2,18E-06	-0,006782
509	Sismo Est X	LinStatic	0,028328	-8,99E-06	0,006795
480	Sismo Est X	LinStatic	0,028301	-2,14E-06	-0,006112
681	Sismo Est Y	LinStatic	-2,10E-06	0,039618	-0,000014
684	Sismo Est Y	LinStatic	4,44E-06	0,03961	-0,000011
713	Sismo Est Y	LinStatic	-3,42E-07	0,039293	-8,98E-06
470	D + L + Dix	Combination	0,035692	0,005419	-0,000258
398	D + L - Dix	Combination	0,035627	0,005431	-0,000258
542	D + L + Dix	Combination	0,035541	0,005404	-0,000258
681	Sismo Din Y	LinRespSpec	0,01918	0,097168	0,002648
684	Sismo Din Y	LinRespSpec	0,01918	0,097145	0,002643
713	Sismo Din Y	LinRespSpec	0,019201	0,096275	0,002081

Tabla 15.

Control de derivas de piso

Chequeo de Derivas de piso							
Dirección	Desplaz	Altura	Deriva_elas	R	Deriva_inel	Deriva_Máx	¿Cumple?
	[m]	[m]	Δ_e		Δ_{ine}		
X	0,028331	12,5	0,227%	3	0,510%	2%	Cumple
	0,028328	12,5	0,227%	3	0,510%	2%	Cumple
	0,028301	11	0,257%	3	0,579%	2%	Cumple
Y	0,039618	11	0,360%	3	0,810%	2%	Cumple
	0,03961	12	0,330%	3	0,743%	2%	Cumple
	0,039293	12	0,327%	3	0,737%	2%	Cumple
X	0,035692	12,5	0,285%	3	0,642%	2%	Cumple
	0,035627	12,5	0,286%	3	0,641%	2%	Cumple
	0,035541	11	0,323%	3	0,727%	2%	Cumple
Y	0,097168	12	0,810%	3	1,822%	2%	Cumple
	0,097145	12	0,810%	3	1,821%	2%	Cumple
	0,096275	12	0,802%	3	1,805%	2%	Cumple

3.3.6 Demanda/Capacidad

Diseñamos los elementos estructurales mediante la relación de Demanda/Capacidad

Figura 36.

Diseño de los perfiles de acero A36 conformados en caliente en SAP2000, vista 3D

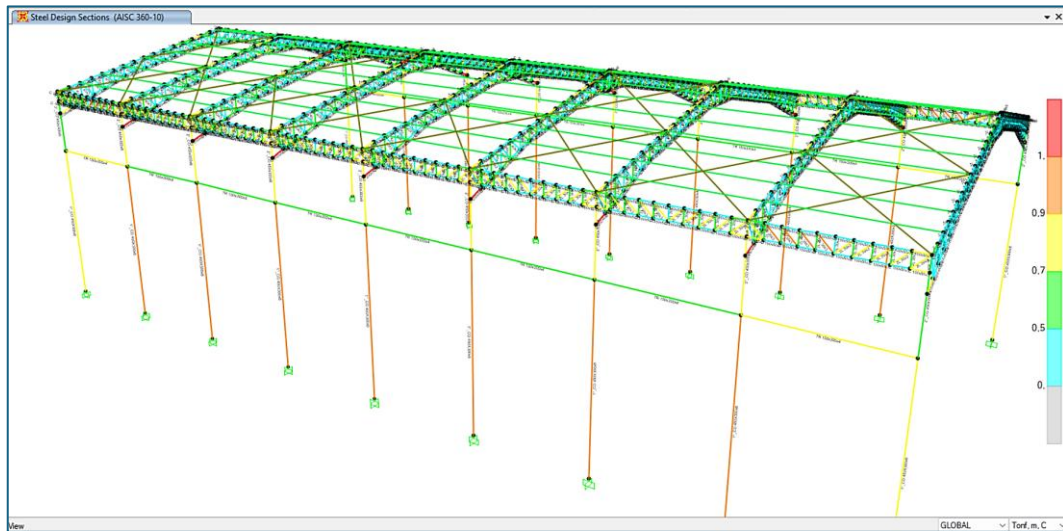


Figura 37.

Diseño de elementos Cold Formed, de correas, establecidas en SAP2000

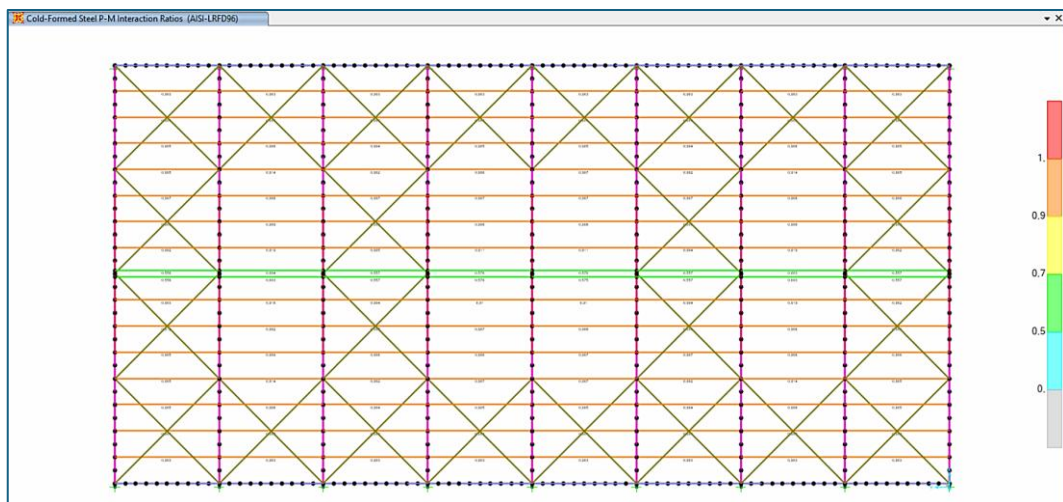


Figura 38.

Diseño de los elementos conformado en caliente - SAP2000, vista lateral



3.4 Diseño Estructural y Detallamiento de los Elementos Estructurales del Galpón

3.4.1 Diseño y detallamiento de los elementos de la cercha

El diseño de los elementos que conforman la cercha del galpón se realizó mediante el software SAP2000, empleando como referencia normativa el AISC 360-10, bajo el método de Análisis Directo (Direct Analysis Method).

Para la evaluación estructural se modelaron los cordones superior e inferior, así como los montantes y diagonales de la cercha. Se asignó secciones tipo canal estructural C 200x60x5 y, en las zonas con mayores esfuerzos, secciones C 200x60x6 mm para la chumbara y en los extremos de la viga. El programa permitió verificar los estados límites últimos (resistencia) y de servicio, considerando las combinaciones de carga establecidas en la NEC-15.

➤ Diseño de la cercha

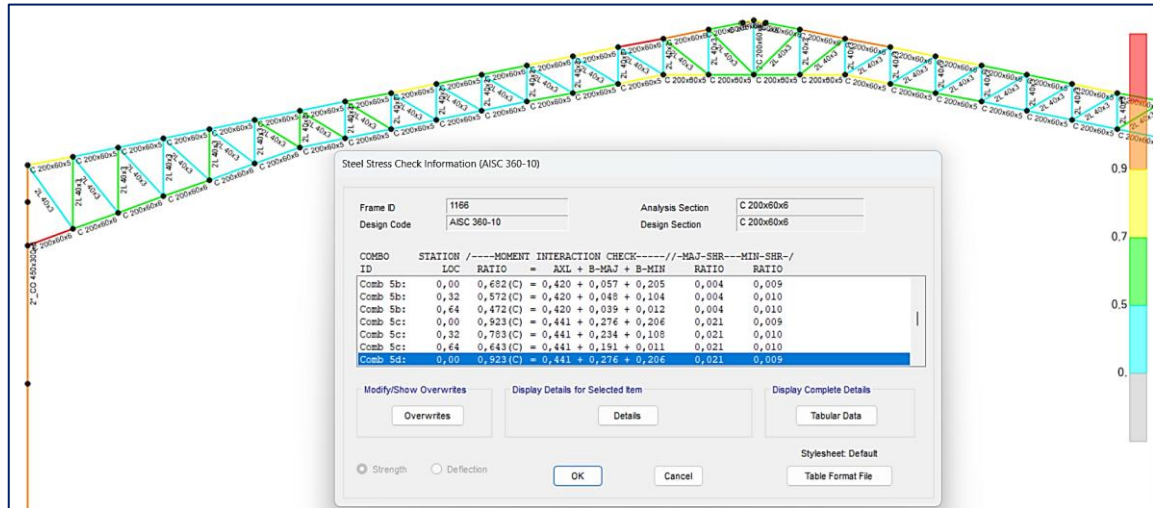
De acuerdo con los reportes obtenidos, la ratio máxima de interacción (D/C Ratio) alcanzado en los miembros de la cercha fue de 0.923, valor inferior al límite reglamentario de 1.0, lo que garantiza que los elementos cumplen con la resistencia exigida. Este

resultado refleja un adecuado desempeño tanto en fuerza axial como en flexión biaxial y corte, evidenciado en las verificaciones presentadas en los reportes de diseño.

Figura

39.

Diseño de los elementos de la cercha bajo la normativa AISC 360 - 10



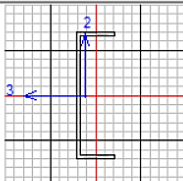
En particular, el análisis mostró:

- Fuerza axial máxima de compresión: 17.27 Ton, con capacidad resistente de 39.12 Ton.
- Momentos flectores: el mayor momento en el plano principal fue de 0.714 Ton · m, frente a una capacidad de 2.3 Ton · m, cumpliendo con holgura.
- Esfuerzos cortantes: la mayor demanda fue de 0.343 Ton, con una capacidad resistente de 16.40 Ton, confirmando un margen de seguridad elevado.

La revisión gráfica de colores por rangos de utilización estructural (0 – 1.0) mostró que los elementos de la cercha trabajan de manera eficiente, con predominancia de valores entre 0.4 y 0.9, lo cual es coherente con un diseño seguro y optimizado.

Tabla 16.

Datos de comprobación de esfuerzos del acero en SAP2000

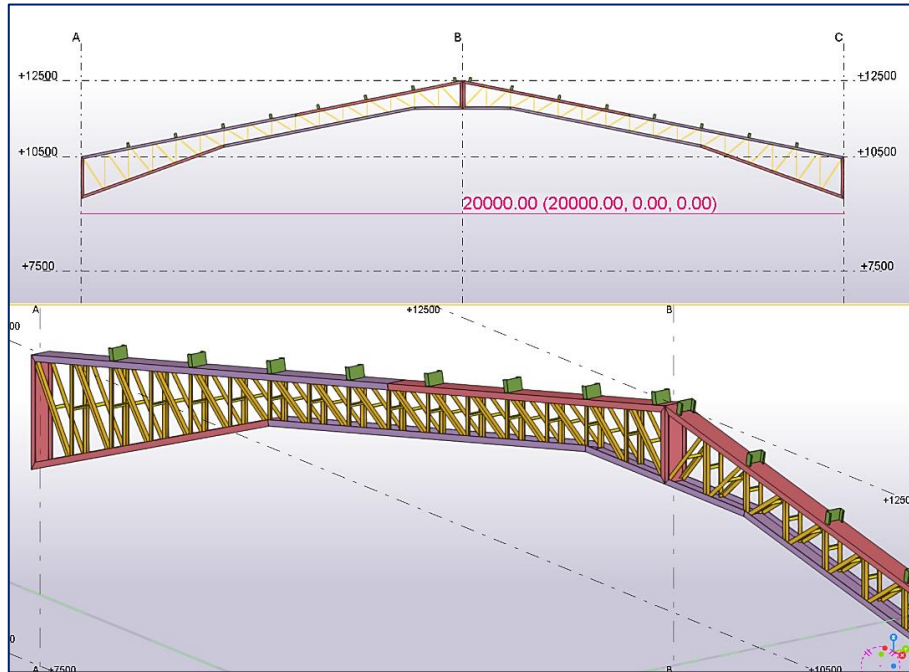
Steel Stress Check Data AISC 360-10						
File						
				Units: Tonf, m, C		
AISC 360-10 STEEL SECTION CHECK (Summary for Combo and Station) Units : Tonf, m, C						
Frame : 1166	X Mid: 9,062	Combo: Comb Sd: 1.2D + L	Design Type: Brace			
Length: 0,637	Y Mid: 25,000	Shape: C 200x60x6	Frame Type: OMF			
Loc : 0,000	Z Mid: 12,312	Class: Non-Compact	Princpl Rot: 0,000 degrees			
Provision: LRFD Analysis: Direct Analysis D/C Limit=0,950 2nd Order: General 2nd Order Reduction: Tau-b Fixed AlphaPr/Py=0,369 AlphaPr/Pe=0,065 Tau_b=1,000 EA factor=0,800 EI factor=0,800 Ignore Seismic Code? Yes Ignore Special EQ Load? Yes D/P Plug Welded? Yes						
SDC: D	I=1,000	Rho=1,000	Sds=0,500			
R=8,000	Omega0=3,000	Cd=5,500				
PhiB=0,900	PhiC=0,900	PhiTY=0,900	PhiTF=0,750			
PhiS=0,900	PhiS-RI=1,000	PhiST=0,900				
A=0,002	I33=1,010E-05	z33=0,074	S33=1,010E-04	Av3=7,200E-04		
J=0,000	I22=0,000	z22=0,017	S22=1,161E-05	Av2=0,001		
E=20389019,16	fy=25310,507	Ry=1,500	z33=1,229E-04			
RLLF=1,000	Fu=40778,038		z22=2,072E-05			
STRESS CHECK FORCES & MOMENTS (Combo Comb Sd: 1.2D + L - Diy + 2.13PG)						
Location	Pu	Mu33	Mu22	Vu2	Vu3	Tu
0,000	-17,265	-0,714	0,061	0,283	0,071	-0,011
PMM DEMAND/CAPACITY RATIO (H1-1a) D/C Ratio: 0,923 = 0,441 + 0,276 + 0,206 = (Pr/Pc) + (8/9) (Mr33/Mc33) + (8/9) (Mr22/Mc22)						
AXIAL FORCE & BIAXIAL MOMENT DESIGN (H1-1a)						
Factor	L	K1	K2	B1	B2	Cm
Major Bending	1,750	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Minor Bending	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
	Ltbb	Kltbb	Cb			
LTB	1,000	1,000	1,140			
	Pu	phi*Pnc	phi*Pnt			
Axial	Force	Capacity	Capacity			
	-17,265	39,124	42,096			
	Mu	phi*Mn	phi*Mn	phi*Mn		
Major Moment	Moment	Capacity	No LTB	Cb=1		
	-0,714	2,300	2,300	2,300		
Minor Moment	0,061	0,265				
SHEAR CHECK						
	Vu	phi*Vn	Stress	Status		
Major Shear	Force	Capacity	Ratio	Check		
	0,343	16,401	0,021	OK		
Minor Shear	0,090	9,841	0,009	OK		
BRACE MAXIMUM AXIAL LOADS						
	P	P				
	Comp	Tens				
Axial	-17,265	0,000				

En conclusión, los resultados del análisis confirman que la cercha diseñada con perfiles C 200x60x6 y 200x60x5, cumplen satisfactoriamente con los requerimientos de la normativa vigente, garantizando la resistencia estructural frente a las solicitaciones gravitacionales y sísmicas que actúan en la zona de Guayaquil.

➤ Detallamiento de la cercha

Figura 40.

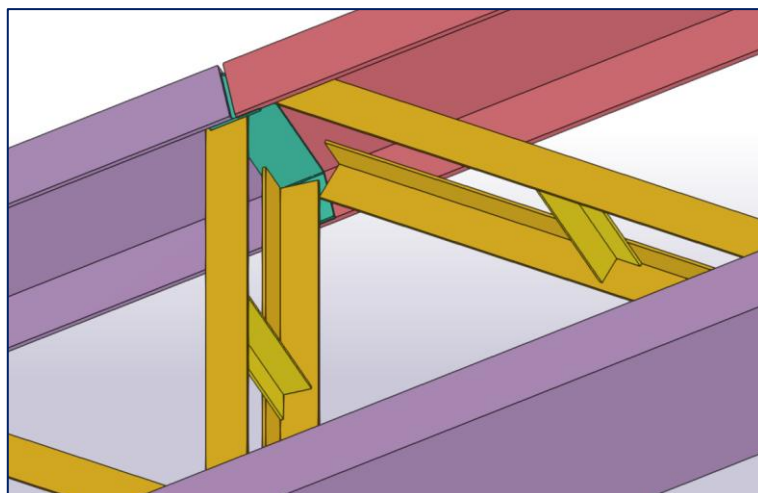
Detallamiento de los elementos de la cercha en Tekla Structures



Mediante el software de modelado y detallado, Tekla Structures, realizamos la creación de cerchas al permitir modelado 3D preciso, detallado y con información, lo que facilita la colaboración y reduce errores. Además, podemos realizar el detallamiento de los empalmes entre canales C para cuando exceden los 6 m.

Figura 41.

Detallamiento de la unión entre 2 perfiles C de la cercha en Tekla Structures



3.4.2 Diseño y detallamiento de las columnas

Para el diseño de las columnas del galpón industrial se consideró una sección rectangular, obteniéndose dimensiones de $450 \times 300 \times 8$ mm. Este cálculo de la sección determina si la columna cumple con los requisitos de sección compacta o sísmicamente compacta, conforme a la normativa vigente. Así mismo, se verificó que la columna satisface las solicitaciones de diseño, garantizando su seguridad estructural y su adecuado desempeño frente a cargas gravitacionales y sísmicas.

➤ Diseño de las Columnas

Tabla 17.

Propiedades mecánicas y geometría de la columna para el galpón

Datos de la estructura		
Pu	28	ton

Propiedades mecánicas		
Fy	36	ksi
	2529,87	kg/cm ²
	25298,66	Ton/m ²
E	2100000	kg/cm ²
Área As (Ag)	0,011744	m ²
Peso Lineal	92,19	kg/m
Ix	0,000184055	m ⁴
Iy	0,000343458	m ⁴
Zx	0,0013738	m ³
Zy	0,0018142	m ³
rx	0,13	m
ry	0,17	m

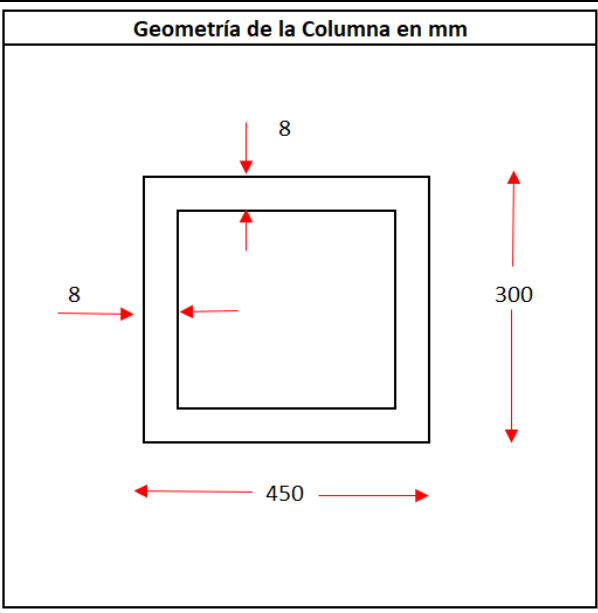
Geometría de la Columna en mm	
	

Tabla 18.

Cálculo de la sección compacta o sísmicamente compacta de la columna cajón

Tabla D1.1b - AISC341-22	
Sin Hormigón	
For $C_a \leq 0.113^{[b]}$ $2.45(1 - 1.04C_a) \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}}$	For $C_a \leq 0.113^{[b]}$ $3.76(1 - 3.05C_a) \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}}$
For $C_a > 0.113$ $2.26(1 - 0.38C_a) \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}}$ $\geq 1.56 \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}}$	For $C_a > 0.113$ $2.61(1 - 0.49C_a) \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}}$ $\geq 1.56 \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}}$
Constante	25,27
R _y	1,3
$C_a = \frac{\alpha_s P_r}{R_y F_y A_g}$	
ca	0,07
Para Columnas Sísmicamente compactas	
h/tw limit	57,24
Para Columnas compactas	
h/tw limit	74,00

¿COLUMNA CON HORMIGÓN?	
NO	
Columna Sísmica	57,24
Columna Compacta	74,00
Compacidad del alma	
b/tw	56,25
h/tf	37,5
	SISMICA
	SISMICA

CAPACIDAD DE LA COLUMNA		
L	10,5	m
F _y	2529,87	kg/cm ²
E	2100000	kg/cm ²
K	1	
KL/r	83,87	
F _e	2946,27	kg/cm ²
F _{cr}	1766,10	kg/cm ²
	17660,95	Ton/m ²
øP _n	186,67	Ton
D/C	0,15	
SI CUMPLE LA SECCIÓN		

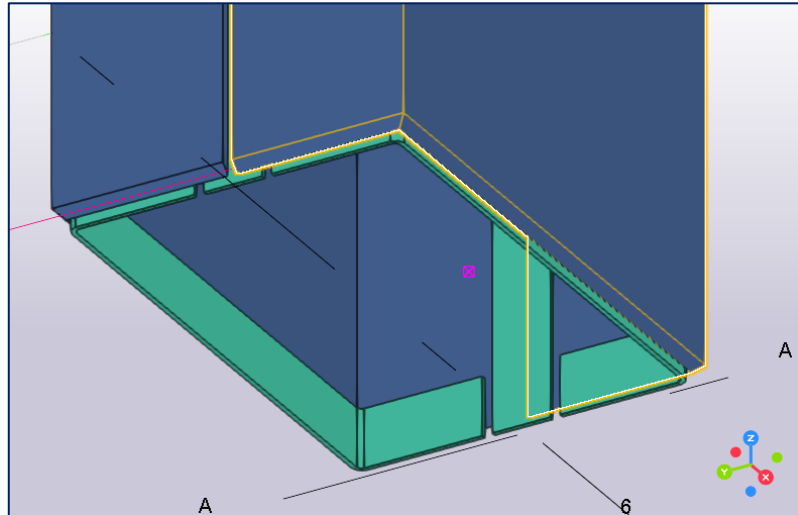
Entonces, la columna tipo cajón rectangular, de dimensiones de $450 \times 300 \times 8$ mm cumple con los requerimientos sísmicos y gravitacionales. Sin embargo, dichas dimensiones no corresponden a perfiles comerciales disponibles en el mercado, por lo que se adoptó una solución constructiva alternativa.

La columna será conformada mediante flejes o planchas de acero, los cuales se doblarán para obtener dos perfiles tipo canal (C). Posteriormente, estas piezas serán unidas mediante dos platinas de respaldo, utilizando soldadura de penetración completa, con el fin de garantizar la continuidad estructural y el adecuado desempeño bajo cargas axiales y de flexión.

➤ Detallamiento de las Columnas

Figura 42.

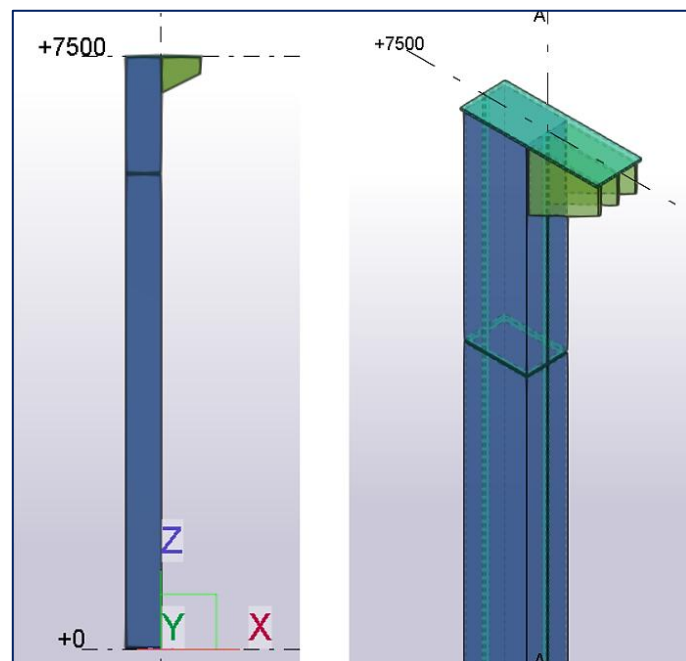
Detallamiento de la sección de la columna a partir de 2 canales C hechos por flejes y platina de respaldo



Debido a que el espesor del canal es de 8 mm, se deja esa misma apertura para la unión con la soldadura. La platina de respaldo es de un espesor de 4mm, la cual ayuda a mantener los perfiles alineados y asegurar que la soldadura será de penetración completa.

Figura 43.

Detallamiento de la columna con ménsula a partir de 2 canales C y platina de respaldo



3.4.3 Diseño de la Ménsula

La ménsula se diseñó en acero ASTM A572 Gr.50 por su límite de fluencia de 345 MPa, que asegura mayor resistencia, rigidez y buena soldabilidad, características necesarias en elementos sometidos a cargas dinámicas de puente grúa.

Las dimensiones adoptadas (placa de coronación PL 970×330×15 mm y cuerpo de ménsula de 15 mm con rigidizadores) responden a:

- Transferir de forma segura las reacciones verticales y horizontales de la viga carrilera hacia la columna.
- Mantener un canto y saliente adecuados para resistir el momento en voladizo y garantizar la correcta alineación del riel.
- Rigidizadores triangulares que evitan pandeo local y mejoran la rigidez rotacional.

El criterio de diseño se basó en las acciones de servicio del puente grúa (peso propio, carga izada, impacto, frenado lateral) y en las combinaciones de carga según AISC 360, AISC Design Guide 7 y la NEC-SE.

➤ Detallamiento de las Ménsulas

Figura 44.

Detallamiento y dimensiones de la ménsula

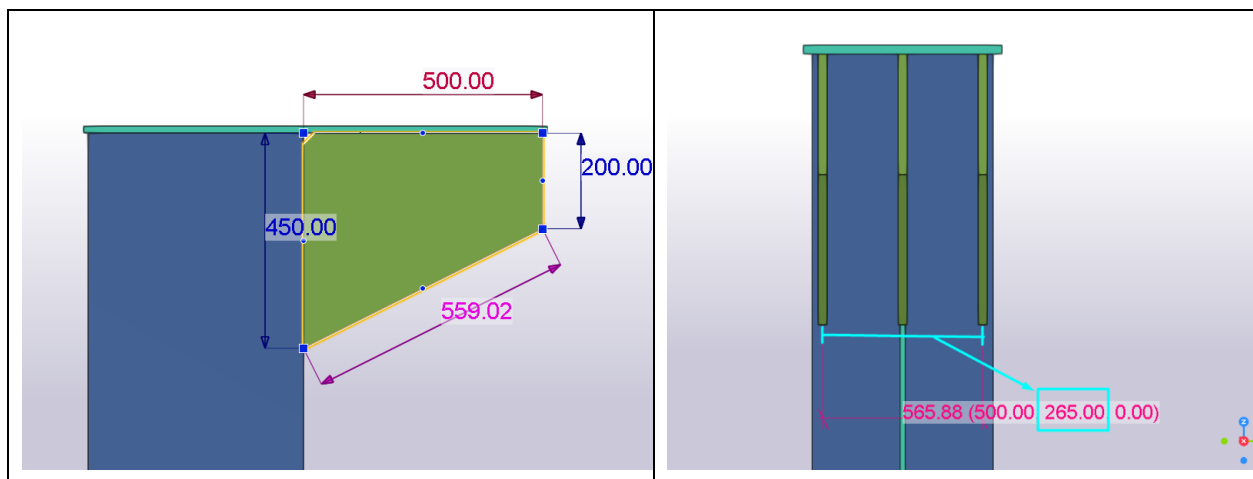
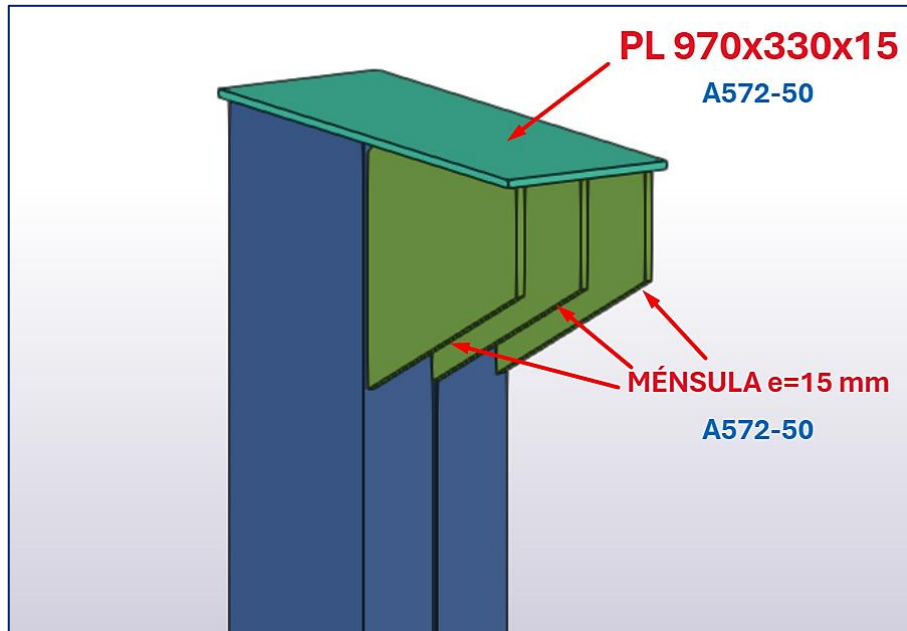


Figura 45.*Detallamiento y perfiles A572-50 de la ménsula*

3.4.4 Diseño de la Viga Carrilera

➤ Diseño de la viga carrilera

El diseño de la viga carrilera se realizó considerando las solicitaciones generadas por el puente grúa instalado en el galpón industrial. Para la selección de la sección se tuvieron en cuenta las cargas verticales estáticas y dinámicas producidas por el peso del propio equipo y la carga suspendida, además de los esfuerzos horizontales por aceleración, frenado y traslación, de acuerdo con lo establecido en la norma AISC Design Guide 7: Industrial Buildings – Roofs to Anchor Rods y las disposiciones de la NEC-SE-CG (2024) para cargas de grúa.

La luz libre entre ménsulas condicionó la necesidad de una sección con adecuada inercia que limitara las deformaciones verticales, garantizando así la alineación y correcto desplazamiento de los carros de la grúa. En este sentido, se seleccionó un perfil tipo VI 500x250x8x12 en acero

ASTM A572 Gr.50, que ofrece una resistencia de fluencia de 345 MPa, complementado con rigidizadores de 10 mm de espesor, con el objetivo de evitar pandeo local de las almas bajo cargas concentradas de las ruedas del puente grúa.

La elección de estas dimensiones responde a un balance entre capacidad resistente, control de deflexiones y viabilidad constructiva, verificando que la viga carrilera cumpla con los criterios de seguridad estructural y operativa. La disposición final de la sección se validó mediante el modelado tridimensional en Tekla Structures, lo que permitió definir un detalle constructivo claro y coherente con los requerimientos funcionales del proyecto.

➤ Detallamiento de la Viga carrilera

Figura 46.

Modelamiento de la viga carrilera en Tekla Structures

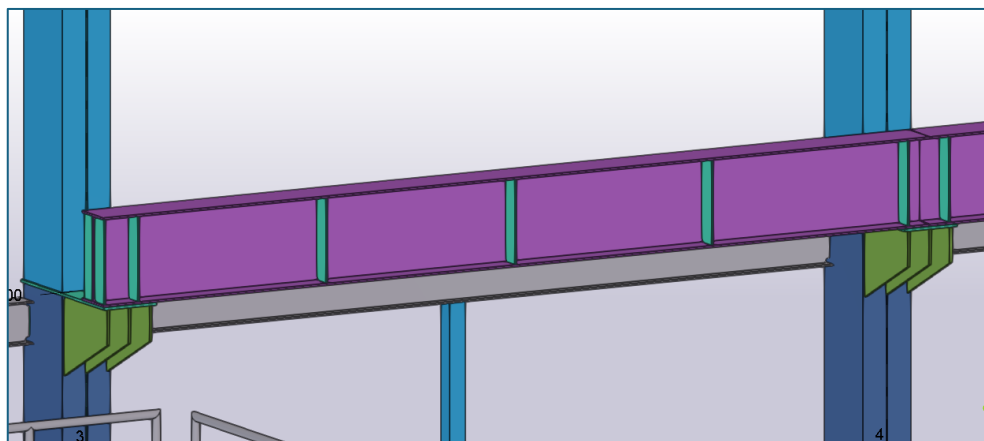
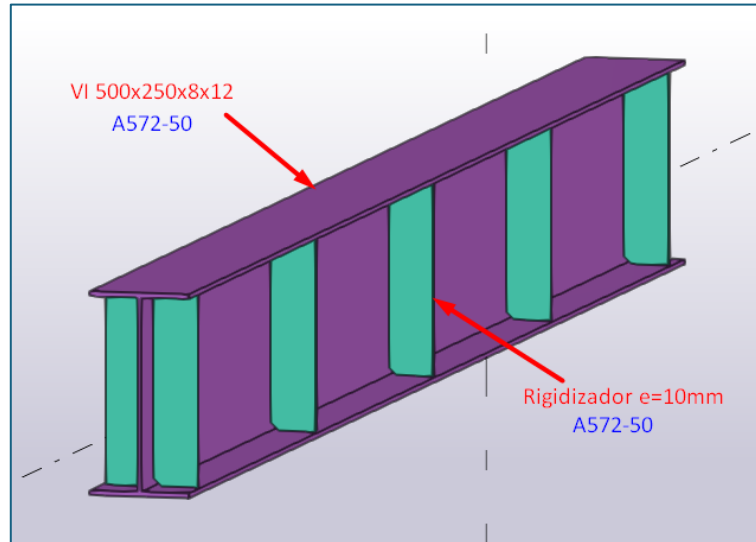


Figura 47.

Detallamiento y perfiles A572-50 de la viga carrilera



3.4.5 Diseño de la cimentación

Para el dimensionamiento de las cimentaciones tipo plinto aislado se desarrolló un procedimiento automatizado mediante un código en Python, el cual permitió calcular de forma eficiente las dimensiones y el refuerzo requerido.

El proceso inició con la verificación de las solicitaciones obtenidas del modelo estructural en SAP2000, considerando combinaciones de carga de servicio y de diseño. Se comprobó que las presiones transmitidas al terreno se mantuvieran dentro de la capacidad portante admisible. Posteriormente, se evaluaron los estados límite de corte unidireccional, punzonamiento y aplastamiento, garantizando la seguridad del elemento frente a las solicitaciones críticas.

Figura 48.

Carga Axial P y momentos Mx y My impuesta en el plinto con mayor demanda

• CARGAS OBTENIDAS DEL MODELO EN SAP2000:				
	Dead	Live	Sis x	Sis y
P [Tonf]	-4.080	-3.420	0.44	0.34
My [Tonf*m]	0.007	0.006	1.47	11.14
Mx [Tonf*m]	-5.930	-7.000	6.50	4.49

Tabla 19.

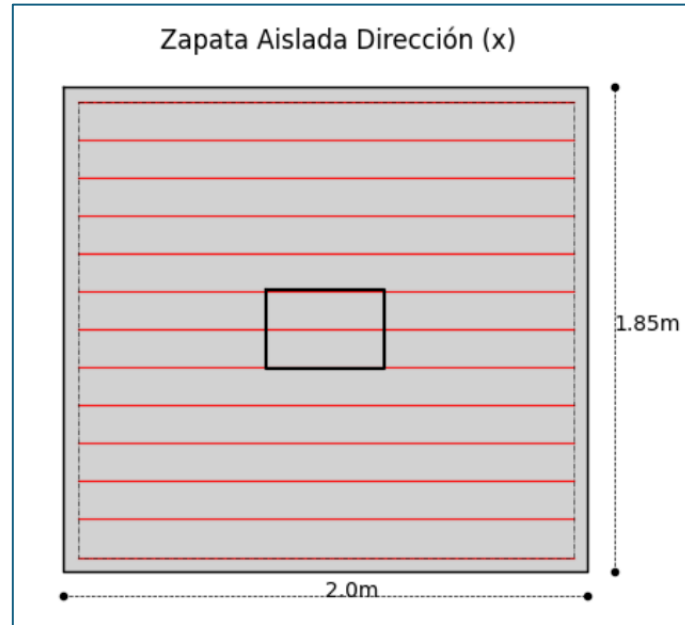
Chequeo de presiones en dirección X y Y del plinto

Solicitaciones de Servicio (ASD)									
<i>Carga Actuante</i> (σ) < <i>Resistencia</i> (q_a) $\rightarrow$ $q_a = 15$ [tonf/m2]									
Chequeo de presiones en Dirección X					Chequeo de presiones en Dirección Y				
	Ps [T]	Ms [T.m]	σ_i [tonf/m2]	σ_j [tonf/m2]		Ps [T]	Ms [T.m]	σ_i [tonf/m2]	σ_j [tonf/m2]
D+L	-10.16	-12.93	-13.23	7.74	D+L	-10.16	0.01	-2.74	-2.76
D+L+Sx	-7.31	-4.83	-5.90	1.94	D+L+Sx	-7.31	1.12	-1.00	-2.95
D+L-Sx	-7.97	-14.61	-14.00	9.69	D+L-Sx	-7.97	-1.10	-3.12	-1.19
D+L+Sy	-7.39	-6.35	-7.14	3.15	D+L+Sy	-7.39	8.39	5.35	-9.35
D+L-Sy	-7.90	-13.10	-12.75	8.49	D+L-Sy	-7.90	-8.37	-9.47	5.20

Con base en estas verificaciones, el programa generó las dimensiones óptimas de los plintos y calculó el refuerzo longitudinal en ambas direcciones. Finalmente, se definió la cantidad y separación de varillas, las longitudes de anclaje y el cumplimiento de los requisitos mínimos normativos establecidos en el ACI 318.

Figura 49.

13 varillas de $\phi 12\text{mm}$ @ 14.5cm en la dirección X del plinto

**Figura 50.**

Vista Lateral del plinto en dirección X. Longitud del gancho 18 cm

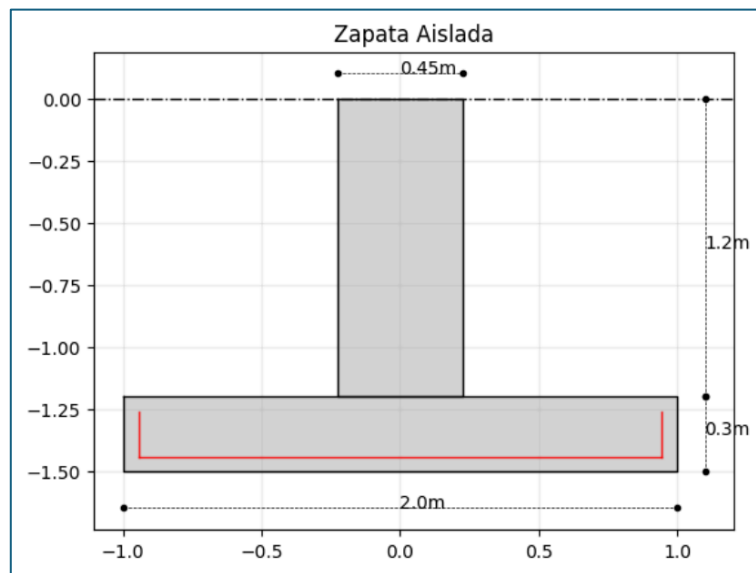
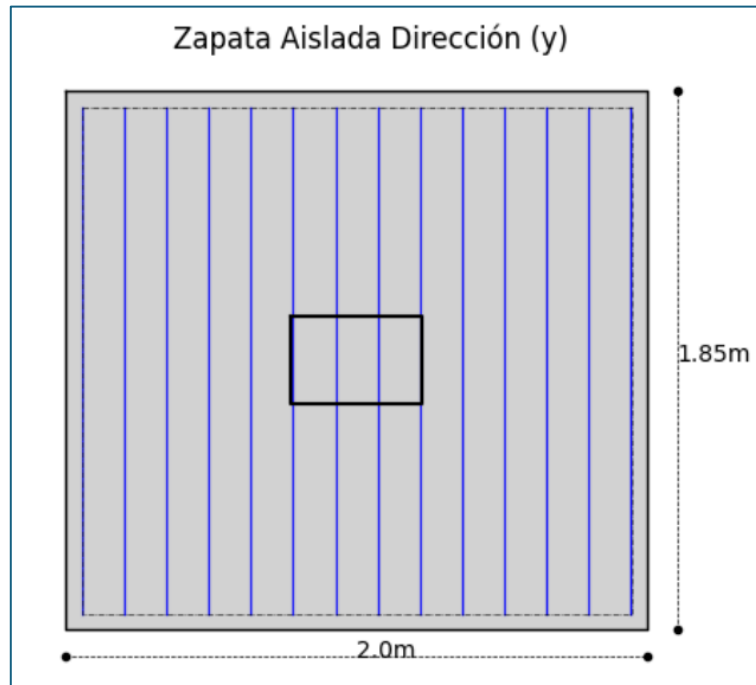
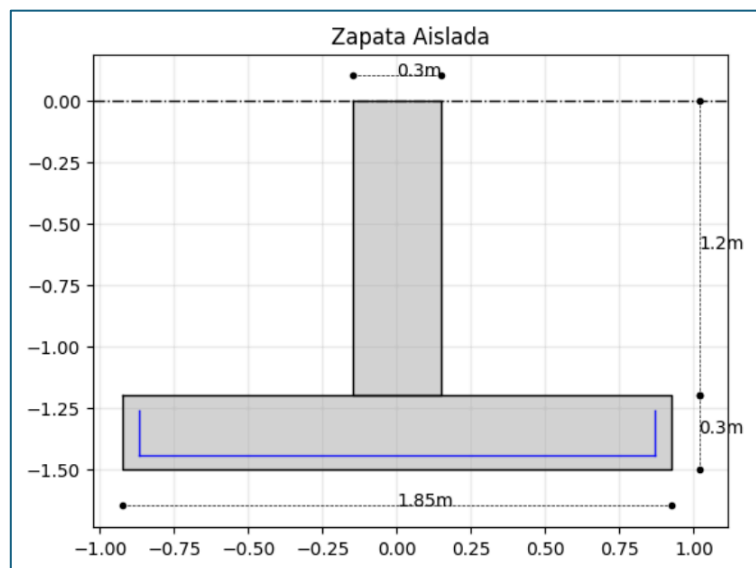


Figura 51.

14 varillas de $\phi 12\text{mm}$ @ 14.5cm en la dirección Y del plinto.

**Figura 52.**

Vista Lateral del plinto en dirección Y. Longitud del gancho 18 cm



El detalle completo de los cálculos realizados empleados en Jupyter Notebook utilizando códigos Python, se encuentra en el **Anexos**.

3.5 Mezzanine de oficinas

El Mezzanine se planteó como una entreplanta para oficinas que requiere rigidez, capacidad portante y rapidez de montaje; por ello se adoptó una solución mixta acero-hormigón y perfiles comerciales disponibles localmente. Las columnas se resolvieron mediante la conformación de dos canales C soldados (sección caja), opción que permite obtener una columna rectangular con buena inercia, fácil fabricación en taller, conexión sencilla a placa de anclaje y disponibilidad de material en obra. Las vigas principales IPE300 y secundarias IPE200 fueron seleccionadas por su equilibrio entre inercia (control de flechas), capacidad de hormigonado de la losa colaborante y viabilidad constructiva en luces habituales del proyecto; estas secciones permiten limitar deformaciones y transmitir las cargas puntuales y lineales al pórtico sin recurrir a secciones sobredimensionadas.

La losa propuesta es un sistema Novalosa (forjado colaborante con chapa metálica + capa de hormigón) que reduce peso propio, acelera el montaje y proporciona acción compuesta con las vigas, además de ofrecer buena resistencia al fuego y aislamiento acústico para uso de oficinas. El dimensionamiento de la solución consideró las acciones de servicio (cargas muertas y cargas vivas de uso de oficinas según normativa aplicable), requisitos de flecha y la coordinación con ductos e instalaciones; los detalles constructivos y los cálculos justificados se entregan en anexos. En conjunto, la propuesta privilegia funcionalidad, control de deformaciones, economía y facilidad de ejecución, alineándose con las prácticas habituales de diseño estructural en naves industriales y edificios mixtos (ver EN 1991 / AISC y guías sobre losas colaborantes).

➤ Detallamiento de la estructura de Mezzanine

Figura 53.

Modelamiento del Mezzanine destinado para oficinas en Tekla Structures

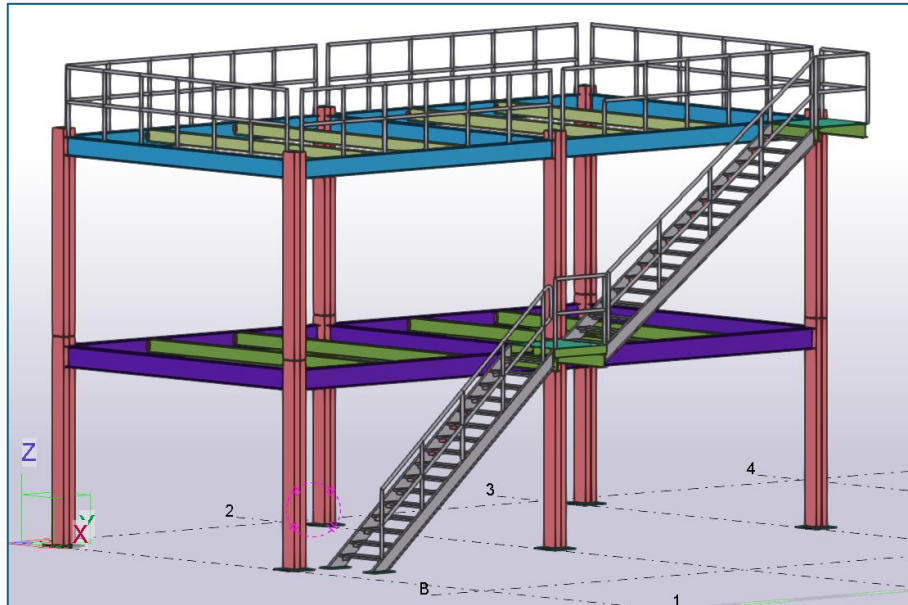
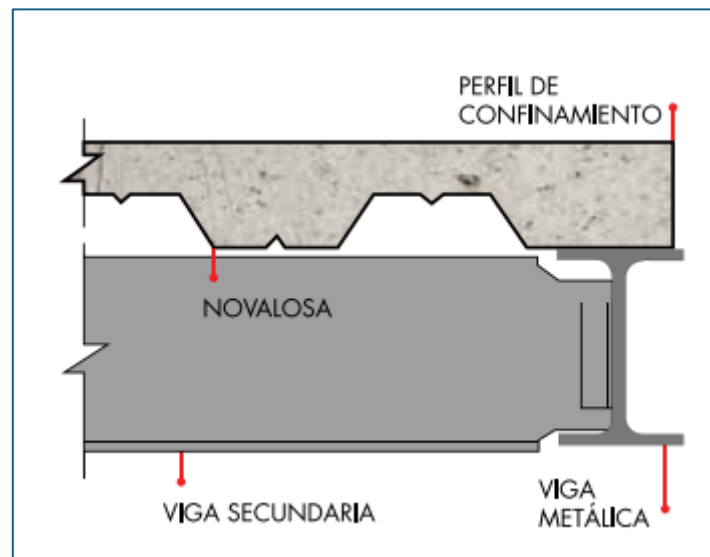


Figura 54.

Detallamiento de la Novalosa



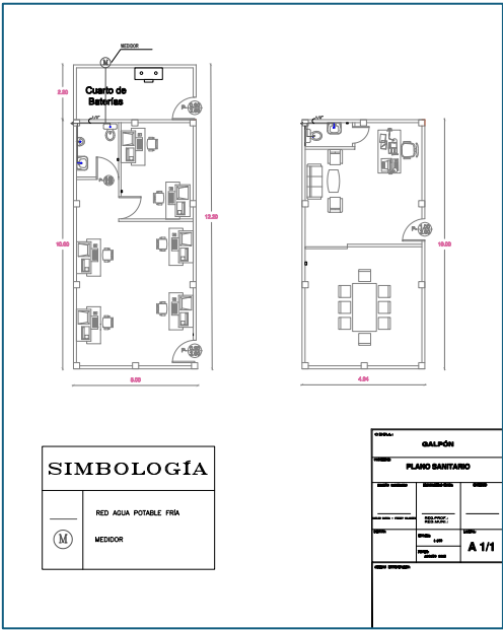
3.6 Instalaciones de Agua Potables y Sanitarias

El galpón dispone de un sistema de agua potable y desagüe diseñado para atender los servicios básicos de los usuarios. Para ello se proyectaron dos baños: el primero cuenta con un inodoro, un urinario y un lavamanos; mientras que el segundo dispone de un inodoro y un lavamanos.

La red de abastecimiento se ejecutará con tubería de ½ pulgada, dimensionada para garantizar un suministro suficiente de agua en todos los aparatos sanitarios. Esta red se conecta al punto principal del galpón y distribuye el caudal hacia cada baño.

El sistema de desagüe recoge las aguas provenientes de los inodoros, lavamanos y el urinario, conduciéndolas hacia la red sanitaria, con el fin de mantener condiciones de higiene y funcionamiento adecuado. Con esta distribución se asegura un servicio básico eficiente, práctico y acorde a las necesidades del edificio.

Figura 55.
Plano Sanitario



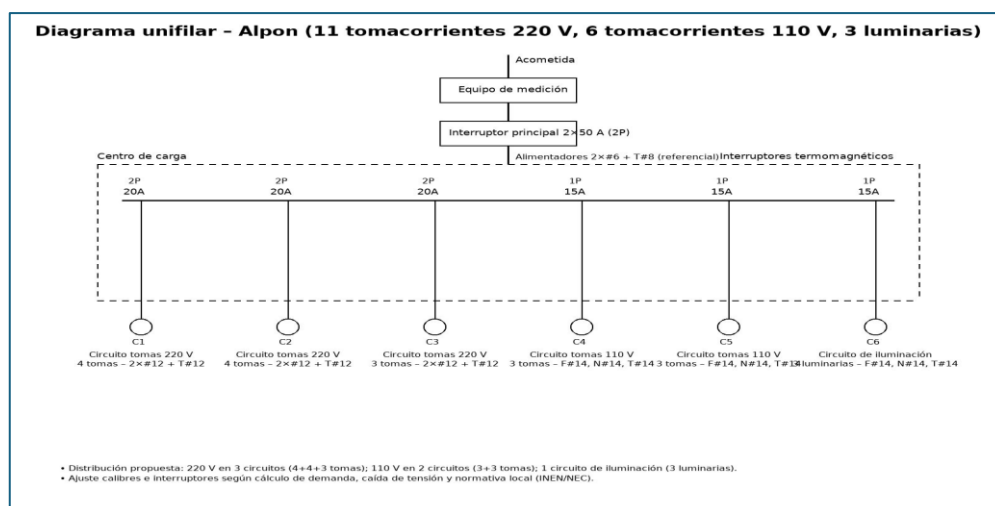
3.7 Instalaciones Eléctricas

El proyecto del galpón contempla dos espacios ubicados en el mezzanine, los cuales serán abastecidos mediante un sistema de energía solar fotovoltaica. En el cuadro de cargas se han identificado estos ambientes como circuitos independientes, definiendo para cada uno la potencia requerida, la corriente de diseño, el calibre de los conductores y las protecciones correspondientes. Asimismo, se prevé un subtablero específico destinado a la administración de estas cargas.

En cuanto a los diagramas eléctricos, el esquema unifilar representa la conexión entre el generador fotovoltaico, el inversor, el sistema de respaldo o almacenamiento (cuando sea necesario) y el subtablero del mezzanine, incorporando los dispositivos de protección y seccionamiento en corriente continua y alterna. En la planta se señalan las canalizaciones y trayectorias hacia las dos áreas del mezzanine, priorizando la accesibilidad, la seguridad y la posibilidad de futuras ampliaciones.

Figura 56.

Diagrama Unifilar



Considerando el consumo total estimado de 38,2 kWh diarios, se proyecta que las áreas del mezzanine funcionen principalmente con la energía producida por los paneles solares. Para ello, el dimensionamiento del arreglo fotovoltaico y del inversor contempla las horas efectivas de sol

Obteniendo la energía generada, se desarrolla el cálculo para determinar el número necesario para cubrir el consumo diario:

$$\# \text{Paneles} = (38\,200\text{Wh}) / (2\,610\text{Wh/panel}) = 14.64 = 15 \text{ paneles}$$

Dimensiones del Banco de Baterías

El panel solar necesita de un banco de baterías que garantice la autonomía energética en periodos sin radiación solar, por lo que se considera un banco de 48 V y se calcula la capacidad mínima necesaria (en Ah) mediante:

$$\text{C.Batería} = \text{Ediaria} / \text{Vbanco} = 38\,200\text{Wh} / 48\text{V} = 796\text{Ah}$$

Para evitar descargas con gran profundidad y presentar una mayor autonomía se recomienda una capacidad de 1 000Ah para el banco de baterías.

Inversor Recomendado

El inversor aplicado en el proyecto tiene la función de manejar la potencia máxima del panel solar de 6.1kW, pero se recomienda usar un inversor de 7.5 kW para seguridad y permitir picos de carga.

Capítulo 4

4. ESTUDIO DEL IMPACTO AMBIENTAL

4.1 Descripción del proyecto (máximo de 300 palabras)

El estudio de impacto ambiental se centra en la etapa de diseño y planificación del galpón industrial, ubicado en Mapasingue Oeste-Guayaquil, ver en la figura No.5. Se analiza el efecto ambiental derivado de la construcción y operación, poniendo especial atención en la incorporación de un sistema fotovoltaico en la cubierta que abastece únicamente al área de oficinas, y el uso de un puente grúa eléctrico eficiente. La tecnología utilizada para generación de energía renovable está enfocada en reducir el consumo energético convencional en las oficinas, mientras que el puente grúa eléctrico se selecciona por su eficiencia para minimizar el consumo energético en la operación del galpón.

Este proyecto de galpón industrial incorpora criterios sostenibles e innovadores que se relacionan directamente con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, especialmente el ODS 7 y el ODS 9. Por un lado, la instalación de paneles solares en la cubierta permite generar energía limpia para el área de oficinas, lo que reduce el consumo de fuentes convencionales y contribuye a un uso más responsable y eficiente de los recursos energéticos. Por otro lado, la incorporación de un puente grúa como parte del diseño busca mejorar los procesos internos de movimiento de materiales, lo que fortalece la infraestructura operativa y favorece el desarrollo de una industria más moderna, eficiente y adaptable.

La implementación de un Estudio de Impacto Ambiental (EIA) resulta fundamental en este tipo de proyectos, ya que permite anticiparse a los posibles efectos negativos que podrían derivarse de la construcción y operación del galpón sobre el entorno natural y social. A través del EIA es posible identificar, evaluar y gestionar dichos impactos de manera técnica y preventiva, lo cual no

solo asegura el cumplimiento de la normativa ambiental vigente, sino que también contribuye a una planificación más responsable y sostenible del proyecto en su conjunto.

4.2 Línea base ambiental

La línea base ambiental es el conjunto de datos, características y condiciones actuales del entorno en el que se desarrollará un proyecto, antes de su ejecución. Posee un propósito de establecer un punto de referencia que permita identificar, evaluar y comparar los posibles cambios o impactos que puedan generarse como consecuencia de las actividades del proyecto. Esta línea base incluye información sobre componentes físicos (como clima, suelo), bióticos (flora y fauna).

A continuación, se presenta un detalle:

En base a lo visualizado en las visitas al lugar de estudio. Actualmente, las operaciones mecánicas se desarrollan sin cobertura adecuada, lo que ha provocado el deterioro de maquinaria expuesta al sol y la lluvia, así como problemas de seguridad y contaminación visual. No se observa una infraestructura que regule el ingreso de vehículos pesados ni zonas acondicionadas para almacenamiento ordenado de materiales, lo cual contribuye al desorden operativo y genera impactos sobre el terreno y las condiciones de trabajo del personal.

4.3 Actividades del proyecto

Se han caracterizado las actividades del proyecto de acuerdo con las bases de construcción. En base a cada actividad se describe las acciones que identificarán los impactos ambientales.

Durante la CONSTRUCCION del proyecto son:

- Nivelación del terreno

Se procede a realizar un análisis de las áreas que necesiten de corte o relleno principalmente con una revisión de la topografía que constituye el terreno para posteriormente especificar lo que se necesite implementar con el fin de obtener un suelo uniforme y apropiado para desarrollar el proyecto. Tomando en cuenta que para cumplir con el objetivo se coloca el material de relleno en las zonas que lo requieran junto a la ayuda de maquinarias para la respectiva compactación.

- Movimiento de tierra para la cimentación

Procedimiento que cuenta con la excavación de material situado en el terreno debido a que no es el adecuado para la construcción, dentro de esta actividad se retira la capa superficial y los estratos que son inestables, los cuales generarían asentamientos.

Para satisfacer esta etapa se utiliza maquinaria pesada como excavadoras y retroexcavadoras, llegando a permitir los cortes con precisión en las áreas planteadas para la cimentación. El material que es extraído se lo conoce como desalojo, ya que no cumple con las características de compactación ni resistencia, y es movilizado fuera de la zona de trabajo.

- Transporte y almacenamiento de materiales metálicos

El movimiento de la materia prima se lo realiza mediante transportes de carga adecuados como plataformas que cuenten con sistemas de sujeción para evitar desplazamientos durante el traslado del material. La carga y descarga se realizan con montacargas y grúas según el peso a sostener para dar seguridad de que no suceda ningún tipo de daño en la materia prima. Estos se alojan en áreas acondicionadas para llegar a evitar que ingrese o haga algún tipo de contacto la humedad.

- Proceso de soldadura y armado de estructuras metálicas

Este proceso empieza con la fabricación de elementos estructurales de acuerdo con los planos diseñados, asegurando que cada una de las piezas cumpla con las debidas dimensiones y especificaciones implementadas. Luego se desarrolla el ensamble de las partes principales mediante cortes y uniones para asegurar el alineamiento adecuado de los perfiles y placas. Finalmente se realizan las soldaduras de unión con el uso de electrodos.

4.4 Identificación de impactos ambientales

La identificación de impactos ambientales consiste en reconocer los posibles efectos que puede causar un proyecto sobre el entorno natural y social, considerando sus distintas fases (construcción, operación, cierre). Este proceso compara la línea base con las actividades del proyecto para detectar impactos positivos o negativos, directos o indirectos. Se apoya en herramientas como listas de chequeo o matrices, y es fundamental para proponer medidas que minimicen los efectos adversos y aseguren un desarrollo sostenible.

Los impactos identificados se agrupan en dos fases:

1. Nivelación del terreno
 - Alteración del relieve natural y pérdida de vegetación.
 - Emisión de polvo y ruido por maquinaria pesada.
 - Compactación del suelo, afectando su permeabilidad.
2. Movimiento de tierra para la cimentación
 - Generación de residuos de excavación.
 - Emisión de polvo y contaminación del aire.
 - Afectación al equilibrio natural del suelo.
3. Transporte y almacenamiento de materiales metálicos

- Emisión de gases contaminantes por vehículos.
 - Riesgo de contaminación del suelo por derrames.
 - Generación de residuos si no hay manejo adecuado.
4. Proceso de soldadura y armado de estructuras metálicas
- Emisión de humos y gases tóxicos.
 - Contaminación acústica.
 - Generación de residuos metálicos.

4.5 Valoración de impactos ambientales

Para poder obtener la valoración de impactos ambientales, se utilizó la formula según TITO (2020):

- **Emisión de gases tóxicos** ($I = 54$) → **100%**
- **Alteración del relieve y vegetación** ($I = 36$) → **66.7%**
- **Emisión de gases contaminantes** ($I = 36$) → **66.7%**
- **Contaminación del aire** ($I = 36$) → **66.7%**
- **Compactación del suelo** ($I = 16$) → **29.6%**

4.6 Medidas de prevención/mitigación

Entre las medidas propuestas para minimizar los impactos ambientales destacan:

- Emisión de gases tóxicos (soldadura y armado)

Implementar sistemas de ventilación forzada y extractores localizados en las áreas de soldadura, junto con el uso obligatorio de equipos de protección respiratoria para el

personal técnico. Además, emplear tecnologías de soldadura con bajo contenido de emisiones.

- Alteración del relieve y vegetación (nivelación del terreno)

Realizar un levantamiento topográfico previo para minimizar las zonas de corte y relleno innecesarias, y delimitar claramente las áreas de intervención para evitar la afectación de zonas vegetadas fuera del área del proyecto.

- Emisión de gases contaminantes (transporte y maquinaria)

Usar maquinaria y vehículos en buen estado mecánico y con mantenimiento al día para reducir emisiones. Priorizar el uso de vehículos con tecnologías más limpias (norma Euro III o superior) y planificar rutas de transporte eficientes para reducir recorridos y tiempos en operación.

- Contaminación del aire (impacto indirecto por emisiones)

Instalar barreras contra el polvo (mallas o cortinas vegetales) en zonas expuestas y aplicar riego periódico sobre caminos y áreas de obra para reducir la dispersión de partículas durante la construcción.

- Compactación del suelo (uso de maquinaria en nivelación)

Limitar la circulación de maquinaria pesada únicamente a las áreas estrictamente necesarias, usando caminos de obra previamente establecidos. Además, aplicar técnicas de manejo de suelo que permitan su recuperación postobra (aireación y remoción superficial si es necesario).

Capítulo 5

5. PRESUPUESTO

5.1 Estructura Desglosada de Trabajo

Para el detalle del presupuesto general se utilizó el formato de la tabla 5.1.

Figura 58.

Presupuesto Total de la construcción del Galpón industrial para METAL INDUSTRIAL JC

CLIENTE: PROYECTO INTEGRADOR VALAREZO Y GARCIA		Tipo de administración: -					
PROYECTO: DISEÑO DE GALPON INDUSTRIAL CON PUENTE GRUA Y SISTEMA FOTOVOLTAICO		Tipo de transacción: CONSTRUCCIÓN					
ACTIVIDAD: ESTRUCTURA METÁLICA		Tipo de bien: NAVE INDUSTRIAL					
FECHA: 23/8/2025		Plazo: 3 Área: 800,00		MESES m2.			
ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL	PRECIO TOTAL	
URB	OBRA NAVE INDUSTRIAL						
OB-P-1	OBRA PRELIMINARES						\$ 1.658,54
OB-P-1.1	Limpieza y desbroce	m2	50,00	\$ 2,09	\$ 104,58		
OB-P-1.2	Trazado y replanteo (Incluye equipo topográfico)	m2	800,00	\$ 1,94	\$ 1.553,96		
OB-P-2	MOVIMIENTOS DE TIERRA						\$ 2.085,59
OB-P-2.1	Excavación para las zapatas	m3	113,40	\$ 1,52	\$ 172,52		
OB-P-2.2	Desalojo de material	m3	124,74	\$ 9,39	\$ 1.171,48		
OB-P-2.3	Relleno compactado con material de prestamo importado por debajo de Cimentación	m3	18,90	\$ 21,53	\$ 406,84		
OB-P-2.4	Relleno con Material de sitio por encima de cimentación	m3	88,66	\$ 3,78	\$ 334,75		
OB-P-3	CIMENTACION						\$ 10.858,83
OB-P-3.1	Replanteo con hormigon $f_c = 180 \text{ kg/cm}^2$;	m3	3,25	\$ 137,23	\$ 445,79		
OB-P-3.2	Encontrado de Cimentación	m2	113,04	\$ 14,01	\$ 1.583,97		
OB-P-3.3	Hormigón de Cimentación $f_c = 210 \text{ kg/cm}^2$	m3	21,49	\$ 151,88	\$ 3.264,19		
OB-P-3.4	Acero de refuerzo $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$	kg	1293,82	\$ 2,17	\$ 2.809,43		
OB-P-3.5	Placa de Anclaje de Acero $e = 20 \text{ mm}$	U	18,00	\$ 153,08	\$ 2.755,44		
OB-P-4	CONTRAPISO						\$ 18.432,00
OB-P-4.1	Contrapiso Con malla electrosoldada; $e = 10 \text{ cm}$	m2	800,00	\$ 23,04	\$ 18.432,00		
OB-P-5	ESTRUCTURA						\$ 161.770,02
OB-P-5.1	ESTRUCTURA PRINCIPAL	kg	41163,23	\$ 2,80	\$ 115.257,04		
OB-P-5.2	ESTRUCTURA SECUNDARIA (ARRIOSTRAMIENTO)	kg	4829,03	\$ 2,80	\$ 13.521,28		
OB-P-5.3	ESTRUCTURA MEZZANINE	kg	5923,00	\$ 2,80	\$ 16.584,40		
OB-P-5.4	Tensores 22 mm	kg	548,77	\$ 2,20	\$ 1.207,29		
OB-P-5.5	ESTRUCTURA PUENTE GRUA (INCLUYE SISTEMA)	u	1,00	\$ 15.200,00	\$ 15.200,00		
OB-P-6	INSTALACIONES ELECTRICAS						\$ 5.723,68
OB-P-6.1	Paneles solares 580w, incluye instalación	u	15,00	\$ 240,00	\$ 3.600,00		
OB-P-6.2	Acometida BT 2F#12+1N#12+1T#10 CU THHN SUPERFLEX	m	58,00	\$ 18,62	\$ 1.080,16		
OB-P-6.3	Luminaria	u	12,00	\$ 15,00	\$ 180,00		
OB-P-6.4	Tomacorriente normal 120v	u	13,00	\$ 56,96	\$ 740,49		
OB-P-6.5	Tomacorriente especial 220v	u	2,00	\$ 61,52	\$ 123,04		
SUBTOTAL					\$ 200.528,66	\$ 200.528,66	
IVA 15%					\$ 30.079,30	\$ 30.079,30	
TOTAL					\$ 230.607,96	\$ 230.607,96	

5.2 Especificaciones Técnicas

Se tuvo en consideración las siguientes normas y códigos:

- ❖ NEC para cargas
- ❖ AISC para acero
- ❖ ACI para concreto

La estructura tuvo un peso total de 515915.26 kg en acero A36 Y 548.77 kg en acero estructural de refuerzo. Para la construcción de esta estructura de 800m2 se utilizará los siguiente equipo y maquinarias:

- ❖ Gallineta
- ❖ Tronzadora
- ❖ Dobladora de varillas
- ❖ Concreteras
- ❖ Máquinas de soldar
- ❖ Suministros de fabricación estructural
- ❖ Maquinaria de montaje como grúas o camiones con brazo grúa

Estos equipos son de mayor relevancia para la construcción y fabricación de esta estructura.

5.3 Rubros y análisis de precios unitarios

Para la descripción de los rubros que poseen este proyecto se tomaron en cuenta los valores por costo/hora y de rendimiento, en el portal de web de Obras Públicas del Ecuador y proyectos anteriores donde se implementaron rubros parecidos. Por otra parte, este diseño posee un punto a favor en cuanto a su construcción ya que el cliente al poseer una metalmecánica tiene la experiencia y los recursos para que la fabricación de la estructura principal segura.

5.4 Cantidades de obra (Revisar)

Incluir una tabla resumen de las cantidades de obra.

En anexos adjuntar cómo se realizó la cuantificación de los diferentes rubros. En caso de que las cantidades se obtengan mediante un software especificar este detalle. Incluir gráficos y procedimientos que ayuden a interpretar los cálculos.

Las mediciones correspondientes al área estructural fueron realizadas utilizando el programa TEKLA STRUCTURES y una hoja de cálculo para cimentación en Python. Esta herramienta, al operar bajo la metodología BIM y permitir una configuración detallada de los elementos del

proyecto, facilita la obtención precisa de cantidades y la elaboración de presupuestos actualizados.

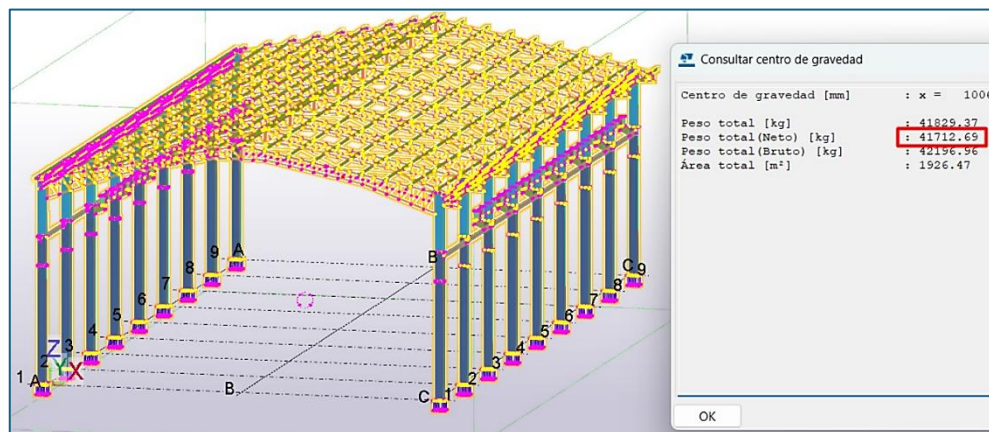
De esta manera, se logró calcular los volúmenes de:

- Elementos estructurales de acero
- Concreto u hormigón
- Acero de refuerzo

Para obtener el peso de la estructura principal se toma en cuenta los siguientes elementos y se obtuvo un peso de 41712.69 kg.

Figura 55.

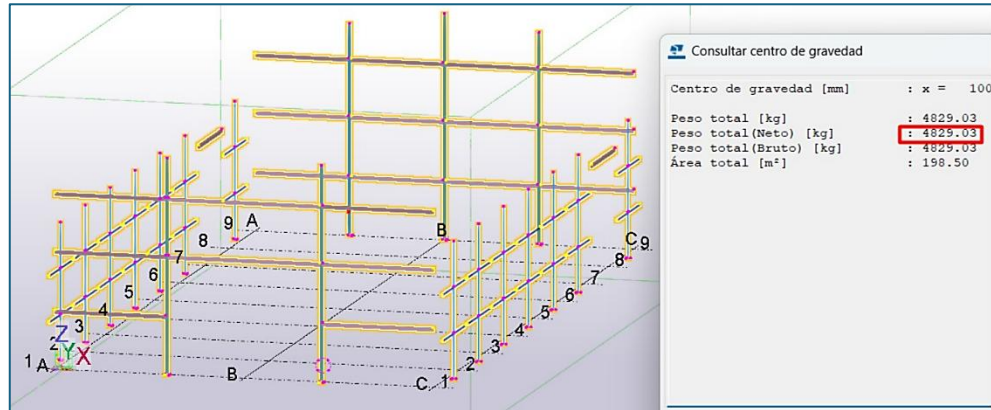
Peso Total en Kg de la estructural principal del Galpón Industrial



En la estructura secundaria que está compuesta por arrostramientos entre columnas o comúnmente como rigidizadores, se obtuvo un peso de 4829.03 kg.

Figura 56.

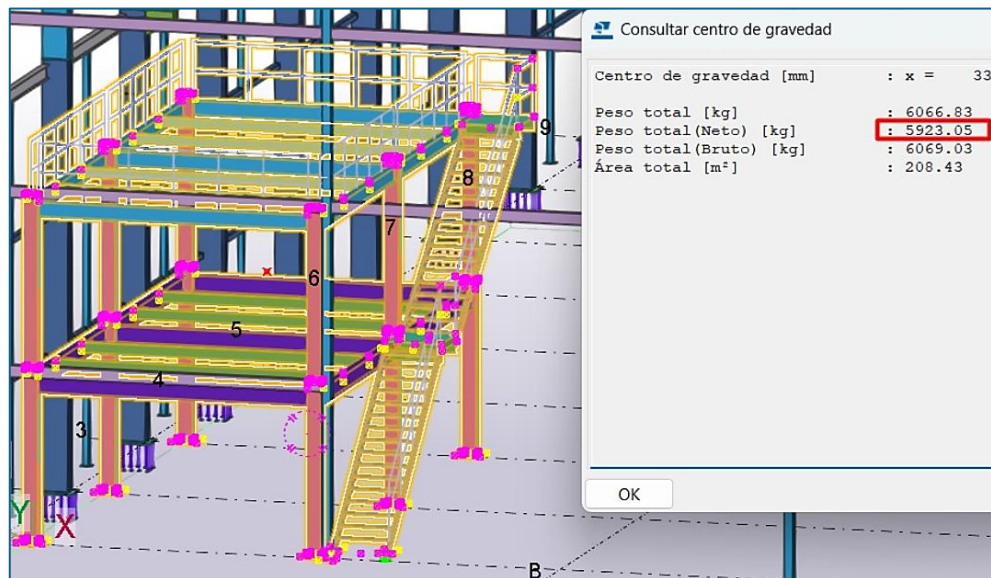
Peso Total en Kg de la estructural secundaria del Galpón Industrial



Para la estructura interna de mezanine, la cual contiene el area de oficina y sala de reuniones, posee un peso de 5923.05 kg

Figura 57.

Peso Total en Kg de la estructura de Mezzanine para oficinas del Galpón Industrial



5.5 Costo del proyecto

El costo del proyecto incluyendo el puente grúa, sistema fotovoltaico y sus instalaciones tiene un costo total de \$230607 incluido IVA. El área de construcción es de 800m², es decir que el costo por m² cuadrado seria de \$288.26 /m², para este tipo de galpón industrial.

5.6 Cronograma de obra

Para realizar el cronograma de obra, se consideró una fabricación en serie y compuesta. La fabricación en serie hace referencia a la repetición de construcción de un mismo elemento estructural, este caso serían las cerchas de cubierta, vigas de amarre y columnas.

Por otra parte, tenemos la fabricación compuesta que ayuda a reducir el tiempo de entrega de la obra ya que mientras se realiza la cimentación del galpón al mismo tiempo en otra área se fabrica la estructura principal del galpón industrial. El cronograma se encuentra en la parte de anexos.

Capítulo 6

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

6.1.1 Objetivo General

Se diseñó un galpón industrial de 20×40 m (800 m^2) para una empresa metalmecánica de Guayaquil, integrando puente grúa monorriel de 10 t y la previsión de un sistema fotovoltaico en cubierta, con cargas de paneles consideradas en el prediseño ($12,4 \text{ kgf/m}^2$). Se emplearon herramientas actualizadas (SAP2000, Mathcad, Excel y Python), y se desarrolló el detallamiento en Tekla para elementos clave.

6.1.2 Condición Geotécnica y Sismo

A partir del registro cercano y de los parámetros derivados ($q_u=10 \text{ t/m}^2 \rightarrow S_u \approx 5 \text{ t/m}^2$), se obtuvo $q_a=14,24 \text{ t/m}^2$ para cimentaciones someras. Para el diseño sísmico se adoptó Tipo de Suelo D como opción conservadora (N60 predominante 8–17 y $S_u \approx 50 \text{ kPa}$), coherente con NEC-15.

6.1.3 Modelo estructural y cargas

El modelo incluye cargas muertas, viva de mantenimiento, viento conforme NEC-SE-CG, y los efectos del puente grúa representados como cargas equivalentes: 8 Ton por columna a la altura de la ménsula y momento $2,8 \text{ Ton} \cdot \text{m}$ por excentricidad, aplicados de forma conservadora en todos los pórticos. No se modelaron explícitamente ménsula, viga carrilera y grúa para no distorsionar la respuesta modal, criterio sustentado en bibliografía.

6.1.4 Demanda sísmica y periodos

Se comparó el periodo manual (Método 1 NEC) con el modal (SAP2000, Método 2) tomando $Z=0,4$, $R=3$ e $I=1$ para suelo D; los resultados son consistentes ($T_1 \approx 0,508 \text{ s}$ en X; $T_2 \approx 0,456 \text{ s}$ en Y) y cumplen la verificación normativa.

6.1.5 Derivas y desempeño

Las derivas máximas de piso resultaron $\leq 1,822$ % (dirección más exigente), menores al límite de 2 % de NEC-15; por tanto, el marco posee rigidez global adecuada frente a la combinación sísmica.

6.1.6 Resistencia de Miembros

Con AISC 360-10 (Direct Analysis Method), la relación Demanda/Capacidad (D/C) máxima de la cercha fue 0,923, verificando resistencia a axiales, flexión y corte con holgura razonable. Las correas conformadas en frío también cumplen los estados límite.

6.1.7 Elementos especiales

Se definieron soluciones factibles para columna cajón fabricada con dos canales C y platinas de respaldo (soldadura de penetración completa), así como el detallamiento de ménsula y viga carrilera para el soporte del puente grúa.

6.1.8 Cimentaciones

Se automatizó el diseño de plintos aislados con Python, verificando presiones ($\sigma < q_a$) y punzonamiento/corte; la tabla de verificación usa $q_a = 14,24$ t/m² (redondeo). Se cumple funcionalidad y seguridad de servicio.

6.1.9 Selección de Alternativa

Se evaluaron tres tipologías; la Alternativa #3 (columnas de alma llena tipo cajón + cercha en cubierta) fue la óptima con 85,5 % por eficiencia estructural, operabilidad para el puente grúa y disponibilidad de materiales.

6.2 Recomendaciones

- **Geotecnia de confirmación.** Completar una investigación específica del predio (SPT hasta estrato competente y/o VS,30) para ratificar Tipo D y q_a ; en diseño definitivo usar el menor

valor entre $q_a=14,24 \text{ t/m}^2$ calculado y $q_a=15 \text{ t/m}^2$ usado en la tabla de verificación. Ajustar plintos si la campaña arroja valores inferiores.

- **Puente grúa – acciones dinámicas.** Mantener el modelo con cargas equivalentes para análisis global, pero en la etapa de taller realizar una verificación local de ménsulas, carrileras, uniones y soldaduras (especialmente en la columna cajón) frente a impactos (NEC-SE-CG), frenado y fatiga por ciclos de izaje.
- **Control de derivas y servicio.** Aunque las derivas cumplen ($<2 \%$), considerar arriostramientos o ajuste de secciones si se anticipan futuras ampliaciones de carga (mayor tonelaje de grúa, equipamiento adicional) para preservar holguras de servicio y confort operativo.
- **Correas y cubierta.** Mantener la verificación por flexión local y pandeo lateral de perfiles conformados en frío para los casos de succión por viento y mantenimiento, considerando las cargas permanentes de paneles solares ya integradas en el prediseño.
- **BIM y documentación.** Continuar el modelo 3D en Tekla hasta nivel de taller para generar isométricos, listas de corte y secuencia de montaje; coordinar interferencias con bandejas eléctricas, ductos y pasarelas de mantenimiento del puente grúa.
- **Construibilidad y logística.** Favorecer la Alternativa #3 en compras y planificación por su disponibilidad local y rapidez de montaje. Establecer tolerancias de alineación en rieles y verificación geométrica de ménsulas antes de soldar placas base.
- **Sostenibilidad operativa.** Dimensionar el sistema fotovoltaico para abastecer oficinas (como plantea el estudio ambiental) y prever reserva de carga en cubierta para una futura expansión; implementar gestión de residuos metálicos, control de emisiones de soldadura y plan de seguridad ocupacional durante montaje.
- **Calidad y control.** Programar ensayos de soldadura (VT/UT) en uniones críticas de la columna compuesta y de la viga carrilera; ensayos de placas base y pernos; y pruebas de carga del puente grúa antes de la entrega.

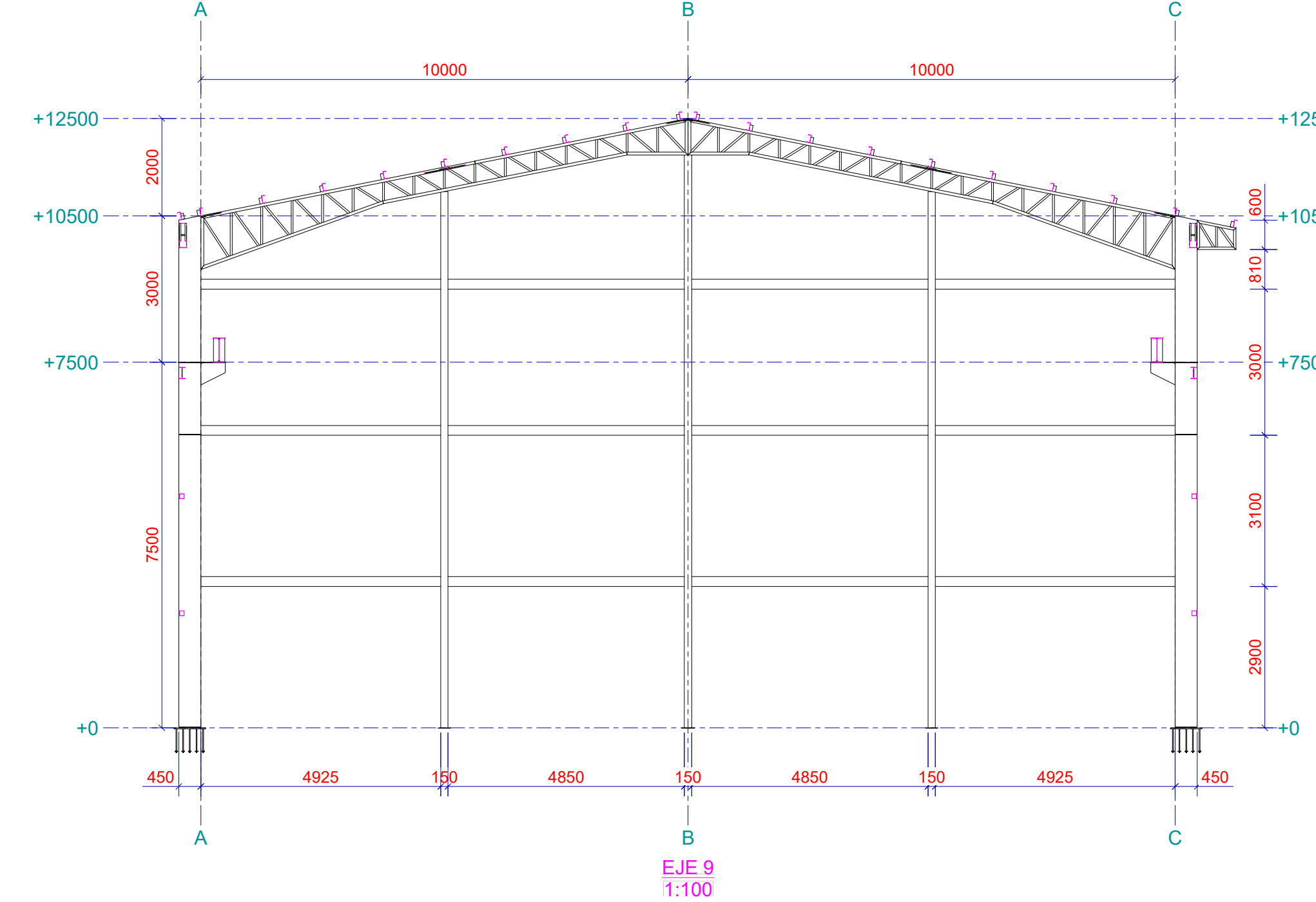
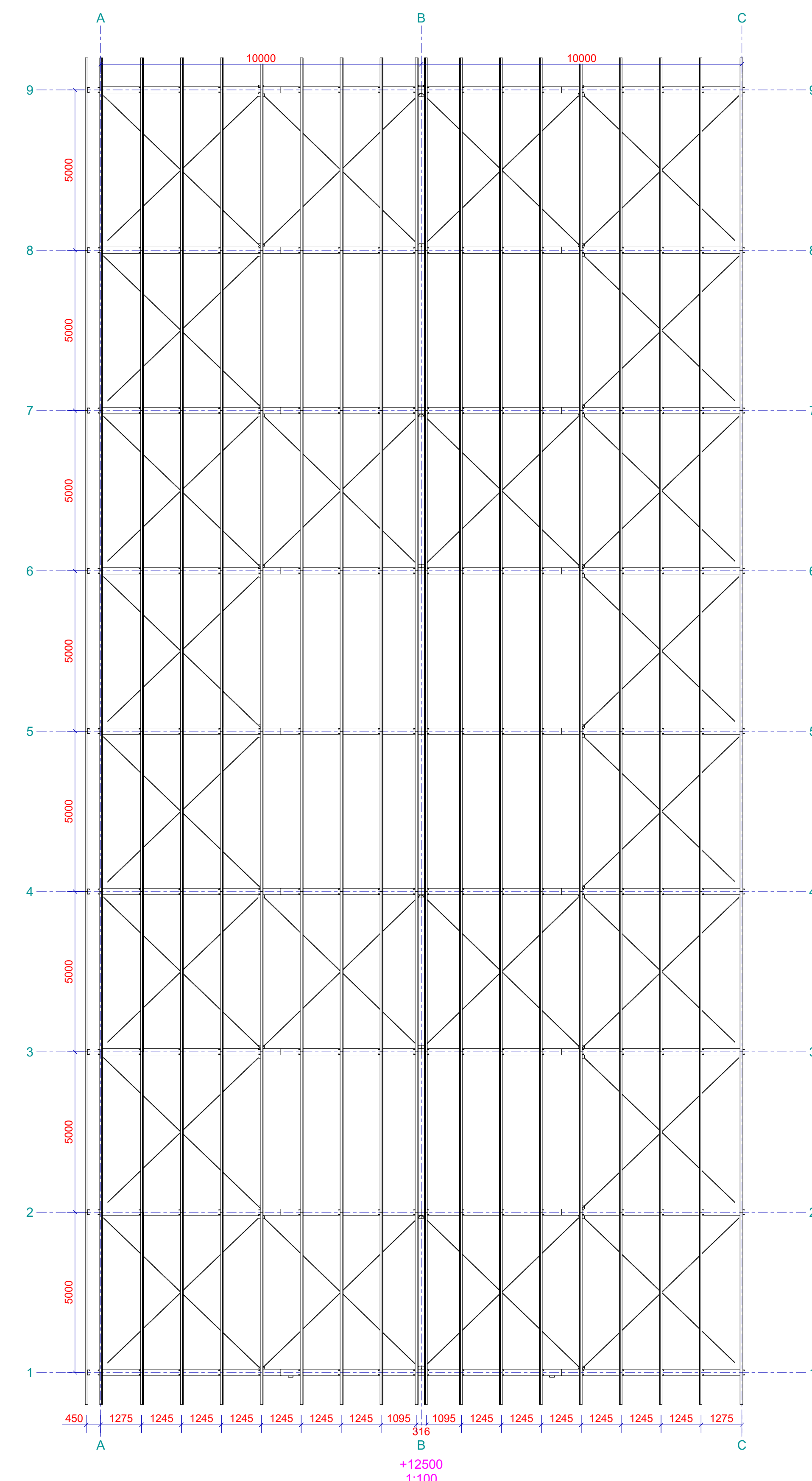
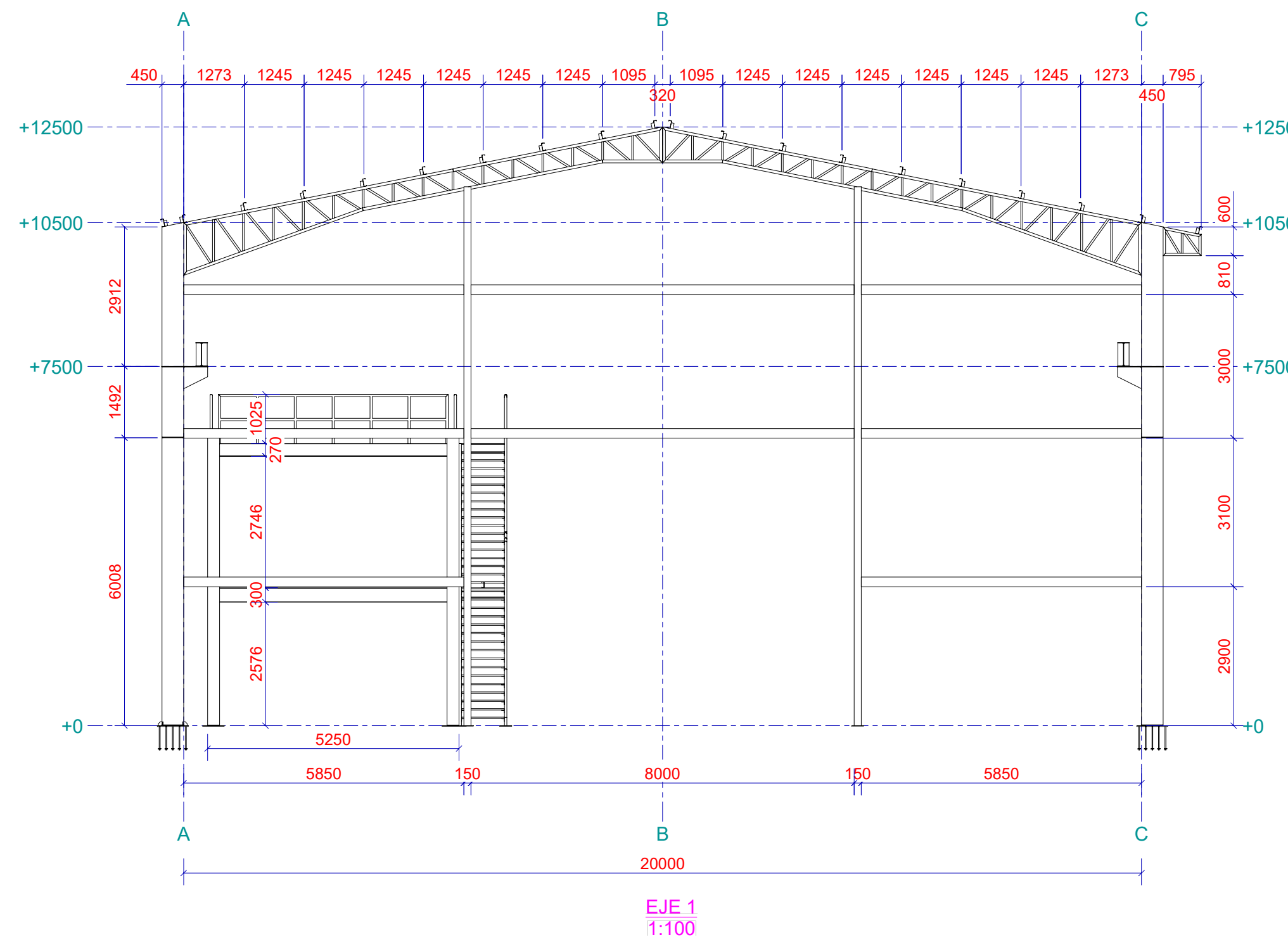
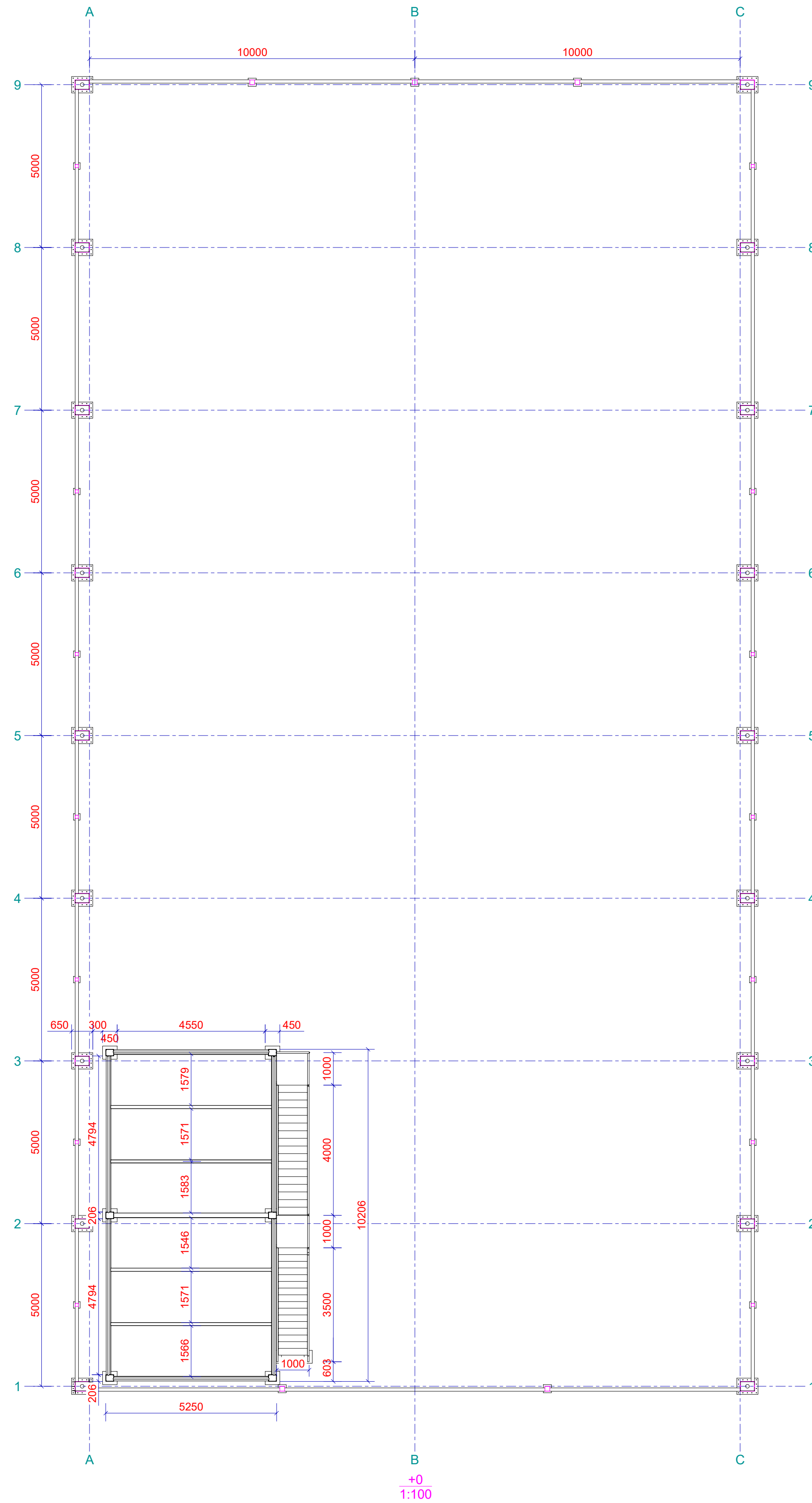
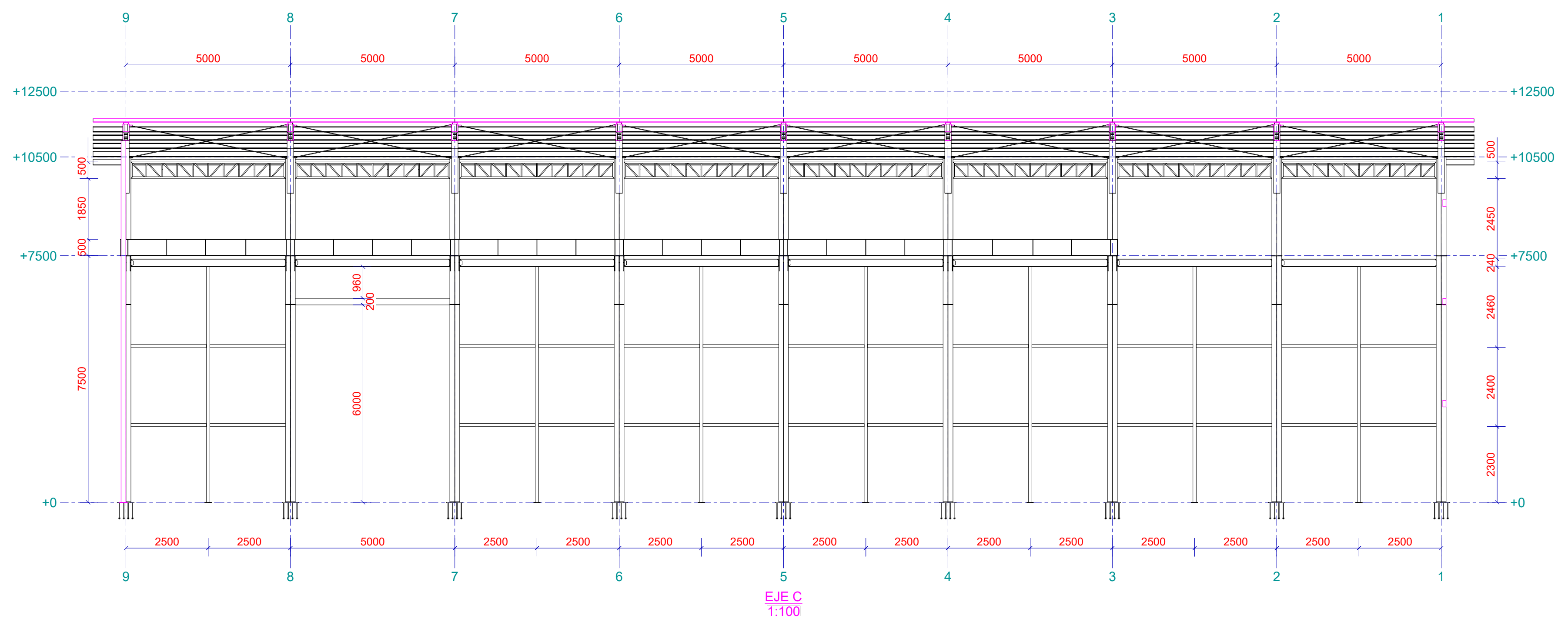
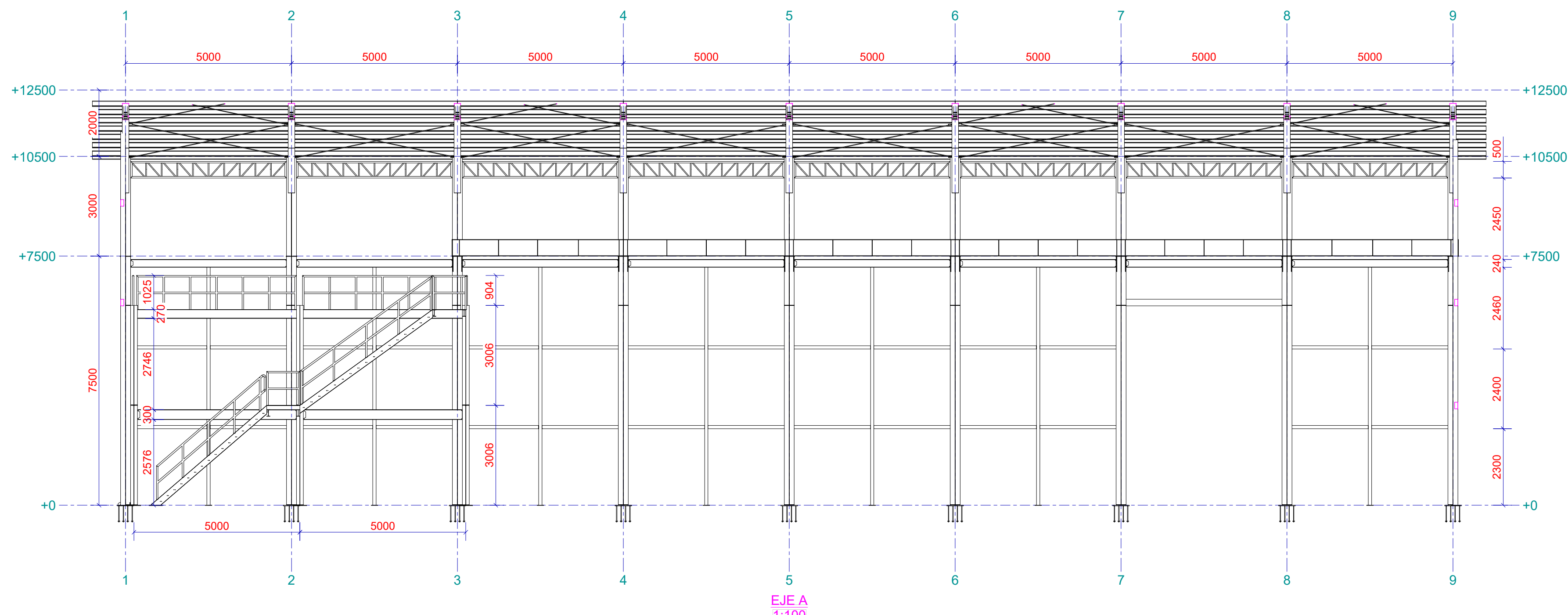
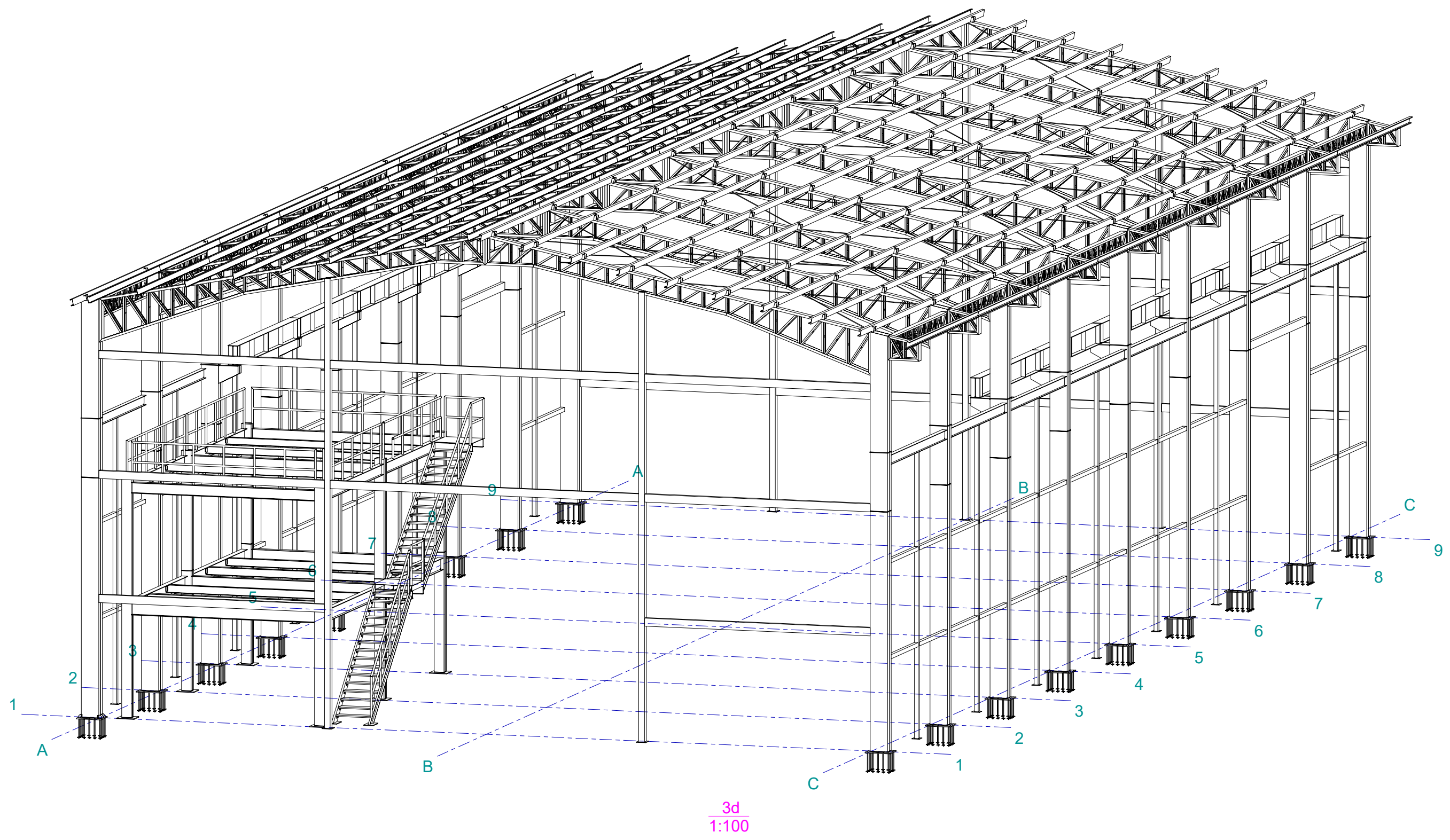
7. REFERENCIAS

- Ahiwale, D. D., & Khartode, R. R. (2021). Parametric study for long-span roof truss subjected to vertical ground motion. *Asian Journal of Civil Engineering*, 22(3), 381–404. <https://doi.org/10.1007/s42107-020-00320-5>
- Almeida, A., Mateus, D., da Silva, I., Tavares, H., & López, P. (2022). Analysis and design of structural elements of an industrial steel warehouse with overhead crane. *International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA)*, 12(2), 05–22. <https://doi.org/10.9790/9622-1202020522>
- Aulestia, L., & Celi, M. (2017). *Implementación de un Sistema de Paneles Solares Fotovoltaicos con Capacidad de 20 Kw/Mes para ser utilizados en Instalaciones Industriales*. Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito. [UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE QUITO]. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/13636>
- Aydin, H. (2022, December 14). (PDF) *Investigation of the Effects of Using Overhead Cranes on the Dynamic Parameters of the Steel Industry Structure with Finite Elements*. <https://doi.org/https://orcid.org/0000-0002-1886-5497>
- Chudley, R., & Greeno, R. (2010). Building Construction Handbook. *Building Construction Handbook*. <https://doi.org/10.4324/9780080963389>
- Coba, G. (2021, February 27). *Las bodegas corporativas ganan terreno en Guayaquil y Cuenca*. PRIMICIAS El Periodismo Comprometido. https://www.primicias.ec/noticias/economia/bodegas-corporativas-espacio-sector-inmobiliario/?utm_source=chatgpt.com
- Fajardo, J. I., Paltán, C. A., & Palacios, E. G. (2023). Computational analysis of structure manufactured by means of the steel framing system. Case study: Industrial warehouse. *Journal of Physics: Conference Series*, 2516(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2516/1/012006>
- Gairhe, N. R. (2015, March 10). *Dynamic Analysis of a Monorail Beam for an Overhead Crane*. <https://doi.org/https://doi.org/10.6084/M9.FIGSHARE.1367886.V1>
- INAMHI. (2025). *Alertas – INAMHI*. <https://servicios.inamhi.gob.ec/alertas/>
- Instituto de Investigación Geológico y Energético (IIGE). (2018). *Mapas Temáticos 1: 100.000 – Instituto de Investigación Geológico y Energético*. <https://www.geoenergia.gob.ec/mapas-tematicos-1-100-000/>

- Khan, K., Chen, Z., Liu, J., & Javed, K. (2023). State-of-the-Art on Technological Developments and Adaptability of Prefabricated Industrial Steel Buildings. *Applied Sciences (Switzerland)*, 13(2). <https://doi.org/10.3390/APP13020685>
- LEGACY. (2025, February 19). *The Strength of Rigid I-Beam Frames Over Open Web Trusses*. https://blog.legacybuildingsolutions.com/the-strength-of-rigid-i-beam-frames-over-open-web-trusses?utm_source=chatgpt.com
- Lehner, P., Krejsa, M., Pařenica, P., Křivý, V., & Brožovský, J. (2019). *Fatigue damage analysis of a riveted steel overhead crane support truss*. <https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2019.105190>
- Lisperguier, N., López, Á., & Vielma, J. C. (2023). Seismic Performance Assessment of a Moment-Resisting Frame Steel Warehouse Provided with Overhead Crane. *Materials* 2023, Vol. 16, Page 2815, 16(7), 2815. <https://doi.org/10.3390/MA16072815>
- MSN El Tiempo. (2025). *Tendencias meteorológicas de Mapasingue, Guayaquil, Guayas, Ecuador* | MSN El Tiempo. <https://www.msn.com/es-xl/el-tiempo/records/in-Guayaquil,Guayas?loc=eyJscjoiR3VheWFxdWlsIiwicil6Ikd1YXlhcyIsInIyIjoiR3VheWFxdWlsIiw1YyI6IkVjdWfkb3liLCJpIjoiRUMiLCJ0IjoxMDIsImciOiJlcy14bCIsIng1OiItNzkuODg2OSIsInkiOiItMi4xOTAxIn0%3D&weadegreetype=C&cvid=0d94b4f569c8441e8ea4d167bf8cbc92>
- Muñoz, F., Snytko, A., De La Casa Hernández, J., Rus, C., & Jiménez, G. (2023). Rooftop photovoltaic systems. New parameters for the performance analysis from monitored data based on IEC 61724. *Energy & Buildings*, 295, 113280. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.113280>
- NEC. (2015). *CARGAS (NO SÍSMICAS)*.
- NEC-SE-DS. (2015). *Norma Ecuatoriana de la Construcción - Diseño Sismo Resistente*. <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2023/03/2.-NEC-SE-DS-Peligro-Sismico-parte-1.pdf>
- Richard, J., Koboevic, S., & Tremblay, R. (2011). Seismic Design and Response of Crane-Supporting and Heavy Industrial Steel Structures. *Engineering Journal (AISC)*, 48(3), 205–224. <https://ej.aisc.org/index.php/engj/article/view/1013/1012>
- Rusek, J., Słowik, L., Firek, K., & Pitas, M. (2020). Determining the Dynamic Resistance of Existing Steel Industrial Hall Structures for Areas with Different Seismic Activity. *Archives of Civil Engineering*, Vol. 66(No 4), 525–542. <https://doi.org/10.24425/ace.2020.135235>

- Seguel, I. (2005). *MANUAL DE PROCEDIMIENTO DE FABRICACIÓN DE GALPÓN ESTRUCTURAL DE CÁMARA DE FRIGORÍFICO* [Universidad Técnica Federico Santa María. UTFSM]. <https://repositorio.usm.cl/handle/123456789/21903>
- Simpson Steel. (2020). *Steel Truss Frame vs. Rigid Frame Metal Buildings*. Q&A: Steel Truss Frame vs. Rigid Frame. https://www.simpsonsteel.com/2019/09/16/steel-truss-frame-vs-rigid-frame/?utm_source=chatgpt.com
- Suwondo, R., Franklin, O., & Suangga, M. (2024). Seismic Design Optimization for Long-Span Warehouses: A Comparative Study of Ordinary and Intermediate Moment Resisting Frames. *Civil Engineering and Architecture*, 12(3), 1378–1385. <https://doi.org/10.13189/cea.2024.120307>
- Taibe, E. G. (2014). *Manual de fabricación y montaje shelters metálicos (galpones)*. <http://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/3655>
- Valdés, J., García, A., & Jaimes, M. (2021). Impact of the vertical component of earthquake ground motion in the performance level of steel buildings. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(4), 1–25. <https://doi.org/10.3390/APP11041925>

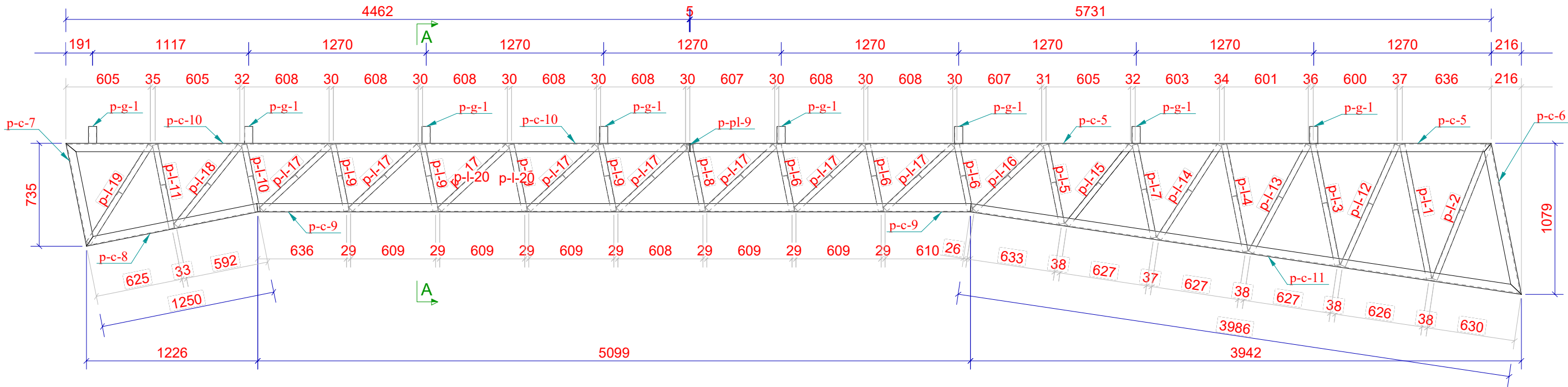
PLANOS Y ANEXOS



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL			
FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA			
PROYECTO:			
Diseño Estructural de Galpón para Ensamblaje Metálico con Puente Grúa y Energía Solar en Guayaquil			
CONTENIDO:			
Plano General - Plano Estructural			
Tutor de Materia Integradora:		Estudiantes:	
Msc. Carlos Quishpe		Freddy Elian Valarezo Andrade	
Profesor de Materia Integradora:		Carlos Daniel García Zambrano	
Msc. Lenin Dender		Fecha de Entrega:	
		30 de agosto, 2025	
		Lamina:	Escala:
		A 1/1	1:100



V. FRONTAL
1:30



V. SUPERIOR
1:30

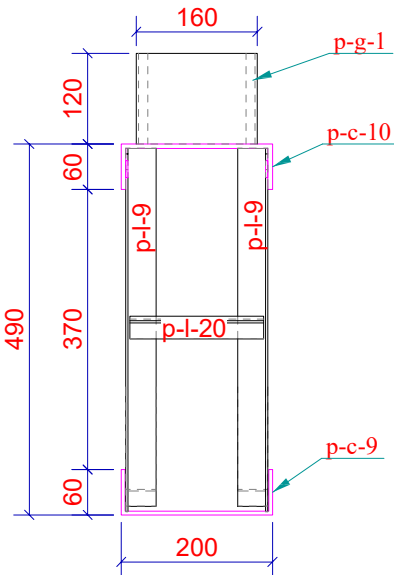
LISTA DE PARTES DE CONJUNTO

Conjunto: **CERCHA-1**

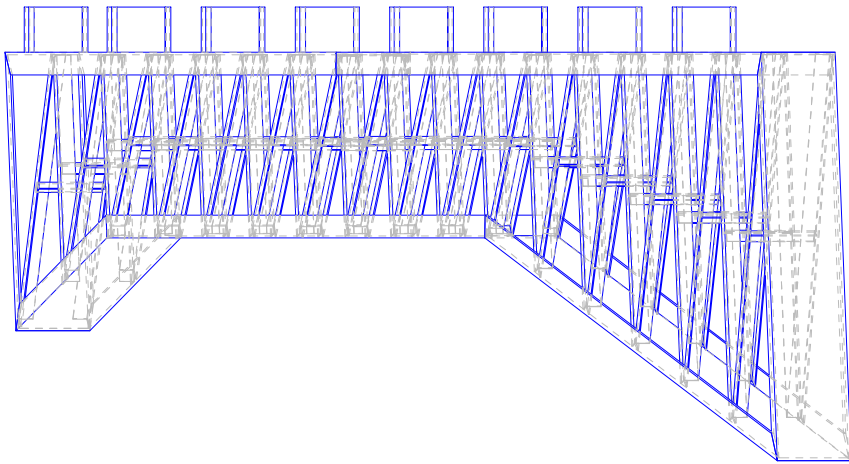
Acabado:

Número: 18
Long. (mm): 10414

Parte	Perfil	Material	Número	Long. (mm)	Peso (kg)
p-c-5	C200*60*5	A36	1	5731	69.6
p-c-6	C200*60*6	A36	1	1100	15.5
p-c-7	C200*60*6	A36	1	750	10.4
p-c-8	C200*60*5	A36	1	1256	15.1
p-c-9	C200*60*5	A36	1	5109	62.1
p-c-10	C200*60*6	A36	1	4462	64.5
p-c-11	C200*60*6	A36	1	3990	57.6
p-g-1	CC160-3-15-60	A36	8	120	6.7
p-l-1	L40*40*3	A36	2	979	3.6
p-l-2	L40*40*3	A36	2	1034	3.8
p-l-3	L40*40*3	A36	2	879	3.2
p-l-4	L40*40*3	A36	2	778	2.8
p-l-5	L40*40*3	A36	2	575	2.1
p-l-6	L40*40*3	A36	6	484	5.3
p-l-7	L40*40*3	A36	2	678	2.5
p-l-8	L40*40*3	A36	2	478	1.7
p-l-9	L40*40*3	A36	8	483	7.0
p-l-10	L40*40*3	A36	2	487	1.8
p-l-11	L40*40*3	A36	2	611	2.2
p-l-12	L40*40*3	A36	2	946	3.4
p-l-13	L40*40*3	A36	2	868	3.1
p-l-14	L40*40*3	A36	2	795	2.9
p-l-15	L40*40*3	A36	2	725	2.6
p-l-16	L40*40*3	A36	2	665	2.4
p-l-17	L40*40*3	A36	16	662	19.2
p-l-18	L40*40*3	A36	2	729	2.6
p-l-19	L40*40*3	A36	2	826	3.0
p-l-20	L30*30*3	A36	5	178	1.2
p-l-20	L30*30*3	A36	26	177	6.2
p-pl-9	PL4*50	A36	1	289	0.5
Total por conjunto					384.5



Sección A - A
1:10

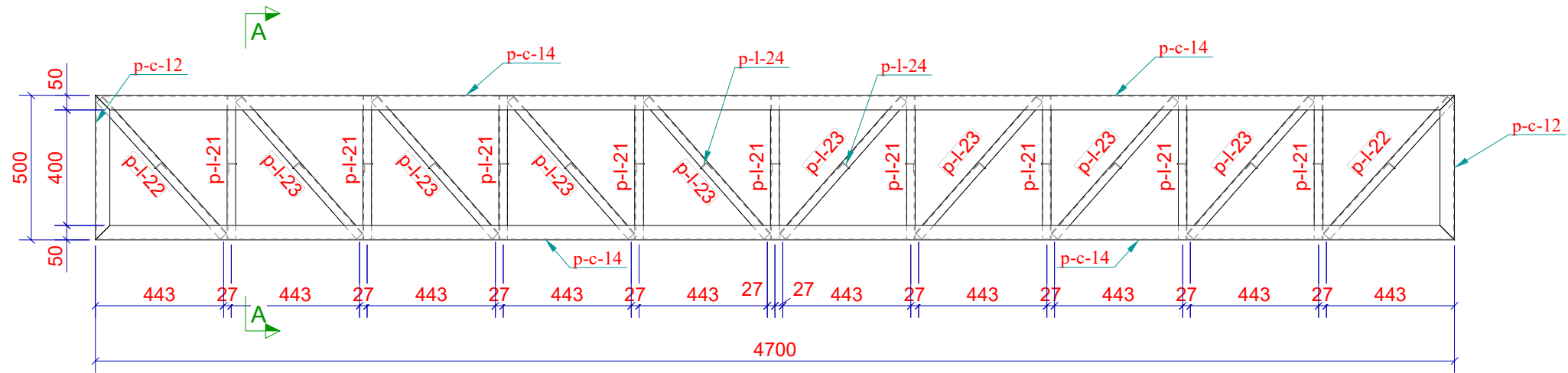


Sección -
1:20

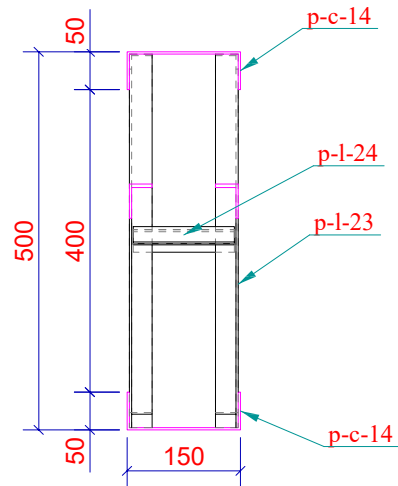
ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL			
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA			
PROYECTO: Diseño Estructural de Galpón para Ensamblaje Metálico con Puente Grúa y Energía Solar en Guayaquil			
CONTENIDO: Plano Conjunto - Viga Cercha			
Tutor de Materia Integradora: Msc. Carlos Quishpe	Estudiantes: Freddy Elian Valarezo Andrade Carlos Daniel Garcia Zambrano		Fecha de Entrega: 30 de agosto, 2025
Profesor de Materia Integradora: Msc. Lenin Dender			Lamina: A 2/10
		Escala: Varias	



V. FRONTAL
1:20



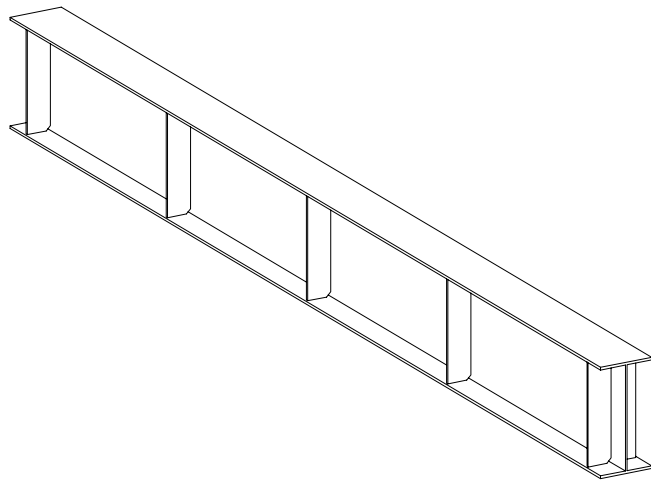
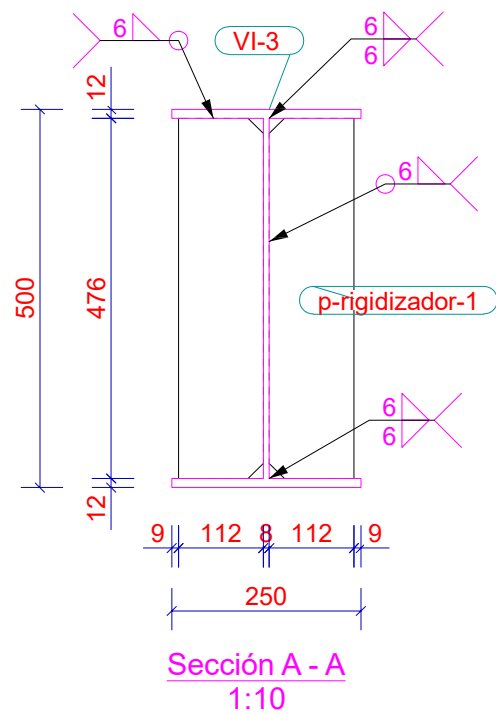
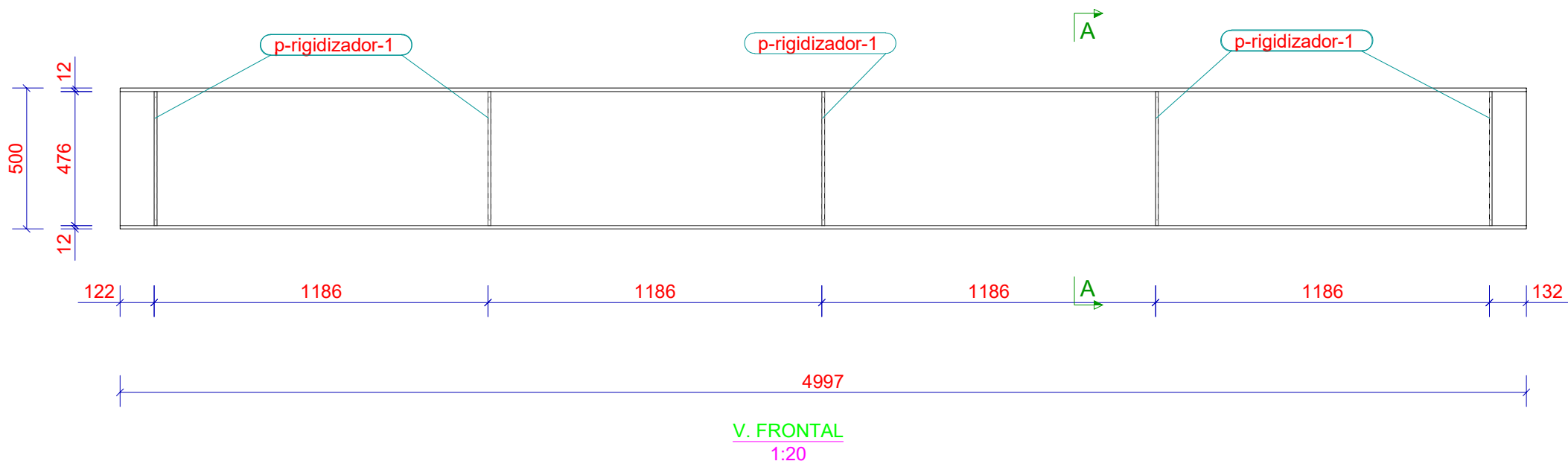
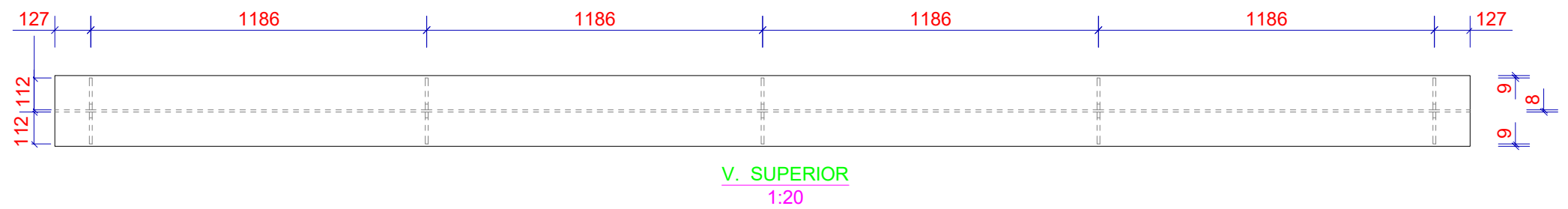
V. SUPERIOR
1:20



SECCIÓN A-A
1:10

LISTA DE PARTES DE CONJUNTO					
Conjunto: VIGA AM***			Número: 16		
Acabado:			Long. (mm): 4700		
Parte	Perfil	Material	Número	Long. (mm)	Peso (kg)
p-c-12	C150*50*3	A36	2	500	5.5
p-c-14	C150*50*3	A36	2	4700	53.8
p-l-21	L30*30*3	A36	18	494	11.9
p-l-22	L30*30*3	A36	4	639	3.4
p-l-23	L30*30*3	A36	16	631	13.6
p-l-24	L30*30*3	A36	19	134	3.4
Total por conjunto					91.6

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL			
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA			
PROYECTO: Diseño Estructural de Galpón para Ensamblaje Metálico con Puente Grúa y Energía Solar en Guayaquil			
CONTENIDO: Plano Conjunto - Viga de Amarre			
Tutor de Materia Integradora: Msc. Carlos Quishpe	Estudiantes: Freddy Elian Valarezo Andrade Carlos Daniel Garcia Zambrano	Fecha de Entrega: 30 de agosto, 2025	
Profesor de Materia Integradora: Msc. Lenin Dender		Lamina: A 3/10	Escala: Varias



LISTA DE PARTES DE CONJUNTO

Conjunto: VI-3
Acabado: Número: 8
Long. (mm): 4997

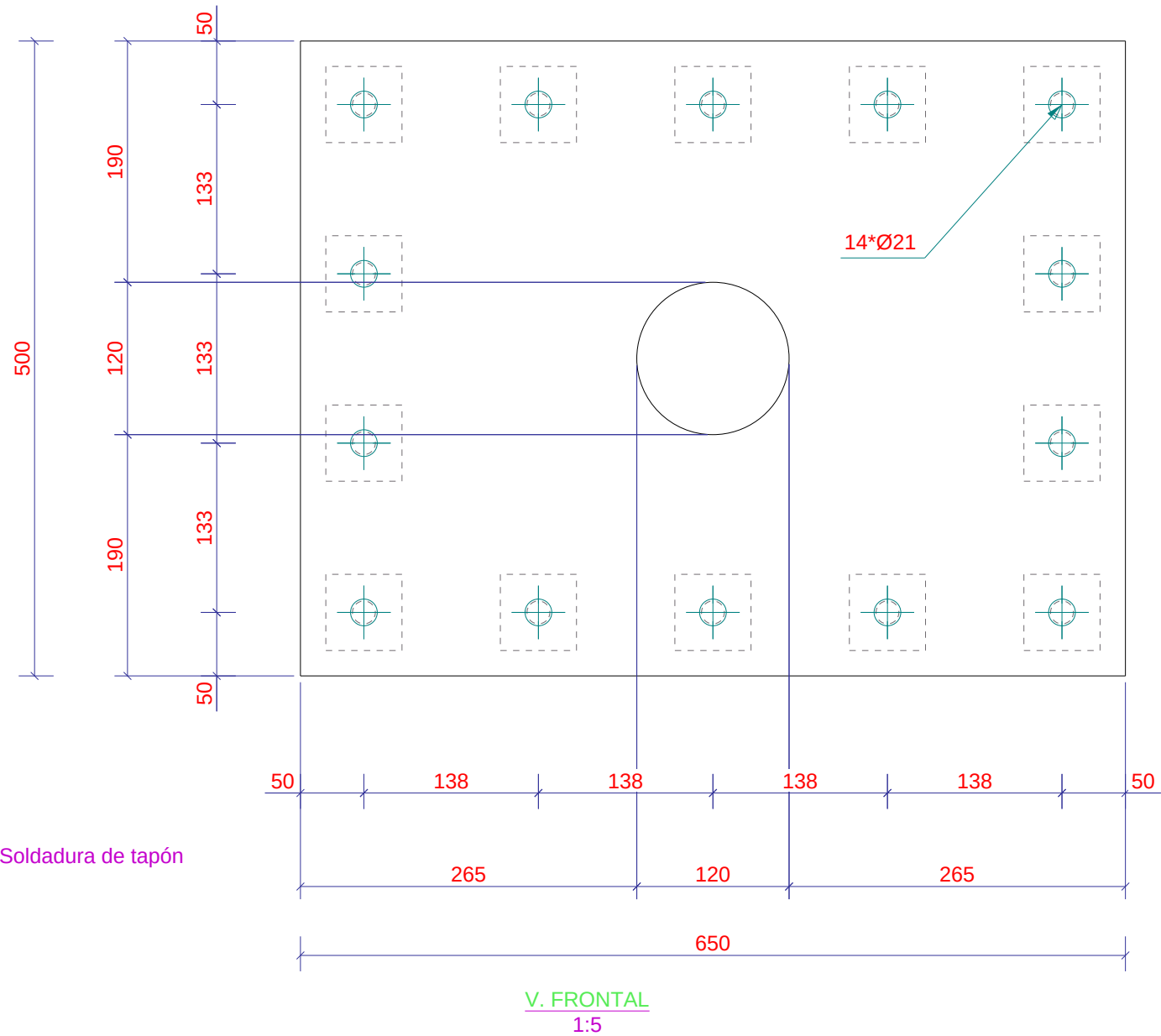
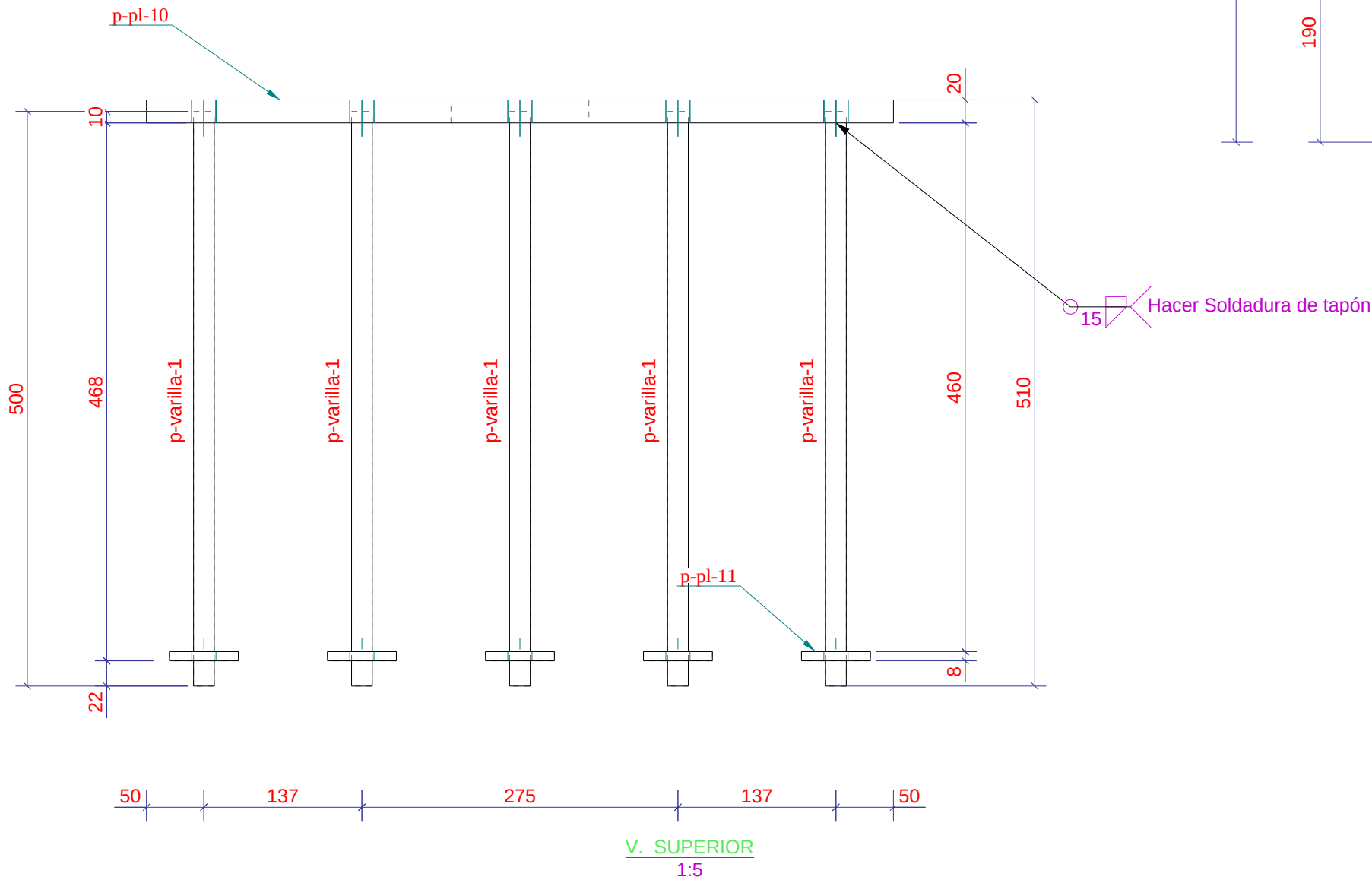
Parte	Perfil	Material	Número	Long. (mm)	Peso (kg)
p-rigid***	PL10*112	A572-50	10	476	41.5
p-vi-2	HI500-8-12*250	A572-50	1	4997	384.7
Total por conjunto					426.3

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA

PROYECTO:
Diseño Estructural de Galpón para Ensamblaje Metálico con Puente Grúa y Energía Solar en Guayaquil

CONTENIDO:
Plano Conjunto - Viga Carrilera

Tutor de Materia Integradora: Msc. Carlos Quishpe	Estudiantes: Freddy Elian Valarezo Andrade Carlos Daniel Garcia Zambrano	Fecha de Entrega: 30 de agosto, 2025
Profesor de Materia Integradora: Msc. Lenin Dender	Lamina: A 1/10	Escala: 1:100

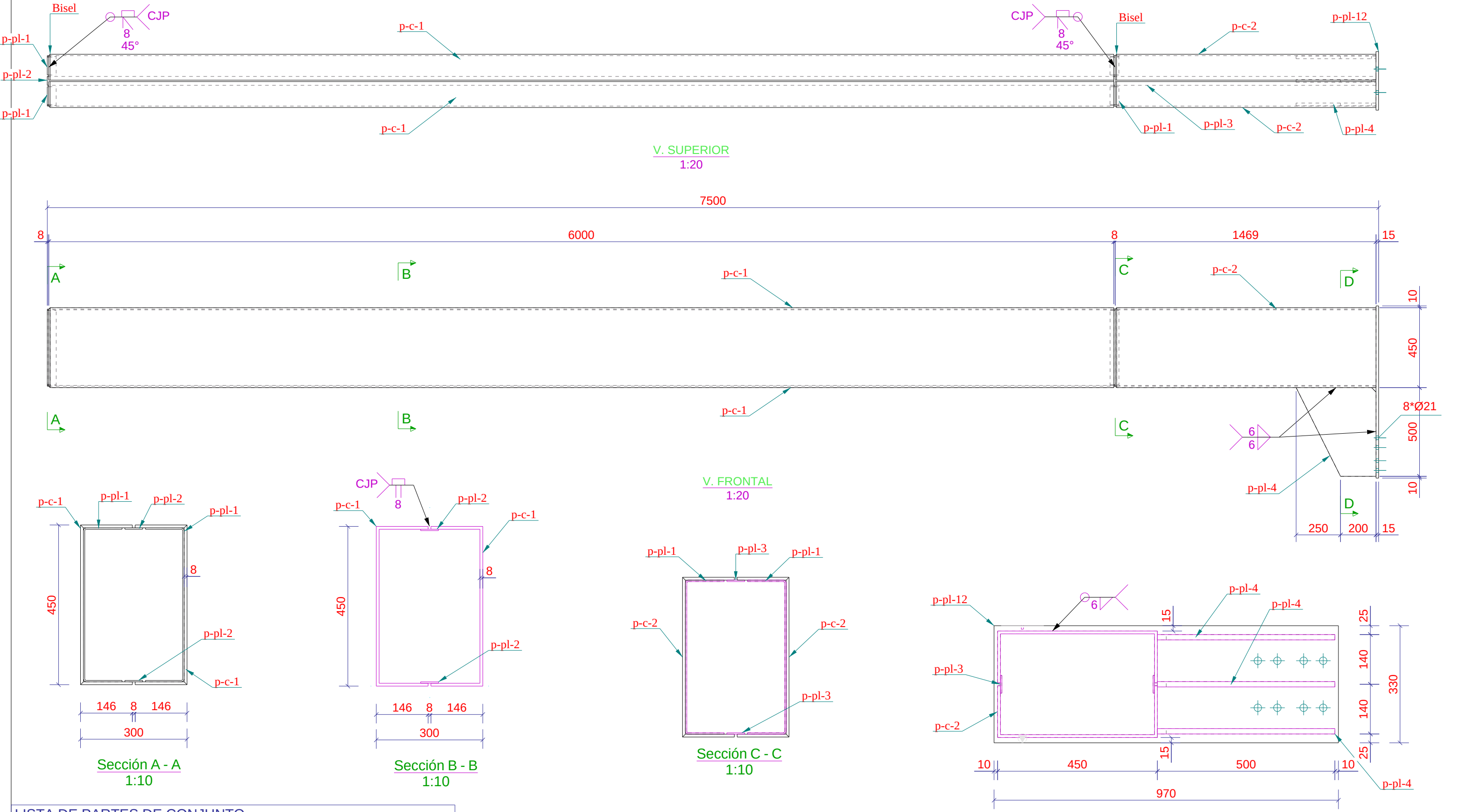


LISTA DE PARTES DE CONJUNTO

Conjunto: **PL-1** Número: **18**
Acabado: Long. (mm): **650**

Parte	Perfil	Material	Número	Long. (mm)	Peso (kg)
p-pl-10	PL20*500	A572-50	1	650	49.3
p-pl-11	PL8*60	A572-50	14	60	3.2
p-varil***	D18	A572-50	14	500	12.6
Total por conjunto					65.0

PROYECTO: GALPÓN - TAMECAM		Diseñador: VAL&GAR	MATERIAL: S275JR, SALVO INDICACIÓN		SOLDADURAS 4, SALVO INDICACIÓN		
TÍTULO DIBUJO: PLANO CONJUNTO - PLACA BASE		Fecha: 09.08.2025	CALIDAD TORNILLOS 8.8, SALVO INDICACIÓN		PROYECCIÓN 		
CONSTRUCTOR: METAL INDUSTRIAL JOSÉ CAMPUZANO S.A.		Escala: 1:5				PROYECTO: núm proyecto	
						DIBUJO: A [PL-.1]	Tamaño: A3
						ESTADO:	



LISTA DE PARTES DE CONJUNTO					
Conjunto: CO-5		Número: 14			
Acabado:		Long. (mm): 7500			
Parte	Perfil	Material	Número	Long. (mm)	Peso (kg)
p-c-1	C450*146*8	A572-50	2	6000	546.7
p-c-2	C450*146*8	A572-50	2	1469	133.6
p-pl-1	PL4*50	A36	4	639	4.0
p-pl-2	PL4*50	A36	2	6008	18.9
p-pl-3	PL4*50	A36	2	1477	4.6
p-pl-4	PL15*450	A572-50	3	500	57.3
p-pl-12	PL15*330	A572-50	1	970	37.7
Total por conjunto					802.8

PROYECTO:
GALPÓN - TAMECAM

TÍTULO DIBUJO:
PLANO CONJUNTO - COLUMNA CON MÉNSULA

CONSTRUCTOR:
METAL INDUSTRIAL JOSÉ CAMPUZANO S.A.

Diseñador: **VAL&GAR**

Fecha: **08.08.2025**

Escala: **1:10**

Tekla Structures

Nº rev.	Revisión	Descripción de revisión	Fecha revisión

MATERIAL: S275JR, SALVO INDICACIÓN	SOLDADURAS 4, SALVO INDICACIÓN
CALIDAD TORNILLOS 8.8, SALVO INDICACIÓN	PROYECCIÓN

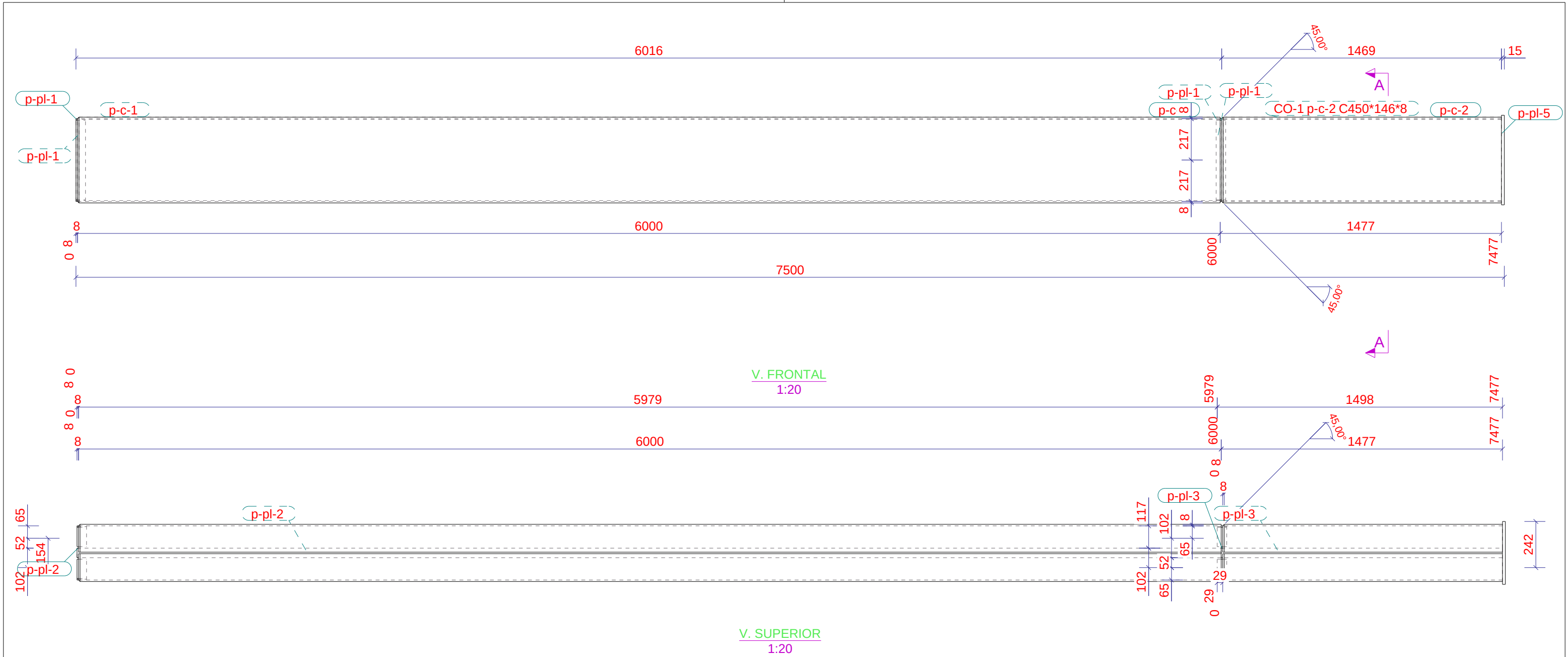
PROYECTO:
núm proyecto
DIBUJO:
A [CO-.5]
ESTADO:

Tamaño:
A3

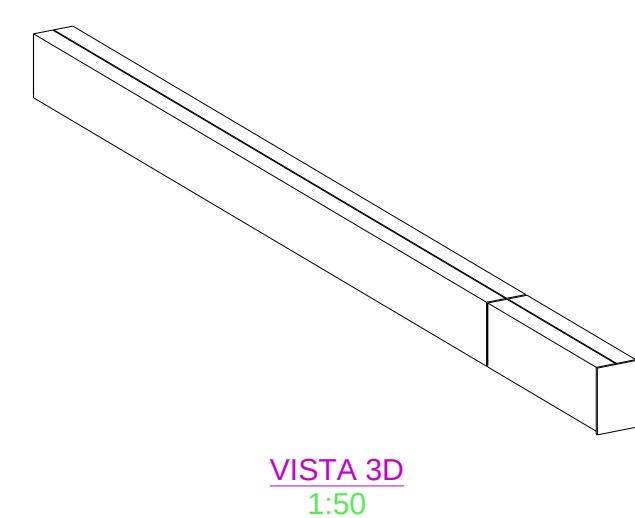
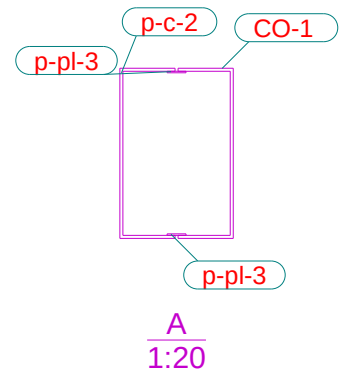
Modelo Tekla Structures

Galpón_Tesis

ploteado el 09.08.2025



LISTA DE PARTES DE CONJUNTO					
Conjunto: CO-1			Número: 4		
Acabado:			Long. (mm): 7500		
Parte	Perfil	Material	Número	Long. (mm)	Peso (kg)
p-c-1	C450*146*8	A572-50	2	6000	546.7
p-c-2	C450*146*8	A572-50	2	1469	133.6
p-pl-1	PL4*50	A36	4	639	4.0
p-pl-2	PL4*50	A36	2	6008	18.9
p-pl-3	PL4*50	A36	2	1477	4.6
p-pl-5	PL15*330	A572-50	1	470	18.3
Total por conjunto					726.1



PROYECTO:
GALPÓN - TAMECAM

TÍTULO DIBUJO:
PLANO CONJUNTO - COLUMNA SIN MÉNSULA

CONSTRUCTOR:
METAL INDUSTRIAL JOSÉ CAMPUZANO S.A.

Diseñador: **VAL&GAR**

Fecha: **05.08.2025**

Escala: **1:20**

Tekla
Structures

Nº rev.	Revisión	Descripción de revisión	Fecha revisión
		MATERIAL: S275JR, SALVO INDICACIÓN	
		SOLDADURAS: 4, SALVO INDICACIÓN	
		CALIDAD TORNILLOS 8.8, SALVO INDICACIÓN	
		PROYECCIÓN:	

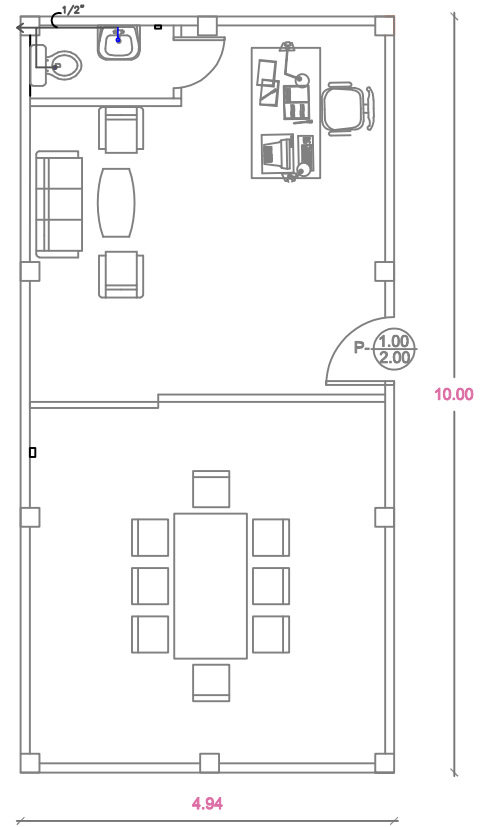
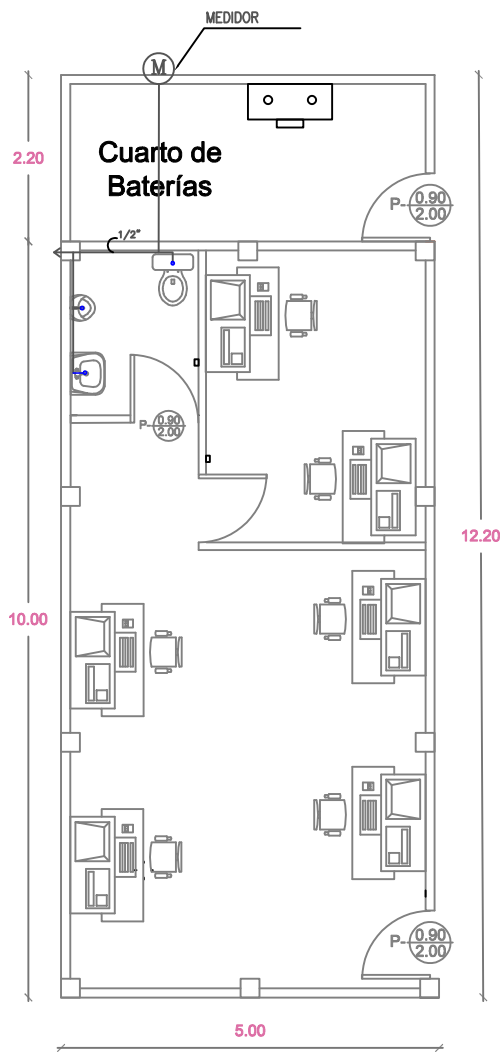
PROYECTO:
núm proyecto
DIBUJO:
A [CO-.1]
ESTADO:

Tamaño:
A3

Modelo Tekla Structures

Galpón_Tesis

ploteado el 09.08.2025



SIMBOLOGÍA



RED AGUA POTABLE FRÍA

MEDIDOR

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA

PROYECTO:

Diseño Estructural de Galpón para Ensamblaje Metálico con Puente Grúa y Energía Solar en Guayaquil

CONTENIDO:

Plano Sanitario

Tutor de Materia Integradora:

Msc. Carlos Quishpe

Estudiantes:

Freddy Elian Valarezo Andrade
Carlos Daniel Garcia Zambrano

Fecha de Entrega:

30 de agosto, 2025

Profesor de Materia Integradora:

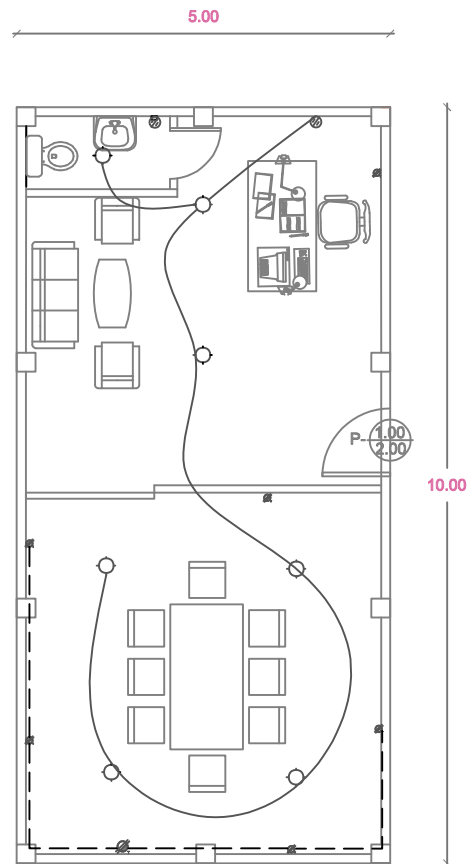
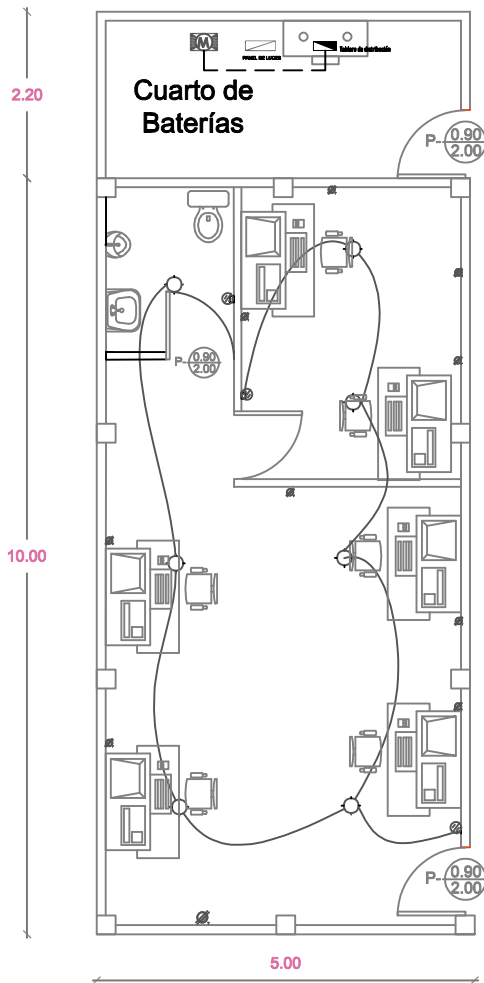
Msc. Lenin Dender

Lamina:

S 1/1

Escala:

1:100



ESPECIFICACIONES INSTALACION ELECTRICA

SIMBOLO	DESCRIPCION
	CENTRO DE CARGA TIPO QO-12 CON INTERRUPTORES TERMOMAGNETICOS
	SALIDA DE CENTRO CON BLOCK SOQUET PARA FOCO FLUORECENTE DE 23W A 120 VOLTS
	SALIDA ARBOTANTE CON BLOCK SOQUET ó de UREA DE 19mm PARA FOCO FLUORECENTE DE 23W A 120 VOLTS
	SALIDA ARBOTANTE CON BLOCK SOQUET ó de UREA DE 19mm PARA FOCO FLUORECENTE DE 23W A 120 VOLTS (INTEMPERIE)
	APAGADOR SENCILLO 10 a/120 v
	APAGADOR ESCALERA 10 a/127 v
	CONTACTO SENCILLO POLARIZADO 15 a/120v Con polo a TIERRA
	CONTACTO DUPLEX POLARIZADO 15 a/120v Con polo a TIERRA

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS DE LA TIERRA

PROYECTO:

Diseño Estructural de Galpón para Ensamblaje Metálico con Puente Grúa y Energía Solar en Guayaquil

CONTENIDO:

Plano Electrico

Tutor de Materia Integradora:

Msc. Carlos Quishpe

Profesor de Materia Integradora:

Msc. Lenin Dender

Estudiantes:

Freddy Elian Valarezo Andrade
Carlos Daniel Garcia Zambrano

Fecha de Entrega:

30 de agosto, 2025

Lamina:

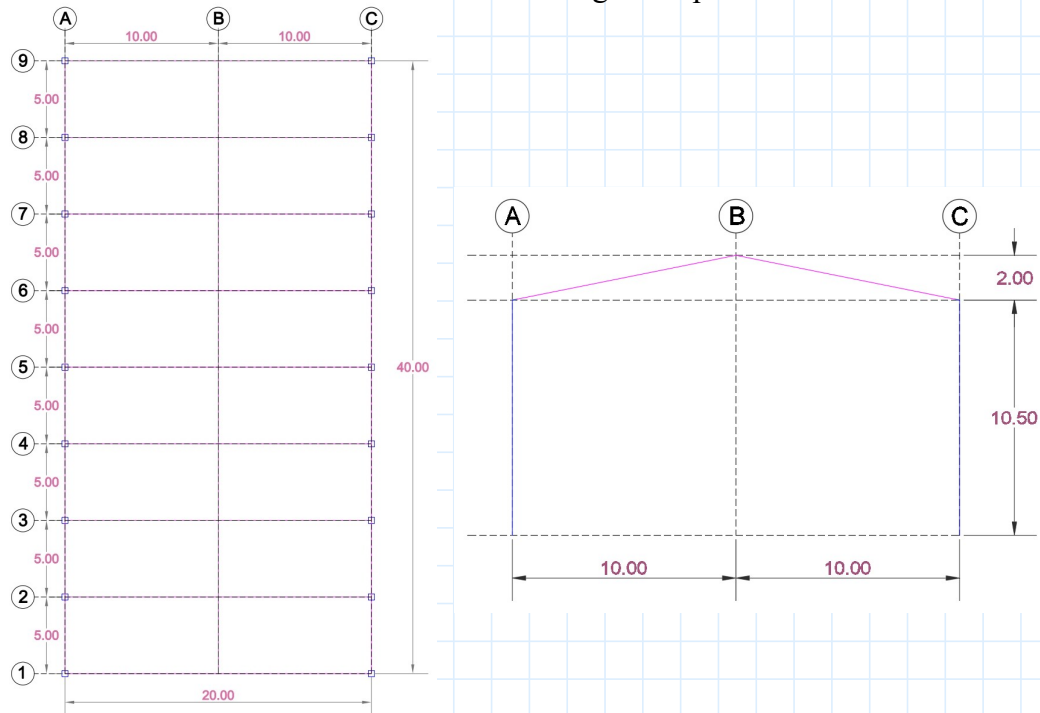
E 1/1

Escala:

1:100

DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

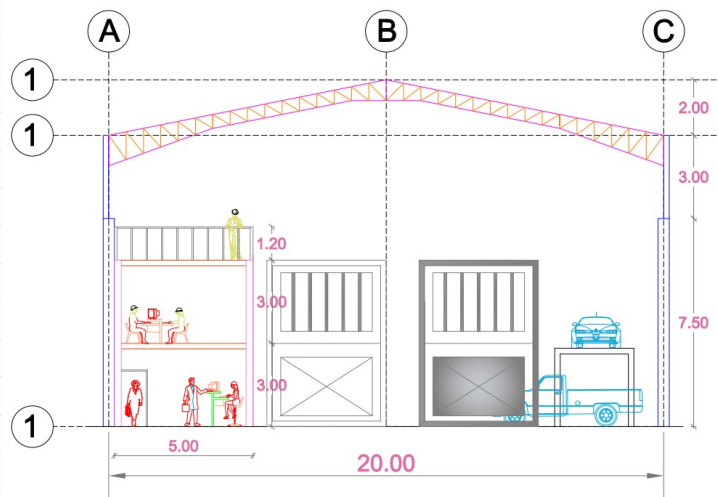
El proyecto que se va a desarrollar aborda el diseño de un galpón situado en la ciudad de Guayaquil, Ecuador. Dada su ubicación, no tomaremos en cuenta las cargas de condiciones ambientales como granizo y ceniza. La luz para la edificación es de 20 metros, mientras que las demás dimensiones son sugeridas por el diseñador.



DIMENSIONES DE LA NAVE INDUSTRIAL

Considerando la optimización del uso de puente grúa y la búsqueda de eficiencia económica, se ha seleccionado una altura de 10.5 metros. Esta elección se fundamenta en respetar el espacio libre que se deja de una altura de tráiler al borde del polipasto, además de ser conveniente por razones de manejo y transporte.

En cuanto a la inclinación, se ha tenido en cuenta el contexto climático de la región, caracterizado por la presencia lluvias intensas. Por consiguiente, se recomienda una inclinación que oscile entre el 15% y el 25%, siendo la opción elegida del 20%.



$$\alpha := 20\%$$

$$l_n := 20 \text{ m}$$

$$h := \alpha \cdot \frac{l_n}{2} = 2 \text{ m}$$

$$\theta_1 := \text{atan}(\alpha) = 11.31^\circ$$

$$ht := 10.5 \text{ m} + h = 12.5 \text{ m}$$

CARGAS GRAVITACIONALES

Para el Predimensionamiento, tomaremos en cuenta las cargas muertas y vivas para una nave industrial situada en la región costa. Las cargas muertas serán el peso propio de la estructura y la carga sobreimpuesta, que comprende el peso de los paneles solares, el peso de la cubierta y el peso de instalaciones mecánica y eléctricas. La carga viva será solo la ocasionada por el peso de una persona que dará mantenimiento cuando es requerido. En este paso inicial, se omitirán las cargas de viento con el objetivo de realizar un cálculo inicial más sencillo.

PRE-DIMENSIONAMIENTO DE LOS ELEMENTOS

2. Determinación de las cargas para Pre-diseño.

2.1. Cargas Vivas (CV):

• Cargas por Mantenimiento (Q_{mante}):

Basado en la NEC-SE-CG 2015 se ha definido que la carga viva de la nave industrial al ser una cubierta inclinada será de 0.7 kN/m^2 para cuestiones de mantenimiento.

Ocupación o Uso	Carga uniforme (kN/m^2)	Carga concentrada (kN)
Cubiertas		
<u>Cubiertas planas, inclinadas y curvas</u>	0.70	
Cubiertas destinadas para áreas de paseo	3.00	
Cubiertas destinadas en jardinería o patios de reunión.	4.80	
Cubiertas destinadas para propósitos especiales		
Toldos y carpas	i	i
Construcción en lona apoyada sobre una estructura ligera	0.24 (no reduc.)	
Todas las demás	1.00	
Elementos principales expuestos a áreas de trabajo		8.90
Carga puntual en los nudos inferiores de la celosía de cubierta, miembros estructurales que soportan cubiertas sobre fábricas, bodegas y talleres de reparación vehicular		1.40
Todos los otros usos		1.40
Todas las superficies de cubiertas sujetas a mantenimiento de trabajadores		

$$Q_{\text{mante}} := 0.70 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Sin embargo, en el apartado 3.2.3 sección a. de la NEC-SE-CG 2015, nos permite hacer la reducción de sobre cargas para cubiertas planas, inclinadas y curvas. Se permite reducir la sobrecarga de cubierta de conformidad con la siguiente ecuación:

$$L_r = L_o R_1 R_2$$

Dónde:

L_r Sobrecarga reducida de cubierta en proyección horizontal, en kN/m^2 ; $0.60 \leq L_r \leq 1$

L_o Sobrecarga no reducida de cubierta en proyección horizontal, en kN/m^2

R_1 y R_2 Factores de reducción de conformidad con las [Tabla 3](#) y [Tabla 4](#)

Condición	R_1
$A_T \leq 18.00 m^2$	1
$18.00 m^2 < A_T < 56.00 m^2$	$1.2 - 0.011 A_T$
$A_T \geq 56.00 m^2$	0.6

Tabla 3: factores de reducción R_1

A_T : Área tributaria en m^2 soportada por el elemento

Condición	R_2
$F \leq 33.33\%$	1
$33.33\% < F < 100\%$	$1.2 - 0.006 F$
$F \geq 100\%$	0.6

Tabla 4: factores de reducción R_2

F : Pendiente de la cubierta (%)

- Un pórtico cada 5 m
- Correas cada 1.25 m

$$A_T := 5 \text{ m} \cdot 1.25 \text{ m} = 6.25 \text{ m}^2$$

→ En ese caso, $R_1 := 1$

$$L_r = L_0 R_1 R_2$$

$$CV := Q_{mante} \cdot R_1 \cdot R_2$$

- Pendiente de la cubierta

$$\alpha := 20\%$$

→ Entonces, $R_2 := 1$

No poseemos carga de granizo o de ceniza

Carga Viva Total:

$$CV = 71.38 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

2.2. Cargas Muertas (CM):

Las cargas muertas son todos los pesos de todos los elementos que se mantendrán a lo largo de la vida útil de la estructura, como: peso propio de elementos estructurales, instalaciones luminarias, peso del techo, y en nuestro caso peso de paneles solares.

• Cargas de Cubierta por el techo de zinc ($Q_{cubierta}$):

La carga muerta debido a la cubierta, eligiendo del catálogo IPAC una cubierta trapezoidal galvalume de 0.45 mm de espesor se tiene un peso de 4.01 kg/m^2 :

Perfil de cubierta trapezoidal galvalume



Recubrimiento:
Galvalum o Prepintado
Calidad de Acero Base:
ASTM A653, ASTM A792
Norma de Fabricación:
NTE INEN 2221
Observaciones:
Otras dimensiones y largos previa consulta

Espesor	Ancho Útil	Longitud	Peso	Separación max. entre Apoyos	Tipo de Recubrimiento	
mm	mm	m	kg/m ²	m	Galvalum	Prepintado
0,25	1025	2,40 - 3,00	2,14	1,10	ASTM A792	ASTM A 755
0,30		3,60 - 4,20	2,61	1,20	AZ 100 (100 g/m ²)	Base Galvanizada, recubrimiento orgánico Z180
0,35		4,80 - 5,40	3,07	1,30	AZ 150 (150 g/m ²)	Colores: Rojo Teja, Azul
0,40		6,00 - 6,60	3,54	1,40		
0,45		7,20 - 7,80	4,01	1,50		

Beneficios

- Más utilizado en techos industriales y comerciales.
- Mayor resistencia estructural.
- Económico y liviano.

Galvalum o Aluzinc es una aleación de aluminio y zinc con la que se recubre la superficie del acero base, otorgándole diversas propiedades: resistencia a la corrosión, reflectividad luminica. Además, facilita la adherencia de la pintura. Todo esto cumpliendo especificaciones de la norma ASTM-A792, de calidad estructural.

Sin embargo, tomando en cuenta elementos de unión de la cubierta a la estructura (pernos, clavos, arandelas, etc.) se tomará una carga de cubierta de 7 kg/m^2 .

$$Q_{cubierta} := 7 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

- **Cargas de instalaciones eléctricas (Q_{inst_elect}):**

Según Art. 4.3 de la NEC-SE-CG 2015, se considera como carga muerta cualquier instalación técnica permanente que actúe sobre la estructura.

Las luminarias (focos, reflectores, etc.), los cables eléctricos, las bandejas porta cables/tuberías eléctricas, los tomacorrientes/interruptores, son elementos que no cambian ni se retiran durante la vida útil del galpón, por lo tanto, sí son carga muerta.

Elemento	Rango típico
Luminarias industriales	3.5 a 6.5 kg/unidad
Cables eléctricos (por área)	0.5 a 1.0 kg/m ²
Bandejas porta cables	1.0 a 2.5 kg/m ²
Total, estimado por instalaciones	5.0 a 10.0 kg/m²

Podemos usar un valor conservador de 0.1 kN/m², que es:

$$Q_{inst_elect} := 10 \frac{kgf}{m^2} = 0.098 \frac{kN}{m^2}$$

- **Cargas de instalaciones mecánicas (Q_{inst_meca}):**

La NEC-SE-CG 2015 no especifica directamente un valor exacto para "instalaciones mecánicas", pero sí indica en:

Numeral: 3.1. Cargas Permanentes:

“La carga muerta incluirá el peso propio de todos los elementos estructurales y no estructurales permanentes, incluyendo acabados, revestimientos, instalaciones eléctricas, sanitarias, **mecánicas** y otros elementos permanentes.”

Como predimensionamiento, y si aún no se tiene el modelo de instalaciones definido por parte del cliente, una práctica común para galpones industriales es considerar:

Uso del edificio	Carga mecánica (kN/m ²)
Galpón ligero (solo ventilación básica)	0.10 – 0.15 kN/m ²
Galpón industrial con ductos y equipos moderados	0.20 – 0.30 kN/m ²
Galpón con maquinaria pesada fija o HVAC complejo	0.30 – 0.50 kN/m ²

Una buena estimación es 0.18 kN/m² como carga mecánica que es:

$$Q_{inst_meca} := 18 \frac{kgf}{m^2}$$

- **Cargas de Paneles Solares en la Cubierta ($Q_{paneles}$):**

Según cálculos de la potencia necesaria para alimentar el área administrativa, tenemos una potencia total estimada de 1.7kW. Entonces, seleccionamos un panel solar típico: *PANEL SOLAR MONOCRISTALINO 580W N-TYPE TOPCON BIFACIAL YINGLI SOLAR 30MM.*

Parámetro	Valor aproximado
Potencia nominal	580 W (0.58 kW)
Dimensiones	2.278 × 1.134 m = 2.58 m ²
Peso	32 kg por panel
Producción diaria*	0.58 kW × 5 h ≈ 2.9 kW*h/día

$$Demanda_{elec} := 1.7 \text{ kW}$$

$$Producc_{diaria} := 2.9 \text{ kW} \cdot \frac{hr}{day}$$

*5 horas pico solares en Guayaquil es una estimación razonable.

El uso diario del área administrativa es de 8h/día: $1.7 \text{ kW} \cdot 8 \frac{\text{hr}}{\text{day}} = 13.6 \text{ kW} \cdot \frac{\text{hr}}{\text{day}}$

$$\text{Número de Paneles requeridos: } \frac{Demanda_{diaria}}{Produc_{diaria}} = \frac{13.6 \text{ kW} \cdot \frac{\text{hr}}{\text{day}}}{2.9 \text{ kW} \cdot \frac{\text{hr}}{\text{day}}} = 4.69$$

Entonces, necesitaremos aprox. 5 paneles solares para cumplir con la demanda eléctrica estimada del área administrativa. Pero, para futuras ampliaciones y adecuaciones, agregaremos un panel más.

$$\#paneles := 8 \quad \text{Peso de 1 panel solar: } P_{Panel} := 32 \text{ kgf}$$

$$\text{Área de 1 panel solar: } A_{Panel} := 2.58 \text{ m}^2$$

$$P_{Total_paneles} := \#paneles \cdot P_{Panel} = 256 \text{ kgf}$$

$$A_{Total_paneles} := \#paneles \cdot A_{Panel} = 20.64 \text{ m}^2$$

La carga distribuida en la cubierta debido a los paneles solares es:

$$Q_{paneles} := \frac{P_{Total_paneles}}{A_{Total_paneles}} = 0.122 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$Q_{paneles} = 12.4 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

Consideran pasarela y anclaje de panel.

- **Cargas Muerta Total (CM):**

Al ser una zona seca y de la costa, **no se tomarán en cuenta cargas ambientales** (granizo, cenizas, lluvias, etc.) para el pre-dimensionamiento.

Finalmente, la carga muerta de diseño según el método ASD, es:

$$CM := Q_{cubierta} + Q_{inst_elect} + Q_{inst_meca} + Q_{paneles}$$

Carga Muerta Total:

$$CM = 47.403 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

2.2. Carga Máxima Total para el prediseño (Ca):

Carga máxima calculada, según la filosofía de diseño por el método ASD, es:

$$Ca := CV + CM = 118.78 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

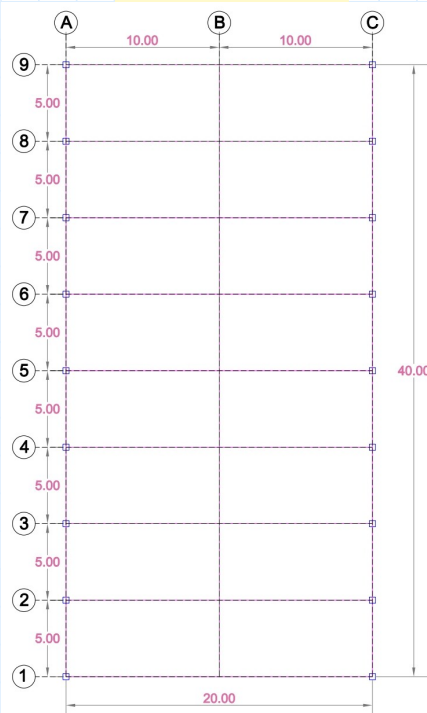
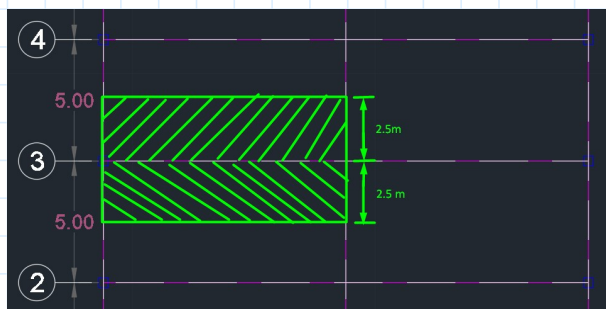
3. Esquematización de la Carga Lineal aplicada sobre el pórtico

Para desarrollar el predimensionamiento, se considera ancho colaborante, que es la separación entre pórticos y así obtener la carga por metro.

Ancho colaborante: $a := 5 \text{ m}$

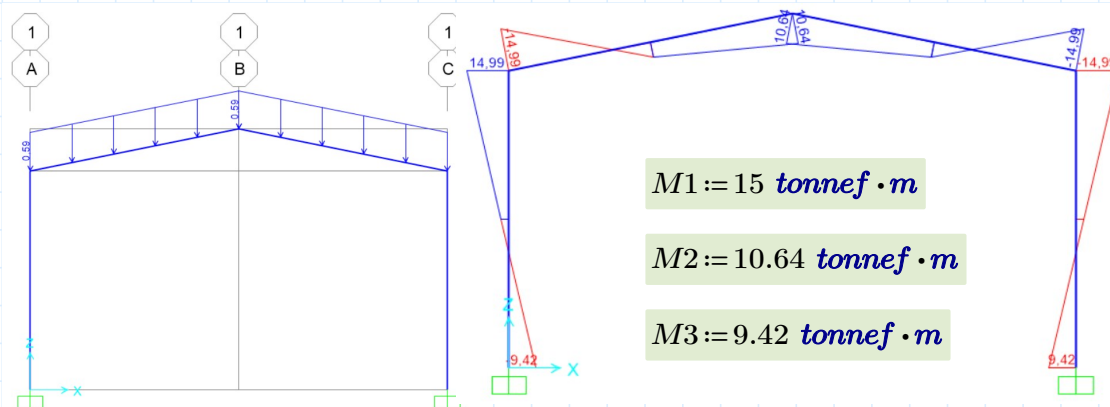
$$W := C_a \cdot a$$

$$W = 593.92 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$



4. Diagrama de momentos en un pórtico idealizado.

Mediante el programa SAP2000 se realizó un modelo idealizado del pórtico que será usado en la nave industrial, con la finalidad de obtener el diagrama de momentos de la estructura (sin considerar peso propio).



De esta manera se determinó que el momento máximo en la cercha de la cubierta es de **15 Ton*m**

5. Pre-dimensionamiento de los cordones superior e inferior y de los ángulos dobles.

Para el peralte de los extremos de la cercha, asignamos un valor de 'a' de 1 m, para así obtener un perfil mucho mas ligero. El esfuerzo lo minoramos con un Φ_f ($\Phi=0.6$) ya que trabajamos elementos a flexo compresión. Utilizamos el perfil A36.

5.1 Cordón Superior:

$$L_{uz} := 20 \text{ m} \quad h_{col} := 10.5 \text{ m} \quad h_{cub} := 2 \text{ m} \quad W = 593.92 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$

$$diag := \sqrt{(h_{cub})^2 + \left(\frac{L_{uz}}{2}\right)^2} = 10.2 \text{ m} \quad a_1 := 1.0 \text{ m} \quad M_1 = 15 \text{ tonnef} \cdot \text{m}$$

Perfiles con acero: ASTM A-36

$$F_y := 36 \text{ ksi} = 2531.05 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

- Para tensión, reducir F_y en un 60% $\rightarrow F_y := 0.6 \cdot F_y \rightarrow F_y = 1518.63 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$
- Para compresión, reducir F_y en 40%

$$F := \frac{M_1}{a_1} = 15 \text{ tonnef}$$

$$F_y = \delta = F/A \rightarrow A_{\text{cordón_SUP}} := \frac{F}{F_y} = 9.88 \text{ cm}^2$$

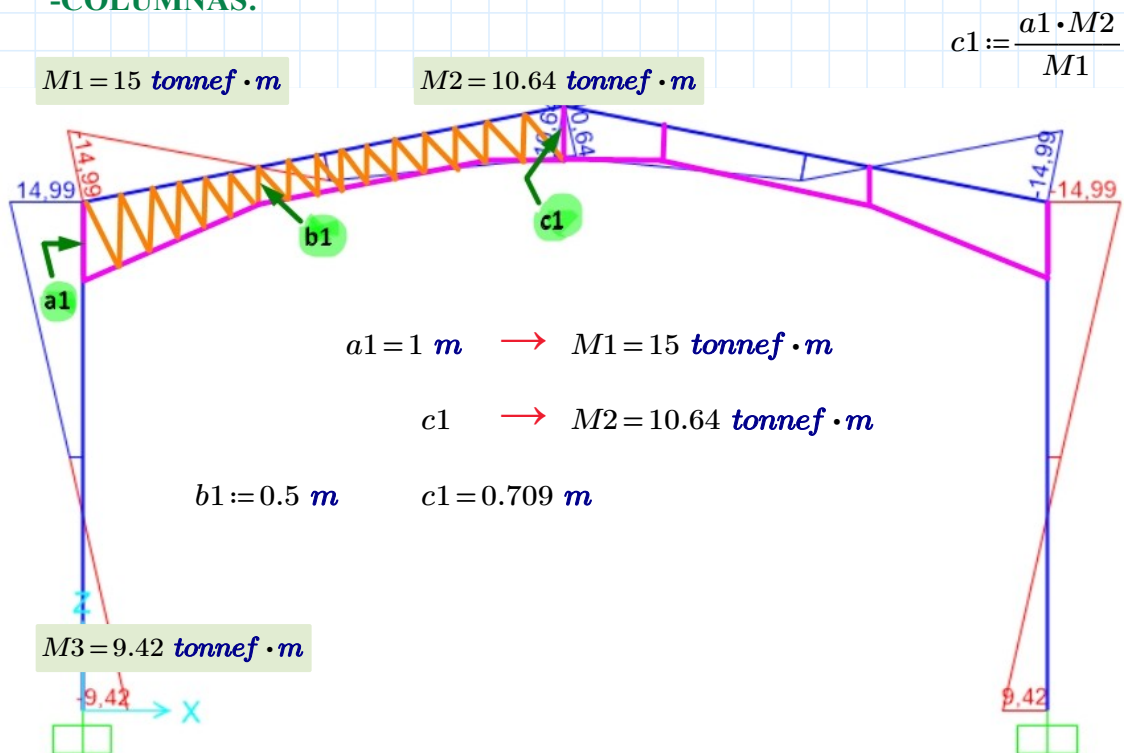
Una vez obtenida el área mínima requerida en el perfil procedemos a escoger un perfil tipo C en el catálogo DIPAC, con sus datos respectivos:

DIMENSIONES			PESOS		SECCION	TIPOS						
A	B	e	6 metros	1 metro		EJE X-X			EJE Y-Y			
mm	mm	mm	kg	kg	cm2	I	W	I	I	W	I	x
						cm4	cm3	cm	cm4	cm3	cm	cm
150	80	12	157.80	26.30	32.47	1012.95	135.06	5.59	189.27	35.31	2.41	2.64
200	50	2	27.66	4.61	5.87	316.00	31.60	7.34	11.80	2.88	1.42	0.92
200	50	3	40.98	6.83	8.70	462.00	46.20	7.29	17.10	4.23	1.40	0.96
200	50	4	54.06	9.01	11.50	600.00	60.00	7.23	22.10	5.52	1.39	1.00
200	50	5	66.60	11.10	14.20	729.00	72.90	7.17	26.70	6.75	1.37	1.05
200	50	6	80.70	13.45	16.81	850.82	85.08	7.11	31.18	7.97	1.36	1.09
200	60	5	71.46	11.91	15.18	853.31	85.33	7.50	45.29	9.72	1.73	1.34
200	60	6	86.52	14.42	18.01	963.76	96.37	7.31	53.04	11.50	1.71	1.39
200	60	8	112.80	18.80	23.50	1218.58	121.85	7.20	66.96	14.96	1.68	1.53

Se ha escogido un C200 x 50 x 4 con área igual a 11.50 cm²

- Optimización del pórtico, relación de momentos.

-COLUMNAS:



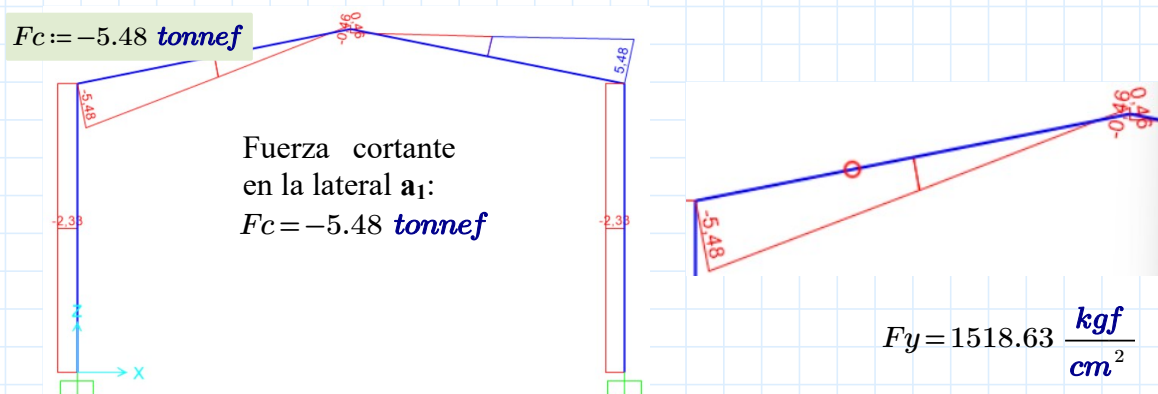
5.2. Cordón Inferior:

Nuestro cordón inferior de la viga cercha tendrá 3 cambios de sección: en el peralte extremo tendrá 1 m, se irá reduciendo la sección hasta el punto de inflexión, donde el momento se hace 0, que tendrá 0.5 m y hasta llegar al cuadrero de la armadura en donde tendrá 0.80 m.

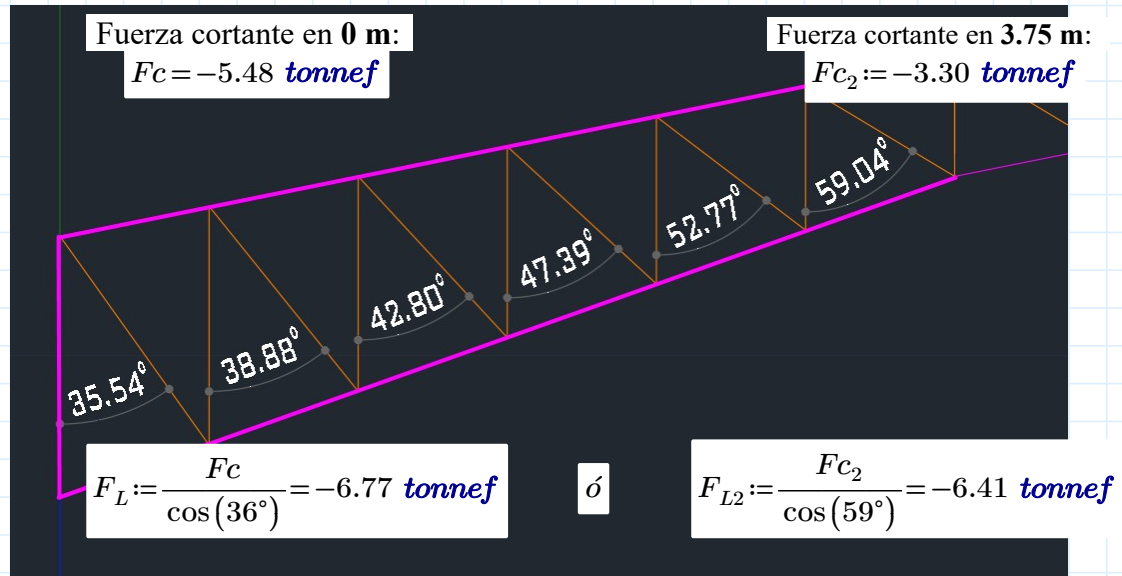
$\therefore$ Se escogerá el mismo perfil del cordón superior:
C200 x 50 x 4 con área igual a 11.50 cm²

5.3. Ángulos Dobles:

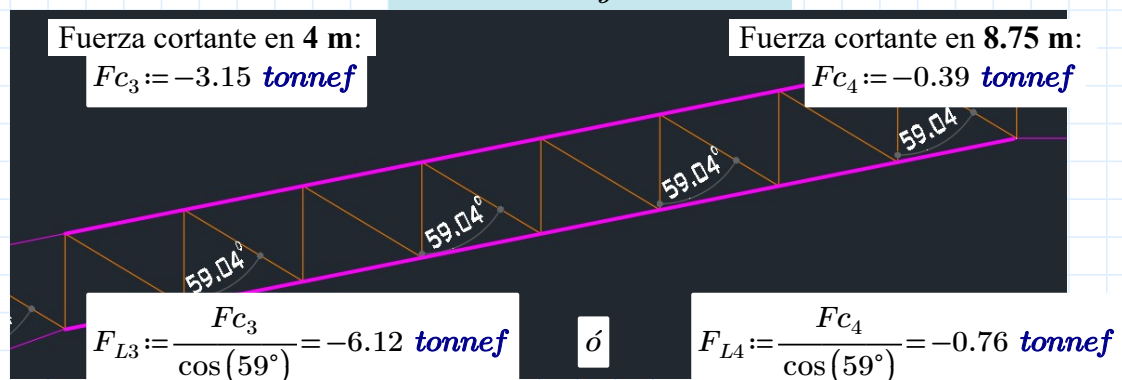
Para prediseñar los ángulos de la viga cercha, hacemos uso de la fuerza cortante del pórtico y calculamos las fuerzas interna en la diagonal.



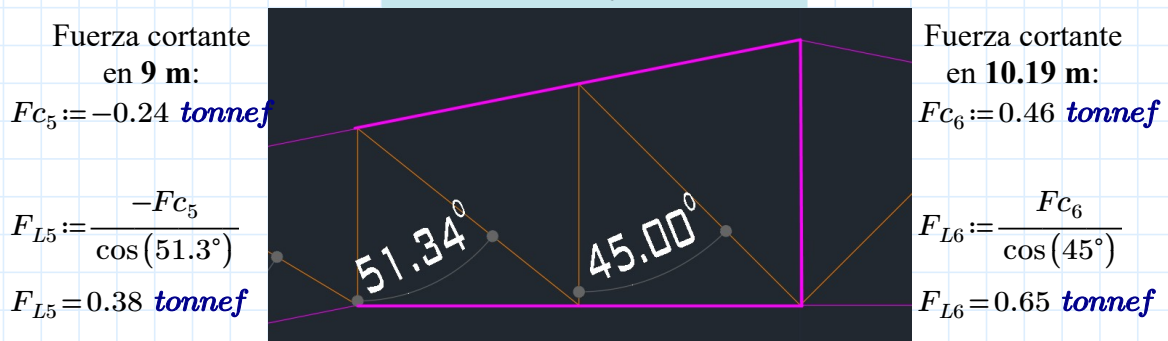
Debido a los diagramas de momento, tendremos 3 cambios de sección en la viga cercha; entonces, también tendremos diferentes cambios en la forma de tejer la cercha con los perfiles doble L. Se calcula la fuerza interna en esos perfiles 2L debido al ángulo θ que tengan.



$$A_{2_ángulo_L} := \frac{-F_L}{F_y} = 4.46 \text{ cm}^2$$



$$A_{2_ángulo_L2} := \frac{-F_{L3}}{F_y} = 4.03 \text{ cm}^2$$



$$A_{2_ángulo_L3} := \frac{F_{L6}}{F_y} = 0.43 \text{ cm}^2$$

Entre los cambio de sección de la cercha, se obtienen 3 áreas de los perfiles 2L.
Escogemos la mayor y buscamos en el catálogo un perfil L que cumpla con esa área:

$$A_{2L} := \max(A_{2_ángulo_L}, A_{2_ángulo_L2}, A_{2_ángulo_L}) = 4.46 \text{ cm}^2$$

$$A_{1_ángulo_L} := \frac{A_{2L}}{2} = 2.23 \text{ cm}^2$$

Perfil escogido en el catalogo

DIPAC- Angulo L doblado

L 40x40x3

Área:=2.25 cm2

DIMENSIONES			PESOS		SECCION	EJE X-X		=	EJE Y-Y	EJE U-U	EJE V-V
A	B	e	6 metros	1 metro		I	W		i	X=Y	i
mm	mm	mm	Kg	Kg	cm2	cm4	cm3		cm	cm	cm
30	30	3	7.80	1.30	1.65	1.41	0.67		0.92	0.89	1.18
30	30	4	10.08	1.68	2.14	1.80	0.88		0.92	0.94	1.17
40	40	2	7.20	1.20	1.53	2.44	0.84		1.26	1.09	1.61
40	40	3	10.62	1.77	2.25	3.50	1.22		1.25	1.14	1.59
40	40	4	13.86	2.31	2.94	4.46	1.58		1.23	1.19	1.58
40	40	5	19.62	2.82	3.59	5.31	1.91		1.22	1.23	0.73
50	50	2	9.12	1.52	1.93	4.86	1.33		1.58	1.34	2.01
50	50	3	13.44	2.24	2.85	7.03	1.95		1.57	1.39	2.00
50	50	4	17.64	2.94	3.74	9.04	2.53		1.56	1.43	1.98
50	50	5	21.60	3.60	4.59	10.88	3.09		1.54	1.48	1.97
50	50	6	25.92	4.32	5.40	12.57	3.62		1.53	1.53	1.96
60	60	3	16.26	2.71	3.45	12.37	2.84		1.89	1.64	2.41

6. Pre-Diseño de Correas:

- Ancho tributario: $a_{correa} := 1.25 \text{ m}$
- Longitud: $L_{correa} := 5 \text{ m}$

$$P_{correa} := 0 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$

$$Q_{mante} = 71.38 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

$$Q_{paneles} = 12.4 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

$$Q_{cubierta} = 7 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

$$Q_{inst_elect} = 10 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

$$Q_{inst_meca} = 18 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

En principio, no colocamos el peso propio de la correa porque no sabemos que perfil usar:

$$CM_{Correa} \bullet W_{cubierta} := Q_{cubierta} \cdot a_{correa} = 8.75 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$

$$CM_{Correa} \bullet W_{inst_elect} := Q_{inst_elect} \cdot a_{correa} = 12.5 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$

$$CM_{Correa} \bullet W_{inst_meca} := Q_{inst_meca} \cdot a_{correa} = 22.5 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$

$$CM_{Correa} \bullet W_{paneles} := Q_{paneles} \cdot a_{correa} = 15.504 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$$

$$CV_{Correa} \cdot W_{mante} := Q_{mante} \cdot a_{correa} = 89.225 \frac{kgf}{m}$$

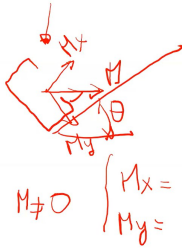
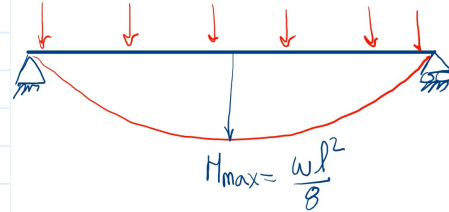
Entonces, la carga lineal distribuida sobre la correa es:

$$W_{Correa} := P_{correa} + W_{cubierta} + W_{inst_elect} + W_{inst_meca} + W_{paneles} + W_{mante}$$

$$W_{Correa} = 148.48 \frac{kgf}{m}$$

Calculamos, el momento sobre la correa:

$$M_{max} := \frac{W_{Correa} \cdot L_{correa}^2}{8} = 464 \frac{kgf \cdot m}{}$$



$$\theta := \text{atan} \left(\frac{h_{cub}}{\frac{Luz}{2}} \right) = 11.31^\circ \quad \theta = 11.31 \text{ deg}$$

$$M_x := M_{max} \cdot \cos(\theta) = 454.987 \frac{kgf \cdot m}{}$$

$$\sigma_t := 1518.6 \frac{kgf}{cm^2}$$

$$S_x := \frac{M_x}{\sigma_t} = 29.96 \text{ cm}^3$$

DIMENSIONES				PESOS			PROPIEDADES					
A	B	C	e	6metros	1metro	SECCION	EJE X-X					
mm	mm	mm	mm	Kg	Kg	cm2	I	W	I	I	W	I
							cm4	cm3	cm	cm4	cm3	cm
125	50	15	2	22.80	3.80	4.84	116.00	18.60	4.91	16.20	4.69	1.83
125	50	15	3	33.24	5.54	7.06	165.00	26.50	4.84	22.20	6.43	1.77
125	50	20	4	44.99	7.49	9.55	217.00	34.70	4.77	30.90	9.32	1.80
125	50	25	5	57.00	9.50	12.11	264.32	42.29	4.67	39.88	12.46	1.82
125	50	30	6	70.78	11.78	14.73	307.13	49.14	4.56	48.69	15.81	1.81
150	50	15	2	25.14	4.14	5.34	179.00	23.80	5.79	17.10	4.78	1.79
150	50	15	3	36.78	6.13	7.81	255.00	34.00	5.72	23.50	6.56	1.73
150	50	20	4	49.68	8.28	10.50	337.00	44.90	5.65	32.90	9.52	1.77

perfil: **G150x50x15x3 con $S_x = 34 \text{ cm}^3$**

El peso real de la correa seleccionada en el catálogo es de: $PP_{correa} := 6.13 \frac{kgf}{m}$

Calculamos las cargas que van a estar aplicada sobre la correa:

$$CM_{correa} := (PP_{correa}) + (Q_{cubierta} \cdot a_{correa}) + (Q_{inst_elect} \cdot a_{correa}) + (Q_{inst_meca} \cdot a_{correa}) + (Q_{paneles} \cdot a_{correa})$$

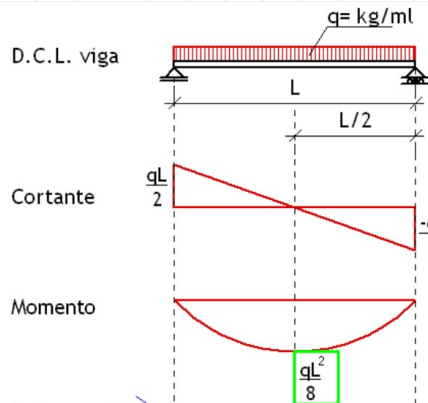
$$CM_{correa} = 65.384 \frac{kgf}{m}$$

$$CV_{correa} := CV \cdot a_{correa} = 89.225 \frac{kgf}{m}$$

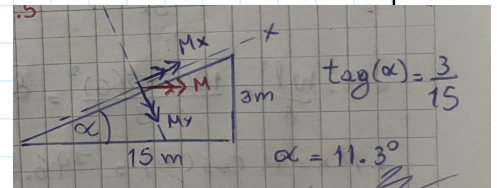
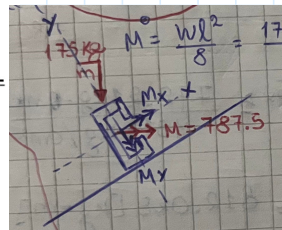
$$W_{correa} := CM_{correa} + CV_{correa}$$

$$W_{correa} = 154.61 \frac{kgf}{m}$$

Volvemos a hacer los cálculos con el nuevo peso de la correa:



$$M := \frac{W_{correa} \cdot L_{correa}^2}{8} = 483.15 \text{ kgf} \cdot m$$



$$\alpha := 11.3^\circ$$

$$M_X := M \cdot \cos(\alpha) = 0.474 \text{ tonnef} \cdot m$$

$$M_Y := M \cdot \sin(\alpha) = 0.095 \text{ tonnef} \cdot m$$

- Por el método ASD:

$$\Omega := 1.67$$

$$\sigma_{adm} := \frac{F_y}{\Omega}$$

$$\sigma_{adm} = 1515.599 \frac{kgf}{cm^2}$$

$$\sigma_{adm} \geq \frac{M_X}{S_X} + \frac{M_Y}{S_Y}$$

$$\sigma_{adm} \geq \frac{M_X}{S_X}$$

$$\sigma_{adm} \geq \frac{M_Y}{S_Y}$$

$$S_X := \frac{M_X}{\sigma_{adm}} = 31.26 \text{ cm}^3$$

$$S_Y := \frac{M_Y}{\sigma_{adm}} = 6.25 \text{ cm}^3$$

Escogemos un perfil que cumpla con las demandas de S_x y S_y :

Perfil: $G_{150 \times 50 \times 15 \times 3}$, entonces según la tabla de IPAC:

DIMENSIONES				PESOS		SECCION	EJE X-X			PROPIEDADES		
A	B	C	e	6metros	1metro		I	W	I	I	W	I
mm	mm	mm	mm	Kg	Kg	cm2	cm4	cm3	cm	cm4	cm3	cm
125	50	15	3	33.24	5.54	7.06	165.00	26.50	4.84	22.20	6.43	1.77
125	50	20	4	44.99	7.49	9.55	217.00	34.70	4.77	30.90	9.32	1.80
125	50	25	5	57.00	9.50	12.11	264.32	42.29	4.67	39.88	12.46	1.82
125	50	30	6	70.78	11.78	14.73	307.13	49.14	4.56	48.69	15.81	1.81
150	50	15	2	25.14	4.14	5.34	179.00	23.80	5.79	17.10	4.78	1.79
150	50	15	3	36.78	6.13	7.81	255.00	34.00	5.72	23.50	6.56	1.73
150	50	20	4	49.68	8.28	10.50	337.00	44.90	5.65	32.90	9.52	1.77

$$S_x := 34 \text{ cm}^3$$

$$S_y := 6.56 \text{ cm}^3$$

$$\text{Comprobacion} := \text{if} \left(\sigma_{adm} \geq \frac{M_X}{S_X} + \frac{M_Y}{S_Y}, \text{"Cumple"}, \text{"No cumple"} \right)$$

$$\sigma_{adm} = 1515.6 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \geq \frac{M_X}{S_x} + \frac{M_Y}{S_y} = 2836.66 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

∴ Debemos seleccionar un perfil con mayor S_x y S_y

Comprobacion = "No cumple"

Perfil: $G_{175 \times 50 \times 15 \times 3}$, entonces según la tabla de DIPAC:

175	50	15	2	27.48	4.58	5.84	258.00	29.40	6.64	17.90	4.85	1.75
175	50	15	3	40.32	6.72	8.56	369.00	42.20	6.57	24.60	6.66	1.70
175	75	25	4	65.40	10.9	13.90	653.00	74.60	6.84	105.00	20.90	2.75

$$S_x := 42.20 \text{ cm}^3$$

$$S_y := 6.66 \text{ cm}^3$$

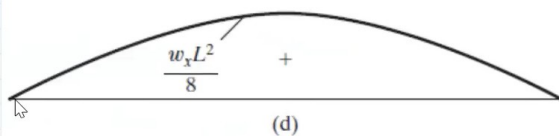
$$\text{Comprobación} := \text{if} \left(\sigma_{adm} \geq \frac{M_X}{S_X} + \frac{M_Y}{S_Y}, \text{"Cumple"}, \text{"No cumple"} \right)$$

$$\sigma_{adm} = 1515.599 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \geq \frac{M_X}{S_x} + \frac{M_Y}{S_y} = 2544.22 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Comprobación = "No cumple"

Ni porque coloquemos un perfil más pesado para que cumpla con las mayores exigencias de S_x y S_y se cumplirá... esto debido a que tenemos momentos muy grandes en los apoyos de las correas. Debemos recurrir al uso de cables (tensores) para minorar esos momentos.

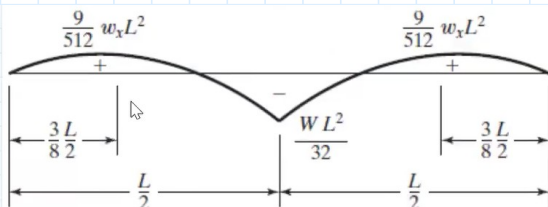
6.1. Tensores:



El momento No se reduce

Sin tensores

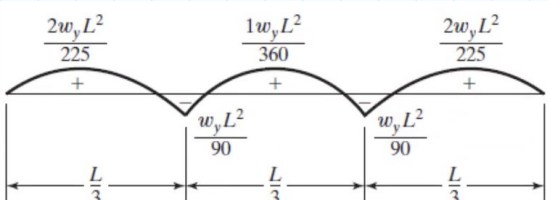
$$\left(W \cdot \frac{L^2}{8} \right)$$



El momento se reduce en un 75%

1 tensor

$$\frac{1}{4} \cdot \left(W \cdot \frac{L^2}{8} \right)$$

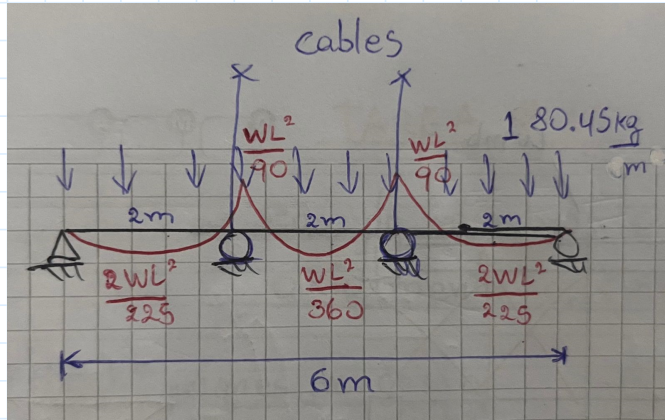
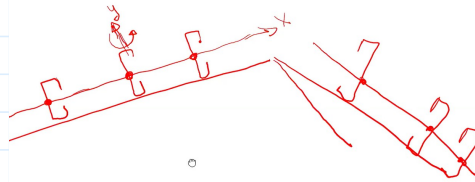


El momento se reduce en un 91%

2 tensores

$$\frac{8}{90} \cdot \left(W \cdot \frac{L^2}{8} \right)$$

Los tensores SOLO reducen los momentos en Y



$$M_{Max} := \frac{W_{correa} \cdot L_{correa}^2}{8}$$

$$M_{Max} = 483.15 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

$$M_x := M_{Max} \cdot \cos(\alpha) = 473.79 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

$$M_y := \frac{8}{90} M_{Max} \cdot \sin(\alpha) = 8.42 \text{ kgf} \cdot \text{m}$$

$$S_x := \frac{M_x}{\sigma_{adm}} = 31.26 \text{ cm}^3$$

$$S_y := \frac{M_y}{\sigma_{adm}} = 0.56 \text{ cm}^3$$

Escogemos un perfil que cumpla con las demandas de S_x y S_y :

DIMENSIONES				PESOS		SECCION	EJE X-X			PROPIEDADES		
A	B	C	e	6metros	1metro		I	W	I	I	W	I
mm	mm	mm	mm	Kg	Kg	cm2	cm4	cm3	cm	cm4	cm3	cm
150	50	15	2	25.14	4.14	5.34	179.00	23.80	5.79	17.10	4.78	1.79
150	50	15	3	36.78	6.13	7.81	255.00	34.00	5.72	23.50	6.56	1.73
150	50	20	4	49.68	8.28	10.50	337.00	44.90	5.65	32.90	9.52	1.77
150	75	25	5	74.70	12.45	15.86	545.36	72.71	5.86	117.22	24.17	2.72
150	75	30	6	93.42	15.57	19.23	641.40	85.52	5.77	114.47	30.57	2.74
175	50	15	2	27.48	4.58	5.84	258.00	29.40	6.64	17.90	4.85	1.75
175	50	15	3	40.32	6.72	8.56	369.00	42.20	6.57	24.60	6.66	1.70
175	75	25	4	65.40	10.9	13.90	653.00	74.60	6.84	105.00	20.90	2.75

Perfil: $G_{175x50x15x3}$, entonces según la tabla de IPAC:

$$S_x := 42.20 \text{ cm}^3$$

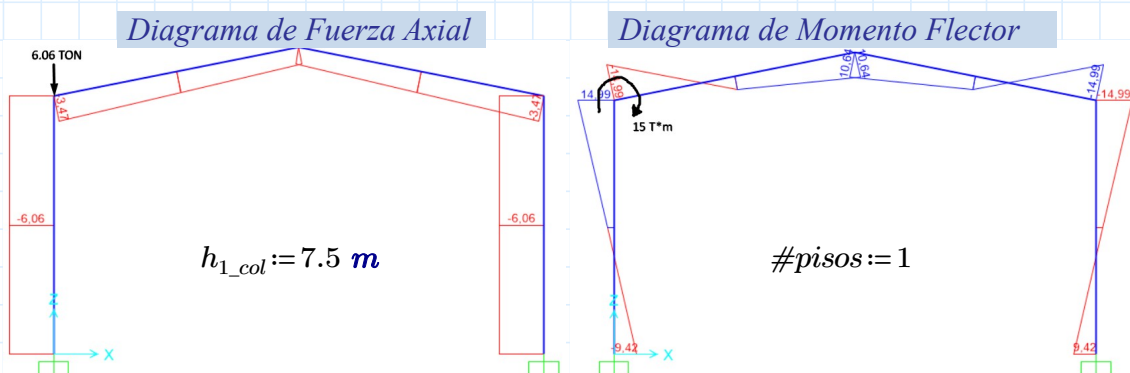
$$S_y := 6.66 \text{ cm}^3$$

$$\text{Comprobacion} := \text{if} \left(\sigma_{adm} \geq \frac{M_x}{S_x} + \frac{M_y}{S_y}, \text{"Cumple"}, \text{"No cumple"} \right)$$

$$\sigma_{adm} = 1515.6 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \geq \frac{M_x}{S_x} + \frac{M_y}{S_y} = 1249.07 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Comprobacion = "Cumple"

7. Pre-dimensionamiento de las columnas usando 2 canales "C"



Datos Iniciales:

$$Pu_0 := 6.06 \text{ tonnef}$$

$$M_U := 15 \text{ tonnef} \cdot \text{m}$$

$$F_y = 36 \text{ ksi}$$

Del catálogo del puente grúa mono-viga:

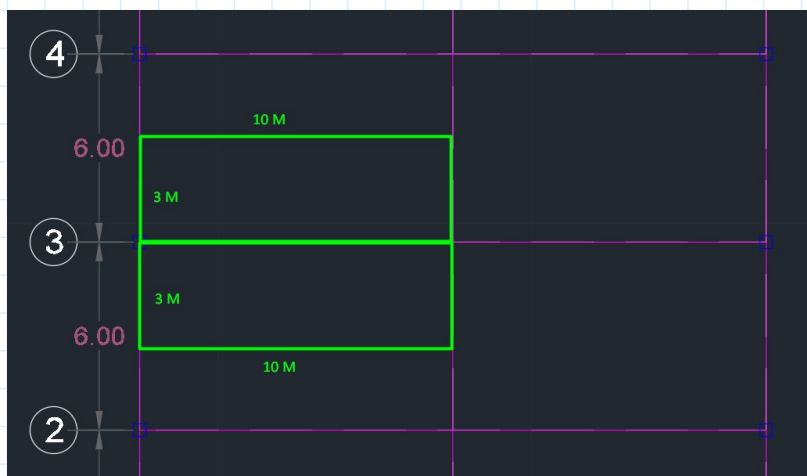
$$C_{\text{arga_izada}} := 10 \text{ tonnef}$$

$$P_{\text{eso_puente_grua}} := 5890 \text{ kgf}$$

Entonces,

$$Pu_1 := Pu_0 + C_{\text{arga_izada}} + P_{\text{eso_puente_grua}}$$

$$Pu_1 = 21.95 \text{ tonnef}$$



1) Área Tributaria:

$$Ac := 50 \text{ m}^2$$

2) Carga de Diseño:

$$CV = 71.38 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

$$CM = 47.4 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

Método ASD.

$$W_T := CV + CM = 118.78 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

3) Cálculo de la Carga Última:

$$Pu_2 := W_T \cdot \#pisos \cdot Ac = 5939.16 \text{ kgf}$$

$$Pu_2 = 5.94 \text{ tonnef} \quad \& \quad Pu_1 = 21.95 \text{ tonnef}$$

$$P_U := \max(Pu_1, Pu_2)$$

$$P_U = 21.95 \text{ tonnef}$$

4) Cálculo de Relación de Esbeltez:

Proponemos una relación de esbeltez: $KL/r = 150$

Se puede optar en un rango: 120 - 200

Cuadro 1. Factores de carga para miembros a compresión con KL/r . Acero A36

Esfuerzos admisibles en kg/cm ² para miembros en compresión									
Miembros principales y secundarios: $\frac{KL}{r} \leq 120$						Miembros principales $120 \leq \frac{KL}{r} \leq 200$			
$\frac{KL}{r}$	F_a (kg/cm ²)	$\frac{KL}{r}$	F_a (kg/cm ²)	$\frac{KL}{r}$	F_a (kg/cm ²)	$\frac{KL}{r}$	F_a (kg/cm ²)	$\frac{KL}{r}$	F_a (kg/cm ²)
25	1426	65	1191	105	867	145	499	185	307
26	1422	66	1184	106	858	146	493	186	304
27	1417	67	1177	107	849	147	486	187	300
28	1412	68	1170	108	840	148	480	188	297
29	1407	69	1162	109	830	149	473	189	294
30	1402	70	1155	110	821	150	467	190	291
31	1397	71	1148	111	811	151	461	191	288
32	1392	72	1140	112	802	152	454	192	285
33	1387	73	1133	113	792	153	449	193	282
34	1382	74	1126	114	783	154	443	194	279
35	1377	75	1118	115	773	155	437	195	276

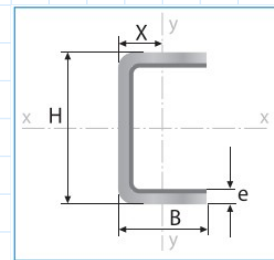
En el cuadro #1 buscamos $KL/r = 150$ para obtener F_a :

$$F_a := 467 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

5) Cálculo del Área requerida:

$$A_{req_col} := \frac{P_U}{F_a}$$

$$A_{req_col} = 47.002 \text{ cm}^2$$



DIMENSIONES			PESOS			TIPOS						
A	B	e	6 metros	1 metro	SECCION	EJE X-X			EJE Y-Y			
mm	mm	mm	kg	kg	cm ²	I	W	I	I	W	I	x
						cm ⁴	cm ³	cm	cm ⁴	cm ³	cm	cm
250	80	6	112.44	18.74	23.42	203.09	162.48	9.31	128.98	21.28	2.34	1.82
250	80	8	147.30	24.55	30.69	2600.80	208.06	9.20	164.65	27.03	2.31	1.91
250	80	10	180.96	30.16	37.71	3119.15	249.53	9.67	197.30	32.88	2.28	2.00
250	80	12	216.12	36.02	44.47	3588.54	287.07	9.57	225.78	38.20	2.25	2.09
250	100	6	123.96	20.66	25.82	2388.38	191.07	9.46	241.61	32.17	3.05	2.49
250	100	8	162.66	27.11	33.89	3069.49	245.55	11.06	311.36	41.96	3.03	2.58
250	100	10	200.16	33.36	41.71	3695.48	295.64	11.00	375.84	51.27	3.00	2.67
250	100	12	239.46	39.91	49.27	4268.34	341.47	10.94	450.31	62.28	3.02	2.77
250	120	10	222.12	37.02	45.71	4271.77	341.74	10.71	629.61	73.21	3.71	3.40
250	120	12	262.74	43.79	54.07	4947.99	395.84	10.60	732.59	86.09	3.68	3.49
300	80	4	84.12	14.02	17.87	2186.18	145.75	11.20	93.35	14.50	2.29	1.56
300	80	5	104.46	17.41	22.18	2685.33	179.02	11.09	114.40	17.90	2.27	1.61
300	80	6	126.84	21.14	26.42	3165.24	211.01	11.00	134.55	21.19	2.26	1.65
300	80	8	166.50	27.75	34.69	4071.64	271.44	10.94	172.94	27.62	2.23	1.74
300	80	10	205.02	34.17	42.71	4906.43	327.09	10.83	207.65	33.60	2.20	1.82
300	80	12	245.28	40.88	50.47	5672.90	378.19	10.71	237.51	39.00	2.17	1.91
300	100	6	138.36	23.06	28.82	3683.91	245.59	10.60	254.58	32.89	2.97	2.26
300	100	8	181.86	30.31	37.89	4753.93	316.92	11.30	328.58	42.95	2.94	2.35

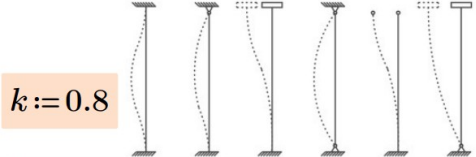
Seleccionamos el perfil: **C 300x100x6 mm** Tomamos las siguientes propiedades:

Duplicamos los valores por tratarse de 2
C para formar una columna rectangular:

$$A_{1C} := 28.82 \text{ cm}^2 \quad r_{y_{y1}} := 2.97 \text{ cm}$$

$$A_{2_C} := 2 \cdot A_{1_C} \quad r_{y_y2} := 2 \cdot r_{y_y1} \quad \rightarrow \quad A_{2_C} = 57.64 \text{ cm}^2 \quad r_{y_y2} = 5.94 \text{ cm}$$

6) Cálculo de la nueva Relación de Esbeltez:



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

$$k := 1$$

$$L := h_{col} = 10.5 \text{ m}$$

$$\frac{k \cdot L}{r_{y_y2}} = 176.77$$

En el cuadro #1 buscamos $KL/r = 177$ y obtenemos un nuevo F_a :

Esfuerzos admisibles en kg/cm2 para miembros en compresión									
Miembros principales y secundarios: $\frac{KL}{r} \leq 120$						Miembros principales $120 \leq \frac{KL}{r} \leq 200$			
$\frac{KL}{r}$	F_a (kg/cm2)	$\frac{KL}{r}$	F_a (kg/cm2)	$\frac{KL}{r}$	F_a (kg/cm2)	$\frac{KL}{r}$	F_a (kg/cm2)	$\frac{KL}{r}$	F_a (kg/cm2)
1	1516	41	1344	81	1072	121	713	161	405
2	1513	42	1338	82	1064	122	702	162	400
3	1510	43	1332	83	1056	123	693	163	395
4	1507	44	1326	84	1048	124	682	164	390
5	1504	45	1320	85	1040	125	671	165	386
6	1501	46	1315	86	1031	126	662	166	381
7	1498	47	1308	87	1024	127	651	167	376

$$F_{a2} := 662 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

7) Cálculo de la nueva Carga Última P_u :

$$P_{u3} := F_{a2} \cdot A_{2_C} = 38.16 \text{ tonnef}$$

Comprobación:

$$Si := \text{if}(P_{u3} > P_U, \text{"Cumple"}, \text{"NO CUMPLE"}) = \text{"Cumple"}$$

$$P_{u3} = 38.158 \text{ tonnef} \geq P_U = 21.95 \text{ tonnef}$$

El predimensionamiento de columnas es un proceso iterativo, un procedimiento de prueba y error que puede resultar incluso tedioso. Los autores han considerado pertinente presentar el procedimiento descrito en el código LRFD, para la rápida selección de secciones de prueba. Para ello se utilizará el "Método de Carga Concéntrica Equivalente" o de la "Carga Efectiva", en el cual la carga axial y los momentos flectores son remplazados por una carga axial ficticia, " P_{Ueq} " equivalente a la carga axial real de diseño más el momento de diseño. La carga equivalente deberá tener una magnitud que produzca un esfuerzo igual al máximo esfuerzo producido por la carga axial y los momentos flectores. En el caso de columnas que soportan cargas concéntricas y trabajan netamente a compresión el proceso para el predimensionamiento es sencillo.

$$\#Pisos := 1$$

$$\text{Peso de Vigas + Columnas} = 45 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \cdot \#Pisos$$

Se asume un peso de 35 kg/m2 para sistema formados pórticos.

$$Peso_{viga_colum} := 45 \frac{kgf}{m^2} \cdot \#Pisos = 45 \frac{kgf}{m^2}$$

$$CM = 47.403 \frac{kgf}{m^2}$$

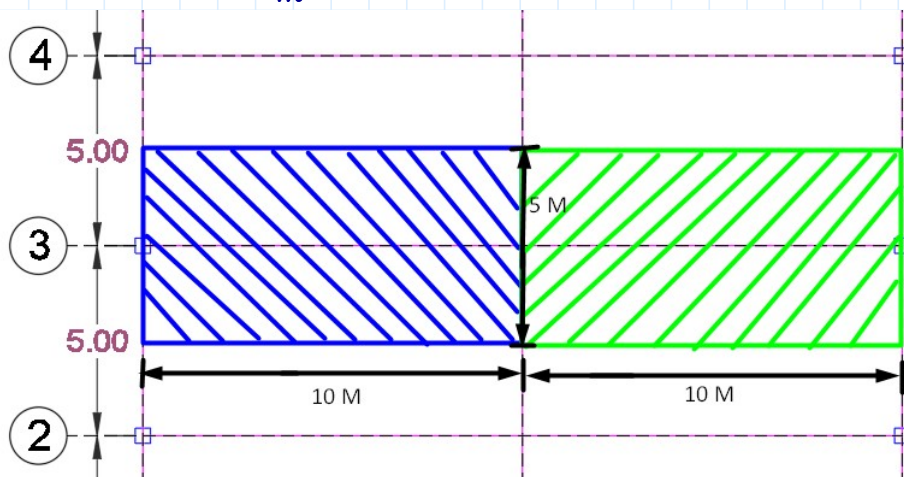
$$CV = 71.38 \frac{kgf}{m^2}$$

Con fines de prediseño, despreciaremos el peso propio de la viga de amarre, y trabajaremos con la siguiente combinación de carga LRFD:

$$CUP := 1.2 (CM + Peso_{viga_colum}) + 1.6 CV$$

$$CUP = 225.09 \frac{kgf}{m^2}$$

$$A_{colaborante} := 5 m \cdot 10 m = 50 m^2$$



Debido a que la geometría en planta de la estructura es simétrica, se puede pre-dimensionar cualquier columna del pórtico ya que tienen las mismas áreas cooperantes. Por lo tanto la carga axial que soporta la columna del primer piso será:

Del catálogo del puente grúa mono-viga:

$$P_{eso_puente_grua} = 5890 kgf$$

$$C_{arga_izada} = 10 tonnef$$

$$PUeq := CUP \cdot A_{colaborante} \cdot \#Pisos + C_{arga_izada} + P_{eso_puente_grua}$$

$$PUeq = 27.14 tonnef$$

Según Salmon, C. G., Johnson, J. E. & Malhas, F. A. (2009). Estructuras de Acero. Diseño LRFD y ASD, se considera que una columna es esbelta si la relación de esbeltez excede los 100, lo cual implica que el modo de falla es casi exclusivamente por pandeo elástico

Debido a la altura de las columnas de 10.5 m, asumimos que se encuentra en el rango de esbelta. Para columnas sometidas principalmente a carga axial con posible flexión, una buena práctica es asumir una relación de esbeltez entre 120 y 200 como valor inicial, según el tipo de restricción de extremos y carga. Para predimensionamiento se puede tomar:

$$\frac{KL}{r} \quad \text{Esbeltez (e)}$$

$$e := 150$$

Con esta información chequeamos las tablas del Código LRFD, correspondientes a Esfuerzos Críticos Admisibles para elementos que trabajan solo a compresión.

Table 4-22 (continued)
Available Critical Stress for
Compression Members

$F_y = 35 \text{ ksi}$			$F_y = 36 \text{ ksi}$			$F_y = 42 \text{ ksi}$			$F_y = 46 \text{ ksi}$			$F_y = 50 \text{ ksi}$		
$\frac{KL}{r}$	F_{cr}/Ω_c	$\phi_c F_{cr}$	$\frac{KL}{r}$	F_{cr}/Ω_c	$\phi_c F_{cr}$	$\frac{KL}{r}$	F_{cr}/Ω_c	$\phi_c F_{cr}$	$\frac{KL}{r}$	F_{cr}/Ω_c	$\phi_c F_{cr}$	$\frac{KL}{r}$	F_{cr}/Ω_c	$\phi_c F_{cr}$
	ksi	ksi		ksi	ksi		ksi	ksi		ksi	ksi		ksi	ksi
	ASD	LRFD		ASD	LRFD		ASD	LRFD		ASD	LRFD		ASD	LRFD
145	7.15	10.7	145	7.15	10.7	145	7.15	10.7	145	7.15	10.7	145	7.15	10.7
146	7.05	10.6	146	7.05	10.6	146	7.05	10.6	146	7.05	10.6	146	7.05	10.6
147	6.96	10.5	147	6.96	10.5	147	6.96	10.5	147	6.96	10.5	147	6.96	10.5
148	6.86	10.3	148	6.86	10.3	148	6.86	10.3	148	6.86	10.3	148	6.86	10.3
149	6.77	10.2	149	6.77	10.2	149	6.77	10.2	149	6.77	10.2	149	6.77	10.2
150	6.68	10.0	150	6.68	10.0	150	6.68	10.0	150	6.68	10.0	150	6.68	10.0
151	6.59	9.91	151	6.59	9.91	151	6.59	9.91	151	6.59	9.91	151	6.59	9.91
152	6.51	9.78	152	6.51	9.78	152	6.51	9.78	152	6.51	9.78	152	6.51	9.78
153	6.42	9.65	153	6.42	9.65	153	6.42	9.65	153	6.42	9.65	153	6.42	9.65
154	6.34	9.53	154	6.34	9.53	154	6.34	9.53	154	6.34	9.53	154	6.34	9.53
155	6.26	9.40	155	6.26	9.40	155	6.26	9.40	155	6.26	9.40	155	6.26	9.40

Tabla de esfuerzos críticos admisibles para elementos a compresión

Para un elemento de acero A-36, con una relación de esbeltez $KL/r=150$, el esfuerzo crítico que corresponde es 10ksi (aprox 703 kg/cm²), como puede observarse en la Table 4-22. De los conceptos básicos de la resistencia de materiales tenemos la siguiente expresión:

$$A_{req} = \frac{P}{\sigma}$$

En donde:

A : Área requerida

P: Carga axial última

σ : Esfuerzo admisible de compresión.

$$\sigma := 10 \text{ ksi} = 703.07 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

Entonces,

$$P_{Ueq} = 27.14 \text{ tonnef}$$

$$A_{req} := \frac{P_{Ueq}}{\sigma}$$

$$A_{req} = 5.98 \text{ in}^2$$

En las tablas de propiedades de las secciones podemos buscar una sección cuya área sea similar a la calculada, o en su defecto el usuario deberá definir una sección que satisfaga dicho requerimiento.

Buscamos un perfil que cumpla con el Areq:

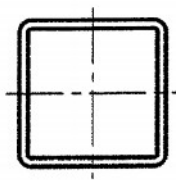


HSS16-HSS8

Table 1-12

Square HSS

Dimensions and Properties



Shape	Design Wall Thickness, <i>t</i>	Nominal Wt.	Area, <i>A</i>	<i>b/t</i>	<i>h/t</i>	<i>I</i>	<i>S</i>	<i>r</i>	<i>Z</i>	Workable Flat	Torsion		Surface Area
	in.	lb/ft	in. ²								<i>J</i>	<i>C</i>	
											in. ⁴	in. ³	
HSS10×10× ⁵ / ₈	0.581	76.33	21.0	14.2	14.2	304	60.8	3.80	73.2	7 ³ / ₁₆	498	102	3.17
× ¹ / ₂	0.465	62.46	17.2	18.5	18.5	256	51.2	3.86	60.7	7 ³ / ₄	412	84.2	3.20
× ³ / ₈	0.349	47.90	13.2	25.7	25.7	202	40.4	3.92	47.2	8 ⁵ / ₁₆	320	64.8	3.23
× ⁵ / ₁₆	0.291	40.35	11.1	31.4	31.4	172	34.5	3.94	40.1	8 ⁵ / ₈	271	54.8	3.25
× ¹ / ₄	0.233	32.63	8.96	39.9	39.9	141	28.3	3.97	32.7	8 ⁷ / ₈	220	44.4	3.27
× ³ / ₁₆	0.174	24.73	6.76	54.5	54.5	108	21.6	4.00	24.8	9 ³ / ₁₆	167	33.6	3.28
HSS9×9× ⁵ / ₈	0.581	67.82	18.7	12.5	12.5	216	47.9	3.40	58.1	6 ³ / ₁₆	356	81.6	2.83
× ¹ / ₂	0.465	55.66	15.3	16.4	16.4	183	40.6	3.45	48.4	6 ³ / ₄	296	67.4	2.87
× ³ / ₈	0.349	42.79	11.8	22.8	22.8	145	32.2	3.51	37.8	7 ⁵ / ₁₆	231	52.1	2.90
× ⁵ / ₁₆	0.291	36.10	9.92	27.9	27.9	124	27.6	3.54	32.1	7 ⁵ / ₈	196	44.0	2.92
× ¹ / ₄	0.233	29.23	8.03	35.6	35.6	102	22.7	3.56	26.2	7 ⁷ / ₈	159	35.8	2.93
× ³ / ₁₆	0.174	22.18	6.06	48.7	48.7	78.2	17.4	3.59	20.0	8 ³ / ₁₆	121	27.1	2.95
× ¹ / ₈	0.116	14.96	4.09	74.6	74.6	53.5	11.9	3.62	13.6	8 ⁷ / ₁₆	82.0	18.3	2.97

9 in = 228.6 mm

$\frac{1}{16}$ in = 1.588 mm

Con HSS 9x9x3/16



$A_{req} := 6.06 \text{ in}^2$ $L = 10.5 \text{ m}$ $r := 3.59 \text{ in}$ $t_{fc} := 0.291 \text{ in}$

$k := 1$

$KL := k \cdot L = 34.45 \text{ ft}$

$re := \frac{KL}{r} = 115.149$

Table 4-22 (continued)
Available Critical Stress for
Compression Members

<i>F_y</i> = 35 ksi			<i>F_y</i> = 36 ksi			<i>F_y</i> = 42 ksi			<i>F_y</i> = 46 ksi			<i>F_y</i> = 50 ksi		
$\frac{KL}{r}$	$\frac{F_{cr}}{\Omega_c}$	$\phi_c F_{cr}$	$\frac{KL}{r}$	$\frac{F_{cr}}{\Omega_c}$	$\phi_c F_{cr}$	$\frac{KL}{r}$	$\frac{F_{cr}}{\Omega_c}$	$\phi_c F_{cr}$	$\frac{KL}{r}$	$\frac{F_{cr}}{\Omega_c}$	$\phi_c F_{cr}$	$\frac{KL}{r}$	$\frac{F_{cr}}{\Omega_c}$	$\phi_c F_{cr}$
	ksi	ksi		ksi	ksi		ksi	ksi		ksi	ksi		ksi	ksi

	ASD	LRFD		ASD	LRFD		ASD	LRFD		ASD	LRFD		ASD	LRFD
81	15.0	22.5	81	15.3	22.9	81	16.8	25.3	81	17.7	26.6	81	18.5	27.9
82	14.9	22.3	82	15.1	22.7	82	16.6	25.0	82	17.5	26.3	82	18.3	27.5
83	14.7	22.1	83	15.0	22.5	83	16.5	24.8	83	17.3	26.0	83	18.1	27.2
84	14.6	22.0	84	14.9	22.3	84	16.3	24.5	84	17.1	25.8	84	17.9	26.9
85	14.5	21.8	85	14.7	22.1	85	16.1	24.3	85	16.9	25.5	85	17.7	26.5
86	14.4	21.6	86	14.6	22.0	86	16.0	24.0	86	16.7	25.2	86	17.4	26.2
87	14.2	21.4	87	14.5	21.8	87	15.8	23.7	87	16.6	24.9	87	17.2	25.9
88	14.1	21.2	88	14.3	21.6	88	15.6	23.5	88	16.4	24.6	88	17.0	25.5
89	14.0	21.0	89	14.2	21.4	89	15.5	23.2	89	16.2	24.3	89	16.8	25.2
90	13.8	20.8	90	14.1	21.2	90	15.3	23.0	90	16.0	24.0	90	16.6	24.9

Para un $\frac{Kl}{r} = 83$ obtenemos un: $\phi F_{cr} := 22.5 \text{ ksi}$

Entonces, verificamos que cumpla por resistencia:

$$\phi P_n := \phi F_{cr} \cdot A_{req}$$

$$\phi P_n = 61.847 \text{ tonnef}$$

$$Condicion := \text{if}(\phi P_n \geq P_{Ueq}, \text{"Cumple"}, \text{"No Cumple"})$$

$$\phi P_n = 61.847 \text{ tonnef} \geq P_{Ueq} = 27.145 \text{ tonnef}$$

Por lo tanto,

$$Condicion = \text{"Cumple"}$$

• **Cargas por Viento:** (pág. 14. Carga No Sísmico NEC 2015)

a. Velocidad instantánea máxima del viento

La velocidad de diseño para viento hasta 10 m de altura será la adecuada a la velocidad máxima para la zona de ubicación de la edificación, pero no será menor a 21 m/s (75 km/h).

$$V_b = V \cdot \sigma$$

Dónde:

V_b velocidad corregida del viento en m/s;

V velocidad instantánea máxima del viento en m/s, registrada a 10 m de altura sobre el terreno;

σ Coeficiente de corrección de la [Tabla 5](#).

Podemos utilizar como mínimo: $V_{inst_m\acute{a}x} := 21 \frac{m}{s}$

b. Velocidad corregida del viento

La velocidad instantánea máxima del viento se multiplicará por un coeficiente de corrección σ que depende de la altura y de las características topográficas y/o de edificación del entorno (nivel de exposición al viento), de acuerdo con la Tabla 5.

Altura (m)	Sin obstrucción (Categoría A)	Obstrucción baja (Categoría B)	Zona edificada (Categoría C)
5	0.91	0.86	0.80
10	1.00	0.90	0.80
20	1.06	0.97	0.88
40	1.14	1.03	0.96
80	1.21	1.14	1.06
150	1.28	1.22	1.15

Tabla 5: Coeficiente de corrección σ

Como nuestra estructura es de **12.5 m** y se encuentra en un área de edificios en zonas suburbanas con edificación de baja altura, realizamos interpolación entre los coeficientes de 10 m y 20 m:

$$h1 := 10 \text{ m} \quad \sigma1 := 0.90$$

$$h2 := 20 \text{ m} \quad \sigma2 := 0.97$$

$$h3 := 12.5 \text{ m}$$

$$\sigma := \sigma2 - \frac{(h2 - h3) \cdot (\sigma2 - \sigma1)}{h2 - h1} = 0.918$$

$$V_b := V_{inst_m\acute{a}x} \cdot \sigma = 19.27 \frac{m}{s}$$

c. Cálculo de la presión del viento

Se considera que la acción del viento actúa como presión sobre los elementos de fachada. Para determinar la resistencia del elemento frente al empuje del viento, se establece una **presión de cálculo P**, cuyo valor se determinará mediante la siguiente expresión:

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_b^2 \cdot c_e \cdot c_f$$

Dónde:

P Presión de cálculo expresada en Pa (N/m²)

ρ Densidad del aire expresada en Kg/m³ (En general, se puede adoptar 1.25 Kg/m³)

c_e Coeficiente de entorno/altura

c_f Coeficiente de forma (apartado [d](#) de la presente sección [3.2.4](#))

Para la determinación de C_e usamos la: *ASCE 7-16* pág. 268

**Table 26.10-1 Velocity Pressure Exposure Coefficients,
 K_h and K_z**

Height above Ground Level, z		Exposure		
ft	m	B	C	D
0-15	0-4.6	0.57 (0.70) ^a	0.85	1.03
20	6.1	0.62 (0.70) ^a	0.90	1.08
25	7.6	0.66 (0.70) ^a	0.94	1.12
30	9.1	0.70	0.98	1.16
40	12.2	0.76	1.04	1.22
50	15.2	0.81	1.09	1.27
60	18.0	0.85	1.13	1.31
70	21.3	0.89	1.17	1.34
80	24.4	0.93	1.21	1.38
90	27.4	0.96	1.24	1.40

$$C_e := 0.76$$

$$40 \text{ ft} = 12.19 \text{ m}$$

Construcción	Barlovento	Sotavento
Superficies verticales de edificios → COLUMNAS	+0.8	
Anuncios, muros aislados, elementos con una dimensión corta en el sentido del viento	+1.5	
Tanques de agua, chimeneas y otros de sección circular o elíptica	+0.7	
Tanques de agua, chimeneas y otros de sección cuadrada o rectangular	+2.0	
Arcos y cubiertas cilíndricas con un ángulo de inclinación que no exceda los 45°	+0.8	-0.5
Superficies inclinadas a 15° o menos → VIGAS/CERCHAS	+0.3 a 0	-0.6
Superficies inclinadas entre 15° y 60°	+0.3 a +0.7	-0.6
Superficies inclinadas entre 60° y la vertical	+0.8	-0.6

$$C_{f_col} := 0.8$$

$$C_{f_vig_barl} := 0.3$$

$$C_{f_vig_sota} := -0.6$$

Tabla 6: Determinación del factor de forma C_f

Presión del Viento - Barlovento para Columnas

$$\rho_V := 1.25 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

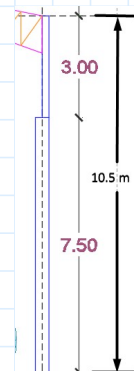
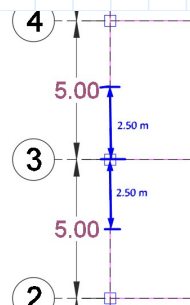
$$P_{V_col} := \frac{1}{2} \cdot \rho_V \cdot V_b^2 \cdot C_e \cdot C_{f_col} = 141.07 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$P_{V_col} = 14.39 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

Carga de Viento - Columnas Centrales

$$\text{Ancho}_{colab_cen} := 5 \text{ m}$$

$$h_{col} := 10.5 \text{ m}$$



$$A_{colab_cen} := h_{col} \cdot Ancho_{colab_cen}$$

$$A_{colab_cen} = 52.5 \text{ m}^2$$

$$C_{V_col_cen} := P_{V_col} \cdot A_{colab_cen} = 7406.17 \text{ N}$$

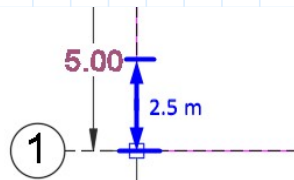
Carga Puntual de Viento: $C_{V_col_cen} = 755.22 \text{ kgf}$

Carga Distribuida de Viento: $C_{dist_{V_col_cen}} := \frac{C_{V_col_cen}}{h_{col}} = 71.93 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$

Carga de Viento - Columnas de Borde

$$Ancho_{colab_bor} := 2.5 \text{ m}$$

$$h_{col} = 10.5 \text{ m}$$



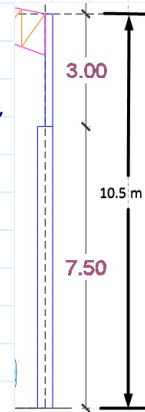
$$A_{colab_bor} := h_{col} \cdot Ancho_{colab_bor}$$

$$A_{colab_bor} = 26.25 \text{ m}^2$$

$$C_{V_col_bor} := P_{V_col} \cdot A_{colab_bor} = 3703.08 \text{ N}$$

Carga Puntual de Viento: $C_{V_col_bor} = 377.61 \text{ kgf}$

Carga Distribuida de Viento: $C_{dist_{V_col_bor}} := \frac{C_{V_col_bor}}{h_{col}} = 35.96 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$



Presión del Viento - Barlovento para Vigas

$$C_{f_vig_barl} = 0.3$$

$$\rho_V = 1.25 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

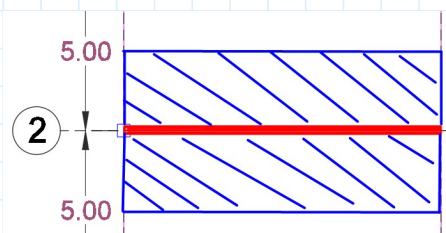
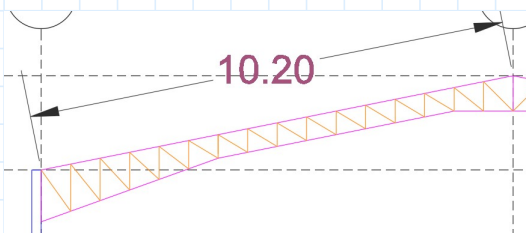
$$P_{V_vig_barl} := \frac{1}{2} \cdot \rho_V \cdot V_b^2 \cdot C_e \cdot C_{f_vig_barl} = 52.901 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$P_{V_vig_barl} = 5.39 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

Carga de Viento - Vigas Centrales

$$L_{vig} := 10.2 \text{ m}$$

$$Ancho_{colab_cen_vig} := 5 \text{ m}$$



$$A_{colab_cen_vig} := L_{vig} \cdot Ancho_{colab_cen_vig}$$

$$A_{colab_cen_vig} = 51 \text{ m}^2$$

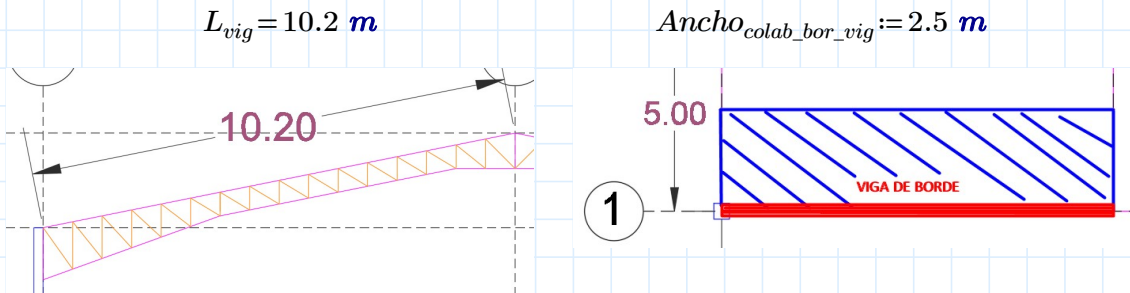
$$C_{V_vig_cen_barl} := P_{V_vig_barl} \cdot A_{colab_cen_vig}$$

$$C_{V_vig_cen_barl} = 2697.96 \text{ N}$$

Carga Puntual de Viento: $C_{V_vig_cen_barl} = 275.12 \text{ kgf}$

Carga Distribuida de Viento: $C_{dist_{V_vig_cen_barl}} := \frac{C_{V_vig_cen_barl}}{L_{vig}} = 26.97 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$

Carga de Viento - Vigas de Borde



$$L_{vig} = 10.2 \text{ m}$$

$$Ancho_{colab_bor_vig} := 2.5 \text{ m}$$

$$A_{colab_bor_vig} := L_{vig} \cdot Ancho_{colab_bor_vig}$$

$$A_{colab_bor_vig} = 25.5 \text{ m}^2$$

$$C_{V_vig_bor_barl} := P_{V_vig_barl} \cdot A_{colab_bor_vig} = 1348.98 \text{ N}$$

Carga Puntual de Viento: $C_{V_vig_bor_barl} = 137.56 \text{ kgf}$

Carga Distribuida de Viento: $C_{dist_{V_vig_bor_barl}} := \frac{C_{V_vig_bor_barl}}{L_{vig}} = 13.49 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$

Presión del Viento - Sotavento para Vigas

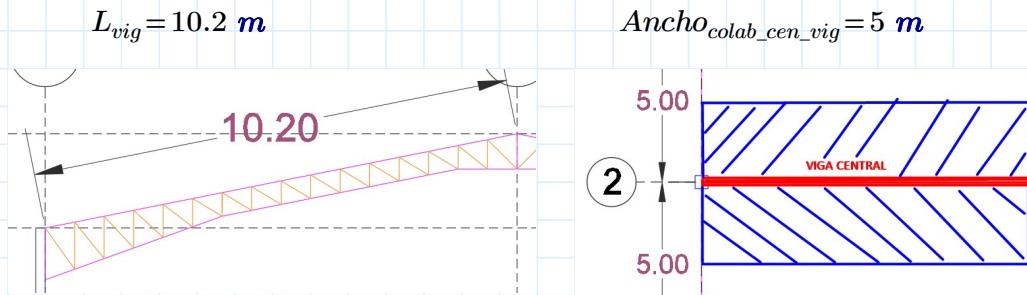
$$\rho_V = 1.25 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$C_{f_vig_sota} = -0.6$$

$$P_{V_vig_sota} := \frac{1}{2} \cdot \rho_V \cdot V_b^2 \cdot C_e \cdot C_{f_vig_sota} = -105.802 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$P_{V_vig_sota} = -10.79 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

Carga de Viento - Vigas Centrales



$$A_{colab_cen_vig} := L_{vig} \cdot Ancho_{colab_cen}$$

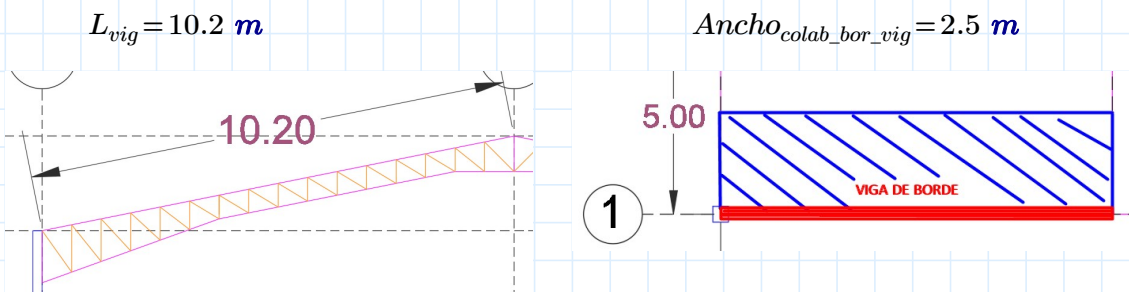
$$A_{colab_cen_vig} = 51 \text{ m}^2$$

$$C_{V_vig_cen_sota} := P_{V_vig_sota} \cdot A_{colab_cen_vig} = -5395.92 \text{ N}$$

Carga Puntual de Viento: $C_{V_vig_cen_sota} = -550.23 \text{ kgf}$

Carga Distribuida de Viento: $C_{dist_{V_vig_cen_sota}} := \frac{C_{V_vig_cen_sota}}{L_{vig}} = -53.94 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$

Carga de Viento - Vigas de Borde



$$A_{colab_bor_vig} := L_{vig} \cdot Ancho_{colab_bor}$$

$$A_{colab_bor_vig} = 25.5 \text{ m}^2$$

$$C_{V_vig_bor_sota} := P_{V_vig_sota} \cdot A_{colab_bor_vig} = -2697.96 \text{ N}$$

Carga Puntual de Viento: $C_{V_vig_bor_sota} = -275.12 \text{ kgf}$

Carga Distribuida de Viento: $C_{dist_{V_vig_bor_sota}} := \frac{C_{V_vig_bor_sota}}{L_{vig}} = -26.97 \frac{\text{kgf}}{\text{m}}$

Resumen de Cargas de Viento

En Columnas:

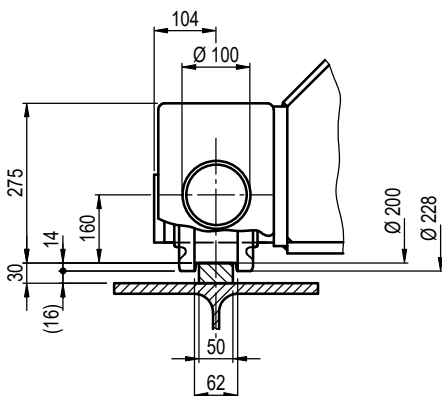
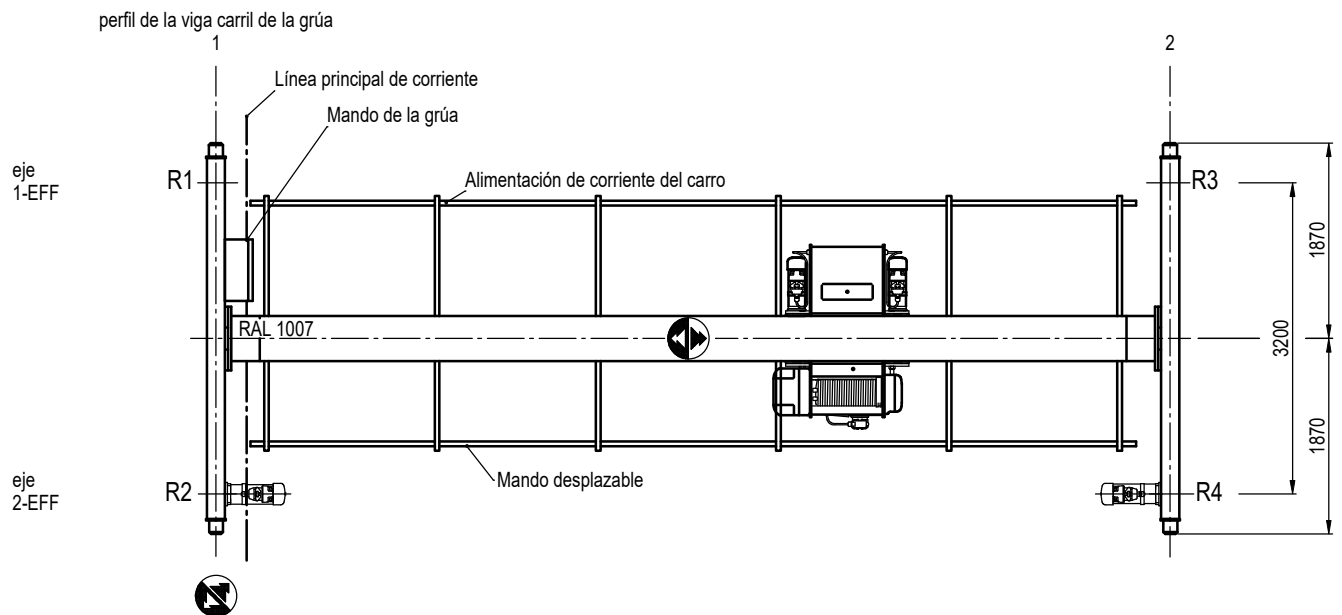
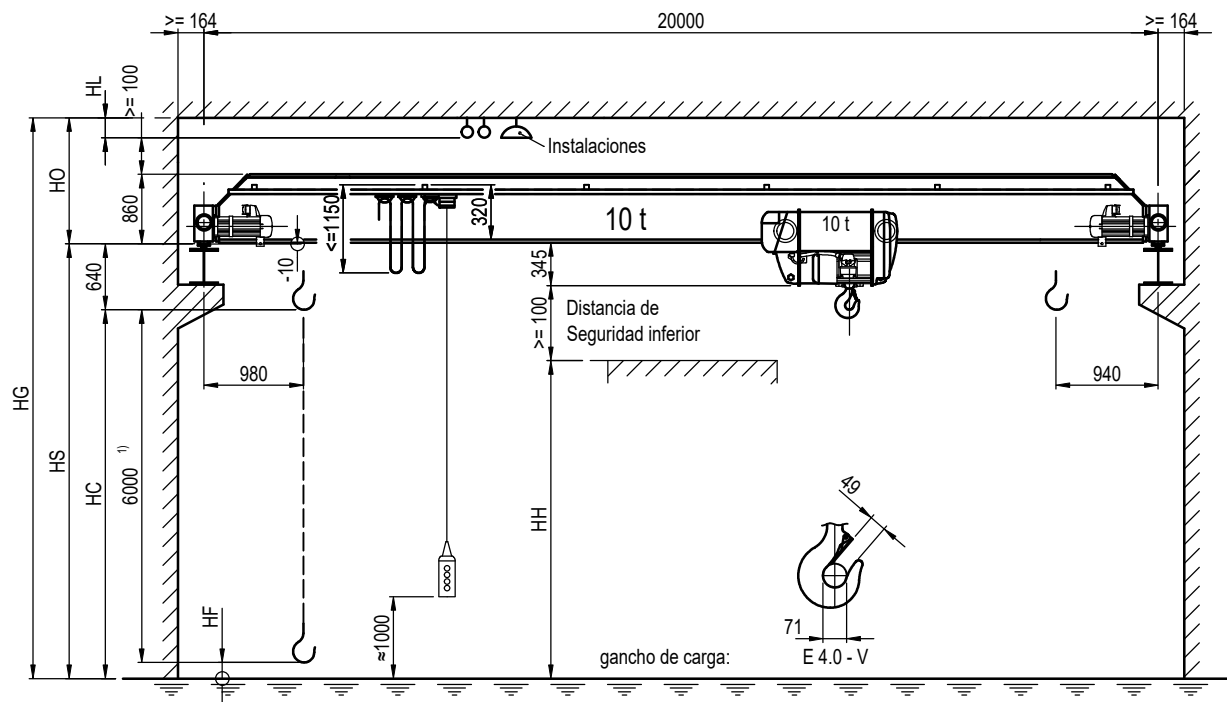
$$Cdist_{V_{col_cen}} = 0.072 \frac{\text{tonnef}}{m}$$
$$Cdist_{V_{col_bor}} = 0.036 \frac{\text{tonnef}}{m}$$

*En vigas por
el Barlovento:*

$$Cdist_{V_{vig_cen_barl}} = 0.027 \frac{\text{tonnef}}{m}$$
$$Cdist_{V_{vig_bor_barl}} = 0.013 \frac{\text{tonnef}}{m}$$

*En vigas por
el Sotavento:*

$$Cdist_{V_{vig_cen_sota}} = -0.054 \frac{\text{tonnef}}{m}$$
$$Cdist_{V_{vig_bor_sota}} = -0.027 \frac{\text{tonnef}}{m}$$



Grúa	ELK 10t x 20000 mm		
Base de cálculos	DIN 15018, H2/B3		
Carro	GM 3000.10000 H-242.41.6000.4.E 160.24		
Grupo F.E.M	2m / M5		
Lugar producción	Uso en naves cerradas		
Condiciones ambientales	-5° C hasta +40° C, sin requerimientos particulares		
Trasl. grúa	6 / 24 m/min		
Trasl. del carro	6 / 24 m/min		
Elevación	1 / 6 m/min		
Peso total	5890 kg (de ello Carro 658 kg)		
Tensión de red; fluctuación adm.	3/PE ~60 Hz 460 V (TN-S); -6,5% / +5%		
Potencia total conectada	14,2 kW (Corriente de arranque * cos phi: 94 A) +SKR-F1 = 35 A gG		
Cargas y reacciones	Cargas de ruedas (kN)	Eje de la grúa 1 (mín/máx)	15,3 62,5
	(sin coeficiente dinámico)	Eje de la grúa 2 (mín/máx)	15,5 62,8
	Cargas laterales (kN)	Fuerzas de inercia Trasl. grúa (mín/máx)	1,8 7,4
	Fuerza de traslación oblicua en lado guía (Coeficiente de adherencia ≤ 0,3)		17,8 -
	Cargas horizontales por traslación sesgada	Eje frontal de grúa en el sentido de la marcha	3,5 14,3
	(lado guía/lado opuesto)	Eje posterior de grúa en el sentido de la marcha	0,0 0,0
	cargas longitudinales (kN)	Fuerzas de inercia Trasl. grúa (máx.)	2,5
	(por perfil de vía de grúa)	Fuerzas finales de tope (máx.)	23,2

¹⁾ Recorrido máximo de gancho del carro 6 m, uso real según la situación de montaje

lpp
Carlos Julio Arosemena, Km.10 Vía Daule
Guayaquil
Tel. 0960244654
Fax

Grúa ELK

052500-0000000-20240613-01 / 1

ABUS

Responsable: Miguel Rueda.,
Fecha: 12/06/2024

Datos de carga de conformidad con DIN EN 1991-3

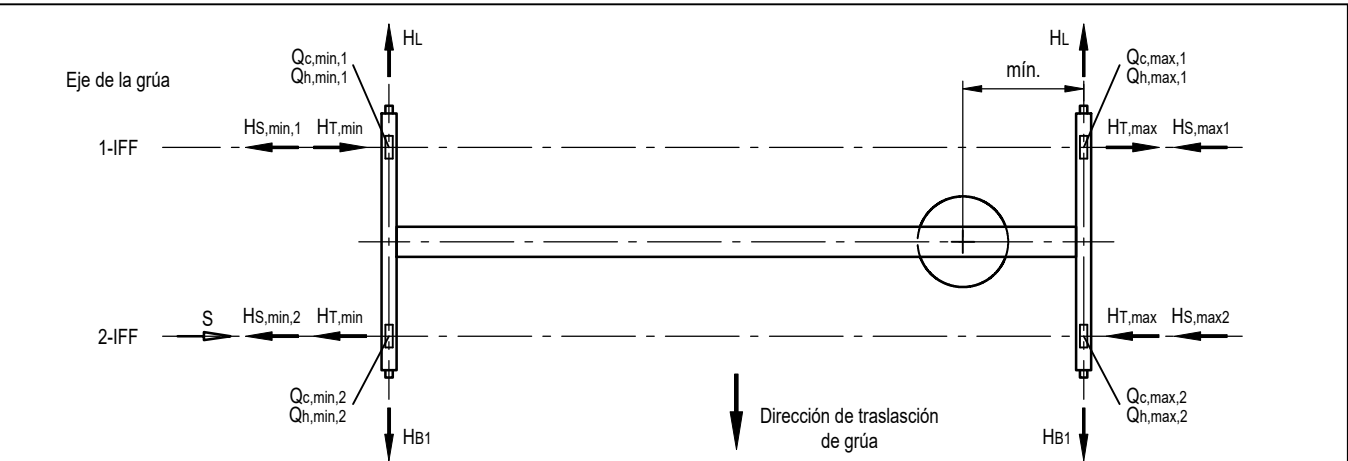
Clasificación de grúas	S3	(para el certificado del soporte de la vía de grúa)
------------------------	----	---

Coefficientes dinámicos ϕ_i :

ϕ_1	1,10	Aceleración que actúa sobre la masa de la grúa por elevación y gravitación
ϕ_2	1,16	Inercia y gravitación en la elevación de una carga sin impedimentos desde el suelo
ϕ_3	1,00	Inercia y gravitación en el desprendimiento repentino de una parte de la carga en elevación
ϕ_4	1,00	Cargas por traslación superando irregularidades
$\phi_{5,Kr}$	1,80	Cargas por aceleración de los accionamientos de traslación de grúa
$\phi_{6,dyn}$	1,08	Carga dinámica de ensayo
$\phi_{6,stat}$	1,00	Carga estática de ensayo
$\phi_{7,Kr}$	1,25	Cargas por fuerzas de tope

Efectos de la carga y proporciones de fuerzas relevantes:

Cargas por rueda (vertical)	Proporción de fuerza por masa de la grúa y del (de los) carro(s) por cada eje de grúa	$Q_{c,min,1}$	13,0	$Q_{c,max,1}$	15,5	[kN]
		$Q_{c,min,2}$	13,2	$Q_{c,max,2}$	15,8	[kN]
	Proporción de fuerza por masa de la carga de elevación por eje de grúa	$Q_{h,min,1}$	2,3	$Q_{h,max,1}$	47,0	[kN]
		$Q_{h,min,2}$	2,3	$Q_{h,max,2}$	47,0	[kN]
Cargas laterales (horizontal)	Fuerza por aceleración de la grúa con carga de elevación (fuerza de masa)	$H_{T,min}$	1,2	$H_{T,max}$	4,9	[kN]
	Fuerza de traslación oblicua (Coeficiente de adherencia $\leq 0,3$)	S			17,8	[kN]
	Fuerza horizontal por traslación oblicua por eje de grúa	$H_{S,min,1}$	0,0	$H_{S,max,1}$	0,0	[kN]
		$H_{S,min,2}$	3,5	$H_{S,max,2}$	14,3	[kN]
Cargas longitudinales (horizontal) (por soporte de vía de grúa)	Fuerza por aceleración de la grúa con carga de elevación (fuerza de masa)	HL			1,6	[kN]
	Fuerza de presión de choque (fuerza final)	HB1			18,6	[kN]



El dibujo muestra la situación de traslación de grúa para generación de las cargas mínimas y máximas.
La situación de traslación de grúa determinante puede variar según la versión de la grúa (dirección de traslación, posición del carro y/o medio de guía).

Todas las influencias de carga son partes de fuerza estática característica y deben añadirse con su correspondiente coeficiente dinámico ϕ_i .
Tolerancias de vía de grúa DIN EN 1090-2, clase tolerancia 2
Tolerancia de centro de rodadura de los carriles de grúa ± 6 mm

Ipp
Carlos Julio Arosemena, Km.10 Vía Daule
Guayaquil
Tel. 0960244654
Fax

Grúa ELK

052500-0000000-20240613-01 / 1

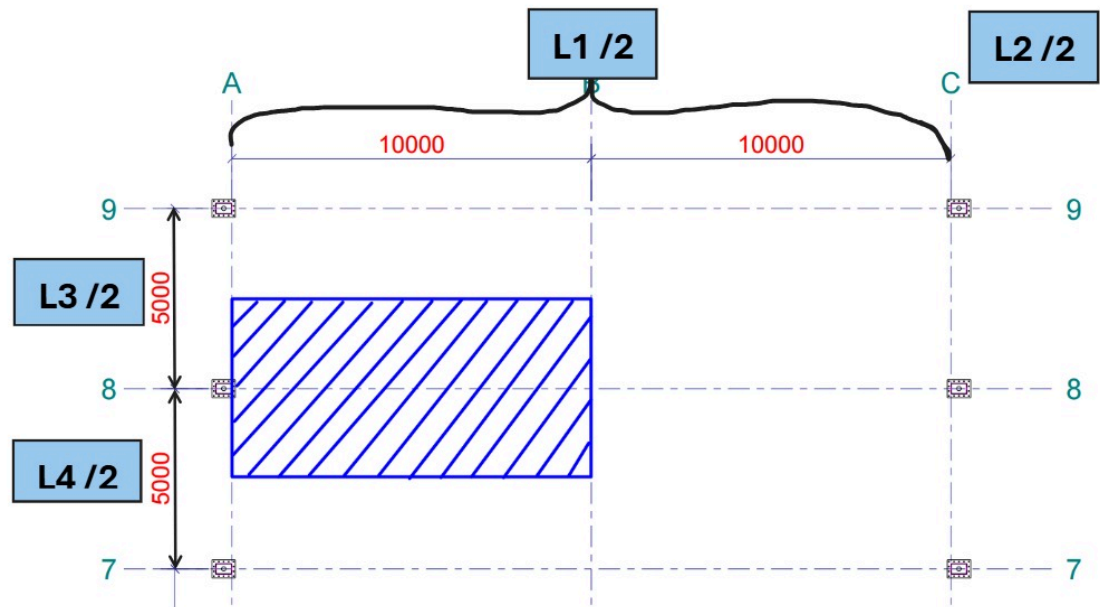
ABUS

Responsable: Miguel Rueda.
Fecha: 12/06/2024

Zapata Aislada

0. Prediseño

- Geometría



DATOS INICIALES

- Geometría [m]
 - L1 = 20
 - L2 = 0
 - L3 = 5.0
 - L4 = 5.0
 - NºPisos = 1
 - Material [kg/cm²]
 - f'c = 210
 - fy = 4200
 - Cargas Gravitacionales [tonf/m²]
 - CM = 0.05
 - CV = 0.07
 - Carga del Puente grúa en un área [tonf/m²]
 - CPG = 0.6
 - Propiedades del Suelo
 - hf = 1.5 [m]
 - qa = 15 [tonf/m²]
 - Dimensiones de la columna
 - a = 0.45 [m]
 - b = 0.3 [m]
1. Calcular área tributaria
 - At = 50.0 [m²]
 2. Combinación de carga (Carga de Servicio)
 - Ps = 35.94 [tonf]
 3. Área del Plinto
 - Ap = 3.59 [m²]
 4. Lados del Plinto
 - A_prediseño = 1.97 [m]
- Entonces:
- A = 2.0 [m]
 - B = 1.85 [m]
 - H = 0.3 [m]

1 Solicitaciones de Servicio (ASD)

- CARGAS OBTENIDAS DEL MODELO EN SAP2000:

	Dead	Live	Sis x	Sis y
P [Tonf]	-4.080	-3.420	0.44	0.34
My [Tonf*m]	0.007	0.006	1.47	11.14
Mx [Tonf*m]	-5.930	-7.000	6.50	4.49

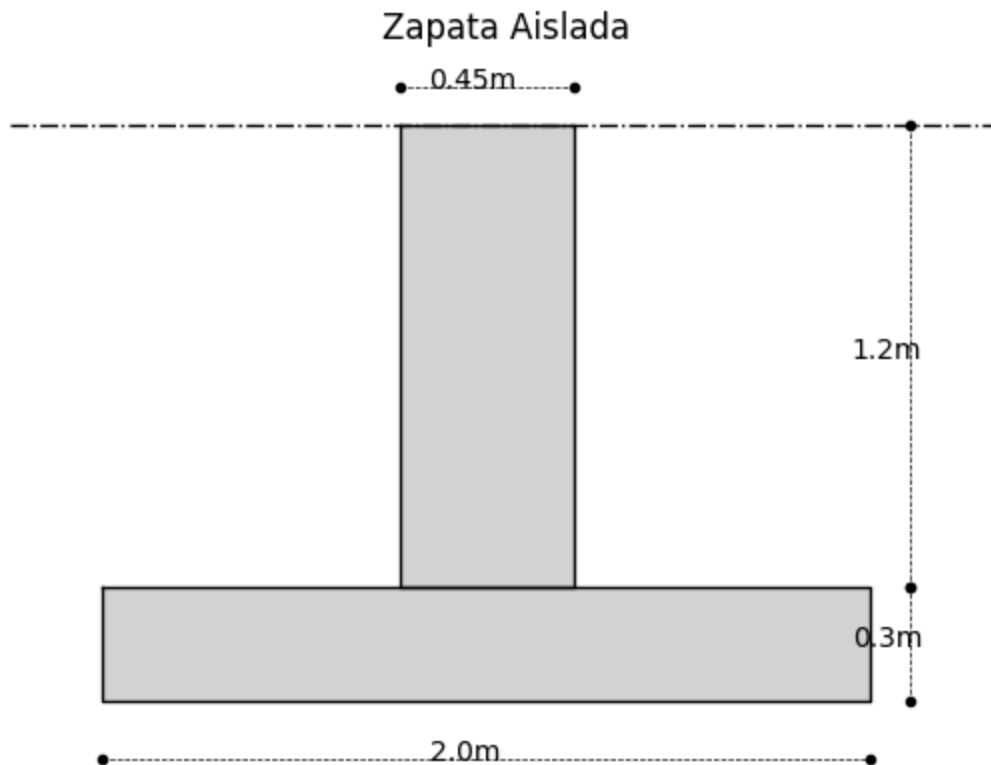
La presión calculada de la estructura (σ) deber ser menor a la presión del suelo (q_a)



- $q_a = 15$ [tonf/m²]

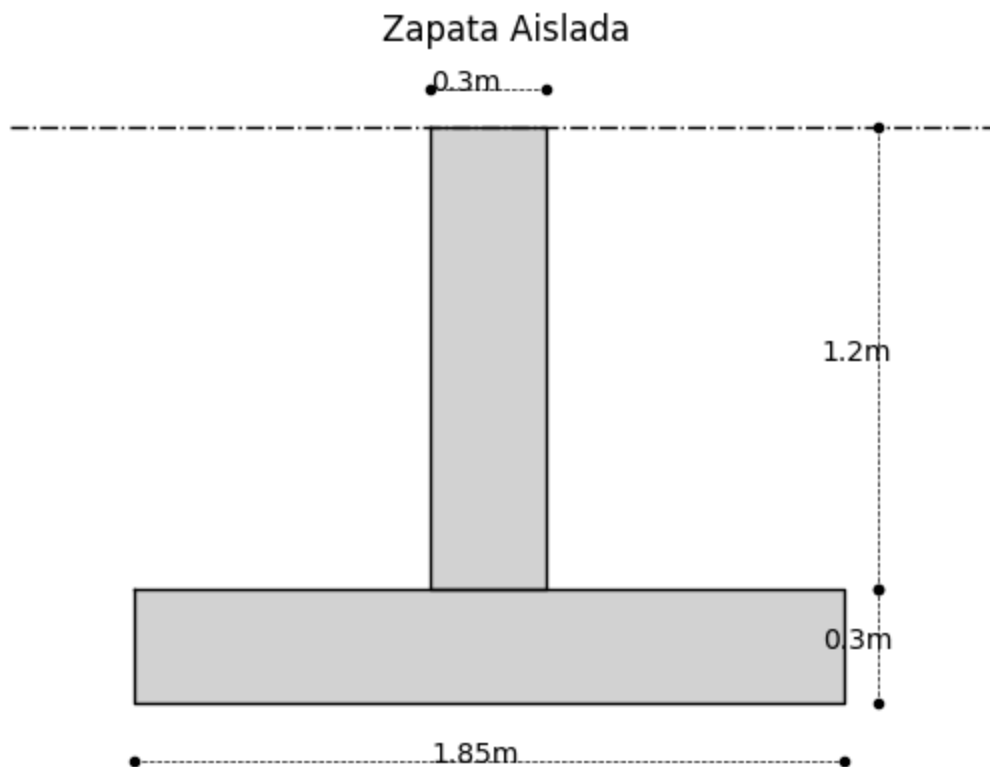
$$CargaActuante(\sigma) < Resistencia(q_a)$$

1.1. Chequeo de presiones en Dirección X



	Ps [T]	Ms [T.m]	σ_i [tonf/m²]	σ_j [tonf/m²]
D+L	-10.16	-12.93	-13.23	7.74
D+L+Sx	-7.31	-4.83	-5.90	1.94
D+L-Sx	-7.97	-14.61	-14.00	9.69
D+L+Sy	-7.39	-6.35	-7.14	3.15
D+L-Sy	-7.90	-13.10	-12.75	8.49

1.2. Chequeo de presiones en Dirección Y



	Ps [T]	Ms [T.m]	σ_i [tonf/m²]	σ_j [tonf/m²]
D+L	-10.16	0.01	-2.74	-2.76
D+L+Sx	-7.31	1.12	-1.00	-2.95
D+L-Sx	-7.97	-1.10	-3.12	-1.19
D+L+Sy	-7.39	8.39	5.35	-9.35
D+L-Sy	-7.90	-8.37	-9.47	5.20

2. Combinaciones de Diseño

2.1 Dirección X

	Ps [T]	Ms [T.m]	σ_i [tonf/m2]	σ_j [tonf/m2]	Máx_ σ
1.2D	-9.44	-8.30	-9.28	4.18	-9.28
1.2D+1.6L	-13.56	-18.32	-18.52	11.18	-18.52
1.2D+L+Sx	-11.07	-7.62	-9.17	3.18	-9.17
1.2D+L-Sx	-11.95	-20.62	-19.95	13.49	-19.95
1.2D+L+Sy	-11.17	-9.63	-10.82	4.79	-10.82
1.2D+L-Sy	-11.85	-18.61	-18.29	11.88	-18.29
0.9D+Sx	-5.63	1.16	-0.58	-2.46	-2.46
0.9D-Sx	-6.51	-11.84	-11.36	7.84	-11.36
0.9D+Sy	-5.73	-0.85	-2.24	-0.86	-2.24
0.9D-Sy	-6.41	-9.83	-9.70	6.24	-9.70

Carga Axial Última (Pux) y Momento Último (Mux) asociados al esfuerzo máximo (Máx_ σ) que provoca la estructura en el suelo

Pux = 11.95 [tonf]
Mux = 20.62 [tonf*m]

2.2 Dirección Y

	Ps [T]	Ms [T.m]	σ_i [tonf/m2]	σ_j [tonf/m2]	Máx_ σ
1.2D	-9.44	0.01	-2.54	-2.56	-2.56
1.2D+1.6L	-13.56	0.02	-3.65	-3.68	-3.68
1.2D+L+Sx	-11.07	1.48	-1.69	-4.29	-4.29
1.2D+L-Sx	-11.95	-1.46	-4.51	-1.95	-4.51
1.2D+L+Sy	-11.17	11.15	6.76	-12.80	-12.80
1.2D+L-Sy	-11.85	-11.13	-12.96	6.55	-12.96
0.9D+Sx	-5.63	1.48	-0.23	-2.82	-2.82
0.9D-Sx	-6.51	-1.46	-3.04	-0.48	-3.04
0.9D+Sy	-5.73	11.15	8.22	-11.32	-11.32
0.9D-Sy	-6.41	-11.13	-11.49	8.03	-11.49

Carga Axial Última (Puy) y Momento Último (Muy) asociados al esfuerzo máximo (Máx_ σ) que provoca la estructura en el suelo

Puy = 11.85 [tonf]
Muy = 11.13 [tonf*m]

3. Corte en 1 Dirección

3.1 Dirección X

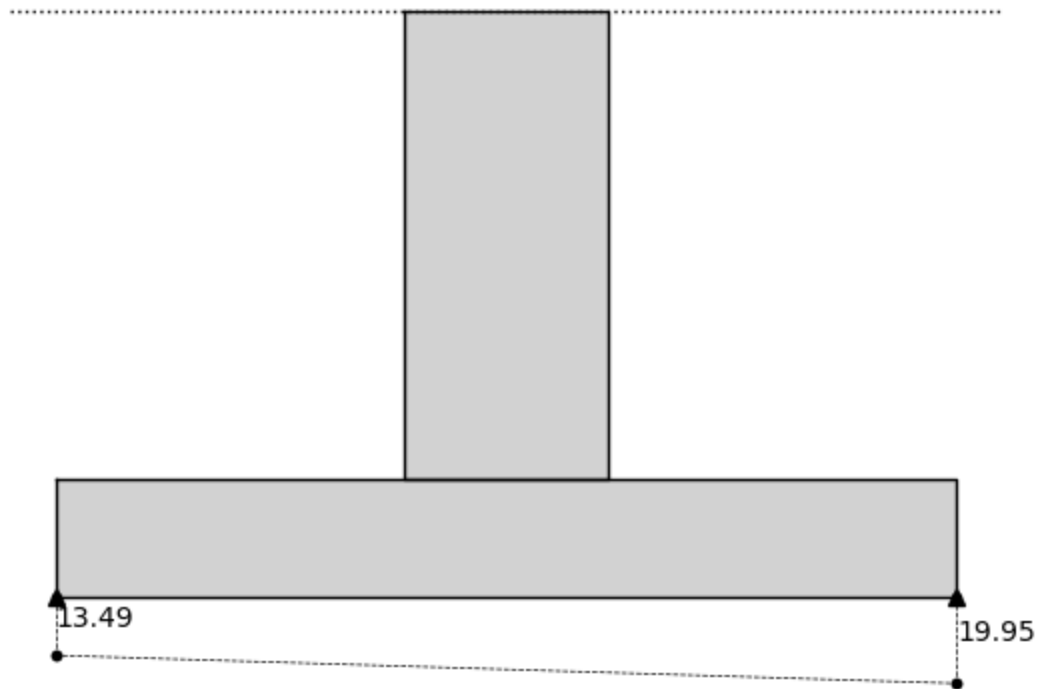
- Carga Axial Pu:
Pux = 11.95 [tonf]
- Momento Ultimo Mu:
Mux = 20.62 [tonf*m]
- Área:
Area = 3.7 [m]
- Centroide:
Yc = 1.85 [m]
- Inercia:
I = 1.23 [m]

- Esfuerzos q2 y q1:

$$q2 = \frac{Pux}{Area} - \frac{Mux * Yc}{I}$$

$$q1 = \frac{Pux}{Area} + \frac{Mux * Yc}{I}$$

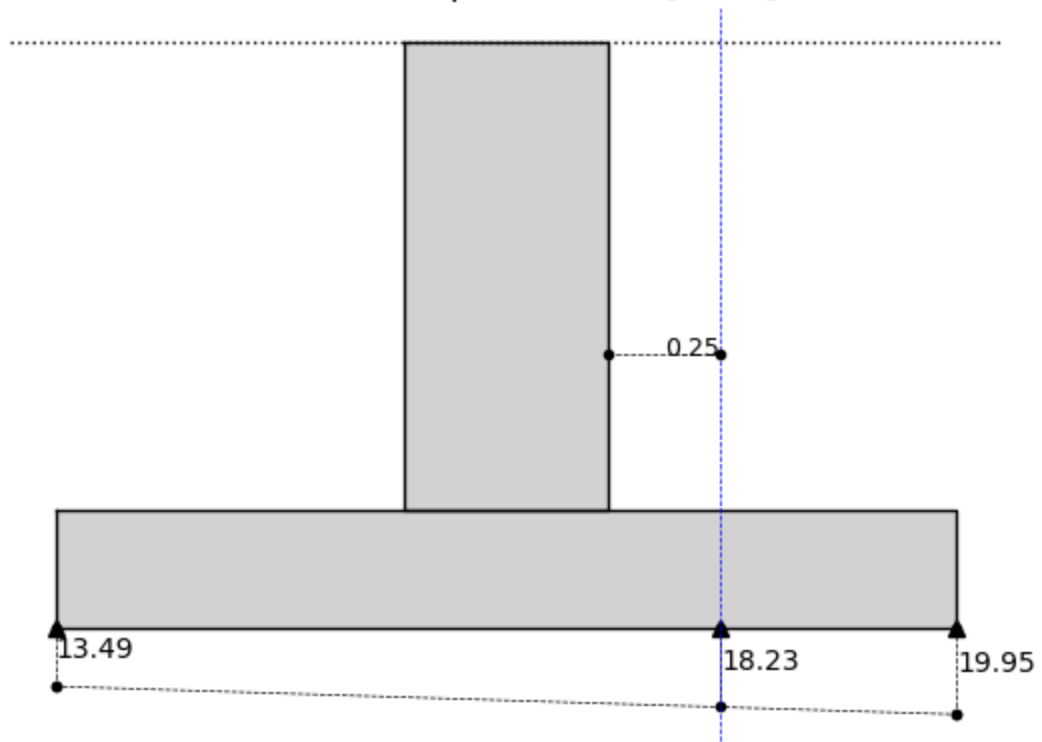
Esfuerzos Zapata Aislada [T/m²]



$$q_{2a} = 13.49 \text{ [T/m}^2\text{]} \quad \& \quad q_{1a} = 19.95 \text{ [T/m}^2\text{]}$$

3.1.1 Demanda

Esfuerzos Zapata Aislada [T/m²]



- Carga q3:
q3 = 18.23 [tonf/m2]
- Cortante Último Vu:
Vu = 18.75 [tonf]

3.1.2 Capacidad

$$\phi * Vc = \phi * 0.53 * \sqrt{f_c} * bw * d$$

$$Vr = 26.0 \text{ [tonf]}$$

3.1.3 D/C

- Demanda Capacidad:
D/C = 0.721

3.2 Dirección Y

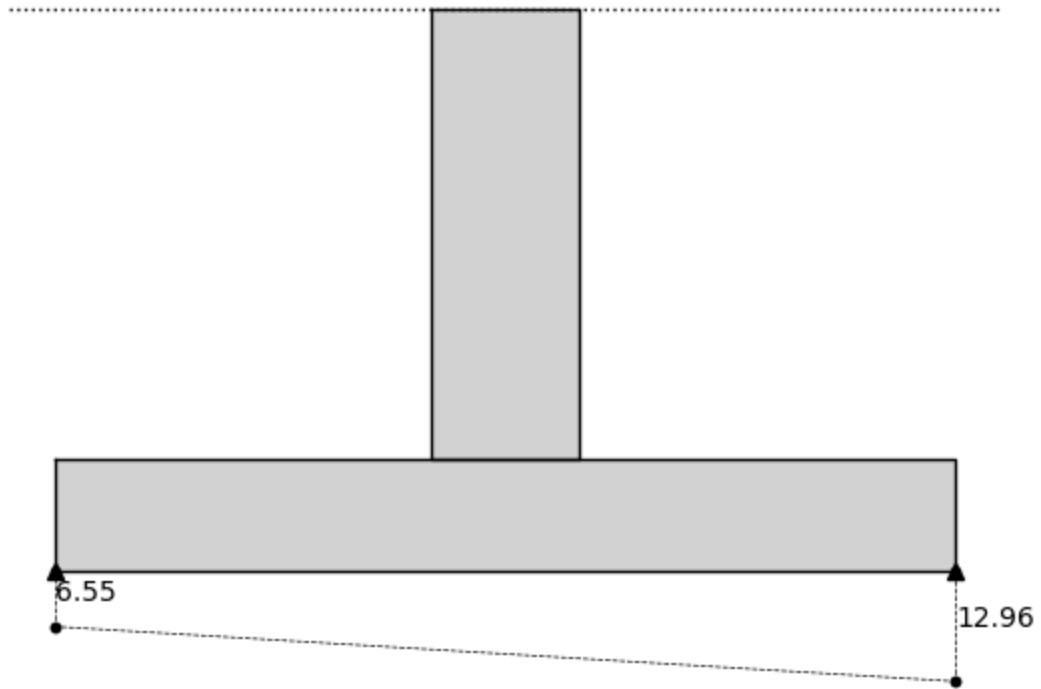
- Carga Axial Pu:
Puy = 11.85 [tonf]
- Momento Ultimo Mu:
Muy = 11.13 [tonf*m]
- Área:
Area = 3.7 [m]
- Centroide:
Yc = 1.85 [m]
- Inercia:
I = 1.23 [m]

- Esfuerzos q2 y q1:

$$q2 = \frac{Puy}{Area} - \frac{Muy * Yc}{I}$$

$$q1 = \frac{Puy}{Area} + \frac{Muy * Yc}{I}$$

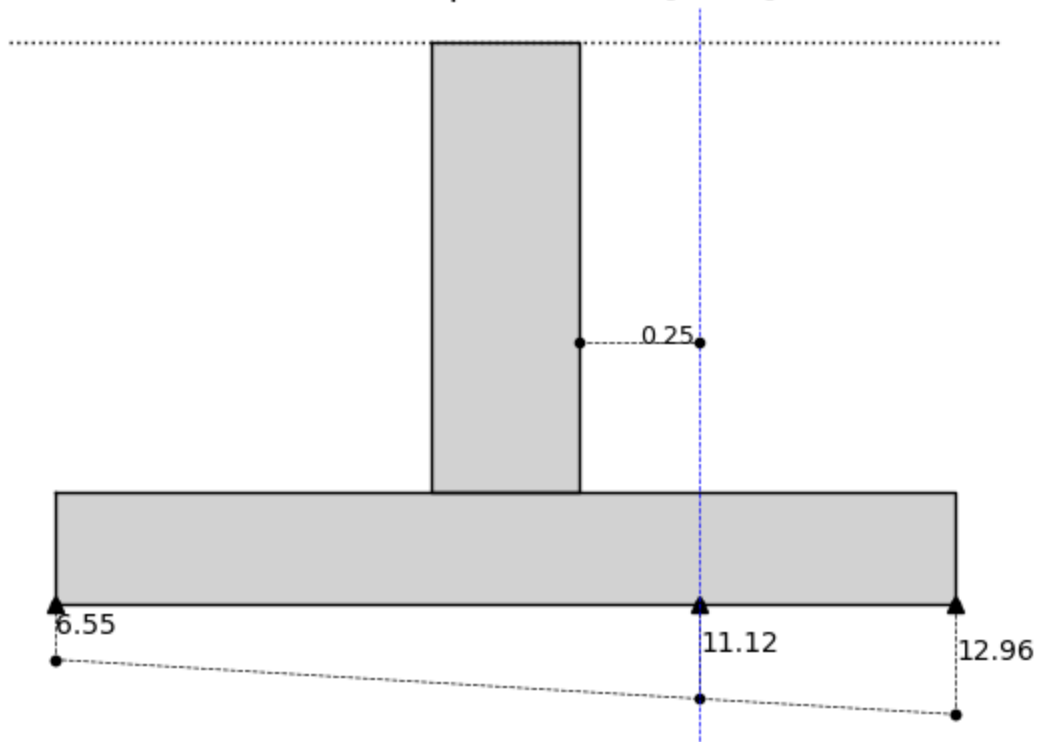
Esfuerzos Zapata Aislada [T/m²]



$$q_{2b} = 6.55 \text{ [T/m}^2\text{]} \quad \& \quad q_{1b} = 12.96 \text{ [T/m}^2\text{]}$$

3.2.1 Demanda

Esfuerzos Zapata Aislada [T/m²]



- Carga (q_3):
 $q_3 = 11.12 \text{ [tonf/m}^2\text{]}$
- Cortante Último (V_u):
 $V_u = 12.78 \text{ [tonf]}$

3.2.2 Capacidad

$$\phi * V_c = \phi * 0.53 * \sqrt{f_c} * bw * d$$

- Cortante Resistente:
 $V_r = 28.11 \text{ [tonf]}$

3.2.3 Demanda/Capacidad

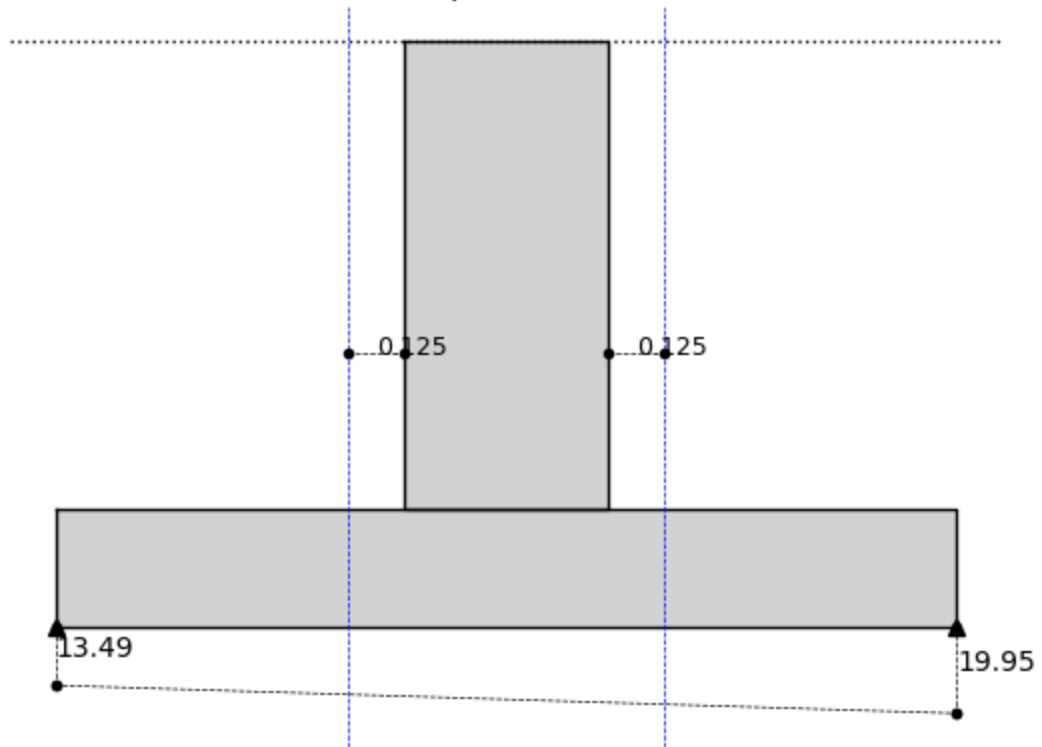
- Demanda Capacidad:
 $D/C = 0.455$

4. Corte en 2 Direcciones (Punzonamiento)

4.1 Demanda

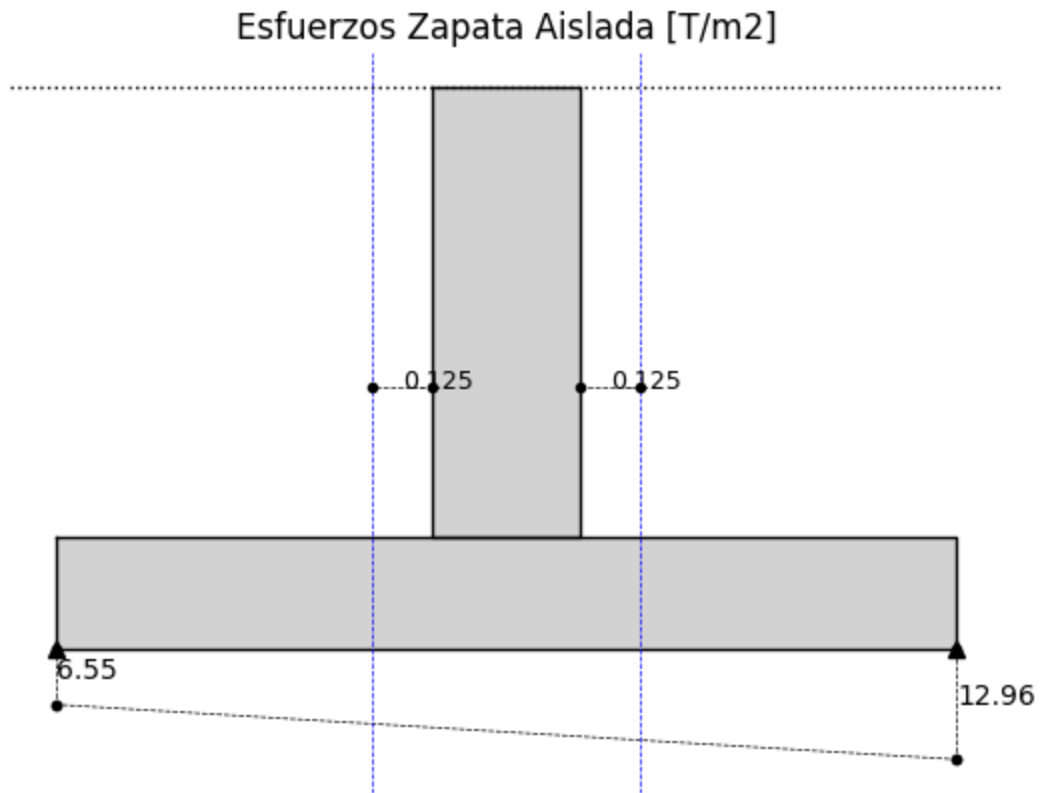
4.1.1 Dirección X

Esfuerzos Zapata Aislada [T/m²]



- Esfuerzo Último a cortante 2D en X:
 $\sigma_u = 91.93$ [tonf/m²]

4.1.2 Dirección Y



- Esfuerzo Último a cortante 2D en Y:
 $\sigma_u = 53.63$ [tonf/m²]

4.2 Capacidad

- Caso (a)

$$\phi * \sigma_c = \phi * 1.06 * \sqrt{f_c}$$

- Caso (b)

$$\phi * V_c = \phi * 0.26 * \left(2 + \frac{4}{\beta_c}\right) * \sqrt{f_c}$$

Relación de columna: $\beta_c = \frac{L_{largo}}{L_{corto}}$

- Caso (c)

$$\phi * V_c = \phi * 0.26 * \left(2 + \alpha * \frac{d}{p_{corte}}\right) * \sqrt{f_c}$$

$\alpha = 40, \alpha = 30, \alpha = 20$

- $\sigma_u(a) = 115.21$ [tonf/m²]
- $\sigma_u(b) = 131.87$ [tonf/m²]
- $\sigma_u(c) = 167.91$ [tonf/m²]
- Esfuerzo Resistente a cortante en 2 direcciones:
 $\sigma_r = 115.21$ [tonf/m²]

4.3 Demanda Capacidad

$$\sigma_u = 91.93 \text{ [tonf/m}^2\text{]}$$

$$\sigma_r = 115.21 \text{ [tonf/m}^2\text{]}$$

- Demanda Capacidad (σ_u/σ_r):
 $D/C = 0.798$

5. Aplastamiento

5.1 Demanda

- Esfuerzo Último de Aplastamiento debido a la Columna

$$\sigma_{u,ap} = \frac{Pu}{a * b}$$

$$Pu = 11.95 \text{ [tonf]}$$

Esfuerzo Último por Aplastamiento:

$$- \sigma_u = 88.54 \text{ [tonf/m}^2\text{]}$$

5.2 Capacidad

- Esfuerzo Resistente de Aplastamiento debido al material (Hormigón)

$$\sigma_{r,ap} = \phi * 0.85 * \sqrt{f_c}$$

- $\phi = 0.65$

Esfuerzo Resistente por Aplastamiento:

$$- \sigma_r = 1160.25 \text{ [tonf/m}^2\text{]}$$

5.3 Demanda/Capacidad

- Esfuerzo Último/Esfuerzo Resistente

$$(\sigma_{u,ap}/\sigma_{r,ap})$$

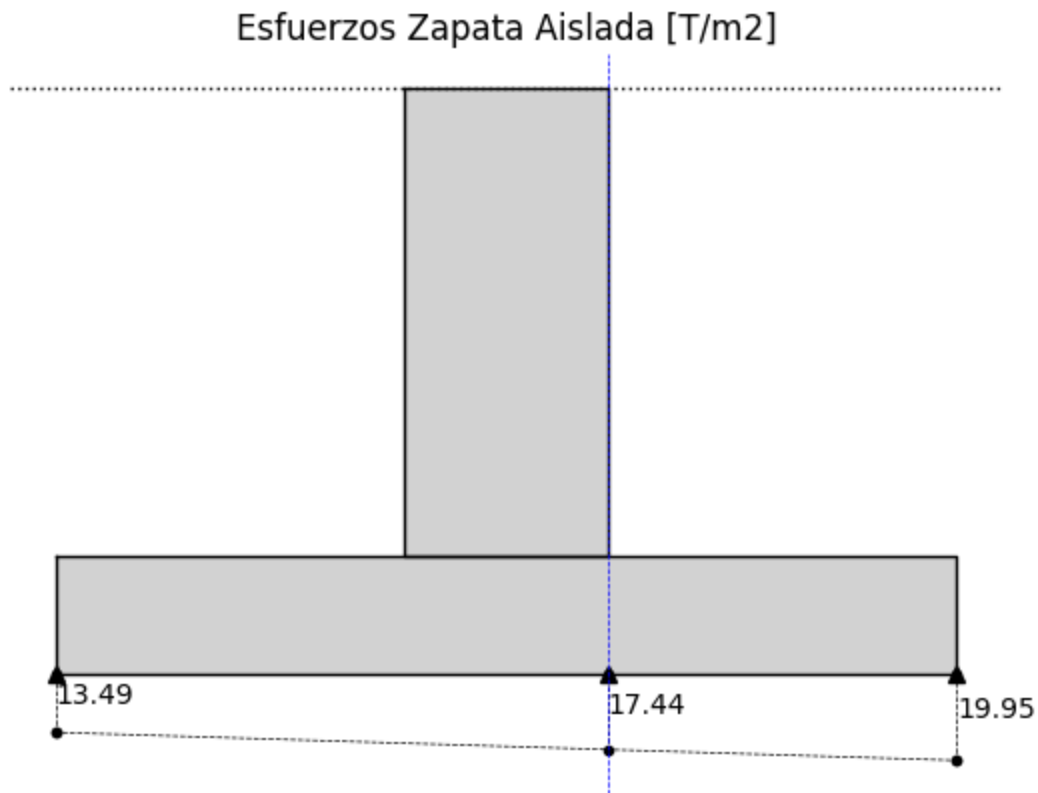
Demanda/Capacidad:

- $D/C = 0.076$

6. Diseño a Flexión

6.1 Dirección x

- Momento Ultimo:
 $m_u = 5.74 \text{ [tonf*m]}$
- Esfuerzo Ultimo:
 $q_{a3} = 17.44 \text{ [tonf]}$



6.1.1 Peralte Mínimo por Flexión

$$d_{min} = \sqrt{\frac{M_u}{\phi * R_u * b}}$$

$$R_u = \rho * f_y * (1 - 0.588 * \frac{\rho * f_y}{f_c})$$

$$\rho = 0.5 * \rho_b$$

$$\rho_b = 0.85 * \beta_1 * \frac{f_c}{f_y} * \left(\frac{6300}{6300 + f_y} \right)$$

- $R_u = 39.72 \text{ [kg/cm}^2\text{]}$

Entonces:

- $d_{min}(a) = 0.13 \text{ [m]}$

Selecciono:

- $d = 0.25 \text{ [m]}$

6.1.2 Acero Mínimo

- Acero mínimo por retracción y temperatura

$$A_{s_{min}} = 0.0018 * b * H$$

- Para una franja de (b=1m) H en metros

$$A_{s_{min}} = 18 * H$$

Acero Mínimo por Temperatura en 1m:

- $A_{s_min}(1) = 5.4 \text{ [cm}^2\text{/m]}$

- Acero mínimo por flexión

$$A_s = \lambda * \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 * M_u}{\phi * \lambda * f_y * d}} \right)$$

$$\lambda = \frac{0.85 * f'_c * b * d}{f_y}$$

Acero Mínimo por Flexión en 1m:

- $A_{s_flexión} = 6.42 \text{ [cm}^2\text{/m]}$

6.1.3 Acero Calculado

$$A_{s_{cal}} = \max(A_{s_{temp}}, A_{s_{flex}})$$

Acero Calculado para 1m del plinto:

- $A_s \text{ max_cal} = 6.42 \text{ [cm}^2\text{/m]}$

Acero TOTAL Calculado para todo el plinto:

- $A_s \text{ tot_cal} = 11.88 \text{ [cm}^2\text{]}$

Varilla solicitada en dirección X:

- $\Phi_x = 12 \text{ [mm]}$

Cantidad de Varillas en dirección X:

- $A_{si} = 1.13 \text{ [cm}^2\text{]}$

- $n \text{ var en } 1 \text{ m} = 5.68 \text{ [\#/m]}$

- $n \text{ var totales} = 10.5 \text{ [\#]}$

6.1.4 Acero Colocado

Separación de las varillas del Acero a Flexión:

- $\text{Sep} = 14.5 \text{ [cm]}$

$$AceroColocado[A_s(\text{colocado})] > AceroCalculado[A_s(\text{totalcal})]$$

- $A_s \text{ Colocado en } X = 14.7 \text{ [cm}^2\text{]}$

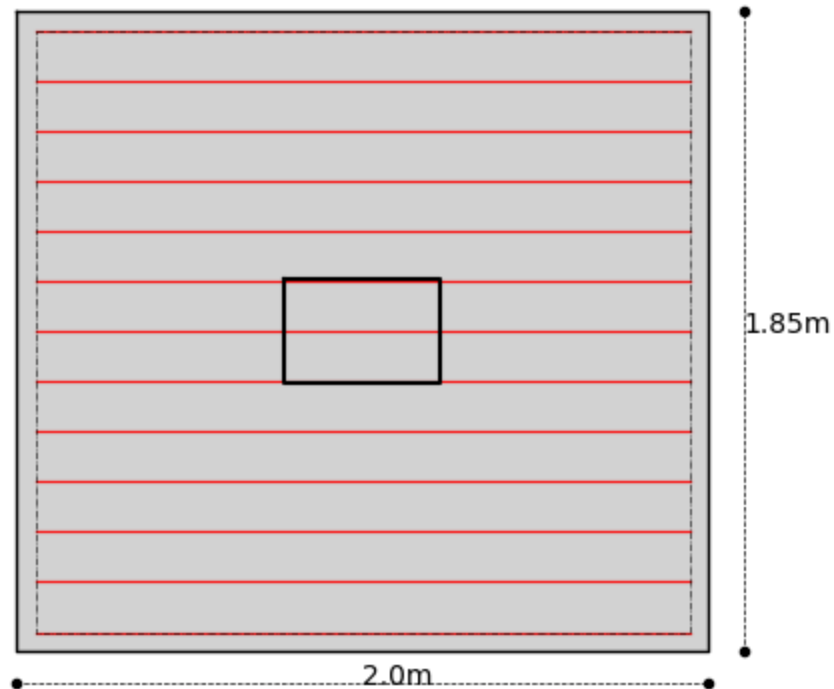
- $A_s \text{ tot_cal en } X = 11.88 \text{ [cm}^2\text{]}$

CUMPLE

- FINALMENTE, TENEMOS:

- $A_s \text{ Colocado en } X = 14.7 \text{ [cm}^2\text{]} \rightarrow 13 \text{ Varillas de } \phi 12\text{mm @ } 14.5\text{cm}$

Zapata Aislada Dirección (x)



- ACI, Tabla 25.4.2.3, Longitud de desarrollo barras rectas

$$l_d = \frac{f_y}{4.4 * \sqrt{f'_c}} * db$$

- $L_{d_min} = 79.04 \text{ [cm]}$

- Longitud disponible

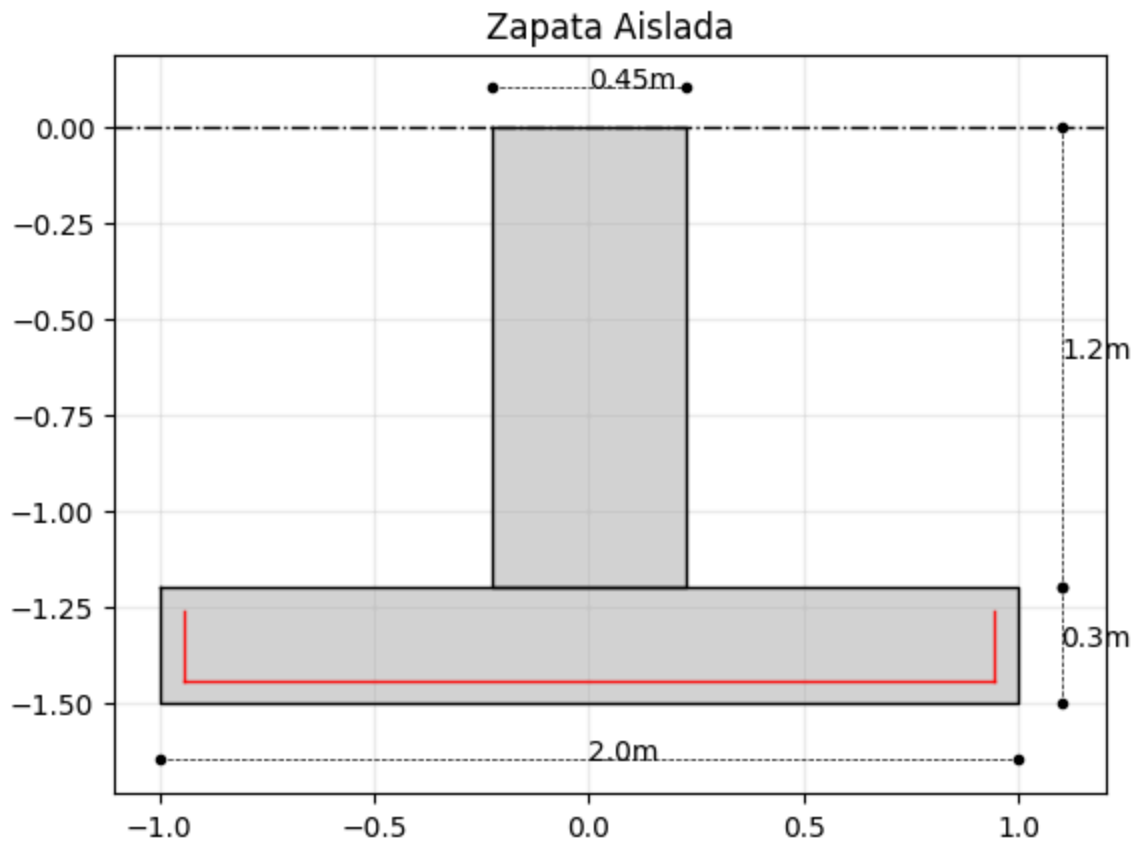
$$L = A/2 - a/2 - rec$$

- $L_{d_dis} = 72.5 \text{ [cm]}$

- Requiere de ganchos?

- Con Ganchos

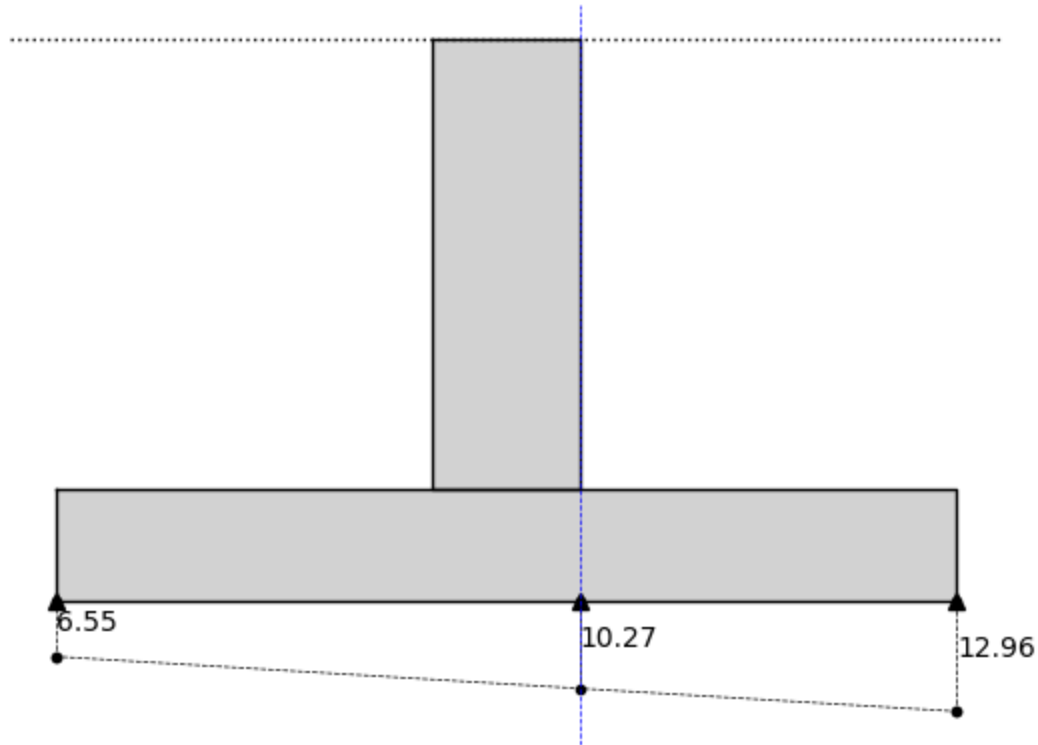
Longitud del gancho = 18.0 [cm]



6.2 Dirección Y

- Momento Ultimo:
 $mub = 3.62 \text{ [tonf*m]}$
- Esfuerzo Ultimo:
 $qb3 = 10.27 \text{ [tonf]}$

Esfuerzos Zapata Aislada [T/m²]



6.2.1 Peralte Mínimo por Flexión

$$d_{min} = \sqrt{\frac{Mu}{\phi * Ru * b}}$$

$$Ru = \rho * fy * (1 - 0.588 * \frac{\rho * fy}{fc})$$

$$\rho = 0.5 * \rho_b$$

$$\rho_b = 0.85 * \beta_1 * \frac{fc}{fy} * (\frac{6300}{6300 + fy})$$

- $Ru = 39.72$ [kg/cm²]

Entonces:

- $d_{min}(b) = 0.1$ [m]

Selecciono:

- $d = 0.25$ [m]

6.2.2 Acero Mínimo

- Acero mínimo por retracción y temperatura

$$As_{min} = 0.0018 * b * H$$

- Para una franja de (b=1m) H en metros

$$As_{min} = 18 * H$$

Acero Mínimo por Temperatura en 1m:

$$- As_{min}(1) = 5.4 \text{ [cm}^2\text{/m]}$$

- Acero mínimo por flexión

$$A_s = \lambda * \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 * Mu}{\phi * \lambda * f_y * d}} \right)$$

$$\lambda = \frac{0.85 * f'_c * b * d}{f_y}$$

Acero Mínimo por Flexión en 1m:

$$- As_{flexión} = 4.22 \text{ [cm}^2\text{/m]}$$

6.2.3 Acero Calculado

$$As_{cal} = \max(As_{temp}, As_{flex})$$

Acero Calculado para 1m del plinto:

$$- As_{max_cal} = 5.4 \text{ [cm}^2\text{/m]}$$

Acero TOTAL Calculado para todo el plinto:

$$- As_{tot_cal} = 10.8 \text{ [cm}^2\text{]}$$

Varilla solicitada en dirección Y:

$$- \Phi_y = 12 \text{ [mm]}$$

Cantidad de Varillas en dirección Y:

$$- As_{iy} = 1.13 \text{ [cm}^2\text{]}$$

$$- n_{var} \text{ en } 1 \text{ m} = 4.77 \text{ [# /m]}$$

$$- n_{var} \text{ totales} = 9.55 \text{ [#]}$$

6.2.4 Acero Colocado

Separación de las varillas del Acero a Flexión en Y:

$$- Sep = 14.5 \text{ [cm]}$$

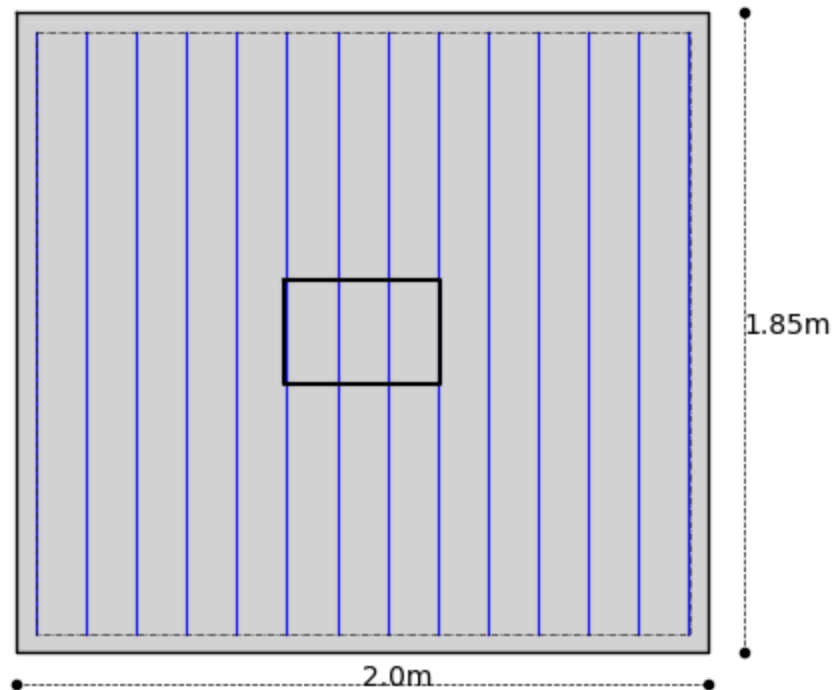
$$AceroColocado[As(colocado)] > AceroCalculado[As(totalcal)]$$

- As Colocado en Y = 15.83 [cm²]
 - As tot_cal en Y = 10.8 [cm²]
- CUMPLE

- FINALMENTE, TENEMOS:

- As Colocado en Y = 15.83 [cm²] --> 14 Varillas de $\phi 12\text{mm}$ @ 14.5cm

Zapata Aislada Dirección (y)



- ACI, Tabla 25.4.2.3, Longitud de desarrollo barras rectas

$$l_d = \frac{f_y}{4.4 * \sqrt{f'_c}} * d_b$$

- Ld_min = 79.04 [cm]

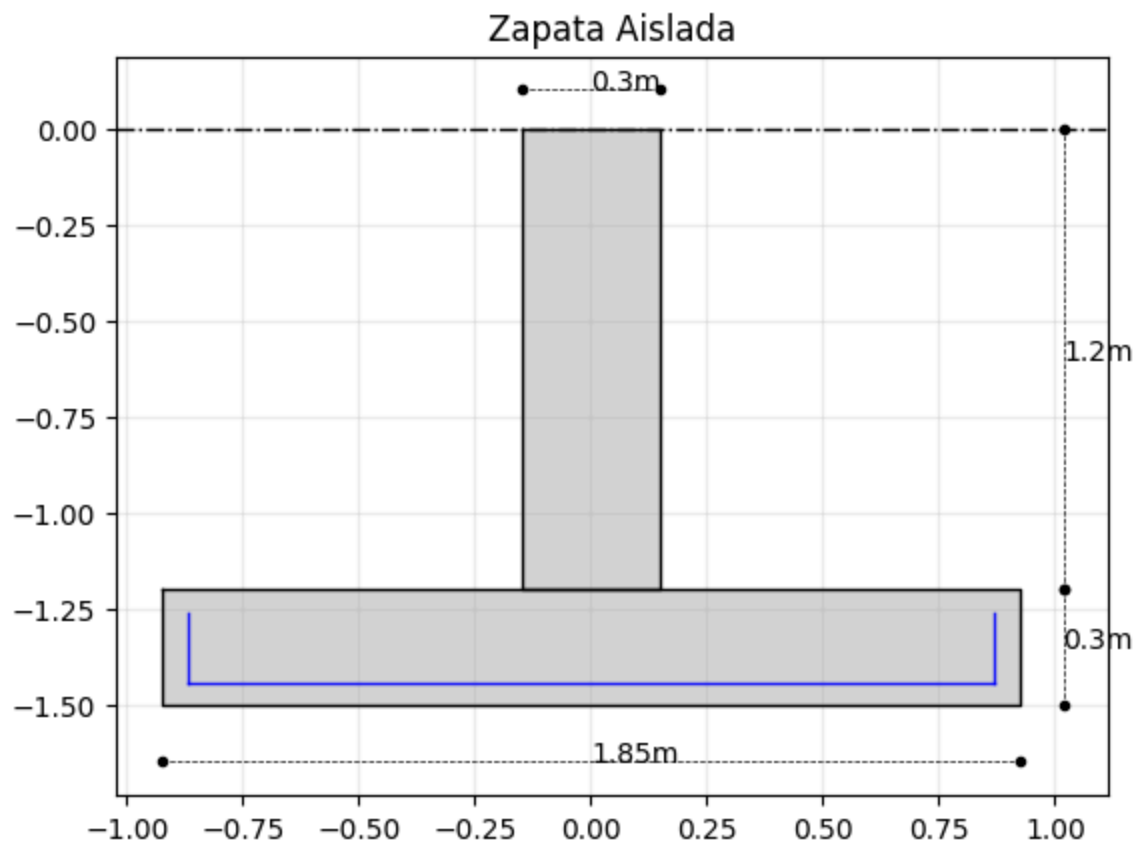
- Longitud disponible

$$L = A/2 - a/2 - rec$$

- Ld_dis = 72.5 [cm]

- Requiere de ganchos?

- Con Ganchos
Longitud del gancho = 18.0 [cm]



1. Pre-dimensionamiento de Losa

Tienen la finalidad de distribuir las cargas a los elementos estructurales (vigas secundarias, vigas primarias, columnas y cimentación). Se ha tomado como referencia una placa colaborante disponible en el catálogo IPAC, cuyas propiedades se muestran a continuación:

PROPIEDADES DE LA SECCIÓN								
Espesor	H (onda)	Peso	Y+	Y-	I+	I-	S+	S-
mm	mm	kg/m ²	mm	mm	cm ⁴ /m	cm ⁴ /m	cm ³ /m	cm ³ /m
0,65		6,23	36,84	28,16	59,63	49,29	17,70	23,16
0,76	65	7,24	36,81	28,19	69,06	57,12	17,72	23,14
0,90		8,55	36,77	28,23	88,11	67,18	17,74	23,10

Seleccionamos una Losa de 8 cm, con un espesor de placa de 0.65 mm, la separación entre apoyos será de 1.60 m,

Espesor de placa	Altura de Losa sobre cresta de placa	SOBRE CARGAS ADMISIBLES (kg/m ²) Ao (cm)												
		Separación entre apoyos: (m)												
mm	cm	1,6	1,8	2	2,2	2,4	2,6	2,8	3	3,2	3,4	3,6	3,8	4
0,65	5	2532	2000	1620	1339	1125	959	827	720	633	561	500	449	405
	6	2639	2085	1689	1396	1173	999	862	751	660	584	521	468	422
	8	2994	2366	1916	1584	1331	1134	978	852	749	663	591	531	479
	10	3466	2739	2218	1833	1540	1313	1132	986	866	768	685	614	555
	12	4023	3179	2575	2128	1788	1523	1314	1144	1006	891	795	713	644

Propiedades de la sección seleccionada:

Espesor de placa	LONGITUD MAXIMA SIN APUNTALAMIENTO: (m)					
	Tramo	Altura del hormigón sobre crestas de placa: (cm)				
mm		5	6	8	10	12
0,65	Simple	2,70	2,63	2,51	2,42	2,34
	Doble	3,35	3,27	3,12	3,01	2,91
	Triple	2,30	2,24	2,14	2,06	2,00

Espesor de placa	Altura de Losa		Volumen Hormigón	Cargas de peso propio (Kg/m ²)		
	Hormigón	Placa+Hormigón		Hormigón	Placa	Total
mm	cm	cm	m ³ /m ²	kg/m ²	kg/m ²	kg/m ²
0,65	5	11,50	0,08	183	6,23	189
	6	12,50	0,08	204	6,23	210
	8	14,50	0,10	245	6,23	251
	10	16,50	0,12	286	6,23	292
	12	18,50	0,14	328	6,23	334

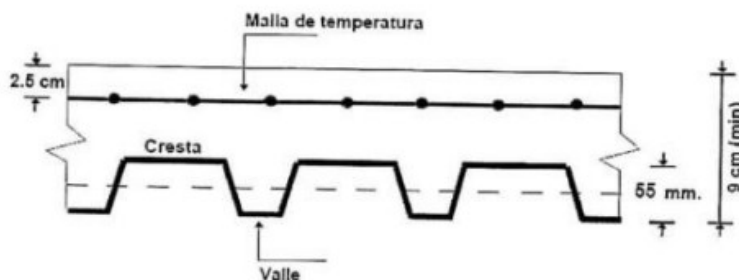


Figura 226: Corte típico de placa colaborante

El recubrimiento mínimo de la malla de temperatura será entre 2 y 2.5 cm

Determinación de Cargas Gravitacionales para la Losa

Se determina la carga muerta de la losa, que corresponde al peso propio de la placa colaborante y el peso del hormigón sobre ella

- Peso propio de la placa ($e=65mm$): $PP_{placa} := 6.23 \frac{kgf}{m^2}$
- Peso propio del Hormigón: $PP_{Hormig} := 245 \frac{kgf}{m^2}$

Peso Propio de Losa: $PP_{Losa} := PP_{placa} + PP_{Hormig} = 251.23 \frac{kgf}{m^2}$

Se calcula cada componente de sobrecarga permanente y carga permanente total para la Carga Muerta

- Enlucido y masillado: $EM := 1 \cdot 1 \cdot 0.02 m \cdot 1800 \frac{kgf}{m^3} = 36 \frac{kgf}{m^2}$
- Recubrimiento de Piso: $RP := 1 \cdot 1 \cdot 0.02 m \cdot 2200 \frac{kgf}{m^3} = 44 \frac{kgf}{m^2}$
(cerámica, porcelanato, etc.)
- Peso de Mampostería: $P_{Mampostería} := 250 \frac{kgf}{m^2}$

Carga Permanente $C_{Permanente} := EM + RP + P_{Mampostería} = 330 \frac{kgf}{m^2}$

Carga viva $CV := 200 \frac{kgf}{m^2}$

Entonces, finalmente se obtiene carga viva (según la NEC 2015) Y carga muerta:

Carga Muerta: $CM := C_{Permanente} + PP_{Losa} = 581.23 \frac{kgf}{m^2}$

Carga Viva: $CV = 200 \frac{kgf}{m^2}$

Carga Viva de Techo: $CV_{techo} := 120 \frac{kgf}{m^2}$

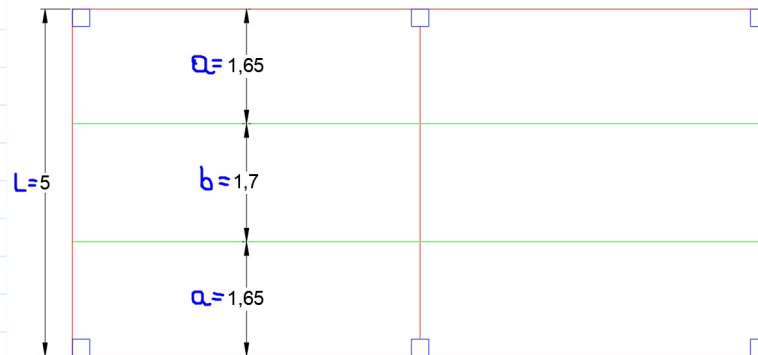
Como estamos diseñando bajo la filosofía de diseño LRFD, tenemos una carga distribuida por metro cuadrado impuesta sobre la losa de :

Combinación de carga LRFD: $U := 1.2 \cdot (CM) + 1.6 \cdot (CV) = 1017.48 \frac{kgf}{m^2}$

$$2.4 \frac{kN}{m^2} = 244.73 \frac{kgf}{m^2}$$

2. Pre-dimensionamiento de Vigas Secundarias

Para el predimensionamiento de las vigas secundarias se debe tomar en cuenta la disposición adoptada, ancho cooperante para una viga secundaria es 1.70 m

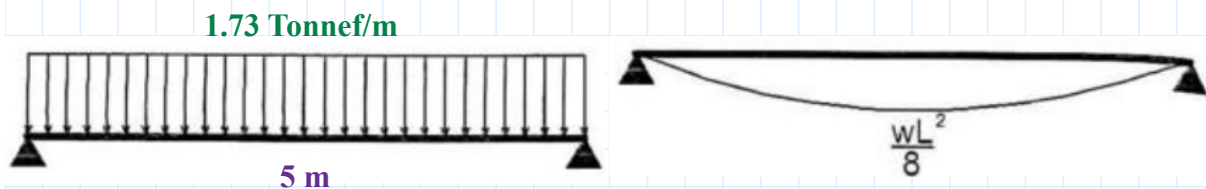


Las conexiones entre vigas secundarias y vigas principales se considerarán flexibles o simplemente apoyadas. Para el Predimensionamiento de las vigas secundarias se tomará una longitud de 5 m y un ancho colaborante de 1.70 m. Multiplicando por el ancho cooperante obtenemos la carga por longitud uniformemente distribuida:

$$W := U \cdot 1.70 \text{ m} = 1.73 \frac{\text{tonnef}}{\text{m}}$$

$$\text{Longitud Viga Secundaria: } L := 5 \text{ m}$$

Determinamos el momento positivo máximo para la viga secundaria y sus reacciones



$$\text{Momento máximo: } Mu := \frac{W \cdot L^2}{8} = 5.405 \text{ tonnef} \cdot \text{m}$$

$$\text{Reacción en Apoyos: } R := \frac{W \cdot L}{2} = 4.324 \text{ tonnef}$$

$$\text{Se usará una Acero A-36, con un } fy = 2534 \text{ kg/cm}^2 \quad fy := 2534 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2} \quad \phi := 0.9$$

$$\text{Modulo Plástico Requerido: } Zx_{req} := \frac{Mu}{\phi \cdot fy} = 237.014 \text{ cm}^3$$

$$Zx_{req} = 14.463 \text{ in}^3$$

Seleccionamos un modulo plástico comercial con las tablas del manual AISC

Table 1-1 (continued)
W-Shapes
Properties



Nom- inal Wt.	Compact Section Criteria		Axis X-X				Axis Y-Y				r_x	r_y	Torsional Properties	
	b_f 2t _f	h t _w	I in. ⁴	S in. ³	r in.	Z in. ³	I in. ⁴	S in. ³	r in.	Z in. ³			J in. ⁴	C_w in. ⁶
lb/ft	2t _f	t _w	in. ⁴	in. ³	in.	in. ³	in. ⁴	in. ³	in.	in. ³	in.	in.	in. ⁴	in. ⁶
58	7.82	27.0	475	78.0	5.28	86.4	107	21.4	2.51	32.5	2.81	11.6	2.10	3570
53	8.69	28.1	425	70.6	5.23	77.9	95.8	19.2	2.48	29.1	2.79	11.5	1.58	3160
50	6.31	26.8	391	64.2	5.18	71.9	56.3	13.9	1.96	21.3	2.25	11.6	1.71	1880
45	7.00	29.6	348	57.7	5.15	64.2	50.0	12.4	1.95	19.0	2.23	11.5	1.26	1650
40	7.77	33.6	307	51.5	5.13	57.0	44.1	11.0	1.94	16.8	2.21	11.4	0.906	1440
35	6.31	36.2	285	45.6	5.25	51.2	24.5	7.47	1.54	11.5	1.79	12.0	0.741	879
30	7.41	41.8	238	38.6	5.21	43.1	20.3	6.24	1.52	9.56	1.77	11.9	0.457	720
26	8.54	47.2	204	33.4	5.17	37.2	17.3	5.34	1.51	8.17	1.75	11.8	0.300	607
22	4.74	41.8	156	25.4	4.91	29.3	4.66	2.31	0.848	3.66	1.04	11.9	0.293	164
19	5.72	46.2	130	21.3	4.82	24.7	3.76	1.88	0.822	2.98	1.02	11.9	0.180	131
16	7.53	49.4	103	17.1	4.67	20.1	2.82	1.41	0.773	2.26	0.983	11.7	0.103	96.9
14	8.82	54.3	88.6	14.9	4.62	17.4	2.36	1.19	0.753	1.90	0.961	11.7	0.0704	80.4
112	4.17	10.4	716	126	4.66	147	236	45.3	2.68	69.2	3.08	10.2	15.1	6020
100	4.62	11.6	623	112	4.60	130	207	40.0	2.65	61.0	3.04	10.0	10.9	5150
88	5.18	13.0	534	98.5	4.54	113	179	34.8	2.63	53.1	2.99	9.81	7.53	4330
77	5.86	14.8	455	85.9	4.49	97.6	154	30.1	2.60	45.9	2.95	9.73	5.11	3630
68	6.58	16.7	394	75.7	4.44	85.3	134	26.4	2.59	40.1	2.92	9.63	3.56	3100
60	7.41	18.7	341	66.7	4.39	74.6	116	23.0	2.57	35.0	2.88	9.52	2.48	2640
54	8.15	21.2	303	60.0	4.37	66.6	103	20.6	2.56	31.3	2.85	9.49	1.82	2320
49	8.93	23.1	272	54.6	4.35	60.4	93.4	18.7	2.54	28.3	2.84	9.44	1.39	2070
45	6.47	22.5	248	49.1	4.32	54.9	83.4	13.3	2.01	20.3	2.27	9.48	1.51	1200
39	7.53	25.0	209	42.1	4.27	46.8	45.0	11.3	1.98	17.2	2.24	9.39	0.976	992
33	9.15	27.1	171	35.0	4.19	38.8	36.6	9.20	1.94	14.0	2.20	9.30	0.583	791
30	5.70	29.5	170	32.4	4.38	36.6	16.7	5.75	1.37	8.84	1.60	10.0	0.622	414
26	6.56	34.0	144	27.9	4.35	31.3	14.1	4.89	1.36	7.50	1.58	9.86	0.402	345
22	7.99	36.9	118	23.2	4.27	26.0	11.4	3.97	1.33	6.10	1.55	9.84	0.239	275
19	5.09	35.4	96.3	18.8	4.14	21.6	4.29	2.14	0.874	3.35	1.06	9.81	0.233	104
17	6.08	36.9	81.9	16.2	4.05	18.7	3.56	1.78	0.845	2.80	1.04	9.77	0.156	85.1
15	7.41	38.5	68.9	13.8	3.95	16.0	2.89	1.45	0.810	2.30	1.01	9.72	0.104	68.3
12	9.43	46.6	53.8	10.9	3.90	12.6	2.18	1.10	0.785	1.74	0.983	9.66	0.0547	50.9

Seleccionamos la sección W10x12

Table 1-1 (continued)
W-Shapes
Dimensions

Shape	Area, A	Depth, d	Web		Flange		Distance								
			Thickness, t _w	t _w / 2	Width, b _f	Thickness, t _f	k		k ₁	T	Work- able Gage				
							k _{des}	k _{det}							
	in. ²	in.	in.	in.	in.	in.	in.	in.	in.	in.	in.	in.			
W12x58	17.0	12.2	12 1/4	0.360	3/8	3/16	10.0	10	0.640	5/8	1.24	1 1/2	15/16	9 1/4	5 1/2
x53	15.6	12.1	12	0.345	3/8	3/16	10.0	10	0.575	9/16	1.18	1 3/8	15/16	9 1/4	5 1/2
W12x50	14.6	12.2	12 1/4	0.370	3/8	3/16	8.08	8 1/8	0.640	5/8	1.14	1 1/2	15/16	9 1/4	5 1/2
x45	13.1	12.1	12	0.335	5/16	3/16	8.05	8	0.575	9/16	1.08	1 3/8	15/16	9 1/4	5 1/2
x40	11.7	11.9	12	0.295	5/16	3/16	8.01	8	0.515	1/2	1.02	1 3/8	7/8	9 1/4	5 1/2
W12x35 ^c	10.3	12.5	12 1/2	0.300	5/16	3/16	6.56	6 1/2	0.520	1/2	0.820	1 3/8	3/4	10 3/8	3 1/2
x30 ^c	8.79	12.3	12 3/8	0.260	1/4	1/8	6.52	6 1/2	0.440	7/16	0.740	1 1/8	3/4	10 3/8	3 1/2
x26 ^c	7.65	12.2	12 1/4	0.230	1/4	1/8	6.49	6 1/2	0.380	3/8	0.680	1 1/8	3/4	10 3/8	3 1/2
W12x22 ^c	6.48	12.3	12 1/4	0.260	1/4	1/8	4.03	4	0.425	7/16	0.725	1 5/16	3/8	10 3/8	2 1/4
x19 ^c	5.57	12.2	12 3/8	0.235	1/4	1/8	4.01	4	0.350	3/8	0.650	7/8	3/16	10 3/8	2 1/4
x16 ^c	4.71	12.0	12	0.220	1/4	1/8	3.99	4	0.265	1/4	0.565	1 3/16	3/16	10 3/8	2 1/4
x14 ^{c,v}	4.16	11.9	11 7/8	0.200	3/16	1/8	3.97	4	0.225	1/4	0.525	3/4	3/16	10 3/8	2 1/4
W10x112	32.9	11.4	11 3/8	0.755	3/4	3/8	10.4	10 3/8	1.25	1 1/4	1.75	1 13/16	1	7 1/2	5 1/2
x100	29.3	11.1	11 1/8	0.680	11/16	3/8	10.3	10 3/8	1.12	1 1/8	1.62	1 13/16	1	7 1/2	5 1/2
x88	26.0	10.8	10 7/8	0.605	5/8	3/16	10.3	10 1/4	0.990	1	1.49	1 11/16	15/16	7 1/2	5 1/2
x77	22.7	10.6	10 5/8	0.530	1/2	1/4	10.2	10 1/4	0.870	7/8	1.37	1 9/16	7/8	7 1/2	5 1/2
x68	19.9	10.4	10 3/8	0.470	1/2	1/4	10.1	10 1/8	0.770	3/4	1.27	1 7/16	7/8	7 1/2	5 1/2
x60	17.7	10.2	10 1/4	0.420	7/16	1/4	10.1	10 1/8	0.680	11/16	1.18	1 3/8	13/16	7 1/2	5 1/2
x54	15.8	10.1	10 1/8	0.370	3/8	3/16	10.0	10	0.615	5/8	1.12	1 5/16	13/16	7 1/2	5 1/2
x49	14.4	10.0	10	0.340	3/16	3/16	10.0	10	0.560	9/16	1.06	1 1/4	13/16	7 1/2	5 1/2
W10x45	13.3	10.1	10 1/8	0.350	3/8	3/16	8.02	8	0.620	5/8	1.12	1 5/16	13/16	7 1/2	5 1/2
x39	11.5	9.92	9 7/8	0.315	5/16	3/16	7.99	8	0.530	1/2	1.03	1 3/16	13/16	7 1/2	5 1/2

×33	9.71	9.73	9 3/4	0.290	5/16	3/16	7.96	8	0.435	7/16	0.935	1 1/8	3/4	↓	↓
W10×30	8.84	10.5	10 1/2	0.300	5/16	3/16	5.81	5 3/4	0.510	1/2	0.810	1 1/8	1 1/16	8 1/4	2 3/4 ⁹
×26	7.61	10.3	10 3/8	0.260	1/4	1/8	5.77	5 3/4	0.440	7/16	0.740	1 1/16	1 1/16	↓	↓
×22 ^c	6.49	10.2	10 1/8	0.240	1/4	1/8	5.75	5 3/4	0.360	3/8	0.660	1 3/16	5/8	↓	↓
W10×19	5.62	10.2	10 1/4	0.250	1/4	1/8	4.02	4	0.395	3/8	0.695	1 5/16	3/8	8 3/8	2 1/4 ⁹
×17 ^c	4.99	10.1	10 1/8	0.240	1/4	1/8	4.01	4	0.330	5/16	0.630	7/8	3/16	↓	↓
×15 ^c	4.41	9.99	10	0.230	1/4	1/8	4.00	4	0.270	1/4	0.570	1 3/16	3/16	↓	↓
×12 ^c	3.54	9.87	9 7/8	0.190	3/16	1/8	3.96	4	0.210	3/16	0.510	3/4	3/16	↓	↓

Pero, debemos encontrar un perfil comercial con esas propiedades para el País en el que se construirá el edificio, en este caso en la ciudad de Guayaquil, Ecuador. Con la empresa fabricante de perfiles IPAC, ubicada en Vía Daule, (Guayaquil) buscamos en su catálogo el perfil de viga I secundaria necesario para cumplir con el modulo plástico de la sección:

Largo normal:
6 metros / 12 metros
Recubrimiento:
Negro
Calidad de Acero:
ASTM A 36 / ASTM A 572 Gr 50
Norma de Fabricación:
INEN 2230 / INEN 2215 / EN 10024
Observaciones:
Otras dimensiones y largos previa consulta.

➤ Aplicaciones

- Estructuras.
- Soporte de polipasto en puentes grúas o techos.
- Puentes.
- Rieles.

Designación	Dimensiones							Área	Peso	Propiedades Elásticas						Módulo Plástico		Cons Tors
	Altura		Ala		Distancias					Eje y-y			Eje x-x			Zx	Zy	
	h	s	b	t	r1	r2	d			Ix	Sx	rx	Iy	Sy	ry			
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm			cm ²	kg/mt	cm ⁴	cm ³	cm	cm ⁴			
IPE 200	200,00	5,60	100,00	8,50	12,00	183,00	159,00	28,50	22,40	1943,00	194,00	8,26	142,00	28,50	2,24	221,00	44,60	6,98
IPE 220	220,00	5,90	110,00	9,20	12,00	201,60	177,60	33,40	26,20	2772,00	252,00	9,11	205,00	37,30	2,48	285,00	58,10	9,07
IPE 240	240,00	6,20	120,00	9,80	15,00	220,40	190,40	39,10	30,70	3892,00	324,00	9,97	284,00	47,30	2,69	367,00	73,90	12,90
IPE 270	270,00	6,60	135,00	10,20	15,00	249,60	219,60	45,90	36,10	5790,00	429,00	11,20	420,00	62,20	3,02	484,00	97,00	15,90

Seleccionamos una sección IPE 220



$Area := 33.40 \text{ cm}^2$
 $h := 220 \text{ mm}$
 $b := 110 \text{ mm}$
 $t_f := 9.20 \text{ mm}$
 $tw := 5.90 \text{ mm}$

$I_x := 2772 \text{ cm}^4$
 $S_x := 252 \text{ cm}^3$
 $rx := 9.11 \text{ cm}$
 $Z_x := 285 \text{ cm}^3$

Entonces:

$$Z_{x_{req}} = 14.463 \text{ in}^3$$

$$Z_{x_{req}} = 237.014 \text{ cm}^3$$

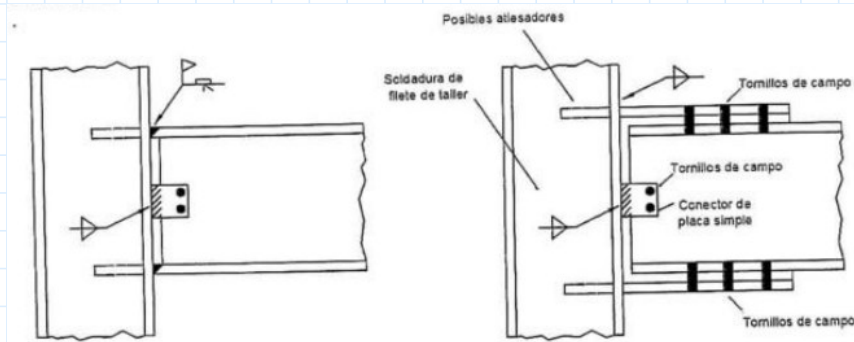
$$285 \text{ cm}^3 > 237.014 \text{ cm}^3$$

∴ Cumple

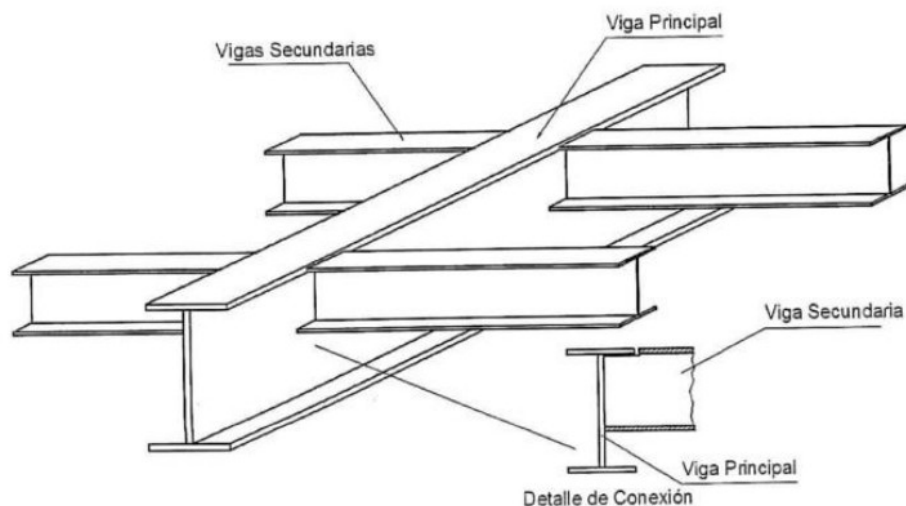
3. Pre-dimensionamiento de Vigas Principales

La viga principal recibe la reacción de la viga secundaria y la transmite a la columna. Las vigas principales se pueden conectar a las columnas mediante diferentes tipos de conexiones, y obviamente las fuerzas dependerán de las condiciones de apoyo. En el caso de Ecuador, las edificaciones deben diseñarse de manera que sus componentes puedan soportar fuerzas gravitacionales y sísmicas. Las fuerzas ejercidas por las acciones sísmicas serán absorbidas por la continuidad de los elementos estructurales (pórticos resistentes a momento) y estas fuerzas se transfieren de un elemento a otro a través de sus respectivas conexiones.

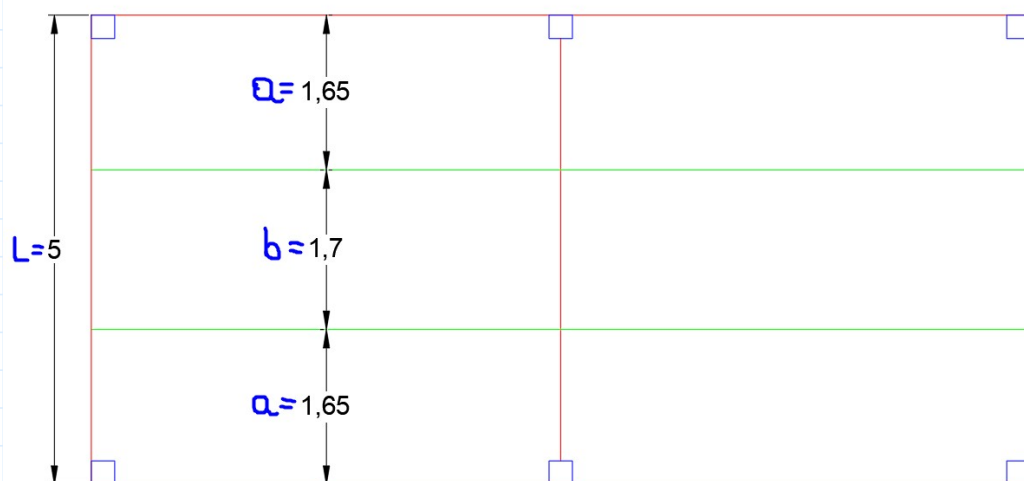
La figura 7 muestra dos conexiones de elementos de acero que son capaces de transmitir momentos flectores de manera significativa. Estos tipos de conexiones se denominan "Conexiones resistentes a momento" y pueden tener diferentes valores de rigidez.

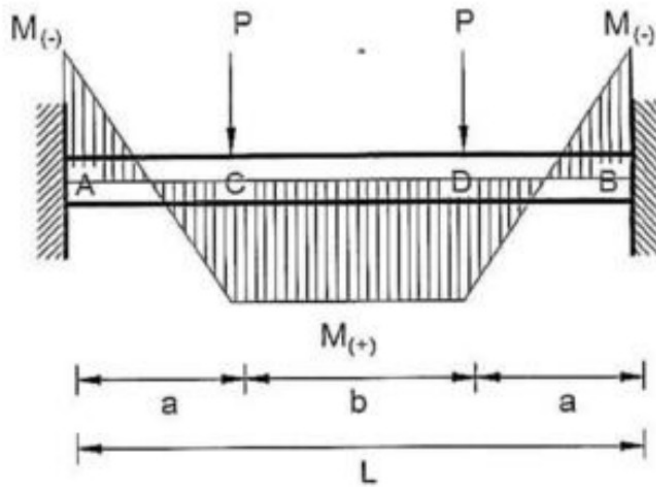


En nuestro modelo, supondremos la conexión de las vigas principal a las columnas como conexiones rígidas. Las vigas secundarias están simplemente apoyadas (conexión flexible) sobre la viga principal, por lo que solamente transmiten a esta una carga puntual, cuyo valor corresponde al valor de la reacción R_1 ; que se calculó previamente.



Trabajamos con las cargas transmitidas por los apoyos de las vigas secundarias.





$$P := R = 4.324 \text{ tonnef}$$

$$L2 := 5 \text{ m}$$

$$Pa := P$$

$$a := 1.65 \text{ m}$$

$$b := 1.7 \text{ m}$$

$$Ma := \frac{-P \cdot a}{L2} (L - a) = -4.78 \text{ tonnef} \cdot \text{m}$$

$$Mcd := \frac{P \cdot a^2}{L2} = 2.355 \text{ tonnef} \cdot \text{m}$$

Momento máximo en apoyos articulados usados en el predimensionamiento

$$MmaxV := P \cdot a = 7.135 \text{ tonnef} \cdot \text{m}$$

Buscamos la sección del prediseño plástico buscando el Z_x requerido.

$$fy := 36 \text{ ksi}$$

$$Mu := MmaxV$$

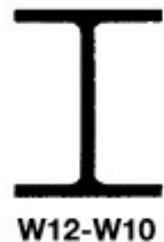
$$\phi_b := 0.9$$

$$Zx := \frac{Mu}{\phi_b \cdot fy} = 19.114 \text{ in}^3$$

Por lo cual buscamos en el manual de la AISC una sección I con estas propiedades.

Escogemos la sección **W10X15**

Table 1-1 (continued)
W-Shapes
Properties



Nom- inal Wt.	Compact Section Criteria		Axis X-X				Axis Y-Y				r_{ts}	h_o	Torsional Properties	
			I	S	r	Z	I	S	r	Z			J	C_w
lb/ft	$\frac{b_f}{2t_f}$	$\frac{h}{t_w}$	in. ⁴	in. ³	in.	in. ³	in. ⁴	in. ³	in.	in. ³	in.	in.	in. ⁴	in. ⁶
58	7.82	27.0	475	78.0	5.28	86.4	107	21.4	2.51	32.5	2.81	11.6	2.10	3570
53	8.69	28.1	425	70.6	5.23	77.9	95.8	19.2	2.48	29.1	2.79	11.5	1.58	3160

50	6.31	26.8	391	64.2	5.18	71.9	56.3	13.9	1.96	21.3	2.25	11.6	1.71	1880
45	7.00	29.6	348	57.7	5.15	64.2	50.0	12.4	1.95	19.0	2.23	11.5	1.26	1650
40	7.77	33.6	307	51.5	5.13	57.0	44.1	11.0	1.94	16.8	2.21	11.4	0.906	1440
35	6.31	36.2	285	45.6	5.25	51.2	24.5	7.47	1.54	11.5	1.79	12.0	0.741	879
30	7.41	41.8	238	38.6	5.21	43.1	20.3	6.24	1.52	9.56	1.77	11.9	0.457	720
26	8.54	47.2	204	33.4	5.17	37.2	17.3	5.34	1.51	8.17	1.75	11.8	0.300	607
22	4.74	41.8	156	25.4	4.91	29.3	4.66	2.31	0.848	3.66	1.04	11.9	0.293	164
19	5.72	46.2	130	21.3	4.82	24.7	3.76	1.88	0.822	2.98	1.02	11.9	0.180	131
16	7.53	49.4	103	17.1	4.67	20.1	2.82	1.41	0.773	2.26	0.983	11.7	0.103	96.9
14	8.82	54.3	88.6	14.9	4.62	17.4	2.36	1.19	0.753	1.90	0.961	11.7	0.0704	80.4
112	4.17	10.4	716	126	4.66	147	236	45.3	2.68	69.2	3.08	10.2	15.1	6020
100	4.62	11.6	623	112	4.60	130	207	40.0	2.65	61.0	3.04	10.0	10.9	5150
88	5.18	13.0	534	98.5	4.54	113	179	34.8	2.63	53.1	2.99	9.81	7.53	4330
77	5.86	14.8	455	85.9	4.49	97.6	154	30.1	2.60	45.9	2.95	9.73	5.11	3630
68	6.58	16.7	394	75.7	4.44	85.3	134	26.4	2.59	40.1	2.92	9.63	3.56	3100
60	7.41	18.7	341	66.7	4.39	74.6	116	23.0	2.57	35.0	2.88	9.52	2.48	2640
54	8.15	21.2	303	60.0	4.37	66.6	103	20.6	2.56	31.3	2.85	9.49	1.82	2320
49	8.93	23.1	272	54.6	4.35	60.4	93.4	18.7	2.54	28.3	2.84	9.44	1.39	2070
45	6.47	22.5	248	49.1	4.32	54.9	53.4	13.3	2.01	20.3	2.27	9.48	1.51	1200
39	7.53	25.0	209	42.1	4.27	46.8	45.0	11.3	1.98	17.2	2.24	9.39	0.976	992
33	9.15	27.1	171	35.0	4.19	38.8	36.6	9.20	1.94	14.0	2.20	9.30	0.583	791
30	5.70	29.5	170	32.4	4.38	36.6	16.7	5.75	1.37	8.84	1.60	10.0	0.622	414
26	6.56	34.0	144	27.9	4.35	31.3	14.1	4.89	1.36	7.50	1.58	9.86	0.402	345
22	7.99	36.9	118	23.2	4.27	26.0	11.4	3.97	1.33	6.10	1.55	9.84	0.239	275
19	5.09	35.4	96.3	18.8	4.14	21.6	4.29	2.14	0.874	3.35	1.06	9.81	0.233	104
17	6.08	36.9	81.9	16.2	4.05	18.7	3.56	1.78	0.845	2.80	1.04	9.77	0.156	85.1
15	7.41	38.5	68.9	13.8	3.95	16.0	2.89	1.45	0.810	2.30	1.01	9.72	0.104	68.3
12	9.43	46.6	53.8	10.9	3.90	12.6	2.18	1.10	0.785	1.74	0.983	9.66	0.0547	50.9

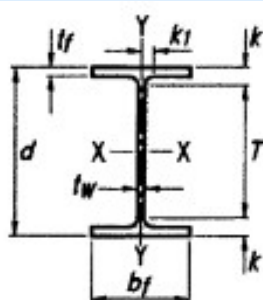


Table 1-1 (continued)
W-Shapes
Dimensions

Shape	Area, <i>A</i>	Depth, <i>d</i>		Web			Flange				Distance						
				Thickness, <i>t_w</i>			<i>t_w</i> 2		Width, <i>b_f</i>		Thickness, <i>t_f</i>		<i>k</i>		<i>k₁</i>	<i>T</i>	Work- able Gage
													<i>k_{des}</i>	<i>k_{def}</i>			
	in. ²	in.	in.	in.	in.	in.	in.	in.	in.	in.	in.	in.	in.				
W12×58	17.0	12.2	12 1/4	0.360	3/8	3/16	10.0	10	0.640	5/8	1.24	1 1/2	15/16	9 1/4	5 1/2		
×53	15.6	12.1	12	0.345	3/8	3/16	10.0	10	0.575	9/16	1.18	1 3/8	15/16	9 1/4	5 1/2		
W12×50	14.6	12.2	12 1/4	0.370	3/8	3/16	8.08	8 1/8	0.640	5/8	1.14	1 1/2	15/16	9 1/4	5 1/2		
×45	13.1	12.1	12	0.335	5/16	3/16	8.05	8	0.575	9/16	1.08	1 3/8	15/16	↓	↓		
×40	11.7	11.9	12	0.295	5/16	3/16	8.01	8	0.515	1/2	1.02	1 3/8	7/8	↓	↓		

W12x35 ^c	10.3	12.5	12 1/2	0.300	5/16	3/16	6.56	6 1/2	0.520	1/2	0.820	13/16	3/4	10 1/8	3 1/2
x30 ^c	8.79	12.3	12 3/8	0.260	1/4	1/8	6.52	6 1/2	0.440	7/16	0.740	1 1/8	3/4	↓	↓
x26 ^c	7.65	12.2	12 1/4	0.230	1/4	1/8	6.49	6 1/2	0.380	3/8	0.680	1 1/16	3/4	↓	↓
W12x22 ^c	6.48	12.3	12 1/4	0.260	1/4	1/8	4.03	4	0.425	7/16	0.725	15/16	5/8	10 3/8	2 1/4 ^g
x19 ^c	5.57	12.2	12 1/8	0.235	1/4	1/8	4.01	4	0.350	3/8	0.650	7/8	9/16	↓	↓
x16 ^c	4.71	12.0	12	0.220	1/4	1/8	3.99	4	0.265	1/4	0.565	13/16	9/16	↓	↓
x14 ^{c,v}	4.16	11.9	11 7/8	0.200	3/16	1/8	3.97	4	0.225	1/4	0.525	3/4	9/16	↓	↓
W10x112	32.9	11.4	11 3/8	0.755	3/4	3/8	10.4	10 3/8	1.25	1 1/4	1.75	1 15/16	1	7 1/2	5 1/2
x100	29.3	11.1	11 1/8	0.680	11/16	3/8	10.3	10 3/8	1.12	1 1/8	1.62	1 13/16	1	↓	↓
x88	26.0	10.8	10 7/8	0.605	5/8	5/16	10.3	10 1/4	0.990	1	1.49	1 11/16	15/16	↓	↓
x77	22.7	10.6	10 5/8	0.530	1/2	1/4	10.2	10 1/4	0.870	7/8	1.37	1 9/16	7/8	↓	↓
x68	19.9	10.4	10 3/8	0.470	1/2	1/4	10.1	10 1/8	0.770	3/4	1.27	1 7/16	7/8	↓	↓
x60	17.7	10.2	10 1/4	0.420	7/16	1/4	10.1	10 1/8	0.680	11/16	1.18	1 3/8	13/16	↓	↓
x54	15.8	10.1	10 1/8	0.370	3/8	3/16	10.0	10	0.615	5/8	1.12	1 5/16	13/16	↓	↓
x49	14.4	10.0	10	0.340	5/16	3/16	10.0	10	0.560	9/16	1.06	1 1/4	13/16	↓	↓
W10x45	13.3	10.1	10 1/8	0.350	3/8	3/16	8.02	8	0.620	5/8	1.12	1 5/16	13/16	7 1/2	5 1/2
x39	11.5	9.92	9 7/8	0.315	5/16	3/16	7.99	8	0.530	1/2	1.03	1 3/16	13/16	↓	↓
x33	9.71	9.73	9 3/4	0.290	5/16	3/16	7.96	8	0.435	7/16	0.935	1 1/8	3/4	↓	↓
W10x30	8.84	10.5	10 1/2	0.300	5/16	3/16	5.81	5 3/4	0.510	1/2	0.810	1 1/8	1 1/16	8 1/4	2 3/4 ^g
x26	7.61	10.3	10 3/8	0.260	1/4	1/8	5.77	5 3/4	0.440	7/16	0.740	1 1/16	1 1/16	↓	↓
x22 ^c	6.49	10.2	10 1/8	0.240	1/4	1/8	5.75	5 3/4	0.360	3/8	0.660	15/16	5/8	↓	↓
W10x19	5.62	10.2	10 1/4	0.250	1/4	1/8	4.02	4	0.395	3/8	0.695	15/16	5/8	8 3/8	2 1/4 ^g
x17 ^c	4.99	10.1	10 1/8	0.240	1/4	1/8	4.01	4	0.330	5/16	0.630	7/8	9/16	↓	↓
x15 ^c	4.41	9.99	10	0.230	1/4	1/8	4.00	4	0.270	1/4	0.570	13/16	9/16	↓	↓



W10X15

$$A := 4.41 \text{ in}^2$$

$$Z_{xd} := 16 \text{ in}^3$$

$$h_s := 9.99 \text{ in}$$

$$t_{fs} := 0.25 \text{ in}$$

$$t_{ws} := 0.25 \text{ in}$$

Buscamos un perfil comercial para Guayaquil-Ecuador con esas propiedades y dimensiones en el catálogo IPAC, para cumplir con el módulo plástico de la sección de una viga principal:

$$Z_x = 19.114 \text{ in}^3$$

$$Z_x = 313.223 \text{ cm}^3$$

Largo normal:
 6 metros / 12 metros
 Recubrimiento:
 Negro
 Calidad de Acero:
 ASTM A 36 / ASTM A 572 Gr 50
 Norma de Fabricación:
 INEN 2230 / INEN 2215 / EN 10024
 Observaciones:
 Otras dimensiones y largos previa
 consulta.

➤ Aplicaciones

- Estructuras.
- Soporte de polipasto en puentes grúas o techos.
- Puentes.
- Rieles.

Designación	Dimensiones							Área	Peso	Propiedades Elásticas						Módulo Plástico		Cons Tors
	Altura		Ala		Distancias					Eje y-y			Eje x-x			Zx	Zy	
	h	s	b	t	r1	r2	d			Ix	Sx	rx	Iy	Sy	ry			
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm			cm ⁴	cm ³	cm	cm ⁴	cm ³	cm	cm ³	cm ³	
IPE 200	200,00	5,60	100,00	8,50	12,00	183,00	159,00	28,50	22,40	1943,00	194,00	8,26	142,00	28,50	2,24	221,00	44,60	6,98
IPE 220	220,00	5,90	110,00	9,20	12,00	201,60	177,60	33,40	26,20	2772,00	252,00	9,11	205,00	37,30	2,48	285,00	58,10	9,07
IPE 240	240,00	6,20	120,00	9,80	15,00	220,40	190,40	39,10	30,70	3892,00	324,00	9,97	284,00	47,30	2,69	367,00	73,90	12,90
IPE 270	270,00	6,60	135,00	10,20	15,00	249,60	219,60	45,90	36,10	5790,00	429,00	11,20	420,00	62,20	3,02	484,00	97,00	15,90

Escogemos una sección IPE 240



$$\begin{aligned} A_{IPE240} &:= 39.10 \text{ cm}^2 & I_X &:= 3892 \text{ cm}^4 \\ h &:= 240 \text{ mm} & S_X &:= 324 \text{ cm}^3 \\ b_w &:= 120 \text{ mm} & r_X &:= 9.97 \text{ cm} \\ t_f &:= 9.80 \text{ mm} & Z_X &:= 367 \text{ cm}^3 \\ t_w &:= 6.20 \text{ mm} \end{aligned}$$

Entonces:

$$Z_x = 19.114 \text{ in}^3$$

$$Z_x = 313.223 \text{ cm}^3$$

$$367 \text{ cm}^3 > 323.387 \text{ cm}^3$$

∴ Cumple

3. Predimensionamiento de Columnas

El predimensionamiento de columnas es un proceso iterativo, un procedimiento de prueba y error que puede resultar incluso tedioso. Los autores han considerado pertinente presentar el procedimiento descrito en el código LRFD, para la rápida selección de secciones de prueba. Para ello se utilizará el "Método de Carga Concéntrica Equivalente" o de la "Carga Efectiva", en el cual la carga axial y los momentos flectores son remplazados por una carga axial ficticia, "P_{Ueq}" equivalente a la carga axial real de diseño más el momento de diseño. La carga equivalente deberá tener una magnitud que produzca un esfuerzo igual al máximo esfuerzo producido por la carga axial y los momentos flectores. En el caso de columnas que soportan cargas concéntricas y trabajan netamente a compresión el proceso para el predimensionamiento es sencillo.

$$\text{Peso de Vigas} + \text{Columnas} = 35 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \cdot \#Pisos$$

Se asume un peso de 35 kg/m² para sistema formados pórticos.

$$CM = 581.23 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

$$Peso_{viga_colum} := 35 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2} \cdot \#Pisos = 70 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

$$CV = 200 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

$$\#Pisos := 2$$

Con fines de prediseño despreciaremos el peso propio de la viga secundaria, y trabajaremos con la siguiente combinación de carga LRFD:

$$CUP := 1.2 \cdot (CM + Peso_{viga_colum}) + 1.6 CV$$

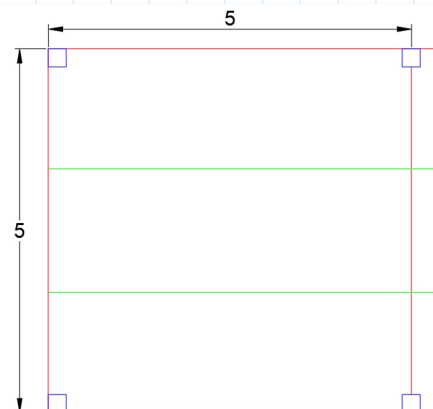
$$CUP = 1101.476 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2}$$

$$A_{colaborante} := 5 \text{ m} \cdot 5 \text{ m} = 25 \text{ m}^2$$

Debido a que la geometría en planta de la estructura es simétrica, se puede pre-dimensionar cualquier columna céntrica ya que tienen las mismas áreas cooperantes. Por lo tanto la carga axial que soporta la columna del primer piso será:

$$P_{Ueq} := CUP \cdot A_{colaborante} \cdot \#Pisos$$

$$P_{Ueq} = 55.074 \text{ tonnef}$$



La relación de esbeltez de una columna de 3.00 m a 4.57 m estará entre 40 y 60, para predimensionamiento se puede tomar:

$$\text{Esbeltez } e := 50$$

Con esta información chequeamos las tablas del Código LRFD, correspondientes a Esfuerzos Críticos Admisibles para elementos que trabajan solo a compresión.

Table 4-22 (continued) Available Critical Stress for Compression Members														
$F_y = 35 \text{ ksi}$			$F_y = 36 \text{ ksi}$			$F_y = 42 \text{ ksi}$			$F_y = 46 \text{ ksi}$			$F_y = 50 \text{ ksi}$		
$\frac{KL}{r}$	F_{cr}/Ω_c	$\phi_c F_{cr}$	$\frac{KL}{r}$	F_{cr}/Ω_c	$\phi_c F_{cr}$	$\frac{KL}{r}$	F_{cr}/Ω_c	$\phi_c F_{cr}$	$\frac{KL}{r}$	F_{cr}/Ω_c	$\phi_c F_{cr}$	$\frac{KL}{r}$	F_{cr}/Ω_c	$\phi_c F_{cr}$
	ksi	ksi		ksi	ksi		ksi	ksi		ksi	ksi		ksi	ksi
	ASD	LRFD		ASD	LRFD		ASD	LRFD		ASD	LRFD		ASD	LRFD
41	19.2	28.9	41	19.7	29.7	41	22.7	34.1	41	24.6	37.0	41	26.5	39.8
42	19.2	28.8	42	19.6	29.5	42	22.6	33.9	42	24.5	36.8	42	26.3	39.5
43	19.1	28.7	43	19.6	29.4	43	22.5	33.7	43	24.3	36.6	43	26.2	39.3
44	19.0	28.5	44	19.5	29.3	44	22.3	33.6	44	24.2	36.3	44	26.0	39.1
45	18.9	28.4	45	19.4	29.1	45	22.2	33.4	45	24.0	36.1	45	25.8	38.8
46	18.8	28.3	46	19.3	29.0	46	22.1	33.2	46	23.9	35.9	46	25.6	38.5
47	18.7	28.1	47	19.2	28.9	47	22.0	33.0	47	23.8	35.7	47	25.5	38.3
48	18.6	28.0	48	19.1	28.7	48	21.8	32.8	48	23.6	35.4	48	25.3	38.0
49	18.5	27.9	49	19.0	28.5	49	21.7	32.6	49	23.4	35.2	49	25.1	37.7
50	18.4	27.7	50	18.9	28.4	50	21.6	32.4	50	23.3	35.0	50	24.9	37.5
51	18.3	27.6	51	18.8	28.3	51	21.4	32.2	51	23.1	34.8	51	24.8	37.2
52	18.3	27.4	52	18.7	28.1	52	21.3	32.0	52	23.0	34.5	52	24.6	36.9
53	18.2	27.3	53	18.6	28.0	53	21.2	31.8	53	22.8	34.3	53	24.4	36.7
54	18.1	27.1	54	18.5	27.8	54	21.0	31.6	54	22.6	34.0	54	24.2	36.4
55	18.0	27.0	55	18.4	27.6	55	20.9	31.4	55	22.5	33.8	55	24.0	36.1
56	17.9	26.8	56	18.3	27.5	56	20.7	31.2	56	22.3	33.5	56	23.8	35.8
57	17.7	26.7	57	18.2	27.3	57	20.6	31.0	57	22.1	33.3	57	23.6	35.5
58	17.6	26.5	58	18.1	27.1	58	20.5	30.7	58	22.0	33.0	58	23.4	35.2
59	17.5	26.4	59	17.9	27.0	59	20.3	30.5	59	21.8	32.8	59	23.2	34.9
60	17.4	26.2	60	17.8	26.8	60	20.2	30.3	60	21.6	32.5	60	23.0	34.6

Tabla 24. Tabla de esfuerzos críticos admisibles para elementos a compresión

Para un elemento de acero A-36, con una relación de esbeltez $Kl/r=50$, el esfuerzo crítico que corresponde es 28.4 ksi (aprox 2000 kg/cm²), como puede observarse en la tabla 24 (Table 4-22). De los conceptos básicos de la resistencia de materiales tenemos la siguiente expresión:

$$A_{req} = \frac{P}{\sigma}$$

$$\sigma := 2000 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

En donde:

A : Área requerida

P: Carga axial última

a: Esfuerzo admisible de compresión.

$$PU_{eq} = 55.074 \text{ tonnef}$$

$$A_{req} := \frac{PU_{eq}}{\sigma}$$

$$A_{req} = 4.268 \text{ in}^2$$

En las tablas de propiedades de las secciones podemos buscar una sección cuya área sea similar a la calculada, o en su defecto el usuario deberá definir una sección que satisfaga dicho requerimiento.

Buscamos un perfil que cumpla con el Areq:

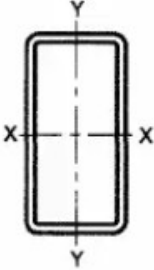
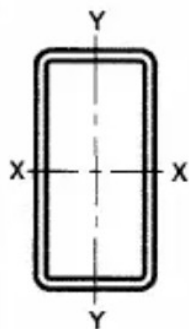


Table 1-11 (continued)
Rectangular HSS
Dimensions and Properties

Shape	Design Wall Thickness, <i>t</i>	Nominal Wt.	Area, <i>A</i>	<i>b/t</i>	<i>h/t</i>	Axis X-X			
						<i>I</i>	<i>S</i>	<i>r</i>	<i>Z</i>
						in. ⁴	in. ³	in.	in. ³
HSS12×4× ⁵ / ₈	0.581	59.11	16.4	3.88	17.7	245	40.8	3.87	55.5
× ¹ / ₂	0.465	48.72	13.5	5.60	22.8	210	34.9	3.95	46.7
× ³ / ₈	0.349	37.61	10.4	8.46	31.4	168	28.0	4.02	36.7
× ⁵ / ₁₆	0.291	31.84	8.76	10.7	38.2	144	24.1	4.06	31.3
× ¹ / ₄	0.233	25.79	7.10	14.2	48.5	119	19.9	4.10	25.6
× ³ / ₁₆	0.174	19.66	5.37	20.0	66.0	91.8	15.3	4.13	19.6
HSS12×3 ¹ / ₂ × ³ / ₈	0.349	36.34	10.0	7.03	31.4	156	26.0	3.94	34.7
× ⁵ / ₁₆	0.291	30.77	8.46	9.03	38.2	134	22.4	3.98	29.6
HSS12×3× ⁵ / ₁₆	0.291	29.71	8.17	7.31	38.2	124	20.7	3.90	27.9
× ¹ / ₄	0.233	24.09	6.63	9.88	48.5	103	17.2	3.94	22.9
× ³ / ₁₆	0.174	18.38	5.02	14.2	66.0	79.6	13.3	3.98	17.5
HSS12×2× ⁵ / ₁₆	0.291	27.58	7.59	3.87	38.2	104	17.4	3.71	24.5
× ¹ / ₄	0.233	22.39	6.17	5.58	48.5	86.9	14.5	3.75	20.1
× ³ / ₁₆	0.174	17.10	4.67	8.49	66.0	67.4	11.2	3.80	15.5
HSS10×8× ⁵ / ₈	0.581	67.62	18.7	10.8	14.2	253	50.5	3.68	62.2
× ¹ / ₂	0.465	55.53	15.3	14.2	18.5	214	42.7	3.73	51.9
× ³ / ₈	0.349	42.72	11.8	19.9	25.7	169	33.9	3.79	40.5
× ⁵ / ₁₆	0.291	36.10	9.92	24.5	31.4	145	29.0	3.82	34.4
× ¹ / ₄	0.233	29.19	8.03	31.3	39.9	119	23.8	3.85	28.1
× ³ / ₁₆	0.174	22.22	6.06	43.0	54.5	91.4	18.3	3.88	21.4



Con HSS 10X8X1/4

$$A := 8.03 \text{ in}^2 \quad L_c := 3.2 \text{ m} \quad r := 3.85 \text{ in} \quad t_{fc} := 0.291 \text{ in}$$

$$k := 1.8 \quad Kl := k \cdot L_c = 18.898 \text{ ft} \quad re := \frac{Kl}{r} = 58.902$$

Table 4-22 (continued)
Available Critical Stress for
Compression Members

$F_y = 35 \text{ ksi}$			$F_y = 36 \text{ ksi}$			$F_y = 42 \text{ ksi}$			$F_y = 46 \text{ ksi}$			$F_y = 50 \text{ ksi}$		
$\frac{KL}{r}$	F_{cr}/Ω_c	$\phi_c F_{cr}$	$\frac{KL}{r}$	F_{cr}/Ω_c	$\phi_c F_{cr}$	$\frac{KL}{r}$	F_{cr}/Ω_c	$\phi_c F_{cr}$	$\frac{KL}{r}$	F_{cr}/Ω_c	$\phi_c F_{cr}$	$\frac{KL}{r}$	F_{cr}/Ω_c	$\phi_c F_{cr}$
	ksi	ksi		ksi	ksi		ksi	ksi		ksi	ksi		ksi	ksi
	ASD	LRFD		ASD	LRFD		ASD	LRFD		ASD	LRFD		ASD	LRFD
50	18.4	27.7	50	18.9	28.4	50	21.6	32.4	50	23.3	35.0	50	24.9	37.5
51	18.3	27.6	51	18.8	28.3	51	21.4	32.2	51	23.1	34.8	51	24.8	37.2
52	18.3	27.4	52	18.7	28.1	52	21.3	32.0	52	23.0	34.5	52	24.6	36.9
53	18.2	27.3	53	18.6	28.0	53	21.2	31.8	53	22.8	34.3	53	24.4	36.7
54	18.1	27.1	54	18.5	27.8	54	21.0	31.6	54	22.6	34.0	54	24.2	36.4
55	18.0	27.0	55	18.4	27.6	55	20.9	31.4	55	22.5	33.8	55	24.0	36.1
56	17.9	26.8	56	18.3	27.5	56	20.7	31.2	56	22.3	33.5	56	23.8	35.8
57	17.7	26.7	57	18.2	27.3	57	20.6	31.0	57	22.1	33.3	57	23.6	35.5
58	17.6	26.5	58	18.1	27.1	58	20.5	30.7	58	22.0	33.0	58	23.4	35.2
59	17.5	26.4	59	17.9	27.0	59	20.3	30.5	59	21.8	32.8	59	23.2	34.9
60	17.4	26.2	60	17.8	26.8	60	20.2	30.3	60	21.6	32.5	60	23.0	34.6

Para un $\frac{KL}{r}=59$ obtenemos un:

$$\phi F_{cr} := 27.0 \text{ ksi}$$

$$A_{req} = 27.537 \text{ cm}^2$$

Entonces, verificamos que cumpla por resistencia:

$$A_{sec} := A = 51.806 \text{ cm}^2$$

$$\phi P_n := \phi F_{cr} \cdot A_{sec}$$

$$\text{Condicion} := \text{if}(\phi P_n \geq P_{Ueq}, \text{"Cumple"}, \text{"No Cumple"})$$

$$\phi P_n = 98.343 \text{ tonnef}$$

$$P_{Ueq} = 55.074 \text{ tonnef}$$

Por lo tanto,

$$\text{Condicion} = \text{"Cumple"}$$

$$h := 10 \text{ in} = 25.4 \text{ cm}$$

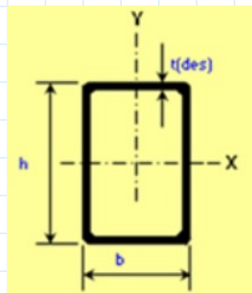
$$b := 10 \text{ in} = 25.4 \text{ cm}$$

$$t := 0.291 \text{ in} = 7.391 \text{ mm}$$

$$A_{escogida} := b \cdot h = 645.16 \text{ cm}^2$$

$$b_{req} := \sqrt[2]{A_{escogida}}$$

$$b_{req} = 25.4 \text{ cm}$$



HSS14X14		
A =	15.7	in. ²
h =	14	in.
b =	14	in.
t(des) =	0.291	in.
wt./ft. =	57.31	plf.
I _x =	490	in. ⁴
S _x =	69.9	in. ³
r _x =	5.58	in.
Z _x =	80.5	in. ³
I _y =	490	in. ⁴
S _y =	69.9	in. ³
r _y =	5.58	in.
Z _y =	80.5	in. ³
h(flat) =	12.625	in.
b(flat) =	12.625	in.
J =	759	in. ⁴
C =	109	in. ³
A(surf) =	4.58	ft ² /ft

Plancha laminada en caliente

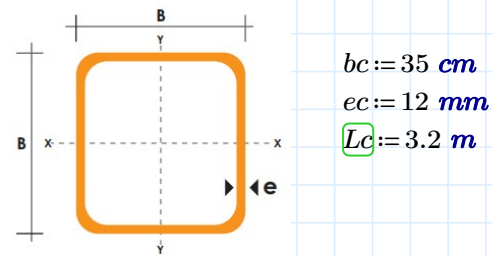
Recubrimiento:
Negro

Seleccionamos una plancha laminada en

Norma de Fabricación:
 NTE INEN 115, ASTM A 6
 Norma de Calidad:
 ASTM A 570 Gr 36 / ASTM A 36 / ASTM A 283 Gr C /
 ASTM A 588 Gr A / ASTM A 131 Gr A / ASTM A 516
 Gr 70
 Observaciones:
 Dimensiones y largos especiales, previa consulta

Ancho	Largo	Espesor	Peso Aprox.
mm	mm	mm	kg.
1220	2440	1,50	35,05
1220	2440	2,00	46,74
1220	2440	3,00	70,10
1220	2440	4,00	93,47
1220	2440	5,00	116,84
1220	2440	6,00	140,21
1220	2440	8,00	186,94
1220	2440	9,00	210,31
1220	2440	10,00	233,68
1220	2440	12,00	280,41

caliente, con un espesor de 8 mm, para construir una columna de 100mm x 100mm:



$$A := bc^2 - (bc - (2 \cdot ec))^2 = 162.24 \text{ cm}^2$$

Se ha elegido una sección de tales dimensiones con la finalidad de que sea sísmicamente compacta a pesar de que supera de forma significativa el área requerida.

Altura Mínima de Vigas para evitar deflexiones excesivas y minimizar vibraciones:

Vigas Secundarias (W10X12):

Criterios de selección: vigas con un peralte no menor a

$$\frac{L}{24} = 8.202 \text{ in} \quad \text{Para vigas simplemente apoyadas} \quad \text{CUMPLE}$$

$$\frac{L}{20} = 9.843 \text{ in} \quad \text{Para minimizar la sensación del movimiento del piso por las personas} \quad \text{CUMPLE}$$

Vigas Principales (W10X15):

Criterios de selección: vigas con un peralte no menor a

$$\frac{L2}{24} = 8.202 \text{ in} \quad \text{Para vigas simplemente apoyadas} \quad \text{CUMPLE}$$

$$\frac{L2}{20} = 9.843 \text{ in} \quad \text{Para minimizar la sensación del movimiento del piso por las personas} \quad \text{CUMPLE}$$

Revisión de la Relación Ancho/Espesor (Secciones Sísmicamente Compacto)

Relación ancho espesor:

$$\lambda_p := \frac{190}{\sqrt[2]{36}} = 31.667$$

$$b = 25.4 \text{ cm}$$

$$t = 7.391 \text{ mm}$$

$$\lambda_r := 1.40 \cdot \sqrt[2]{\frac{29000}{36}} = 39.735$$

Columnas:

$$\text{ancho_esp} := \frac{b}{t} = 34.364$$

CUMPLE

5.Carga Sísmica

Las estructuras de acero deberán ser diseñadas para resistir las cargas laterales provenientes de las acciones sísmicas. El Código Ecuatoriano de la Construcción, al igual que para el caso de estructuras de hormigón armado, incorpora los criterios mediante los cuales se permite diseñar estructuras considerando cargas laterales estáticas equivalentes o mediante un análisis dinámico usando un espectro de respuesta.

Datos

Zona Sísmica $Z := 0.4$

Irregularidad Planta $\phi_p := 1$

Importancia $I := 1$

Irregularidad Evaluación $\phi_e := 1$

Perfil del Suelo S2 $S := 1.2$

Respuesta Estructural $R := 7$

Como se mostró en el caso de la estructura de hormigón armado, se determinará el cortante basal de diseño y este será distribuido en cada piso de la estructura, en los lugares que exista concentración de masa. La expresión para determinar el cortante basal es la siguiente:

$$V := \frac{Z \cdot I \cdot C}{R \cdot \phi_p \cdot \phi_e} \cdot W$$

Periodo de vibración de la estructura:

$$Ct := 0.9 \quad T := Ct \cdot h^{\frac{3}{4}}$$

h : Altura máxima del edificio de n pisos, medido desde la base.

Ct : Toma un valor de 0.09 para estructuras con pórticos espaciales de acero

Valor del coeficiente de corte basal:

$$V := 0.11 \cdot W$$

GALPÓN INDUSTRIAL FUNCIONAL Y SOSTENIBLE CON PUENTE GRÚA Y SISTEMA FOTOVOLTAICOS EN GUAYAQUIL

PROBLEMA



Figura 1. Terreno de la empresa Metal Industrial José Campuzano

- Ensamblaje en patio de tierra
- Soldaduras y pintura en condiciones inadecuadas (humedad, polvo, peatones).
- Montacargas con fallas por lodo en épocas lluviosas.
- Tráileres bloquean la vía pública en carga y descarga.
- Oficinas con alto consumo energético (mala iluminación y ventilación).

SEGURIDAD

CALIDAD

PRODUCCIÓN

OBJETIVO GENERAL

Diseñar un galpón industrial sostenible para una empresa metalmecánica en guayaquil, integrando un puente grúa y sistemas fotovoltaicos en la cubierta, mediante el uso de técnicas de diseño eficiente y energéticamente sostenible; para la optimización de procesos operativos, reducción de costos energéticos y la minimización del impacto ambiental, contribuyendo así al desarrollo sostenible de la empresa.



Figura 2. Ejemplo de cubierta con paneles solares

PROPUESTA

Diseño estructural de un galpón industrial para una metalmecánica

Incorporación de puente grúa

Integración de sistema fotovoltaico en cubierta

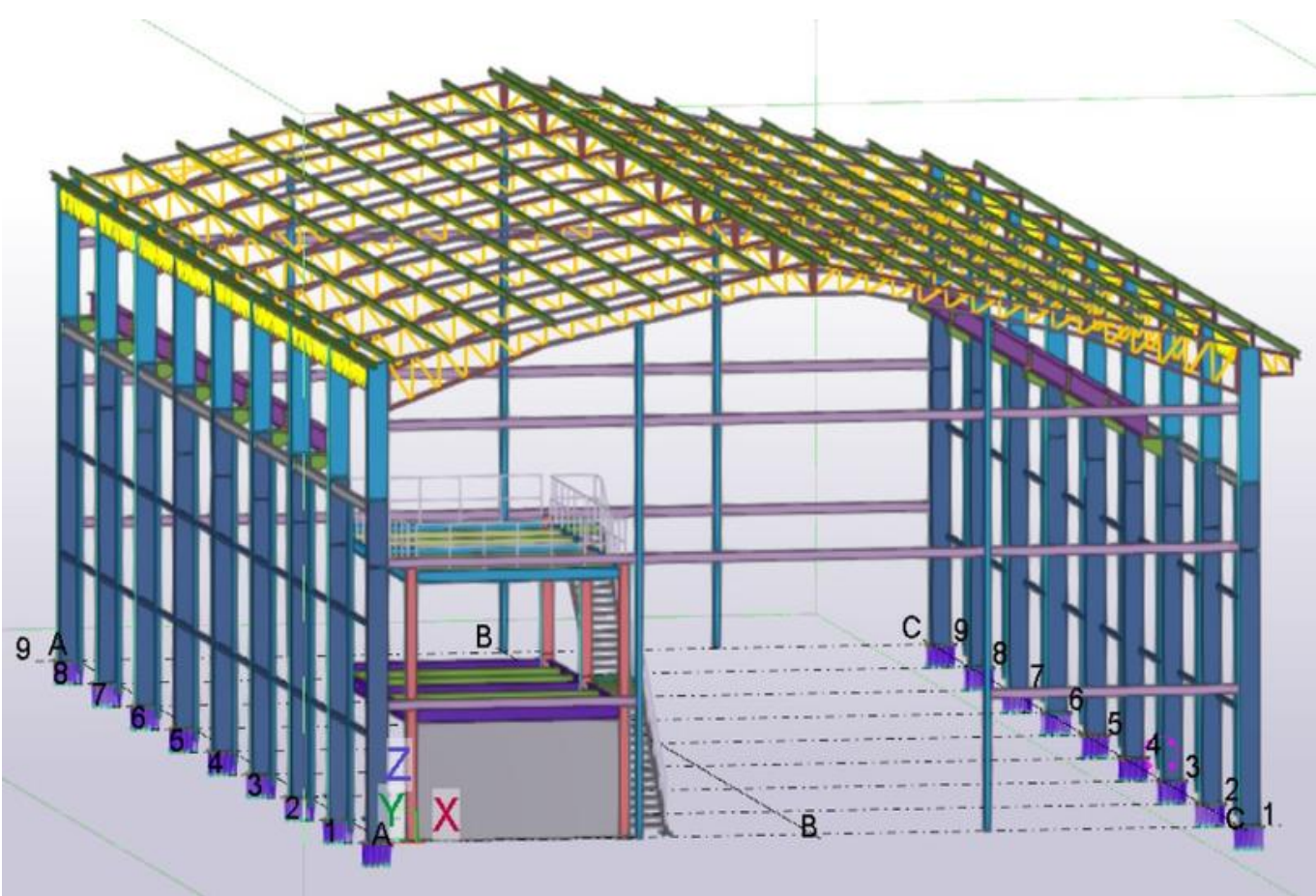


Figura 3. Modelado 3D de galpón industrial

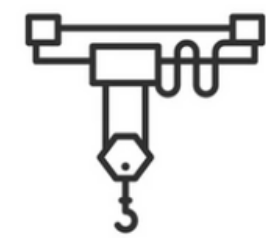
COMPONENTES

- Cimentación plintos aislados
- Columnas de alma llena
- Cubierta tipo Cercha PRATT
- Vigas de amarre tipo Cercha PRATT
- Vigas H carrileras
- Mezzanine para oficinas

RESULTADOS



Mejora proceso de fabricación



Operabilidad dentro del galpón aumenta significativamente.



Incremento de produccion genera mayor ingreso a la metalmeccanica.



Costo total del componente estructural del galpón es \$70000

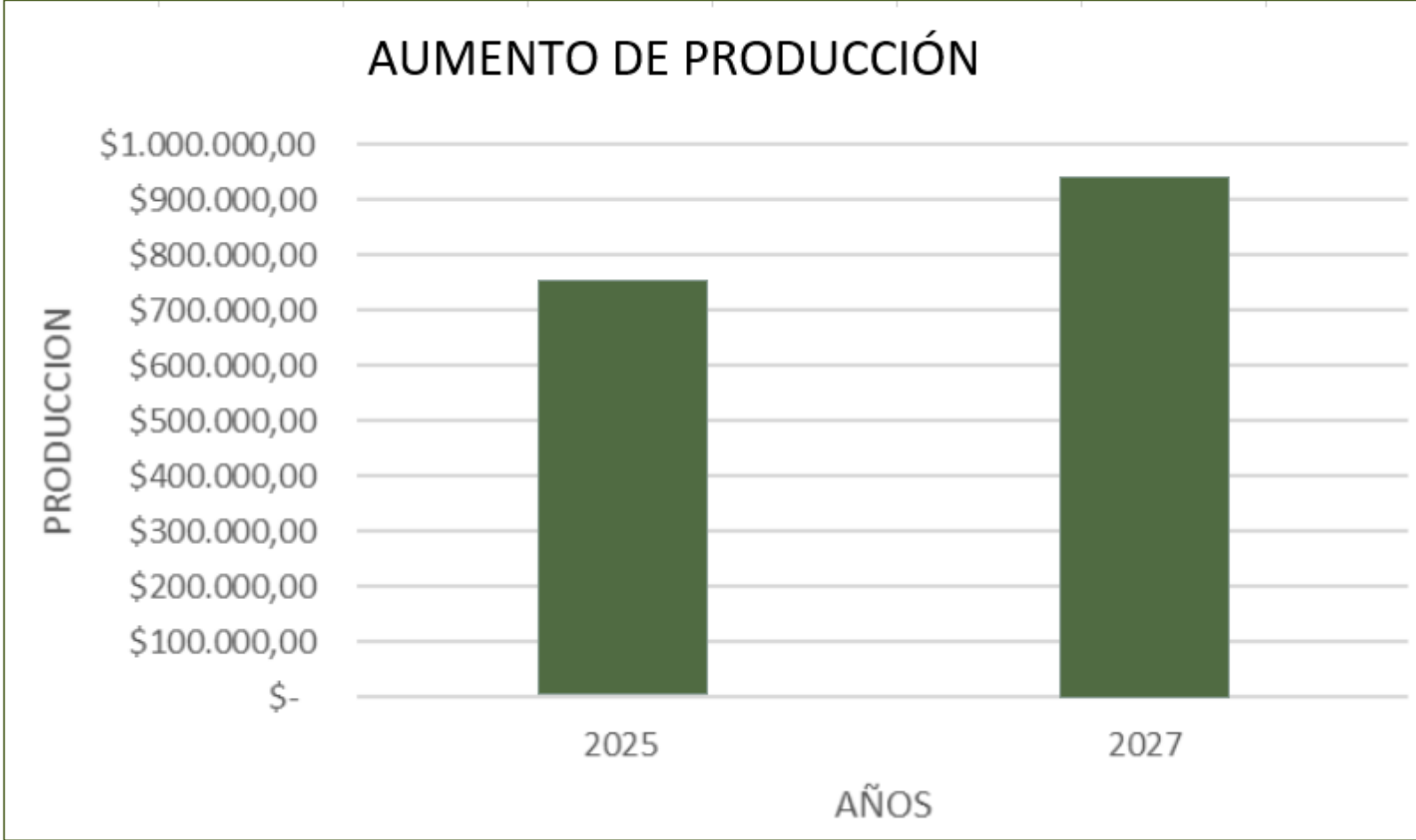


Figura 4. Diagrama de Aumento de producción en 2027

CONCLUSIONES



Figura 5. Render del diseño de galpón

Innovación en la Ingeniería Civil

- El uso de un puente grúa aporta y mejora la operabilidad dentro del galpón.

Rentabilidad

- El diseño de un galpón aumentara un 25% de producción a la metalmeccanica.

Ambiental

- El impacto ambiental es bajo y mayormente con la incorporación de los paneles solares