



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE GUAYAQUIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**ANÁLISIS COMPARATIVO TÉCNICO Y ECONÓMICO ENTRE UN GALPÓN
EMPÍRICO Y UN GALPÓN METÁLICO PARA USO AGRÍCOLA**

Trabajo de titulación previo a la obtención del

Título de Ingeniero Civil

AUTORES: JAIME ANDRES MARCILLO GONZALEZ

ROY KENNETH REYES GUZMÁN

TUTOR: ING. LEONARDO JAVIER ECHEVERRIA FABRE, DBA.

Guayaquil-Ecuador

2026

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Jaime Andres Marcillo Gonzalez con documento de identificación N° 0951931781 y Roy Kenneth Reyes Guzmán con documento de identificación N° 0950844894; manifestamos que:

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

Guayaquil, 15 de enero del año 2026

Atentamente,



Jaime Andres Marcillo Gonzalez

0951931781



Roy Kenneth Reyes Guzmán

0950844894

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

Nosotros, Jaime Andres Marcillo Gonzalez con documento de identificación No. 0951931781 y Roy Kenneth Reyes Guzmán con documento de identificación No. 0950844894, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del ANÁLISIS COMPARATIVO TÉCNICO Y ECONÓMICO ENTRE UN GALPÓN EMPÍRICO Y UN GALPÓN METÁLICO PARA USO AGRÍCOLA, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de Ingeniero Civil, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

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

Guayaquil, 15 de enero del año 2026

Atentamente,



Jaime Andres Marcillo Gonzalez

0951931781



Roy Kenneth Reyes Guzmán

0950844894

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Leonardo Javier Echeverria Fabre con documento de identificación N° 0902190883, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: ANÁLISIS COMPARATIVO TÉCNICO Y ECONÓMICO ENTRE UN GALPÓN EMPÍRICO Y UN GALPÓN METÁLICO PARA USO AGRÍCOLA, realizado por Jaime Andres Marcillo Gonzalez con documento de identificación N° 0951931781 y por Roy Kenneth Reyes Guzmán con documento de identificación N° 0950844894, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción proyecto técnico de titulación que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 15 de enero del año 2026

Atentamente,



Ing. Leonardo Javier Echeverria Fabre, DBA.

0902190883

AGRADECIMIENTO

El desarrollo y la culminación de este proyecto de titulación se han elaborado gracias a la ayuda, guía y apoyo de varias instituciones y personas que aportaron significativamente durante todo nuestro proceso académico.

Primero, queremos expresar nuestra más sincera gratitud a nuestras familias por su apoyo constante e incondicional, así como por su comprensión durante toda nuestra educación universitaria y, sobre todo, durante la elaboración de este trabajo. Su motivación y confianza fueron fundamentales para superar las dificultades y alcanzar nuestros objetivos propuestos.

Queremos agradecer especialmente al Ing. Leonardo Javier Echeverria Fabre, DBA. nuestro tutor de titulación, porque su orientación técnica, dedicación y observaciones significativas nos ayudaran a mejorar la calidad académica y el enfoque metodológico del presente proyecto.

De igual manera, le agradecemos a Dios por brindarnos la fortaleza, la perseverancia y la sabiduría que necesitamos para encarar con responsabilidad cada fase de este proceso educativo.

Por último, queremos agradecer a la universidad por el apoyo, los recursos y la formación académica que nos brindaron, lo cual hizo posible la realización de este proyecto de titulación y ayudo en nuestra preparación para ser profesionales.

Jaime Andres Marcillo Gonzalez y Roy Kenneth Reyes Guzmán

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mis padres, debido a el esfuerzo y sacrificio que han hecho ellos por mis estudios estoy en este punto final de ya culminar mis estudios y ser un profesional y alguien en la vida, agradecer a mis hermanos por siempre alentarme y demostrarme de que soy capaz de lograrlo si me lo propongo

A mis amigos de la universidad, que aparecieron a la mitad de mi carrera por cuestiones personales pero que han sido unas increíbles personas, capaces y divertidas haciendo que el seguir la carrera no se volviera muy pesado.

A los profesores, por compartir no solo los conocimientos necesarios para poder ser un Ingeniero, sino también por compartir sus experiencias laborales, para tener una imagen más amplia de lo que implica ser Ingeniero Civil.

Por último, a mi mascota Toby que me acompañó siempre en este largo proceso dándome alegrías y risas cuando más estresado o cansado me sentía.

Alcanzar esta meta es el resultado de la dedicación y el sacrificio que realiza uno, pero también se alcanza gracias al apoyo incondicional. Mi más profundo agradecimiento a todos ustedes.

Jaime Andres Marcillo Gonzalez

DEDICATORIA

Dedico el presente proyecto de titulación a mi familia, mis abuelos, mis tíos, primos, mis mascotas, porque ha sido el soporte esencial en todas las fases de mi vida académica y personal. A mis padres, Luz María y Pedro Milton, por su dedicación, sacrificio, incondicional apoyo y por enseñarme principios que han orientado mi formación laboral. A mis hermanos, Kelvin Xavier, Randhy Logan y a mi prometida por su apoyo continuo, motivación y confianza, que han sido un estímulo constante para seguir adelante y no rendirme en tiempos difíciles.

A mi profesor de titulación, Ing. Echeverria, por su guía, dedicación y contribuciones valiosas que nos ayudaron significativamente al progreso y culminación del presente trabajo.

Por último, a mis maestros, quienes durante mi trayectoria universitaria contribuyeron con sus enseñanzas, experiencias y conocimientos, ayudando de forma crucial a mi desarrollo académico y profesional.

Roy Kenneth Reyes Guzmán

RESÚMEN

El presente estudio de titulación desarrolla el análisis comparativo técnico y económico entre un galpón empírico una estructura construida sin criterios ni normas de diseño, y un galpón metálico para uso agrícola, modelado y analizado bajo normas como la NEC, el galpón empírico está ubicado en el sector agrícola de la vía Cone-Yaguachi. Para efectos de la comparación, el galpón metálico será modelado y analizado mediante el software de cálculo estructural utilizando las mismas dimensiones geométricas del galpón empírico, permitiendo una evaluación objetiva entre ambos sistemas estructurales.

La investigación se desarrolla bajo un enfoque cuantitativo, con un diseño descriptivo y comparativo. Se analizarán parámetros técnicos relacionados con el comportamiento estructural, configuración y características constructivas, así como aspectos económicos vinculados a los costos de construcción y consideraciones de mantenimiento y vida útil. El análisis permite identificar diferencias significativas entre ambas estructuras.

Los resultados de este estudio aportarán criterios técnicos y económicos que contribuirán a una toma de decisiones más informada en el diseño y selección de sistemas estructurales para el sector agrícola, promoviendo soluciones más seguras, eficientes y sostenibles.

ABSTRACT

This undergraduate thesis presents a technical and economic comparative analysis between an empirical agricultural shed constructed without formal design criteria or structural regulations and a metallic agricultural shed modeled and analyzed in accordance with technical standards such as the Ecuadorian Construction Code (NEC). The empirical shed is located in the agricultural area along the Cone–Yaguachi road. For comparison purposes, the metallic shed does not correspond to an existing structure, instead, it was modeled and analyzed using structural analysis software, adopting the same geometric dimensions as the empirical shed, which allows for an objective evaluation of both structural systems.

The research was conducted under a quantitative approach with a descriptive and comparative design. Technical parameters related to structural behavior, structural configuration, and constructive characteristics were analyzed, along with economic aspects associated with construction costs, maintenance requirements, and service life. The analysis made it possible to identify significant differences between the two structural alternatives.

The results of this study provide technical and economic criteria that contribute to more informed decision-making in the design and selection of structural systems for agricultural infrastructure. Furthermore, the findings promote the adoption of safer, more efficient, and more sustainable structural solutions for the agricultural sector.

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESÚMEN	8
ABSTRACT	9
CAPÍTULO I.....	21
1.1 INTRODUCCIÓN.....	21
1.2 PROBLEMATICA	23
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	24
1.4 OBJETIVOS.....	25
1.4.1 OBJETIVO GENERAL	25
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	25
2 CAPÍTULO II.....	26
2.1 MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.	26
2.1.1 DEFINICIÓN DE GALPÓN.....	26
2.1.2 CLASIFICACIÓN DE LOS GALPONES	27
2.1.3 TIPOS DE GALPONES SEGÚN SU USO	27
2.1.3.1 GALPONES INDUSTRIALES.....	27
2.1.3.2 GALPONES AGRÍCOLAS.....	28
2.1.3.3 GALPONES AGRICOLAS EMPÍRICOS	29
2.1.3.4 GALPONES COMERCIALES	29
2.1.4 CARGAS ESTRUCTURALES.....	29
2.1.4.1 CARGAS MUERTAS	30
2.1.4.2 CARGAS VIVAS	30
2.1.4.3 CARGAS DE VIENTO.....	30
2.1.4.4 CARGAS SÍSMICAS	35
2.1.5 COMBINACIONES DE CARGAS	44
2.1.6 NORMATIVAS ESTRUCTURALES DE DISEÑO	45
2.1.6.1 NEC-2015.....	46
2.1.6.2 NORMA ASCE 7-16	46
2.1.6.3 NORMA AISC 360-16	46
2.1.7 ACERO ESTRUCTURAL.....	47
2.1.8 TIPOS DE ACERO ESTRUCTURAL.....	47

2.1.8.1	ACERO AL CARBONO	48
2.1.8.2	ACERO DE BAJA ALEACIÓN	48
2.1.9	PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ACERO.....	48
2.1.10	MÉTODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS (MEF)	48
2.1.11	GRAFICA ESFUERZO-DEFORMACIÓN	49
2.1.12	ÁREA TRIBUTARIA.....	49
2.1.13	ELEMENTOS QUE COMPONEN UN GALPÓN METÁLICO	50
2.1.13.1	VIGAS	50
2.1.13.2	COLUMNAS.....	51
2.1.13.3	CIMENTACIÓN	52
2.1.13.4	CORREAS.....	53
2.1.13.5	ARRIOSTRAMIENTOS.....	54
2.1.13.6	CUBIERTAS METALICAS	54
2.1.14	CONEXIONES ESTRUCTURALES	55
2.1.14.1	CONEXIONES ATORNILLADAS	55
2.1.14.2	CONEXIONES SOLDADAS	56
2.1.14.3	CONEXIONES HÍBRIDAS O MIXTAS.....	56
2.1.15	PERFILES DE ACERO ESTRUCTURAL.....	56
2.1.16	TIPOS DE PERFILES DE ACERO ESTRUCTURAL	57
2.1.16.1	PERFILES LAMINADOS EN CALIENTE	57
2.1.16.2	PERFILES CONFORMADOS EN FRÍO	58
2.1.16.3	PERFIL TIPO I.....	58
2.1.16.4	PERFIL TIPO H	59
2.1.16.5	PERFIL TIPO C	59
2.1.16.6	PERFIL TIPO Z.....	59
2.1.16.7	PERFIL TIPO L O ÁNGULO	59
2.1.16.8	PERFIL TIPO U O CANAL LAMINADO	59
2.1.16.9	PERFIL TUBULAR	60
2.1.17	VENTAJAS DE LAS ESTRUCTURAS DE ACERO	60
2.1.17.1	ALTA RESISTENCIA.....	60
2.1.17.2	UNIFORMIDAD.....	60

2.1.17.3	ELASTICIDAD.....	61
2.1.17.4	DURABILIDAD	61
2.1.17.5	DUCTILIDAD	61
2.1.17.6	TENACIDAD.....	61
2.1.18	FALLAS TÍPICAS DE LAS ESTRUCTURAS DE ACERO	62
2.1.19	TIPOS DE FALLAS.....	62
2.1.19.1	FALLA POR FATIGA	62
2.1.19.2	FALLA POR FRACTURA.....	62
2.1.19.3	FALLA POR PANDEO LATERAL TORSIONAL	63
2.1.19.4	FALLA POR PANDEO ELÁSTICO.....	63
2.1.20	DISEÑO SISMORRESISTENTE	64
2.1.20.1	COMPORTAMIENTO DE LAS ESTRUCTURAS METALICAS ANTE SISMOS	64
2.1.20.2	DISIPADORES DE ENERGÍA.....	64
2.1.21	CAUSAS DE DETERIORO DE UN GALPÓN	65
2.1.21.1	CORROSIÓN ATMOSFÉRICA	65
2.1.21.2	IMPACTO DEL AMBIENTE LOCAL	66
2.1.21.3	MANTENIMIENTO DEFICIENTE	66
2.1.22	AGENTES ANTICORROSIVOS PARA ESTRUCTURAS DE ACERO ...	66
2.1.23	VIDA ÚTIL DEL ACERO ESTRUCTURAL.....	67
2.1.24	RESISTENCIA ANTE EVENTOS EXTREMOS.....	67
2.1.25	CONSECUENCIAS DEL MAL ANÁLISIS ESTRUCTURAL	68
3	CAPÍTULO III	69
3.1	MARCO METODOLÓGICO	69
3.1.1	LEVANTAMIENTO DE DATOS EN EL SITIO	69
3.1.2	PRE-DIMENSIONAMIENTO.....	69
3.1.3	MODELADO EN ROBOT ANALYSIS STRUCTURAL	71
3.1.4	UNIONES ATORNILLADAS	74
3.1.5	CÁLCULO DE CARGAS ESTRUCTURALES	74
3.1.5.1	CARGAS PERMANENTES.....	74
3.1.5.2	CARGAS VIVAS	74

3.1.5.3	CARGAS DE VIENTO	74
3.1.5.4	CARGAS SÍSMICAS	75
3.1.6	ANÁLISIS COMPARATIVO	75
3.1.6.1	COMPARACIÓN TÉCNICA.....	75
3.1.6.2	COMPARACIÓN ECONÓMICA.....	75
4	CAPÍTULO IV	76
4.1	DESARROLLO.....	76
4.2	CARGAS ESTRUCTURALES.....	76
4.2.1	CARGAS MUERTAS	76
4.2.2	CARGAS VIVAS	77
4.2.3	CARGAS DE VIENTO.....	77
4.2.4	ESPECTRO DE DISEÑO	80
4.3	ESTRUCTURA EMPÍRICA	87
4.3.1	MODELADO Y ANÁLISIS DEL GALPÓN EMPÍRICO.....	87
4.3.2	DIAGRAMAS DE ESFUERZOS, MOMENTOS Y DESFORMACIONES DEL GALPÓN EMPÍRICO	95
4.3.3	DEFORMACIONES POR CARGAS SÍSMICAS.....	99
4.4	ESTRUCTURA DE ACERO	102
4.4.1	PRE-DIMENSIONAMIENTO DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES.....	102
4.4.2	PREDIMENSIONAMIENTO DE VIGAS POR EL METODO LRFD.....	102
4.4.3	PRE-DIMENSIONAMIENTO DE CORREAS MÉTODO LRFD.....	106
4.4.4	PRE-DIMENSIONAMIENTO DE COLUMNA MÉTODO LRFD	110
4.4.5	MODELADO DEL GALPÓN DE ACERO.....	116
4.4.6	DIAGRAMA DE ESFUERZOS, MOMENTOS Y DESPLAZAMIENTOS 121	
4.4.7	DISEÑO DE UNIONES ATORNILLADAS	125
4.4.7.1	PÓRTICOS 1-4.....	126
4.4.7.2	PÓRTICOS 2-3.....	131
4.4.7.3	UNIÓN ATORNILLADA ENTRE PÓRTICOS.....	137
5	CAPÍTULO V.....	140
5.1	RESULTADOS.....	140

5.1.1	ANÁLISIS COMPARATIVO TÉCNICO Y ECONÓMICO	140
5.1.1.1	ANÁLISIS COMPARATIVO TÉCNICO	140
5.1.1.2	ANÁLISIS COMPARATIVO ECONÓMICO	142
6	CAPITULO VI	163
6.1	CONCLUSIONES.....	163
6.2	RECOMENDACIONES	164
7	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	165
8	ANEXOS	169

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Características de un galpón	27
Figura 2 Ecuador, zonas sísmicas para propósitos de diseño.	36
Figura 3 Clasificación de los perfiles de suelo.	37
Figura 4 Espectro sísmico elástico de aceleraciones	40
Figura 5 Estructuras de acero	47
Figura 6 Grafica esfuerzo-deformación.....	49
Figura 7 Juntas atornilladas	55
Figura 8 Perfiles laminados en caliente	57
Figura 9 Perfiles conformados en frío	58
Figura 10 Fractura frágil.....	63
Figura 11 Disipador de energía.....	65
Figura 12 Corrosión en las estructuras de acero	65
Figura 13 Delimitación del área y pórticos del galpón.....	70
Figura 14 Dimensiones del galpón	70
Figura 15 Definición del material para el galpón empírico.....	71
Figura 16 Material del galpón de acero	72
Figura 17 Unidades de los esfuerzos	73
Figura 18 Normas de diseño de las cargas	73
Figura 19 Longitud del galpón empírico	87
Figura 20 Material del galpón empírico	88
Figura 21 Creación de sección	89
Figura 22 Altura del galpón empírico.....	90

Figura 23 Especificación de correas	91
Figura 24 Sin arriostramientos la estructura empírica.....	92
Figura 25 Galpón empírico.....	92
Figura 26 Creación de cargas estructurales	93
Figura 27 Combinaciones de cargas	93
Figura 28 Carga uniforme muerta	94
Figura 29 Carga uniforme viva.....	94
Figura 30 Carga distribuidas en la cercha	95
Figura 31 Esfuerzo F_x	95
Figura 32 Esfuerzo F_y	96
Figura 33 Esfuerzo F_z	96
Figura 34 M_x	97
Figura 35 M_y	97
Figura 36 M_z	98
Figura 37 Datos para las cargas de viento	98
Figura 38 Simulación en el sentido X	99
Figura 39 Simulación en el sentido Y.....	99
Figura 40 Creación de carga modal.....	100
Figura 41 Creación de carga espectral.....	100
Figura 42 Curva espectro de diseño	101
Figura 43 Deformaciones	101
Figura 44 Área tributaria que soporta la viga.....	102
Figura 45 Propiedades geométricas perfiles IPE.....	104
Figura 46 Catálogo de secciones para perfiles cuadrados	108

Figura 47 Área tributaria que soporta cada columna.....	110
Figura 48 Longitud del galpón de acero	116
Figura 49 Materiales del galpón	117
Figura 50 Perfiles	117
Figura 51 Correa.....	118
Figura 52 Arriostramiento	118
Figura 53 Galpón de acero.....	119
Figura 54 Cargas y combinaciones.....	120
Figura 55 Determinación de cargas en el galpón	120
Figura 56 Esfuerzo F_x	121
Figura 57 Esfuerzo F_y	121
Figura 58 Esfuerzo F_z	122
Figura 59 M_x	122
Figura 60 M_y	123
Figura 61 M_z	123
Figura 62 Sentido X.....	124
Figura 63 Sentido Y	124
Figura 64 Deformaciones	125
Figura 65 Pórtico compuesto por perfiles IPE 100, HEB 140.....	126
Figura 66 Geometría de la Columna HEB 140 y Viga 100	126
Figura 67 Pletina para unión entre Columna HEB 140 y Viga IPE 100	127
Figura 68 Refuerzo para unión entre Columna HEB 140 y Viga IPE 100	127
Figura 69 Tornillos para unión entre Columna HEB 140 y Viga IPE 100	128
Figura 70 Verificación de la unión	128

Figura 71 Geometría entre Vigas IPE 100.....	129
Figura 72 Pletina para unión entre Viga IPE 100 y Viga IPE 100.....	129
Figura 73 Refuerzo para unión entre Viga IPE 100 y Viga IPE 100	130
Figura 74 Tornillos para unión entre Viga IPE 100 y Viga IPE 100	130
Figura 75 Verificación de la unión	131
Figura 76 Pórtico de perfiles IPE 120, HEB 160	131
Figura 77 Geometría entre Columna HEB 160 y Viga IPE 120.....	132
Figura 78 Pletina para unión entre Columna HEB 160 y Viga IPE 120	132
Figura 79 Refuerzo para Unión entre Columna HEB 160 y Viga IPE 120	133
Figura 80 Tornillos para unión entre Columna HEB 160 y Viga IPE 120	133
Figura 81 Verificación de la unión	134
Figura 82 Geometría de Vigas IPE 120	134
Figura 83 Pletina para unión de Vigas IPE 120.....	135
Figura 84 Refuerzos para unión entre Vigas IPE 120	135
Figura 85 Tornillos para unión de Vigas IPE 120.....	136
Figura 86 Verificación de la unión	136
Figura 87 Geometría de la unión	137
Figura 88 Perfiles que emplearan la unión	137
Figura 89 Datos de la pletina.....	138
Figura 90 Tornillos para la pletina.....	138
Figura 91 Verificación de la unión	139

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Características topográficas para cargas de viento.	32
Tabla 2 Factor de forma C_e	33
Tabla 3 Determinación simplificada de C_f	34
Tabla 4 Valores del factor Z	36
Tabla 5 Tipo de suelo y Factores de sitio F_a	38
Tabla 6 Tipo de suelo y Factores de sitio F_d	38
Tabla 7 Tipo de suelo y Factores del comportamiento inelástico del subsuelo F_s	39
Tabla 8 Tipo de uso, destino e importancia de la estructura.....	42
Tabla 9 Coeficientes que dependen del tipo de edificio	43
Tabla 10 Factor de reducción de respuesta R	44
Tabla 11 Combinaciones de cargas estructurales	45
Tabla 12 Cargas vivas para cubiertas según la NEC-15	77
Tabla 13 Estimación de coeficiente de corrección	78
Tabla 14 Estimación de valor de coeficiente de entorno C_e	79
Tabla 15 Estimación de valor para el coeficiente de factor de forma C_f	79
Tabla 16 Valor Z para espectro	80
Tabla 17 Determinación de valor F_a según el tipo de suelo	81
Tabla 18 Determinación de valor F_d según el tipo de suelo.....	81
Tabla 19 Determinación de valor F_s según el tipo de suelo	82
Tabla 20 Coeficiente de importancia según el tipo de estructura	82
Tabla 21 Coeficientes que dependen del tipo de edificio	83
Tabla 22 Coeficiente de reducción R para naves industriales	83

Tabla 23 Valores de elevación y planta.....	84
Tabla 24 Valor de razón de la aceleración espectral	84
Tabla 25 Grafica espectro de diseño	85
Tabla 26 Valores de la gráfica espectro de diseño	86
Tabla 27 Datos para el prediseño de la viga	102
Tabla 28 Propiedades de la sección viga	105
Tabla 29 Datos del prediseño de las correas	106
Tabla 30 Propiedades de la sección cuadrada.....	109
Tabla 31 Datos para el prediseño de la columna	111
Tabla 32 Catalogo de perfiles HEB	112
Tabla 33 Propiedades HEB 140.....	112
Tabla 34 Perfiles del galpón metálico.....	119
Tabla 35 Verificación de las uniones	139
Tabla 36 Esfuerzos, momentos Max y desplazamientos de los galpones	140
Tabla 37 Verificación de derivas.....	141

CAPÍTULO I

1.1 INTRODUCCIÓN

La actividad agrícola representa un componente importante en la economía y en el sustento de amplios sectores rurales, especialmente en regiones donde la producción agropecuaria es la parte esencial de los ingresos y el empleo del sector. En este contexto, la productividad agrícola no depende únicamente de las condiciones del cultivo o del manejo agronómico, sino también de la infraestructura que respalda los procesos productivos, la cual permite organizar, proteger y optimizar las distintas actividades desarrolladas dentro de las unidades agrícolas.

Dentro de estas infraestructuras, los espacios destinados al resguardo de ganado, productos, equipos y materiales cumplen un rol fundamental en la reducción de pérdidas, por mantenimiento y la continuidad operativa frente a factores externos como las condiciones climáticas y las exigencias logísticas. La adecuada construcción de estas instalaciones incide directamente en la eficiencia de las labores agrícolas, en el resguardo de los empleados y en la eficiencia de los productos, convirtiéndose en un elemento clave para la producción y fortalecimiento del sector agrícola.

En el ámbito de la infraestructura del sector agrícola, los galpones de uso agrícola son de las edificaciones más utilizadas para el desarrollo de actividades de apoyo al sector. Estas estructuras son empleadas para funciones como el almacenamiento de insumos y cosechas, la protección de maquinaria y equipos, el resguardo de animales, así también para el proceso de operativos que requieren espacios cubiertos y organizados. Su correcta ejecución influye

directamente en la funcionalidad, durabilidad y seguridad de las actividades que albergaran dicha estructura.

Las funciones técnicas de los galpones es estar sujetos a factores como, los cambios climáticos del entorno, así como el uso eficiente de los materiales y los recursos económicos del productor. En muchos casos, estas estructuras se desarrollan priorizando su funcionalidad inmediata, lo que ocasiona diversas complicaciones constructivas en cuanto sistemas estructurales ineficientes, desperdicio de materiales empleados y métodos de ejecución comprometidos, generando diferencias significativas en su comportamiento estructural y desempeño a lo largo del tiempo.

La construcción de los galpones agrícolas ya tiene una constancia reputación entre las estructuras empíricas, ya que son levantadas a partir de conocimientos tradicionales y criterios de bajo costo inicial. Esta diversidad constructiva evidencia la necesidad de analizar de manera técnica y económica estas estructuras, considerando solo el costo de los materiales y perfiles por el cual están constituidas estas estructuras, a su vez analizando los costos de los perfiles de acero para el galpón metálico.

Los resultados de esta investigación tienen como finalidad aportar información técnica y económica que ayude con la toma de decisiones en el diseño y construcción de galpones para uso agrícola, especialmente en un sector donde predomina la opción de construcciones empíricas.

Asimismo, el estudio busca constituirse en un aporte académico que fortalezca la comprensión del desempeño estructural de galpones agrícolas y fomentar la opción de análisis estructurales para construcciones más seguras, eficientes y sostenibles. De esta manera, los

resultados podrán ser de utilidad para estudiantes, profesionales del área y productores agrícolas interesados en optimizar la inversión en infraestructuras productivas.

1.2 PROBLEMÁTICA

En el sector agrícola específicamente en la vía Cone–Yaguachi, provincia del Guayas, la mayoría de los galpones utilizados para actividades agrícolas se construyen de manera empírica, sin criterios de ingeniería ni aplicación de normas estructurales como la NEC-2015 o el AISC. Estas estructuras empleadas por perfiles metálicos de baja calidad o de madera, juntas improvisadas, ausencia de arriostramientos y cimentaciones ineficientes, genera un comportamiento estructural no preciso frente a cargas gravitacionales, sísmicas y de viento propias de la zona ecuatoriana.

La construcción empírica produce diversos factores, entre ellas deformaciones excesivas, pandeos, corrosión acelerada y fallas progresivas que reducen la capacidad portante y aumentan el riesgo de colapsos. Estos problemas comprometen a la seguridad de los trabajadores y generan pérdidas económicas debido a las reparaciones frecuentes, deterioro de la maquinaria e interrupción de las actividades productivas como la ganadería. Además, la limitada vida útil de estas estructuras afecta la productividad agrícola.

A pesar de esta realidad, no se cuenta con estudios comparativos que evalúen el desempeño de un galpón empírico que no cuenta con las normas y criterios de diseño frente a un galpón metálico diseñado bajo normas estructurales. Esta falta de información dificulta la implementación de mejores prácticas constructivas en el entorno rural.

1.3 JUSTIFICACIÓN

Mediante la realización de un análisis estructural comparativo entre un galpón empírico y un galpón metálico, se busca identificar las deficiencias presentes en las construcciones de galpones empíricos y, a su vez, proponer alternativas de diseño y materiales que garanticen mayor seguridad, estabilidad y durabilidad de las estructuras agrícolas.

La investigación permitirá establecer parámetros técnicos y normativos que servirán de guía para el análisis de galpones adaptados a las condiciones sísmicas y climáticas de la zona, contribuyendo a la reducción de fallas estructurales y pérdidas económicas ocasionadas por el colapso de edificaciones que no fueron construidas bajo criterios de ingeniería. Además, al determinar los costos de cada tipo de estructura, se desarrollarán propuestas económicamente viables que favorecerán a los pequeños y medianos productores agrícolas.

Los resultados del análisis comparativo podrán servir como base para futuros proyectos de construcción agrícola, incentivando la implementación de buenas prácticas estructurales y la aplicación de normas técnicas que mejoren el desarrollo agroindustrial no solo del sector de la vía Cone-Yaguachi sino en la región.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar un análisis estructural comparativo entre un galpón de pórticos simples construido sin normas de diseño y un galpón metálico analizado bajo las normas vigentes NEC 2015 y AISC, mediante el levantamiento de datos y el modelamiento en el software Robot Structural Analysis Profesional para simular sus comportamientos, con la finalidad de establecer recomendaciones técnicas y económicamente viables.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Realizar un levantamiento de información en el sitio obteniendo características del galpón existente como dimensiones, conexiones y materiales, con la finalidad de obtener las medidas para el modelado del galpón metálico.

Analizar ambos galpones, mediante el uso del software Robot Structural Analysis, para determinar el comportamiento de estas estructuras bajo cargas gravitacionales, cargas de viento y cargas sísmicas determinadas por las normas de diseño.

Elaborar un análisis comparativo técnico y económico de ambas estructuras, comparando el desempeño, materiales requeridos y costos, proponiendo la alternativa estructural más segura, eficiente y económica para el sector agrícola de la vía Cone-Yaguachi.

2 CAPÍTULO II

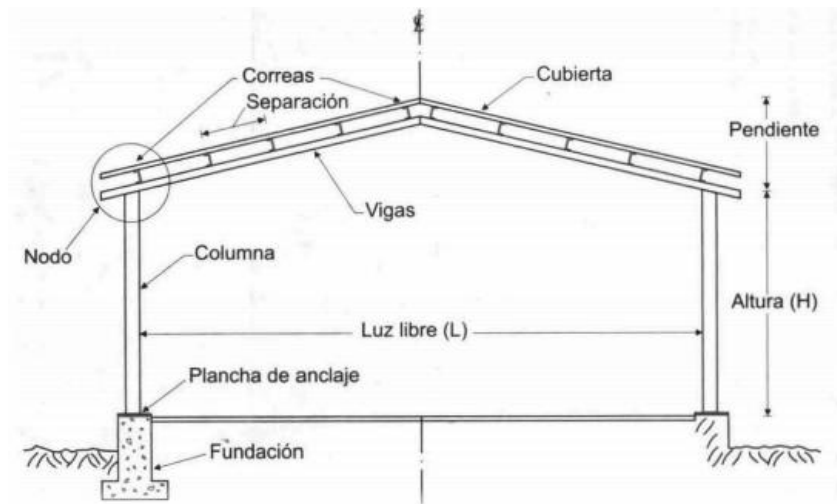
2.1 MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.

2.1.1 DEFINICIÓN DE GALPÓN

Un galpón es una edificación con una cubierta que ofrece gran versatilidad en cuanto a su peso y funcionalidad. La distancia entre sus pilares permite disponer de amplios espacios sin obstáculos, lo que facilita una mejor organización interior y un aprovechamiento óptimo del área disponible. Por sus características, se considera una estructura ideal para bodegas o instalaciones, ya que permite adaptar una distribución interna de forma flexible según las necesidades. (VHaceros, 2021)

Un galpón puede funcionar como cobertizo, almacén o granero. Su estructura generalmente se caracteriza por la simplicidad, dado que su objetivo principal no es el aspecto estético, sino la practicidad. Estas construcciones se utilizan para una amplia variedad de propósitos, que incluyen el almacenamiento de herramientas, la crianza de animales o la realización de distintas labores industriales y productivas. (Perez & Merino, 2019)

Figura 1 Características de un galpón



Nota. Tomado de Google.

2.1.2 CLASIFICACIÓN DE LOS GALPONES

Los galpones se pueden clasificar de acuerdo con su finalidad, su estructura y los componentes que los conforman, lo que determina su uso específico:

Galpones abiertos: cuentan únicamente con una cubierta superior, sin cerramientos en los laterales ni en los frontones. Generalmente se utilizan como talleres, canchas múltiples o cobertizos.

Galpones cerrados: presentan revestimiento en todos sus lados, lo que hace adecuados para funcionar como bodegas, instalaciones industriales, talleres o áreas de empaque. (VHaceros, 2021)

2.1.3 TIPOS DE GALPONES SEGÚN SU USO

2.1.3.1 GALPONES INDUSTRIALES

Los galpones industriales son edificaciones de gran tamaño utilizadas para diversas actividades, que van desde tareas de mantenimiento hasta procesos industriales. También se

les denomina naves o edificios industriales, debido a que su cubierta, con forma de V, recuerda al diseño de una nave.

En términos generales, se trata de estructuras versátiles que pueden adaptarse a múltiples funciones. Suelen presentar un diseño simple y una construcción robusta, capaz de resistir cargas elevadas y condiciones exigentes como fuertes vientos, nevadas o movimientos sísmicos. (Serendipia, s.f.)

Tipos de uso de galpones para uso industrial:

Sirven como fabricas para producción

Almacenamiento de materiales

Almacenamiento de equipos o maquinaria

2.1.3.2 GALPONES AGRÍCOLAS

En el sector agrícola, los galpones se utilizan para almacenar equipos, cultivos y maquinaria, protegiéndolos de los elementos lo cual da beneficio una prolongación de su vida útil. También se utilizan como refugio para ganado, aves de corral y otros animales creando un seguro y cómodo. (Bravo, 2024)

Ejemplos de uso:

Almacenamiento de sembríos o tierras fertilizantes.

Almacenamiento de maquinaria agrícola

Crianza de animales y ganado de estos

2.1.3.3 GALPONES AGRICOLAS EMPÍRICOS

Los galpones agrícolas empíricos son estructuras construidas de manera empírica, sin aplicación de normas de diseño ni cálculos estructurales. Comúnmente emplean materiales económicos o disponibles en la zona, como madera, perfiles reutilizados o elementos metálicos de baja calidad. Suelen presentar uniones improvisadas, ausencia de arriostramientos, cimentaciones simples y falta de control en dimensiones y esbeltez. Estas características reducen su rigidez y estabilidad, aumentando el riesgo de deformaciones excesivas, corrosión y fallas frente a cargas de viento y sismo. Este tipo de estructura es representativa del sector rural. (FAO, 2011)

2.1.3.4 GALPONES COMERCIALES

Los galpones comerciales se caracterizan por ser espacios diseñados específicamente para la venta, exhibición y realización de ferias o eventos comerciales.

Estas estructuras destacan por su diseño funcional y estéticamente agradable, lo que favorece una interacción más cómoda y eficiente con los clientes. (Tensco, 2025)

Ejemplos de uso:

Centros comerciales con la implementación de muros

Venta de maquinaria o productos comerciales

Eventos de todo tipo

2.1.4 CARGAS ESTRUCTURALES

Las cargas estructurales son los esfuerzos que actúan sobre una edificación-estructura, siendo estas cargas las que ayudan a entender mejor una estructura antes de realizar su debida construcción ayudando a garantizar eficiencia y seguridad estructural, se encuentran

normadas en estándares internacionales como la ASCE 7, AISC 360 y normas nacionales como la NEC 2015. La correcta identificación y clasificación de las cargas es esencial para el análisis y diseño de galpones metálicos, debido a que su comportamiento depende directamente de como estas cargas son transmitidas a los elementos estructurales. (Engineers, 2017)

2.1.4.1 CARGAS MUERTAS

Las cargas muertas o cargas permanentes forman parte del peso propio de la estructura, incluyendo vigas, columnas, correas, perfiles metálicos, cubiertas y cualquier elemento fijo incorporado a la estructura. Estas cargas se consideran constantes en el tiempo ya que no varían, y aportan una base estable para el análisis estructural.

El peso de los materiales utilizados que constituyen una estructura de acero como los perfiles laminados, paneles metálicos y cimentaciones, constituyen la mayor parte de la carga muerta. (Ching, 2020)

2.1.4.2 CARGAS VIVAS

Las cargas vivas corresponden a las acciones no permanentes, como el peso de personas, equipos móviles, almacenamiento temporal y cargas de uso habitual que puedan cambiar con el tiempo. Su magnitud depende del tipo de uso de la estructura y está regulada para evitar deformaciones excesivas o fallas locales en la estructura. (Allen, 2019)

2.1.4.3 CARGAS DE VIENTO

Las cargas de viento son acciones horizontales que resultan del impacto del flujo de aire sobre las superficies exteriores de una estructura. Estas acciones producen presiones y succiones que deben ser consideradas especialmente en galpones metálicos, debido a sus grandes superficies expuestas. La magnitud de la carga de viento depende de factores como

la velocidad básica del viento, altura de la estructura, rugosidad del terreno y geometría del edificio. (Engineers, 2017)

SEGÚN LA NEC

La NEC establece una velocidad de diseño para viento en estructuras de hasta 10 m de altura será su velocidad máxima adecuada para la zona de ubicación de la edificación, pero no será menor a 21 m/s. (NEC, 2015)

La velocidad instantánea máxima de viento se multiplicará por un coeficiente de corrección que dependerá de la altura y de las características geográficas y de las edificaciones del entorno. (NEC, 2015)

$$V_b = V \times \sigma$$

Donde:

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

Características topográficas se reparten en 3 categorías:

1.- Categoría A (sin obstrucción): Edificios frente al mar, zonas rurales o espacios abiertos sin obstáculos topográficos.

2.- Categoría B (obstrucción baja): Edificios en zonas urbanas con edificación de baja altura, promedio hasta 10 m.

3.- Categoría C (zona edificada): Zonas urbanas con edificios de altura.

Tabla 1 Características topográficas para cargas de viento.

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

Nota. Obtenido de la NEC-SE-CG

Cálculo de la presión del viento

Se asume que la fuerza del viento ejerce una presión sobre los elementos de la fachada. Para calcular la resistencia de dichos elementos frente al empuje del viento, se define una presión de cálculo P, cuyo valor se determinará utilizando la siguiente formula:

$$P = \frac{1}{2} \times \rho \times V_b^2 \times C_e \times C_f$$

Donde:

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).

V_b = Velocidad básica del viento en m/s.

C_e = Coeficiente de entorno/altura.

C_f = Coeficiente de forma

Factor de forma C_f

Se determina C_f de acuerdo con la tabla siguiente:

Tabla 2 Factor de forma C_e

Construcción	Barlovento	Sotavento
Superficies verticales de edificios	+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	+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

Nota. Obtenido de la NEC-SE-CG

Determinación simplificada de C_f

Para contener en forma sencilla todas las posibilidades, se podrá utilizar los siguientes valores para determinar el coeficiente C_f :

Tabla 3 Determinación simplificada de C_f

Construcción	Coeficiente C_f
Elementos situados en patios interiores, cuyo ancho es inferior a la altura del edificio y sin conexión con el espacio exterior por su parte inferior, así como ventanas interiores (en el caso de que se dispongan dobles ventanas)	0.3
Elementos en fachadas protegidas en edificios alineados en calles rectas, a una distancia de la esquina, mayor que la altura de la edificación, en bloques exentos en la parte central de una fachada, de longitud mayor que el doble de la altura o en patios abiertos a fachadas o patios de manzana	0.8
Elementos en fachadas expuestas en edificaciones aisladas o fachadas de longitud menor que el doble de la altura	1.3
Elementos en fachadas muy expuestas, situados al borde de la orilla de lagos o del mar, próximos a escarpaduras, laderas de fuerte inclinación, desfiladeros, y otros	1.5

Nota. Obtenida de la NEC-SE-CG

Fuerza de viento en las estructuras

Barlovento

Se llama barlovento a la superficie del edificio que miran hacia la dirección del viento incidente, donde el flujo se frena y se forma una zona de estancamiento, por lo que típicamente predominan presiones externas positivas sobre la envolvente. En términos de ingeniería del viento, esto se refleja en coeficientes de presión positivos en la pared de barlovento, con magnitudes que dependen de la geometría, la rugosidad, exposición y el ángulo de ataque del viento. (Ted, 2020)

Sotavento

El sotavento es la cara opuesta al viento incidente, allí el flujo suele separarse al rodear el edificio y se genera una estela turbulenta con presiones externas negativas, es decir, el viento jala la envolvente en vez de empujarla. Por eso, en sotavento los C_p suelen ser negativos y su efecto combinado con presiones internas puede controlar el diseño de cerramientos, cubiertas y anclajes. (Ted, 2020)

2.1.4.4 CARGAS SÍSMICAS

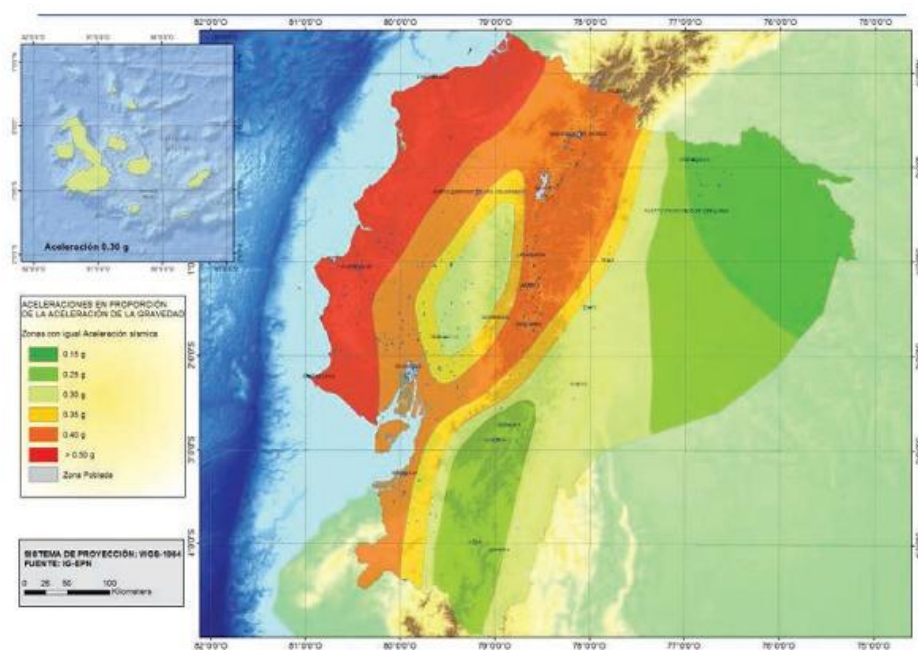
Las cargas sísmicas son fuerzas dinámicas generadas por la interacción entre la estructura y el movimiento del suelo durante un sismo. Estas acciones resultan esenciales en el análisis de estructuras metálicas ubicadas en zonas sísmicas como Ecuador.

SEGÚN LA NEC

Zonificación sísmica y factor de zona Z

El sitio donde se plantea construir una estructura determinara una de las seis zonas sísmicas del Ecuador, caracterizada por el valor del factor de zona Z . (MIDUVI, NEC, 2015)

Figura 2 Ecuador, zonas sísmicas para propósitos de diseño.



Nota. Obtenida de la NEC-SE-DS

Tabla 4 Valores del factor Z

Zona sísmica	I	II	III	IV	V	VI
Valor factor Z	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥ 0.50
Caracterización del peligro sísmico	Intermedia	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy alta

Nota. Obtenida de la NEC-SE-DS

Todo el territorio ecuatoriano está catalogado como de amenaza sísmica alta, a excepción del nororiente y el litoral ecuatoriano. (MIDUVI, NEC, 2015)

Tipos de perfiles de suelos para el diseño sísmico

Los parámetros utilizados para la clasificación son correspondientes a los 30 m superiores del perfil para los perfiles tipo A, B, C, D y E. (MIDUVI, NEC, 2015)

Figura 3 Clasificación de los perfiles de suelo.

Tipo de perfil	Descripción	Definición
A	Perfil de roca competente	$V_s \geq 1500 \text{ m/s}$
B	Perfil de roca de rigidez media	$1500 \text{ m/s} > V_s \geq 760 \text{ m/s}$
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$760 \text{ m/s} > V_s \geq 360 \text{ m/s}$

	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios	$N \geq 50.0$ $S_u \geq 100 \text{ kPa}$
D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$360 \text{ m/s} > V_s \geq 180 \text{ m/s}$
	Perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	$50 > N \geq 15.0$ $100 \text{ kPa} > S_u \geq 50 \text{ kPa}$
E	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$V_s < 180 \text{ m/s}$
	Perfil que contiene un espesor total H mayor de 3 m de arcillas blandas	$IP > 20$ $w \geq 40\%$ $S_u < 50 \text{ kPa}$

Nota. Obtenida de la NEC-SE-DS

Coeficientes de perfil de suelo F_a , F_d y F_s

F_a que amplifica las ordenadas del espectro de respuesta elástico de aceleraciones.

Tabla 5 Tipo de suelo y Factores de sitio F_a

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥ 0.5
A	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B	1	1	1	1	1	1
C	1.4	1.3	1.25	1.23	1.2	1.18
D	1.6	1.4	1.3	1.25	1.2	1.12
E	1.8	1.4	1.25	1.1	1.0	0.85
F	Véase Tabla 2 : Clasificación de los perfiles de suelo y la sección 10.5.4					

Nota. Obtenida de la NEC-SE-DS

F_d amplifica las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos.

Tabla 6 Tipo de suelo y Factores de sitio F_d

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥ 0.5
A	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B	1	1	1	1	1	1
C	1.36	1.28	1.19	1.15	1.11	1.06
D	1.62	1.45	1.36	1.28	1.19	1.11
E	2.1	1.75	1.7	1.65	1.6	1.5
F	Véase Tabla 2 : Clasificación de los perfiles de suelo y 10.6.4					

Nota. Obtenida de la NEC-SE-DS

Fs considera el comportamiento lineal de los suelos, la degradación del periodo del sitio que depende de la intensidad y contenido de frecuencia de la excitación sísmica y los desplazamientos relativos del suelo.

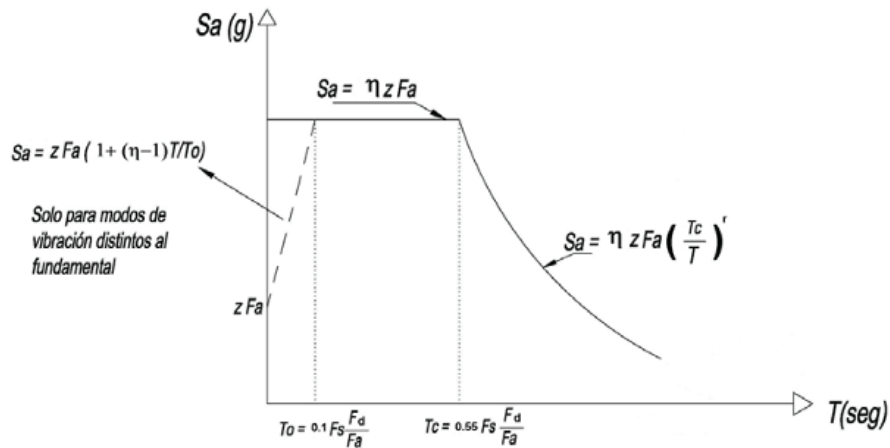
Tabla 7 Tipo de suelo y Factores del comportamiento inelástico del subsuelo Fs

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥ 0.5
A	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
B	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
C	0.85	0.94	1.02	1.06	1.11	1.23
D	1.02	1.06	1.11	1.19	1.28	1.40
E	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2
F	Véase Tabla 2 : Clasificación de los perfiles de suelo y 10.6.4					

Nota. Obtenida de la NEC-SE-DS

Espectro de diseño

Figura 4 Espectro sísmico elástico de aceleraciones



Nota. Obtenida de la NEC-SE-DS

Dónde:

η Razón entre la aceleración espectral S_a ($T = 0.1$ s) y el PGA para el período de retorno seleccionado.

F_a Coeficiente de amplificación de suelo en la zona de período cortó. Amplifica las ordenadas del espectro elástico de respuesta de aceleraciones para diseño en roca, considerando los efectos de sitio.

F_d Coeficiente de amplificación de suelo. Amplifica las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos para diseño en roca, considerando los efectos de sitio.

F_s Coeficiente de amplificación de suelo. Considera el comportamiento no lineal de los suelos, la degradación del período del sitio que depende de la intensidad y contenido de

frecuencia de la excitación sísmica y los desplazamientos relativos del suelo, para los espectros de aceleraciones y desplazamientos.

Sa Espectro de respuesta elástico de aceleraciones (expresado como fracción de la aceleración de la gravedad g). Depende del período o modo de vibración de la estructura.

T Período fundamental de vibración de la estructura.

T0 Período límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño.

TC Período límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño.

Z Aceleración máxima en roca esperada para el sismo de diseño, expresada como fracción de la aceleración de la gravedad g .

Coefficiente de importancia I

El propósito del factor I es incrementar la demanda sísmica de diseño para las estructuras, que por sus características de utilización y de importancia deben permanecer operativas o sufrir menores daños durante y después del sismo de diseño. (MIDUVI, NEC, 2015)

Tabla 8 Tipo de uso, destino e importancia de la estructura

Categoría	Tipo de uso, destino e importancia	Coefficiente I
Edificaciones esenciales	Hospitales, clínicas, Centros de salud o de emergencia sanitaria. Instalaciones militares, de policía, bomberos, defensa civil. Garajes o estacionamientos para vehículos y aviones que atienden emergencias. Torres de control aéreo. Estructuras de centros de telecomunicaciones u otros centros de atención de emergencias. Estructuras que albergan equipos de generación y distribución eléctrica. Tanques u otras estructuras utilizadas para depósito de agua u otras sustancias anti-incendio. Estructuras que albergan depósitos tóxicos, explosivos, químicos u otras sustancias peligrosas.	1.5
Estructuras de ocupación especial	Museos, iglesias, escuelas y centros de educación o deportivos que albergan más de trescientas personas. Todas las estructuras que albergan más de cinco mil personas. Edificios públicos que requieren operar continuamente	1.3
Otras estructuras	Todas las estructuras de edificación y otras que no clasifican dentro de las categorías anteriores	1.0

Nota. Obtenida de la NEC-SE-DS

Periodo de vibración

Para estructuras de edificación, el valor de T puede determinarse de manera aproximada mediante la expresión:

$$T = C_t x h_n^\alpha$$

Donde:

Ct Coeficiente que depende del tipo de edificio

Hn Altura máxima de la edificación de n pisos, medida desde la base de la estructura, en metros.

T periodo de vibración

Tabla 9 Coeficientes que dependen del tipo de edificio

Tipo de estructura	C_t	α
Estructuras de acero		
Sin arriostramientos	0.072	0.8
Con arriostramientos	0.073	0.75
Pórticos especiales de hormigón armado		
Sin muros estructurales ni diagonales rigidizadoras	0.055	0.9
Con muros estructurales o diagonales rigidizadoras y para otras estructuras basadas en muros estructurales y mampostería estructural	0.055	0.75

Nota. Obtenida de la NEC-SE-DS

Factor de reducción de respuesta R para estructuras diferentes a la de edificación

Se permite una reducción de fuerzas sísmicas mínimas de diseño mediante el factor R cuando el diseño de este tipo de estructuras provea de suficiente resistencia y ductilidad a las mismas. (MIDUVI, NEC, 2015)

Tabla 10 Factor de reducción de respuesta R

Valores del coeficiente de reducción de respuesta estructural R	
Reservorios y depósitos, incluidos tanques y esferas presurizadas, soportados mediante columnas o soportes arriostrados o no arriostrados.	2
Silos de hormigón fundido en sitio y chimeneas que poseen paredes continuas desde la cimentación	3.5
Estructuras tipo cantiléver tales como chimeneas, silos y depósitos apoyados en sus bordes	3
Naves industriales con perfiles de acero	3
Torres en armadura (auto-portantes o atirantadas)	3
Estructuras en forma de péndulo invertido	2
Torres de enfriamiento	3.5
Depósitos elevados soportados por una pila o por apoyos no arriostrados	3
Letreros y carteleras	3.5
Estructuras para vallas publicitarias y monumentos	2
Otras estructuras no descritas en este documento	2

Límite de derivas

La deriva máxima para cualquier piso no excederá los límites de deriva inelástica establecidos por la siguiente tabla. (MIDUVI, NEC, 2015)

Estructuras de:	Δ_M máxima (sin unidad)
Hormigón armado, estructuras metálicas y de madera	0.02
De mampostería	0.01

Nota. Obtenida de la NEC-SE-DS

2.1.5 COMBINACIONES DE CARGAS

Cualquiera sea la estructura considerada, se deberán respetar todas las combinaciones.

D carga permanente

E carga de sismo

L Sobrecarga (carga viva)

Lr Sobrecarga cubierta (carga viva)

S carga de granizo

W carga de viento

Tabla 11 Combinaciones de cargas estructurales

Combinación 1

1.4 D

Combinación 2

1.2 D + 1.6 L + 0.5max[L_r ; S ; R]

Combinación 3*

1.2 D + 1.6 max[L_r ; S ; R] + max[L ; 0.5W]

Combinación 4*

1.2 D + 1.0 W + L + 0.5 max[L_r ; S ; R]

Combinación 5*

1.2 D + 1.0 E + L + 0.2 S

Combinación 6

0.9 D + 1.0 W

Combinación 7

0.9 D + 1.0 E

Nota. Obtenida de la NEC-SE-CG

2.1.6 NORMATIVAS ESTRUCTURALES DE DISEÑO

Las normativas estructurales son un conjunto de criterios técnicos que establecen los requisitos técnicos para el diseño adecuado, el análisis y la construcción de edificaciones.

Estas normas definen parámetros, procedimientos, combinaciones de carga, propiedades del

material y criterios de desempeño que deben seguirse para asegurar que una edificación cumpla con los niveles adecuados de resistencia y servicio. (Engineers, 2017)

2.1.6.1 NEC-2015

La Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-2015) establece los criterios de diseño y construcción para edificaciones dentro del territorio ecuatoriano, considerando las características sísmicas, geotécnicas, climáticas y topográficas del país. Esta norma regula aspectos relacionados con cargas gravitacionales, cargas de viento, cargas sísmicas, diseño con acero estructural y criterios de desempeño. (NEC, 2015)

NEC-SE-DS: Determinación de cargas sísmicas mediante el espectro elástico de diseño.

NEC-SE-CG: Determinación de cargas gravitacionales y combinaciones básicas.

NEC-SE-AC: Diseño con acero estructural bajo criterios de esbeltez, resistencia y estabilidad.

2.1.6.2 NORMA ASCE 7-16

La norma ASCE 7-16 es el estándar internacional más utilizado para la determinación de las cargas que deben considerarse en el diseño de edificios y otras obras civiles. (Engineers, 2017)

2.1.6.3 NORMA AISC 360-16

Esta norma regula la resistencia a flexión, compresión, cortante, torsión y estados límites de estabilidad estructural, además del dimensionamiento de juntas atornilladas y soldadas. La norma incluye también limitaciones de esbeltez, requisitos para la estabilizaciones laterales y control del pandeo local en miembros de acero. (AISC, 2016)

2.1.7 ACERO ESTRUCTURAL

El acero estructural es un tipo de acero que esta caracterizado por estar constituido por carbono menor al 0.3% y contar con una alta resistencia mecánica. Las estructuras de acero son obtenidas al realizar un proceso de laminado en caliente, el cual es un proceso de elevar las temperaturas del acero más allá de su punto de fusión luego es pasado por maquinaria dándole la forma que se especificó. De esta forma se crean los perfiles de acero denominados ya que obtienen diferentes formas, como perfiles I, ángulos, cuadrados, etc.

Figura 5 Estructuras de acero



Nota. Tomada de Google.

2.1.8 TIPOS DE ACERO ESTRUCTURAL

El acero estructural se divide en grupos como acero al carbono y el acero de baja aleación. El acero al carbono es el más utilizado en las construcciones debido a su amplia disponibilidad y menor costo, ya que está constituido mayormente por hierro y carbono. El acero de baja aleación contiene otros elementos como níquel, cromo, molibdeno, vanadio, que le transmiten propiedades especiales, como mayor resistencia a la corrosión, a la fatiga, etc. (Servicor, 2025)

2.1.8.1 ACERO AL CARBONO

Los aceros al carbono son sensibles al tratamiento térmico, especialmente en los procesos del temple, revenido y normalizado.

Estos tratamientos modifican la estructura interna del acero, alterando tensiones residuales, refinando el tamaño de los granos y transformando fases como ferrita, perlita y martensita. Todo esto afecta directamente en la resistencia, dureza, ductilidad y la capacidad del material para soportar cargas cíclicas y estados de fatiga. (Campos, 2025)

2.1.8.2 ACERO DE BAJA ALEACIÓN

Los aceros de baja aleación con alta resistencia permiten diseñar estructuras más livianas sin comprometer la estabilidad ni la seguridad de la estructura, su mayor resistencia mecánica reduce el uso del material y mejorando la eficiencia estructural. (Branco & Berto, 2021)

2.1.9 PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ACERO

Las propiedades mecánicas del acero permiten que las estructuras resistan cargas gravitacionales, dinámicas y cíclicas, manteniendo un comportamiento predecible y seguro ante diferentes condiciones de servicio y eventos extremos como sismos o cargas de viento. Estas propiedades derivan de su composición química, su proceso de fabricación y los tratamientos térmicos aplicados. (Hibbeler, 2022)

2.1.10 MÉTODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS (MEF)

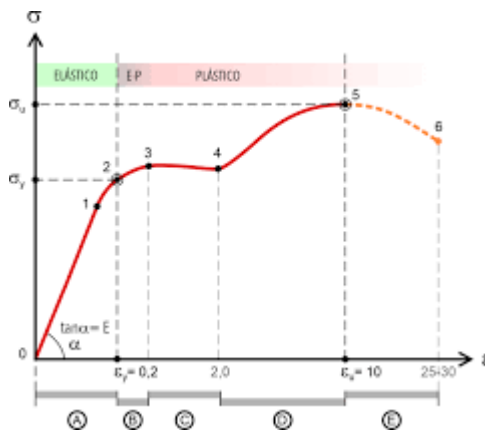
Es una técnica numérica utilizada en la ingeniería para analizar el comportamiento de cuerpos sujetos a cargas, deformaciones y desplazamientos. Este método consiste en dividir una estructura continua con un conjunto de elementos pequeños llamados elementos finitos, los cuales están conectados entre sí mediante nodos.

Al ensamblar estos elementos, se obtiene una estructura con la capacidad de determinar el comportamiento global de la estructura ante diferentes acciones.

2.1.11 GRAFICA ESFUERZO-DEFORMACIÓN

La grafica esfuerzo-deformación describe como actúa mecánicamente de un material cuando actúa una carga axial sobre él material, normalmente la gráfica se obtiene mediante un ensayo de tracción uniaxial. Este diagrama relaciona el esfuerzo normal aplicado con la deformación unitaria producida, permitiendo identificar las distintas etapas del comportamiento del material hasta la falla. (Russell, 2010)

Figura 6 Grafica esfuerzo-deformación



Nota. Tomada de Google.

2.1.12 ÁREA TRIBUTARIA

El área tributaria es el área de una superficie estructural que transfiere su carga a unos elementos específicos, como una viga, columna o losa. Se utiliza para determinar los que cargas están actuando en los elementos estructurales, determinando que estas cargas se distribuyen de forma uniforme hasta la mitad de la distancia entre elementos adyacentes.

Siendo este concepto fundamental en el análisis y diseño estructural, ya que permite simplificar la determinación de cargas actuantes. (Richard, 2018)

2.1.13 ELEMENTOS QUE COMPONEN UN GALPÓN METÁLICO

Un galpón es una edificación amplia y funcional, que es diseñada con una estructura modular que combina elementos resistentes de unión y de cerramiento para formar un espacio cubierto y adaptable a múltiples funcionalidades. Su composición estructural se basa principalmente en pórticos, columnas, vigas, arriostramientos, correas, cubiertas, cerramientos laterales o frontales, también está conformada por cimentación.

El componente resistente de un galpón metálico se organiza mediante una serie de pórticos o marcos estructurales, dispuestos en sentido transversal, los cuales constituyen el esqueleto principal de la estructura. Cada pórtico está formado por columnas verticales y vigas inclinadas o horizontales, unidas mediante conexiones rígidas o semirrígidas que permiten soportar tanto cargas verticales de peso propio, techo, nieve, como horizontales de viento o sismo. (construction.info, s.f.)

Las naves o galpones industriales están constituidas por elementos principales y secundarios, donde los pórticos, columnas y vigas, determinan la capacidad resistente global del conjunto, enfatizando la necesidad de un diseño integral que combine resistencia, eficiencia y economía estructural. (Fernández, 2024)

2.1.13.1 VIGAS

Las vigas son elementos estructurales horizontales o inclinados que son parte esencial del sistema estructural resistente de un galpón. Su función principal consiste en transmitir las cargas provenientes del techo, de estructuras secundarias y de las cubiertas de techo hacia las

columnas o apoyos del pórtico, garantizando la estabilidad global y la distribución uniforme de los esfuerzos.

En el análisis y diseño de galpones industriales de material de acero, las vigas cumplen un aporte importante dentro del pórtico ya que trabajan a flexión y corte, soportando todo tipo de cargas gravitacionales que actúan sobre la cubierta. En los galpones de acero, las vigas suelen construirse con perfiles estructurales laminados en caliente, como los tipos I, H o W, debido a su alta capacidad portante y facilidad de conexión entre las columnas mediante uniones soldadas o atornilladas. (Cruz, 2024)

El diseño de las vigas de acero requiere considerar el tipo de carga aplicada uniforme o concentrada, también la longitud libre entre apoyos, el momento flector máximo y la limitación de deflexiones. Además, destaca que el refuerzo en el alma o las alas de la viga es fundamental cuando las luces o cargas son elevadas, evitando deformaciones excesivas y pandeos locales. (Monge, 2022)

2.1.13.2 COLUMNAS

Las columnas son los elementos verticales principales que conforman el sistema resistente de un galpón. Su función estructural consiste en recibir y transmitir las cargas verticales y horizontales desde las vigas o pórticos superiores hacia la cimentación, asegurando la estabilidad global de la edificación.

Estas fuerzas que actúan sobre las columnas son el peso propio, la cubierta y las cargas vivas que estará comprometida a la estructura, según las condiciones y el tipo de uso del galpón. Las columnas en galpones metálicos son los encargados de soportar las cargas y esfuerzos de la estructura superior, resistiendo esfuerzos de compresión y flexión. Por esta

razón, su dimensionamiento debe cumplir con los criterios de resistencia, esbeltez y pandeo, garantizando que el elemento no falle por inestabilidad bajo carga crítica. (Cruz, 2024)

En los galpones metálicos, las columnas son fabricadas con diferentes perfiles laminados de tipo H o W, esto es debido a su alta capacidad portante, facilitando la conexión con las vigas de los pórticos y comportamiento eficiente ante flexiones. La selección del perfil depende de la altura del galpón, la separación entre pórticos, la pendiente de la cubierta y el tipo de carga que deba soportar. Además, se suele reforzar el alma de las columnas para evitar concentraciones excesivas de esfuerzos. (Monge, 2022)

2.1.13.3 CIMENTACIÓN

La cimentación constituye la parte inferior y fundamental de un galpón, cuya función principal es recibir y distribuir las cargas provenientes de las columnas y de toda la estructura superior hacia el terreno, evitando asentamientos diferenciales o fallas por exceso de presión en el suelo. En los galpones metálicos, la cimentación más común está conformada por zapatas aisladas de hormigón armado, diseñadas conforme con las características del terreno y las cargas transmitidas por los pórticos.

Las zapatas son elementos estructurales que soportan las columnas, transmitiendo las cargas axiales y momentos flectores hacia el terreno en cuestión. Estas deben dimensionarse considerando la capacidad portante del suelo, el peso total del galpón, las acciones sísmicas y del viento, así como el tipo de anclaje empleado en la unión columna-zapata. En los galpones metálicos, se utiliza comúnmente una placa base de acero unida a la columna mediante pernos de anclaje en el concreto, lo cual permite una transferencia directa y segura de los esfuerzos. (Cruz, 2024)

Señalando que el diseño de las zapatas debe incluir un refuerzo longitudinal y transversal adecuado, que permita resistir los momentos generados por las cargas excéntricas. Además, se recomienda disponer una capa de limpieza bajo la cimentación y garantizar una correcta compactación del terreno para evitar asentamientos irregulares. (Monge, 2022)

2.1.13.4 CORREAS

Se define a las correas como los elementos horizontales que se apoyan sobre las vigas o cerchas principales, cuya función es transmitir las cargas verticales de la cubierta hacia los pórticos. Además, cumplen una labor de arriostramiento lateral, evitando el desplazamiento de las vigas y aumentando la rigidez del conjunto estructural. El diseño de correas metálicas debe considerar la flexión simple, la resistencia a la torsión lateral y las condiciones de apoyo continuas o articuladas, asegurando así la estabilidad del techo bajo diferentes condiciones de carga. (Aguirre, 2022)

El catálogo técnico de Novacero describe las correas metálicas como elementos estructurales fabricados en acero al carbono laminado en frío, diseñados específicamente para estructuras de galpones, cubiertas y cerramientos.

Su geometría (tipo C o Z) permite una alta relación resistencia-peso, facilitando su montaje y reduciendo el uso de materiales pesados. Las correas de acero se instalan en serie sobre las vigas o cerchas, funcionando como apoyo directo de las planchas de cubierta o revestimiento. Novacero resalta que este sistema contribuye a la ligereza y durabilidad del galpón, a la vez que mantiene la rigidez necesaria para soportar las cargas de viento o vibración. (NOVACERO, 2025)

2.1.13.5 ARRIOSTRAMIENTOS

Los arriostramientos son elementos estructurales secundarios de barras diagonales, riostras que se emplean para dar estabilidad lateral y resistencia contra cargas horizontales como viento o sismo en una estructura tipo galpón. Estos miembros actúan en conjunto con los pórticos es decir columnas con vigas para formar un sistema resistente que controla desplazamientos, deriva y pandeo lateral de los elementos verticales y horizontales.

Cuando un modelo estructural sin arriostramientos de sólido indeformable no es estable, se puede recurrir a elementos específicos de arriostramiento para garantizar la estabilidad del conjunto. (Hernández, 2000)

Los sistemas de arriostramiento diagonales en pórticos metálicos permiten que las vigas y columnas puedan diseñarse únicamente para cargas verticales, pues el arriostramiento se encarga de las horizontales. (CAMICON, 2014)

2.1.13.6 CUBIERTAS METÁLICAS

Las cubiertas metálicas son los elementos de cierre que recubren el techo o los muros de las edificaciones como los galpones industriales, constituyendo la interfaz exterior entre la estructura resistente y el medio ambiente. Están fabricadas comúnmente con láminas de acero, aluminio, perfiles conformados en frío, paneles sándwich, paneles múltiples o componentes similares que ofrecen ligereza, rapidez de montaje, durabilidad y mantenimiento reducido.

Las cubiertas metálicas son una parte esencial para el galpón ya que protege la parte superior de la edificación, sirviendo para obstrucción del sol, animales, lluvias, etc. Se pueden instalar tanto en techos inclinados y planos, pero con una pendiente mínima. (MPYA, 2021)

2.1.14 CONEXIONES ESTRUCTURALES

Las conexiones estructurales son los elementos que permiten unir entre sí a los miembros de una estructura de acero como vigas, columnas, arriostres o placas con el fin de transmitir fuerzas internas, momentos, desplazamientos y garantizar la continuidad mecánica del sistema estructural. Constituyen la zona donde se concentran los esfuerzos más críticos, por lo que su diseño debe cumplir con criterios de resistencia, rigidez, ductilidad y estabilidad, establecidos por normas como AISC 360, ASCE 7-16. (AISC, 2016)

2.1.14.1 CONEXIONES ATORNILLADAS

Son uniones realizadas mediante pernos estructurales de alta resistencia. Permiten el montaje rápido, control de calidad sencillo y reemplazo o ajuste durante la construcción.

Se emplean en uniones viga columna, uniones de arriostramiento, placas base y elementos secundarios. Transmiten fuerzas por fricción o por apoyo directo entre las superficies conectadas. (Lee, 2014)

Figura 7 Juntas atornilladas



Nota. Tomada de Google.

2.1.14.2 CONEXIONES SOLDADAS

Son uniones permanentes formadas por el depósito de material de aporte que fusiona los elementos de acero. Ofrecen continuidad estructural, alta rigidez y transferencia precisa de esfuerzos. Se usan en uniones para momentos resistentes, uniones tubulares y conexiones donde se requiere minimizar desplazamientos relativos. (AISC, 2016)

2.1.14.3 CONEXIONES HÍBRIDAS O MIXTAS

Combinan atornillado y soldadura para optimizar resistencia, rigidez y facilidad de montaje. Se utilizan cuando la soldadura por sí sola no es suficiente o cuando la unión requiere ayudar al montaje inicial con pernos y completar la fijación mediante cordones de soldadura. Son comunes en nudos de arriostramiento y conexiones sometidas a cargas sísmicas importantes. (Lui, 2024)

2.1.15 PERFILES DE ACERO ESTRUCTURAL

Los perfiles de acero son elementos estructurales con formas variadas que permiten soportar cargas y distribuir esfuerzos en edificaciones, naves industriales o galpones. Algunos de los más comunes incluyen perfiles en forma de L, en U, en C, en doble T, y perfiles con alas anchas tipo W. Cada forma está diseñada para distintas funciones: vigas principales, columnas, arriostramientos, correas, soportes secundarios etc.

Los perfiles tipo I tienen alas relativamente estrechas y un alma delgada, adecuados para estructuras ligeras; los perfiles tipo H presentan alas mucho más amplias y un alma robusta, ideales para columnas y grandes cargas; los perfiles C o Z son usados como correas en cubiertas y cerramientos debido a su ligereza y facilidad de montaje. (Dipac, 2025)

La selección de un perfil adecuado para un galpón depende del uso estructural de las vigas, columnas, soportes secundarios, de las cargas a enfrentar como flexión, compresión,

torsión y del sistema constructivo. Además, factores como la fabricación de perfiles laminado en caliente o en frío, calidad del acero, la norma de fabricación, y la compatibilidad con uniones y conexiones, también influyen en la elección. Por ejemplo, los perfiles tipo U canales se usan frecuentemente en reticulados o vigas ligeras, mientras que perfiles tipo L ángulos se destinan a refuerzos y marcos. (VHaceros, 2021)

2.1.16 TIPOS DE PERFILES DE ACERO ESTRUCTURAL

Los perfiles de acero son piezas conformadas con secciones específicas que se emplean en la construcción de estructuras metálicas. Su geometría permite soportar esfuerzos de flexión, tracción, compresión y torsión, adaptándose a las necesidades de cada componente del galpón, como pórticos, vigas, columnas, correas y arriostramientos.

2.1.16.1 PERFILES LAMINADOS EN CALIENTE

Estos perfiles son elementos estructurales fabricados mediante el proceso de laminación a temperaturas altas, donde se deforma el acero en caliente para realizar las formas de las vigas I, H, ángulos, canales, etc. Este proceso permite una microestructura homogénea, buenas propiedades mecánicas y una excelente aptitud para su uso en construcciones.

Figura 8 Perfiles laminados en caliente



Nota. Tomada de Google.

2.1.16.2 PERFILES CONFORMADOS EN FRÍO

Se producen a partir de láminas de acero estructural, que se moldean mediante el rolado continuo, para formar secciones en C, Z, U y otros perfiles de acero, sin necesidad de aplicar calor durante el proceso. (steel, 2025)

Figura 9 Perfiles conformados en frío



Nota. Tomada de Google.

2.1.16.3 PERFIL TIPO I

Estos perfiles poseen un alma central vertical y dos alas horizontales, lo que le da una alta resistencia a la flexión. Se emplean principalmente en vigas principales y pórticos de galpones, debido a su capacidad de soportar grandes luces con menor peso. Su forma optimiza el uso del material y mejora el comportamiento ante cargas distribuidas. (VHaceros, 2021)

2.1.16.4 PERFIL TIPO H

Similar al perfil I, pero con alas más anchas y un alma más gruesa, lo que aumenta su capacidad de carga y estabilidad. Es ideal para columnas y estructuras verticales, ya que resiste bien esfuerzos de compresión y pandeo. Se usa en pórticos principales y marcos rígidos de grandes galpones industriales. (Dipac, 2025)

2.1.16.5 PERFIL TIPO C

Estos perfiles tienen una sección en forma de C y se fabrican comúnmente mediante laminado en frío. Se utilizan como correas, costaneras o refuerzos secundarios en cubiertas y cerramientos de galpones, ya que son ligeros, fáciles de instalar y ofrecen buena rigidez en una dirección. (DeAcero, 2019)

2.1.16.6 PERFIL TIPO Z

Tiene forma de Z y suele usarse en conjunto con el perfil C. Su geometría permite solaparse y traslaparse, lo que facilita la continuidad estructural de las cubiertas y mejora la translación de cargas entre elementos. Se utiliza mucho en cubiertas inclinadas o muros metálicos. (metal, 1990)

2.1.16.7 PERFIL TIPO L O ÁNGULO

Está compuesto por dos alas perpendiculares entre sí. Se usa como elemento de refuerzo, arriostramiento o unión secundaria, ya que proporciona estabilidad lateral a vigas y columnas. Es común en marcos de apoyo, estructuras livianas y conexiones. (Magon, 2024)

2.1.16.8 PERFIL TIPO U O CANAL LAMINADO

Tiene forma de U y se utiliza en vigas secundarias. Es frecuente en estructuras ligeras y cerramientos donde se requiere rigidez con bajo peso. Su diseño le permite resistir cargas verticales moderadas y se combina bien con los perfiles tipo C. (VHaceros, 2021)

2.1.16.9 PERFIL TUBULAR

Estos perfiles cerrados se emplean para columnas, vigas secundarias o marcos expuestos, ofreciendo una apariencia estética y una excelente resistencia a la torsión. Son comunes en estructuras de galpones modernos y sistemas modulares de acero liviano. (Dipac, 2025)

2.1.17 VENTAJAS DE LAS ESTRUCTURAS DE ACERO

Las estructuras de acero se han consolidado como una de las soluciones más utilizadas en ingeniería estructural debido a la combinación de altas propiedades mecánicas, comportamiento predecible y versatilidad constructiva. El acero permite el diseño de estructuras resistentes, seguras y económicas, con una excelente respuesta frente a cargas estáticas y dinámicas. Además, su fabricación industrial garantiza calidad constante, mientras que su rapidez de montaje y adaptabilidad a diferentes sistemas estructurales lo convierte en un material idóneo para edificaciones industriales, comerciales y agrícolas, especialmente aquellas que requieren grandes luces y alta confiabilidad estructural.

2.1.17.1 ALTA RESISTENCIA

El acero estructural se caracteriza por su alta resistencia mecánica, tanto a tracción como a compresión, lo que le permite que la estructura sea capaz de soportar grandes cargas con perfiles relativamente menores. Esta propiedad posibilita el diseño de estructuras más esbeltas y livianas en comparación con otros materiales estructurales, reduciendo el peso propio y las cargas transmitidas a la cimentación. (Worldsteel, 2025)

2.1.17.2 UNIFORMIDAD

Una de las principales ventajas del acero es su uniformidad y homogeneidad, ya que es un material fabricado bajo estrictos controles industriales. Sus propiedades mecánicas son

consistentes y predecibles, lo que beneficia un análisis estructural más confiable y resultados más precisos en el diseño. (SteelConstruction.info, 2017)

2.1.17.3 ELASTICIDAD

El acero posee un comportamiento elástico bien definido, cumpliendo de manera clara la Ley de Hooke dentro de su rango elástico. Esto significa que, al retirar las cargas aplicadas, el material recupera su forma original sin deformaciones permanentes, siempre que no se haya superado el límite elástico. (SteelConstruction.info, 2017)

2.1.17.4 DURABILIDAD

Cuando se aplican protecciones adecuadas como pinturas anticorrosivas, galvanizado o recubrimientos especiales, las estructuras de acero presentan una alta durabilidad frente a agentes ambientales. Un mantenimiento apropiado permite que estas estructuras alcancen largas vidas útiles, incluso en ambientes industriales o agresivos. (SteelConstruction.info, 2017)

2.1.17.5 DUCTILIDAD

La ductilidad es una de las propiedades más importantes del acero estructural. Esta característica permite que el material experimente grandes deformaciones plásticas antes de la falla, proporcionando señales de advertencia previas al colapso. Gracias a esta propiedad, el acero es altamente adecuado para estructuras ubicadas en zonas sísmicas. (AISC, 2016)

2.1.17.6 TENACIDAD

La tenacidad del acero se define como la capacidad para absorber energía antes de fracturarse, combinando resistencia y ductilidad. Esta propiedad es crucial cuando las estructuras están sometidas a cargas dinámicas, impactos o acciones sísmicas, ya que contribuye a evitar fallas frágiles. (ASTM, 2010)

2.1.18 FALLAS TÍPICAS DE LAS ESTRUCTURAS DE ACERO

Las estructuras de acero, aunque poseen alta resistencia y ductilidad, pueden experimentar diversos tipos de fallas debido a cargas inadecuadas, diseño deficiente, mala ejecución, corrosión o esfuerzos dinámicos. Estas fallas pueden afectar la estabilidad global de la estructura, comprometiendo su la eficiencia de la estructura y seguridad. Los mecanismos de falla dependen tanto de las propiedades mecánicas del acero como a su vez por la interacción entre los elementos estructurales, las conexiones y las condiciones de servicio.

2.1.19 TIPOS DE FALLAS

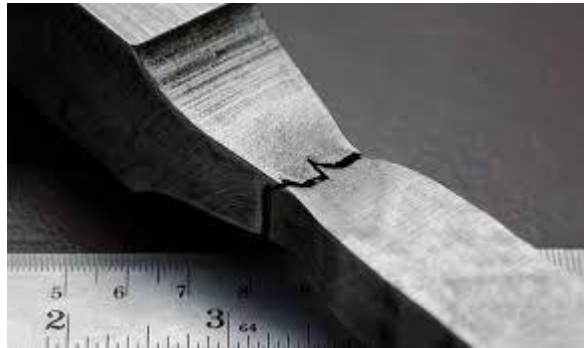
2.1.19.1 FALLA POR FATIGA

Uno de los mecanismos más comunes es la fatiga estructural, que consiste en el deterioro progresivo de un miembro debido a cargas cíclicas repetidas a lo largo del tiempo. La fatiga suele iniciarse en zonas con discontinuidades como soldaduras, agujeros de pernos o muescas, donde se concentran esfuerzos que generan fisuras microscópicas capaces de crecer hasta provocar fractura. Este fenómeno se acentúa en ambientes corrosivos, ya que la corrosión por picadura acelera significativamente la iniciación y propagación de grietas. (Hosen, 2024)

2.1.19.2 FALLA POR FRACTURA

Se produce cuando el acero pierde ductilidad y se fractura sin deformación previa. Este tipo de falla está relacionada con bajas temperaturas, altos niveles de restricción o presencia de defectos internos en el material. La fractura frágil es extremadamente peligrosa, pues ocurre súbitamente y puede propagarse con gran rapidez, comprometiendo la integridad total de la estructura sin advertencia previa. (Weck, 1965)

Figura 10 Fractura frágil



Nota. Tomada de Google.

2.1.19.3 FALLA POR PANDEO LATERAL TORSIONAL

Esta falla ocurre cuando una viga sometida a flexión experimenta desplazamiento lateral y rotación simultánea alrededor de su eje longitudinal, perdiendo estabilidad. Este modo de falla es especialmente crítico en vigas tipo I no arriostradas lateralmente y en vigas celulares debido a la reducción de la rigidez torsional. Este tipo de inestabilidad disminuye drásticamente la capacidad resistente de la viga, incluso cuando las tensiones aún no alcanzan el límite elástico del material.

2.1.19.4 FALLA POR PANDEO ELÁSTICO

El pandeo elástico de vigas esbeltas es otra forma común de falla. Las vigas con almas o rigideces reducidas se pueden pandear incluso bajo cargas moderadas si estas son sometidas a cargas concentradas o si poseen una geometría inadecuada. El estudio, basado en simulaciones de elementos finitos, evidencia que los rigidizadores son esenciales para retrasar la falla por pandeo en vigas esbeltas sometidas a carga vertical concentrada. (Miguel, 2012)

2.1.20 DISEÑO SISMORRESISTENTE

El diseño sismorresistente consiste en la aplicación de criterios estructurales cuyo objetivo es que las edificaciones resistan movimientos sísmicos mediante sistemas capaces de disipar energía, evitar fallas frágiles y mantener un comportamiento dúctil. (MIDUVI, NEC, 2023)

2.1.20.1 COMPORTAMIENTO DE LAS ESTRUCTURAS METÁLICAS ANTE SISMOS

El comportamiento sísmico de las estructuras metálicas se caracteriza por su alta ductilidad, lo que permite que sus elementos de acero desarrollen deformaciones inelásticas importantes sin perder resistencia de manera brusca. Las estructuras de acero están diseñadas para formar rótulas plásticas controladas en vigas y conexiones, lo que favorece la disipación de energía durante un sismo severo. Este mecanismo evita fallas frágiles y proporciona un comportamiento global estable incluso bajo movimientos sísmicos intensos. (Bruneau, 2018)

2.1.20.2 DISIPADORES DE ENERGÍA

Los disipadores de energía son dispositivos incorporados en estructuras que tienen como función absorber la energía generada durante un sismo, reduciendo las demandas internas sobre vigas, columnas y nodos. Permiten que la estructura principal trabaje con menores deformaciones y aumentando su ductilidad global, reduciendo el daño acumulado durante un movimiento sísmico. (Sato, 2018)

Figura 11 Disipador de energía



Nota. Tomada de Google.

2.1.21 CAUSAS DE DETERIORO DE UN GALPÓN

2.1.21.1 CORROSIÓN ATMOSFÉRICA

Ambiente costero cloruros, industrial contaminantes, azufres, alta humedad, mal drenaje o condensación en los perfiles. (BCSA, s.f.)

Cuando la corrosión progresa, hay pérdida de sección, lo que reduce la capacidad portante y compromete la seguridad estructural. (Bejinariu, 2022)

Figura 12 Corrosión en las estructuras de acero



Nota. Tomada de Google.

2.1.21.2 IMPACTO DEL AMBIENTE LOCAL

En Ecuador, en zonas costeras o de alta humedad, la condensación y salinidad en el aire o ambientes agresivos pueden acelerar la corrosión.

2.1.21.3 MANTENIMIENTO DEFICIENTE

Muchos casos de fallas estructurales surgen de la falta de mantenimiento oportuno.

2.1.22 AGENTES ANTICORROSIVOS PARA ESTRUCTURAS DE ACERO

La resistencia y ductilidad del acero lo convierten en uno de los materiales más utilizados, pero su durabilidad depende en gran medida de su protección frente a la corrosión. Los agentes anticorrosivos actúan como barrera protectora evitando que el oxígeno no entre en contacto directo con el acero, la humedad y los contaminantes atmosféricos. Estos agentes se aplican comúnmente como recubrimientos, imprimantes o pinturas industriales sobre las superficies metálicas, generando una capa pasiva que reduce la oxidación. (Corsa, 2019)

En los sistemas de protección industrial se utilizan pigmentos inhibidores como el óxido de plomo, cromatos, fosfatos de zinc o molibdatos, los cuales actúan de forma activa al reaccionar químicamente con el acero, formando compuestos insolubles que bloquean los puntos de corrosión. La eficacia del sistema depende de la correcta limpieza de la superficie, la adherencia del recubrimiento y la estabilidad del agente anticorrosivo frente a la radiación ultravioleta o ambientes húmedos. (Pelayo, 2021)

Los recubrimientos poliméricos anticorrosivos también son ampliamente utilizados, especialmente los elaborados con epoxis, poliuretanos o siliconas modificadas, que proporcionan una impermeabilidad de alta adherencia. Estos recubrimientos no solo protegen al acero de la corrosión, sino que también mejoran su apariencia, resistencia química y desempeño frente a variaciones térmicas extremas. (Zille, 2025)

En estructuras de acero expuestas a ambientes industriales o marinos, los sistemas de pintura multicapa combinan imprimantes inhibidores, capas intermedias epóxicas y acabados de poliuretano, formando una defensa integral contra agentes corrosivos. Este enfoque prolonga la vida útil de las estructuras y reduce la necesidad de mantenimiento frecuente, siendo esencial en galpones, puentes y edificaciones portuarias. (López, 2021)

2.1.23 VIDA ÚTIL DEL ACERO ESTRUCTURAL

La vida útil del acero estructural depende de la capacidad del material para mantener sus propiedades mecánicas y su sección efectiva a lo largo del tiempo frente a factores como corrosión, fatiga, cargas repetitivas, condiciones ambientales agresivas y mantenimiento. A diferencia de otros materiales, el acero posee una vida útil potencialmente indefinida cuando se encuentra protegido y conserva su integridad superficial, ya que no sufre degradación por envejecimiento intrínseco. Sin embargo, en ambientes reales la corrosión y la pérdida progresiva de sección constituyen los principales mecanismos que limitan su durabilidad. La vida útil del acero estructural sin protección puede reducirse de forma significativa en ambientes húmedos o industriales, mientras que en condiciones controladas puede superar los 50 a 100 años sin disminución apreciable de su capacidad resistente. (Correia, 2021)

2.1.24 RESISTENCIA ANTE EVENTOS EXTREMOS

La selección de materiales es importante, sobre todo en regiones sísmicas como Ecuador. Para grandes estructuras se opta por el acero o el hormigón armado, ya que estos materiales ofrecen un equilibrio perfecto entre resistencia y flexibilidad.

Para las estructuras más pequeñas, se elige la mampostería, estos bloques esencialmente hechos de cemento se los escoge por su coste, robustez y durabilidad. (Medel, 2024)

2.1.25 CONSECUENCIAS DEL MAL ANÁLISIS ESTRUCTURAL

Un análisis estructural deficiente trae consecuencias económicas y operativas. La falta de precisión en las cargas o en la rigidez puede producir sobredimensionamiento en los diseños, elevando innecesariamente el costo de los materiales.

El primer vistazo de un mal análisis es el dimensionamiento inadecuado de las secciones de los perfiles estructurales, ocasionando que las vigas, columnas, conexiones o arriostramientos no sean capaces de resistir las cargas. Cuando las cargas gravitacionales, de viento y sísmicas superan la resistencia prevista por el mal análisis, la estructura experimentara excesos de tensión, deformaciones y perdida de rigidez, lo que incrementa la probabilidad de falla en la estructura. Un diseño incorrecto puede reducir hasta un 40% de la vida útil de una estructura debido al incremento de esfuerzos residuales y a la aparición de deformaciones acumulativas. (Da Silva, 2020)

3 CAPÍTULO III

3.1 MARCO METODOLÓGICO

3.1.1 LEVANTAMIENTO DE DATOS EN EL SITIO

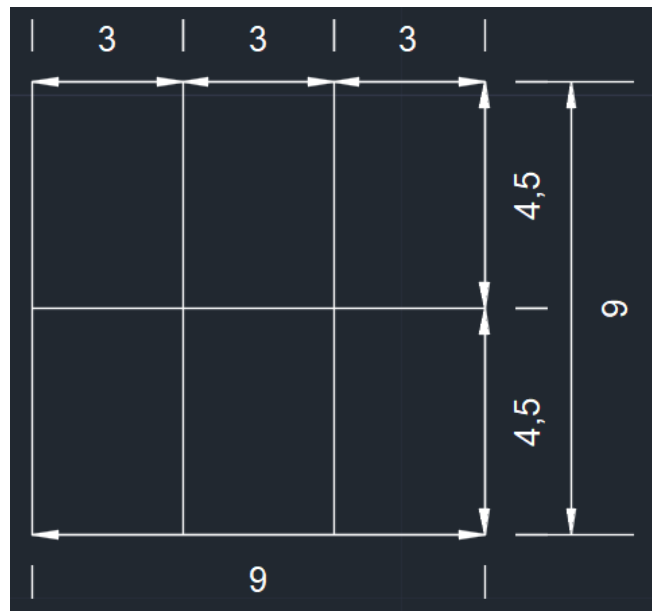
Se realizará una visita técnica al galpón empírico ubicado en el sector agrícola de la vía Cone-Yaguachi, donde se recopilará información detallada acerca de la estructura como la geometría constructiva. Se medirán las dimensiones como la longitud total de la estructura, la distancia entre pórticos, altura de las columnas, pendientes de la cubierta y la separación entre elementos estructurales. Además, se registrará las características del galpón empírico como el tipo de material y perfiles utilizados, tipo de uniones, si cuenta con arriostramientos o sin arriostramientos y las condiciones de la cimentación. Este levantamiento servirá como base tanto como el modelado del galpón empírico y el galpón metálico ya que se usarán las mismas medidas.

3.1.2 PRE-DIMENSIONAMIENTO

El pre-dimensionamiento de ambas estructuras se realizará bajo las mismas medidas obtenidas en el sitio, se realizará con la ayuda del software Robot Analysis Structural.

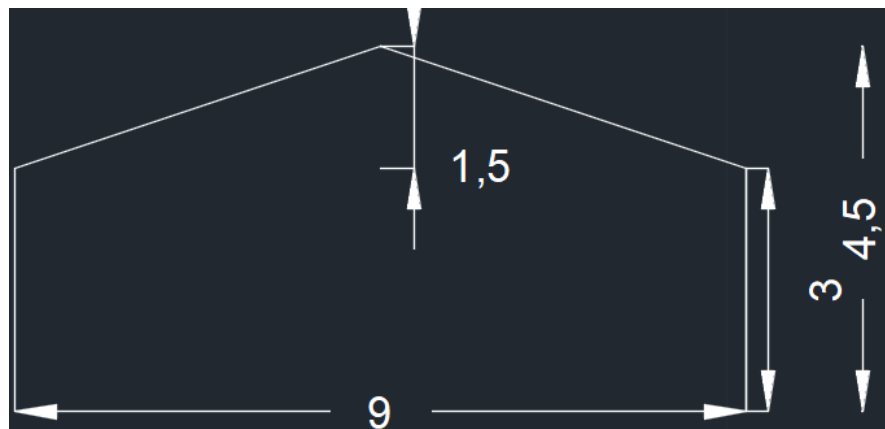
Para el análisis, se determina que el terreno tiene una dimensión de 12x12m, pero las dimensiones del terreno del galpón empírico son de 9x9m, con una separación entre pórticos de 3 m dando 4 pórticos constituidos por el galpón empírico. A su vez el diámetro de las secciones es de 10 cm, con un espesor de 5 mm.

Figura 13 Delimitación del área y pórticos del galpón



Nota. Elaborada por los autores.

Figura 14 Dimensiones del galpón



Nota. Elaborada por los autores

3.1.3 MODELADO EN ROBOT ANALYSIS STRUCTURAL

Con el pre-dimensionamiento realizado de ambas estructuras, se seleccionarán los perfiles correspondientes, para el galpón empírico se emplearán los perfiles conforme a las medidas y materiales obtenidas del levantamiento de datos en el sitio, para el galpón metálico los perfiles a usar serán en base a cálculos y catálogos y normas del diseño para el análisis adecuado y no realizar sobredimensionamientos.

DEFINICIÓN DEL MATERIAL DEL GALPÓN EMPÍRICO EN EL SOFTWARE

Para poder realizar un análisis comparativo adecuado, se debe tener un análisis adecuado de la estructura con su característica principal que vendría ser el material por el cual está conformado el galpón empírico, para ello se determinara el material Guadua en este caso viene siendo este material por el que está compuesto la estructura.

Figura 15 Definición del material para el galpón empírico

Definición del material	
Acero Hormigón Aluminio Madera Otros	
Nombre:	GUADUA
Descripción:	GUADUA EC
Elasticidad	
módulo de Young, E:	122364,00 (kgf/cm ²)
coeficiente de Poisson, ν:	0,3
coeficiente de Kirchhoff, G:	47060,00 (kgf/cm ²)
Resistencia	
resistencia de cálculo:	153,00 (kgf/cm ²)
reducción para el cortante:	1
Peso específico (densidad):	600,00 (kgf/m ³)
Dilatación térmica:	0,000011 (1/°C)
Coeficiente de	0,04
Agregar Eliminar OK Cancelar Ayuda	

Nota. Elaborada por los autores, obtenido mediante el software Robot structural.

Valores del módulo de Young y la resistencia del cálculo obtenidos por la NEC-SE-GUADÚA, el coeficiente de poisson es un valor típico que oscila entre los 0.25 y 0.30.

El coeficiente de Kirchhoff, G se lo obtiene mediante la siguiente formula de módulos elásticos

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)}$$

$$G = \frac{12000}{2(1 + 0.3)} = 4615 \text{ MPa}$$

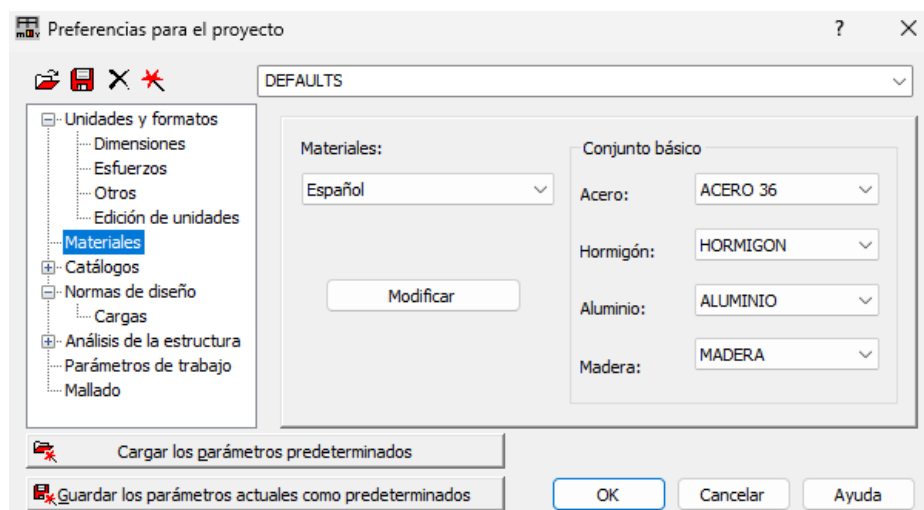
$$G = 4615 \times 10197 = 47060 \text{ kgf/cm}^2$$

Valor de la densidad igual a 600 kgf/m³ (Aicher, 2022)

Como no se va a analizar por dilatación térmica se deja ese valor por defecto, así como el valor de amortiguación y las reducciones por cortante, valores que ya están preestablecidos al poner cargas basadas en la NEC-15.

MATERIAL DEL GALPÓN DE ACERO

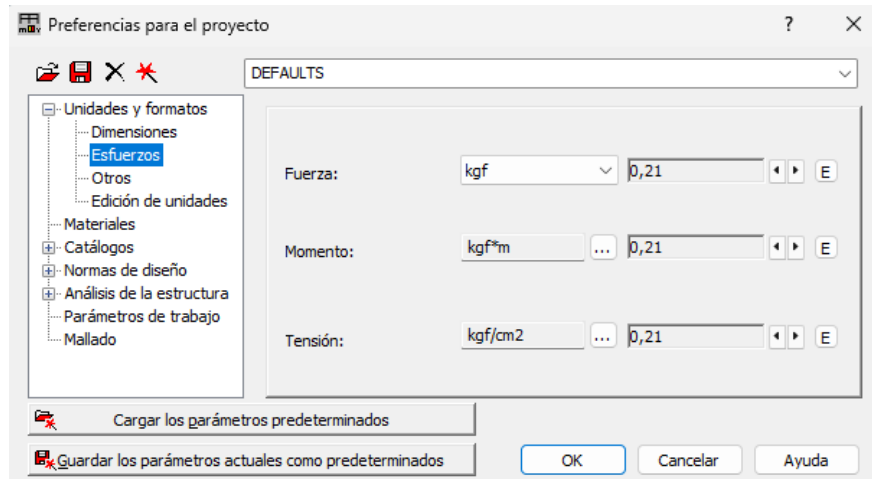
Figura 16 Material del galpón de acero



Nota. Obtenido mediante el software Robot Structural Analysis.

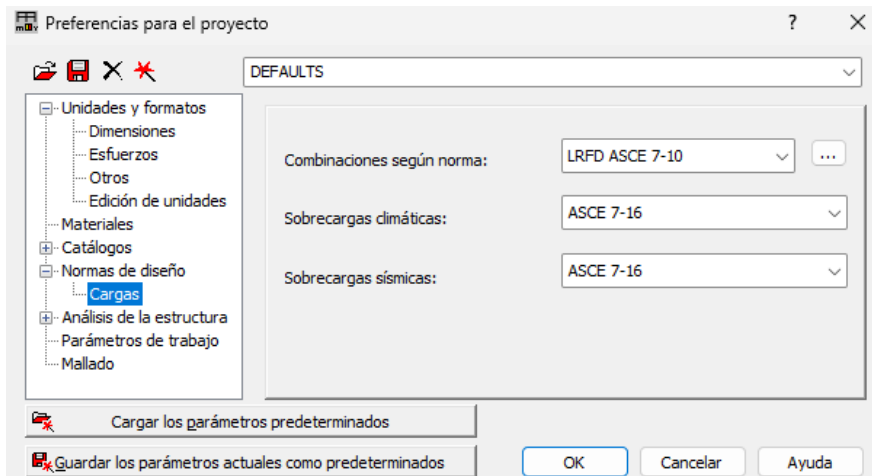
Preferencias para el proyecto

Figura 17 Unidades de los esfuerzos



Nota. Obtenido mediante el software Robot Structural Analysis.

Figura 18 Normas de diseño de las cargas



Nota. Obtenido mediante el software Robot Structural Analysis.

3.1.4 UNIONES ATORNILLADAS

El software Robot Structural Analysis Professional tiene la ventaja de tener su propia creación de uniones, para este caso las uniones serán atornilladas entre los pórticos y uniones atornilladas en los pórticos mismo tanto como las uniones entre viga y columna y viga a viga en la aguja del galpón de acero.

3.1.5 CÁLCULO DE CARGAS ESTRUCTURALES

Para ambos modelos, se establecerán las cargas gravitacionales, viento y sísmicas conforme a las normas NEC-2015 y ASCE 7-16.

3.1.5.1 CARGAS PERMANENTES

Se calculará el peso propio de los perfiles, cubierta, correas, juntas y otros elementos estructurales usando densidades y espesores establecidos en normas técnicas y catálogos de fabricantes.

3.1.5.2 CARGAS VIVAS

Se aplicarán cargas vivas según el uso agrícola del galpón, siguiendo normas como la NEC-SE-CG.

3.1.5.3 CARGAS DE VIENTO

Se determinará la presión dinámica del viento empleando la velocidad básica de la zona correspondiente a la provincia del Guayas, aplicando la NEC-SE-VI. Se considerarán factores de exposición, altura, dirección del viento y coeficientes de presión externa e interna. Los valores obtenidos permitirán calcular presiones, succiones y efectos sobre la cubierta y los pórticos.

3.1.5.4 CARGAS SÍSMICAS

El análisis sísmico se realizará mediante el espectro elástico de diseño especificado en NEC-SE-DS. El cálculo final permitirá obtener fuerzas laterales equivalentes o análisis modal según las características del modelo. No se dispondrá de un estudio geotécnico del sitio, por ello, conforme a estudios geotécnicos por la zona se opta por un estudio de suelo Tipo E.

3.1.6 ANÁLISIS COMPARATIVO

3.1.6.1 COMPARACIÓN TÉCNICA

La comparación de ambas estructuras se realizará mediante los resultados obtenidos del software Robot Analysis Structural, se determinará el peso total de la estructura, desplazamientos, resistencia ante cargas gravitacionales, sísmicas, cumplimiento o incumplimiento de normas.

3.1.6.2 COMPARACIÓN ECONÓMICA

El análisis comparativo se realizará mediante la elaboración de presupuestos en hojas de cálculo a partir de la cuantificación de los elementos estructurales de cada modelo, considerando el peso y la longitud de los perfiles, arriostramientos, correas, conexiones entre elementos y protección anticorrosiva. Se le asignarán a cada insumo un precio unitario basado en lista de proveedores locales o bases de datos de costos de construcción, centrándose en determinar los costos directos de los materiales, perfiles, no se incluirán rubos de mano de obra por tratarse de un estudio de análisis estructural.

4 CAPÍTULO IV

4.1 DESARROLLO

Datos de la estructura empírica

$$\text{Área} = 9\text{m} \times 9\text{m} = 81 \text{ m}^2$$

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

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

$$\text{Altura total} = 4.5 \text{ m}$$

$$\text{Numero de pórticos} = 4$$

$$\text{Diámetro de las secciones} = 10 \text{ cm}$$

$$\text{Espesor} = 0,5 \text{ cm}$$

Mismos datos de medidas que se usaran para el modelado del galpón metálico a excepción de las secciones.

4.2 CARGAS ESTRUCTURALES

4.2.1 CARGAS MUERTAS

La determinación de las cargas estructurales es esencial ya que estas serán las cargas que actuarán en la estructura durante toda su vida útil.

Se optó por una carga muerta de 15 kgf/m², carga que se dispondrá en las correas y cubierta de la estructura.

4.2.2 CARGAS VIVAS

Para determinar la carga viva nos basaremos en datos de la norma NEC-15, con un valor de 70 kgf/m² para cubiertas metálicas.

Tabla 12 Cargas vivas para cubiertas según la NEC-15

Ocupación o Uso	Carga uniforme (kN/m ²)	Carga concentrada (kN)
Cubiertas		
Cubiertas planas, inclinadas y curvas	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		

Nota. Obtenido de la NEC-SE-CG

4.2.3 CARGAS DE VIENTO

Velocidad instantánea máxima de 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).

VELOCIDAD CORREGIDA DEL VIENTO

$$V_b = Vx\sigma$$

Valor de σ

Tabla 13 Estimación de coeficiente de corrección

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

$$V_b = 21 \times 0.86 = 18.06 \text{ m/s}^2$$

CÁLCULO DE LA PRESIÓN DEL VIENTO

$$P = \frac{1}{2} \times \rho \times v_b^2 \times c_e \times C_f$$

Coeficiente de entorno/altura C_e

Tabla 14 Estimación de valor de coeficiente de entorno C_e

Construcción	Barlovento	Sotavento
Superficies verticales de edificios	+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	+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

Coeficiente de forma C_f

Tabla 15 Estimación de valor para el coeficiente de factor de forma C_f

Construcción	Coeficiente C_f
Elementos situados en patios interiores, cuyo ancho es inferior a la altura del edificio y sin conexión con el espacio exterior por su parte inferior, así como ventanas interiores (en el caso de que se dispongan dobles ventanas)	0.3
Elementos en fachadas protegidas en edificios alineados en calles rectas, a una distancia de la esquina, mayor que la altura de la edificación, en bloques exentos en la parte central de una fachada, de longitud mayor que el doble de la altura o en patios abiertos a fachadas o patios de manzana	0.8
Elementos en fachadas expuestas en edificaciones aisladas o fachadas de longitud menor que el doble de la altura	1.3
Elementos en fachadas muy expuestas, situados al borde de la orilla de lagos o del mar, próximos a escarpaduras, laderas de fuerte inclinación, desfiladeros, y otros	1.5

Solo se calculará únicamente por barlovento.

$$P = 0.5 \times 1.25 \times 18.06 \times 0.7 \times 1.5 = 21.8 \text{ kgf/m}^2$$

4.2.4 ESPECTRO DE DISEÑO

Para la determinación del espectro elástico e inelástico de diseño correspondiente, se usará como apoyo la norma NEC-15, ya que con esta norma podemos determinar los valores necesarios para realizar la curva del espectro, a su vez obtener valores importantes como el periodo y la determinación del tipo de suelo sobre el que se va a diseñar, valores que nos ayudaran a obtener el espectro de diseño.

En este caso hemos considerado el tipo de suelo E con las especificaciones técnicas de la norma NEC-15.

Factor de zona z

Zona sísmica	I	II	III	IV	V	VI
Valor factor Z	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥ 0.50
Caracterización del peligro sísmico	Intermedia	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy alta

Tabla 16 Valor Z para espectro

Población	Parroquia	Cantón	Provincia	Z
San Jacinto de Yaguachi	San Jacinto de Yaguachi	San Jacinto de Yaguachi	Guayas	0.35

Nota. Obtenido de la NEC-SE-DS

Coeficientes del perfil de suelo Fa, Fd y Fs.

Basado en el tipo de suelo que se optó, en este caso suelo de tipo E, se obtienen los siguientes valores.

Fa: Coeficiente de amplificación de suelo en la zona de periodo corto

Tabla 17 Determinación de valor F_a según el tipo de suelo

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥ 0.5
A	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B	1	1	1	1	1	1
C	1.4	1.3	1.25	1.23	1.2	1.18
D	1.6	1.4	1.3	1.25	1.2	1.12
E	1.8	1.4	1.25	1.1	1.0	0.85
F	Véase Tabla 2 : Clasificación de los perfiles de suelo y la sección 10.5.4					

F_d : Amplificación de las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos para diseño en roca.

Tabla 18 Determinación de valor F_d según el tipo de suelo

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥ 0.5
A	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B	1	1	1	1	1	1
C	1.36	1.28	1.19	1.15	1.11	1.06
D	1.62	1.45	1.36	1.28	1.19	1.11
E	2.1	1.75	1.7	1.65	1.6	1.5
F	Véase Tabla 2 : Clasificación de los perfiles de suelo y 10.6.4					

F_s : comportamiento no lineal de los suelos

Tabla 19 Determinación de valor F_s según el tipo de suelo

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥0.5
A	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
B	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75	0.75
C	0.85	0.94	1.02	1.06	1.11	1.23
D	1.02	1.06	1.11	1.19	1.28	1.40
E	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2
F	Véase Tabla 2 : Clasificación de los perfiles de suelo y 10.6.4					

Coeficiente de importancia I

Tabla 20 Coeficiente de importancia según el tipo de estructura

Categoría	Tipo de uso, destino e importancia	Coeficiente I
Edificaciones esenciales	Hospitales, clínicas, Centros de salud o de emergencia sanitaria. Instalaciones militares, de policía, bomberos, defensa civil. Garajes o estacionamientos para vehículos y aviones que atienden emergencias. Torres de control aéreo. Estructuras de centros de telecomunicaciones u otros centros de atención de emergencias. Estructuras que albergan equipos de generación y distribución eléctrica. Tanques u otras estructuras utilizadas para depósito de agua u otras sustancias anti-incendio. Estructuras que albergan depósitos tóxicos, explosivos, químicos u otras sustancias peligrosas.	1.5
Estructuras de ocupación especial	Museos, iglesias, escuelas y centros de educación o deportivos que albergan más de trescientas personas. Todas las estructuras que albergan más de cinco mil personas. Edificios públicos que requieren operar continuamente	1.3
Otras estructuras	Todas las estructuras de edificación y otras que no clasifican dentro de las categorías anteriores	1.0

Tabla 21 Coeficientes que dependen del tipo de edificio

Tipo de estructura	C_t	α
Estructuras de acero		
Sin arriostramientos	0.072	0.8
Con arriostramientos	0.073	0.75
Pórticos especiales de hormigón armado		
Sin muros estructurales ni diagonales rigidizadoras	0.055	0.9
Con muros estructurales o diagonales rigidizadoras y para otras estructuras basadas en muros estructurales y mampostería estructural	0.055	0.75

Periodo de vibración T

$$T = C_t x h_n^\alpha$$

$$T = 0.072 \times 4.5^{0.8} = 0.22$$

Coeficiente de reducción R

Tabla 22 Coeficiente de reducción R para naves industriales

Valores del coeficiente de reducción de respuesta estructural R	
Reservorios y depósitos, incluidos tanques y esferas presurizadas, soportados mediante columnas o soportes arriostrados o no arriostrados.	2
Silos de hormigón fundido en sitio y chimeneas que poseen paredes continuas desde la cimentación	3.5
Estructuras tipo cantiléver tales como chimeneas, silos y depósitos apoyados en sus bordes	3
Naves industriales con perfiles de acero	3
Torres en armadura (auto-portantes o atirantadas)	3
Estructuras en forma de péndulo invertido	2
Torres de enfriamiento	3.5
Depósitos elevados soportados por una pila o por apoyos no arriostrados	3
Letreros y carteleras	3.5
Estructuras para vallas publicitarias y monumentos	2
Otras estructuras no descritas en este documento	2

Coeficientes de configuración estructural (planta y elevación)

Tabla 23 Valores de elevación y planta

Valores de ϕ_P y ϕ_E
Estructuras regulares = 1
Estructuras Irregulares = 0.9

η razón entre la aceleración espectral y el PGA

Tabla 24 Valor de razón de la aceleración espectral

$\eta = 1.80$: Provincias de la Costa (excepto Esmeraldas)
$\eta = 2.48$: Provincias de la Sierra, Esmeraldas y Galápagos
$\eta = 2.60$: Provincias del Oriente

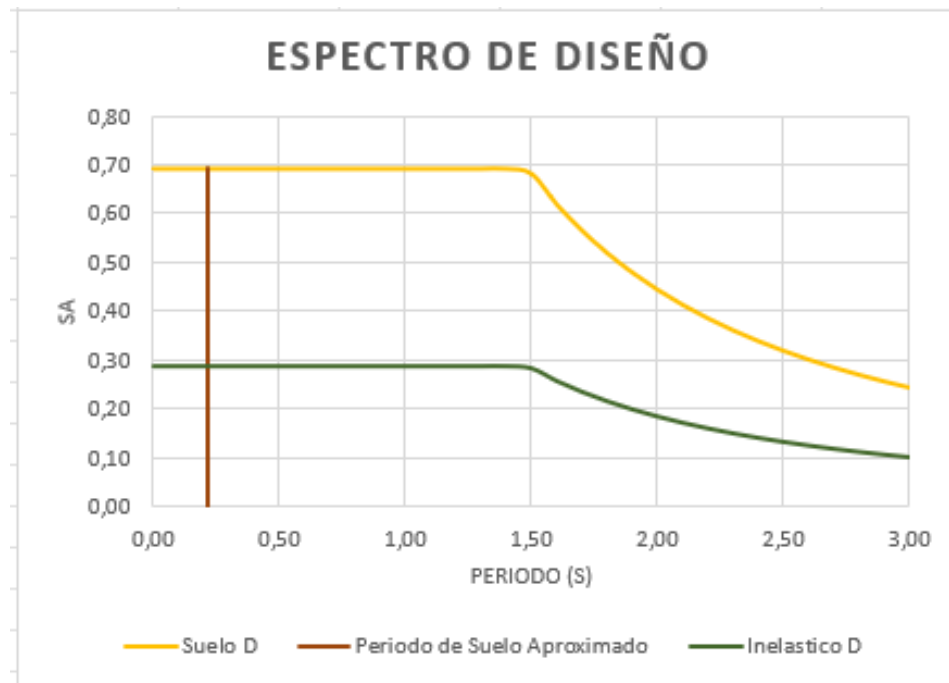
Factor usado en el espectro de diseño elástico

$r = 1.5$ para tipo de suelo E

$r = 1$ para todos los suelos, con excepción del tipo E

Con todos los datos obtenidos de la norma Nec-15, se procede a realizar el respectivo espectro de diseño con la ayuda de Excel mediante una hoja de cálculo.

Tabla 25 Grafica espectro de diseño



Este espectro de diseño se va a aplicar tanto como para el galpón empírico como para el galpón de acero normativo.

Tabla 26 Valores de la gráfica espectro de diseño

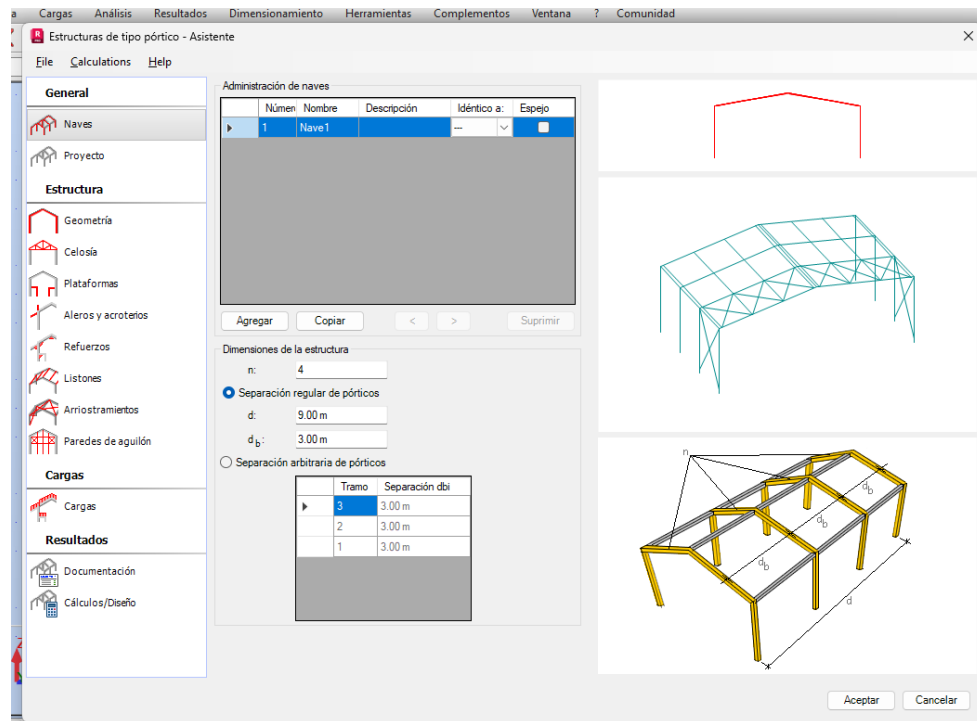
<i>T(s)</i>	<i>Sa _Suelo E</i>	Sa_Inelastico _e
0,00	0,69	0,285
0,10	0,69	0,285
0,20	0,69	0,285
0,30	0,69	0,285
0,40	0,69	0,285
0,50	0,69	0,285
0,60	0,69	0,285
0,70	0,69	0,285
0,80	0,69	0,285
0,90	0,69	0,285
1,00	0,69	0,285
1,10	0,69	0,285
1,20	0,69	0,285
1,30	0,69	0,285
1,40	0,69	0,285
1,50	0,68	0,281
1,60	0,62	0,255
1,70	0,57	0,233
1,80	0,52	0,214
1,90	0,48	0,197
2,00	0,44	0,182
2,10	0,41	0,170
2,20	0,38	0,158
2,30	0,36	0,148
2,40	0,34	0,139
2,50	0,32	0,131
2,60	0,30	0,123
2,70	0,28	0,116
2,80	0,27	0,110
2,90	0,25	0,105
3,00	0,24	0,099

4.3 ESTRUCTURA EMPÍRICA

4.3.1 MODELADO Y ANÁLISIS DEL GALPÓN EMPÍRICO

Para el correspondiente modelado del software se utilizar el asistente para estructuras tipo pórticos, un asistente muy útil para casos de galpones u otras estructuras de pórticos.

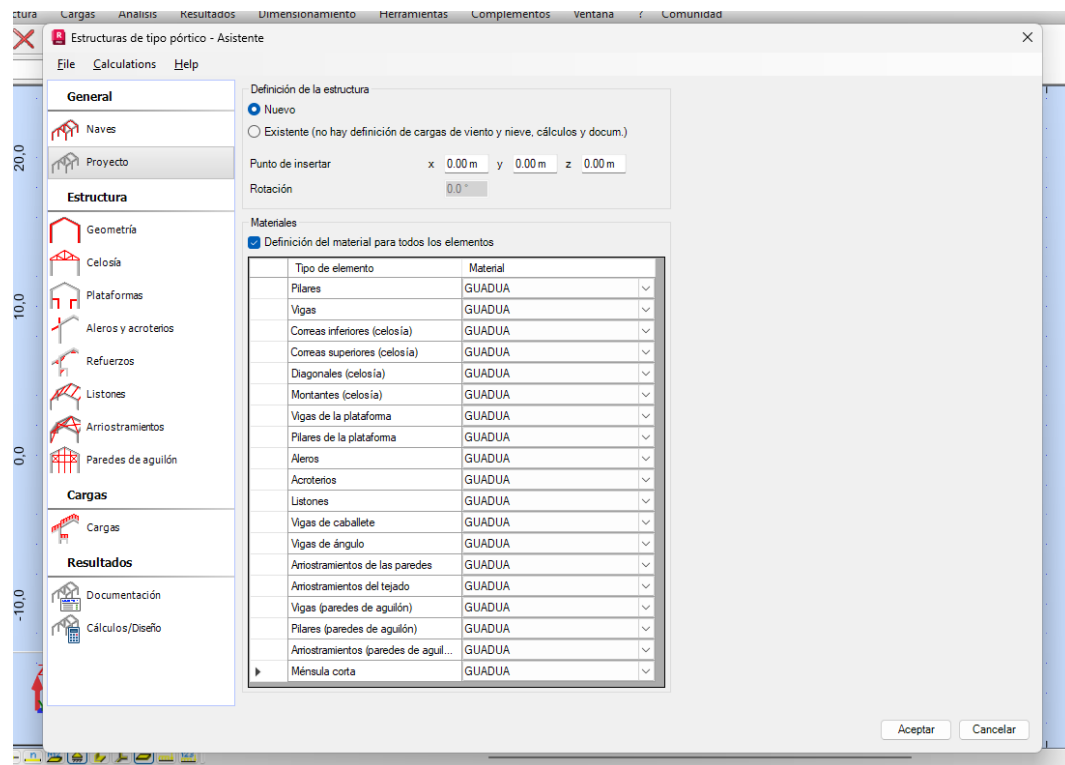
Figura 19 Longitud del galpón empírico



Nota. Elaborado por los autores.

Se define los materiales para todos los elementos de la estructura como las secciones, se los denomina con materiales de guadua.

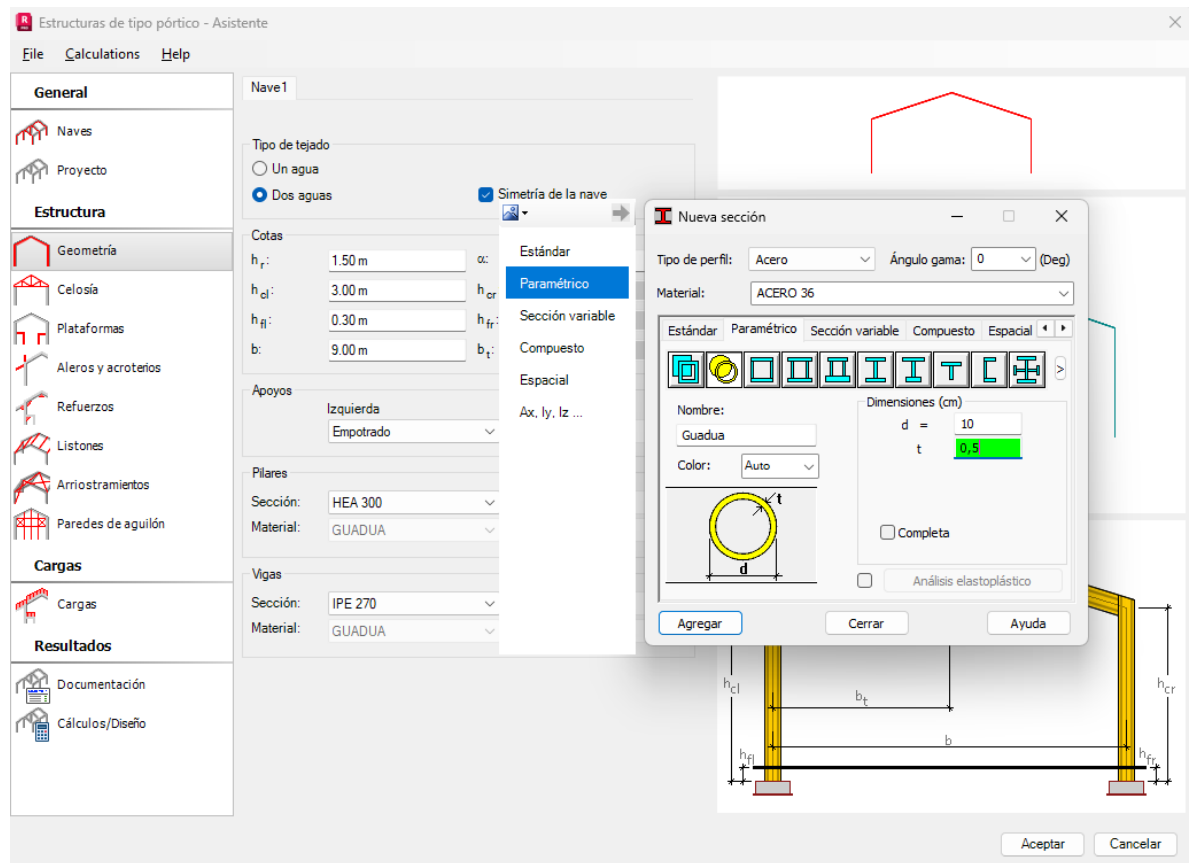
Figura 20 Material del galpón empírico



Nota. Elaborado por los autores.

En el software Robot Structural Analysis no existen elementos estructurales con características de guadua, por ello mediante la creación previamente mostrada del material en las preferencias del proyecto al software se creará una sección circular correspondiente a como es el bambú de guadua mediante la toma de datos en el sitio, obteniendo un diámetro de 10 cm y un espesor de 0.5 cm, así creando la sección y disponiendo su respectivo material guadua.

Figura 21 Creación de sección



Nota. Esta sección es creada basándose en las medidas de los perfiles de material de guadua obtenidas del levantamiento de datos en el sitio. Elaborado por los autores.

Figura 22 Altura del galpón empírico

Estructuras de tipo pórtico - Asistente

File Calculations Help

General

Naves

Proyecto

Estructura

Geometría

Celosis

Plataformas

Aleros y acroterios

Refuerzos

Listones

Arriostramientos

Paredes de aguilón

Cargas

Cargas

Resultados

Documentación

Cálculos/Diseño

Nave1

Tipo de tejado

☐ Un agua

☒ Dos aguas

☒ Simetría de la nave

Cotas

h_r : 1.50 m α : 18.4 °

h_{cl} : 3.00 m h_{cr} : 3.00 m

h_{aj} : 0.30 m h_{fr} : 0.30 m

b : 9.00 m b_t : 4.50 m

Apoyos

Izquierda: Empotrado Derecha: Empotrado

Pilares

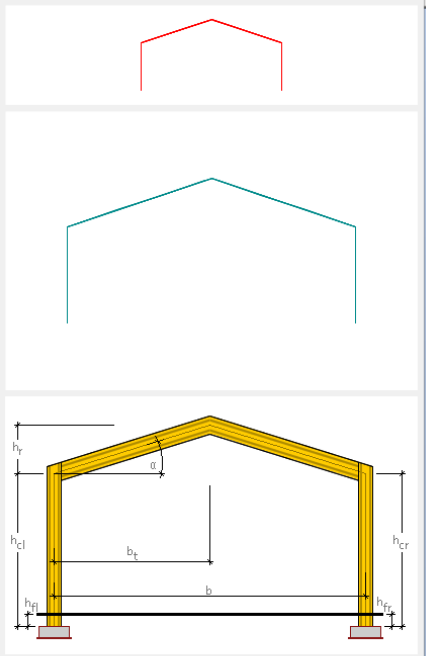
Sección: Guadua Guadua

Material: GUADUA GUADUA

Vigas

Sección: Guadua Guadua

Material: GUADUA GUADUA



The diagram shows a gable roof structure with the following dimensions and labels:

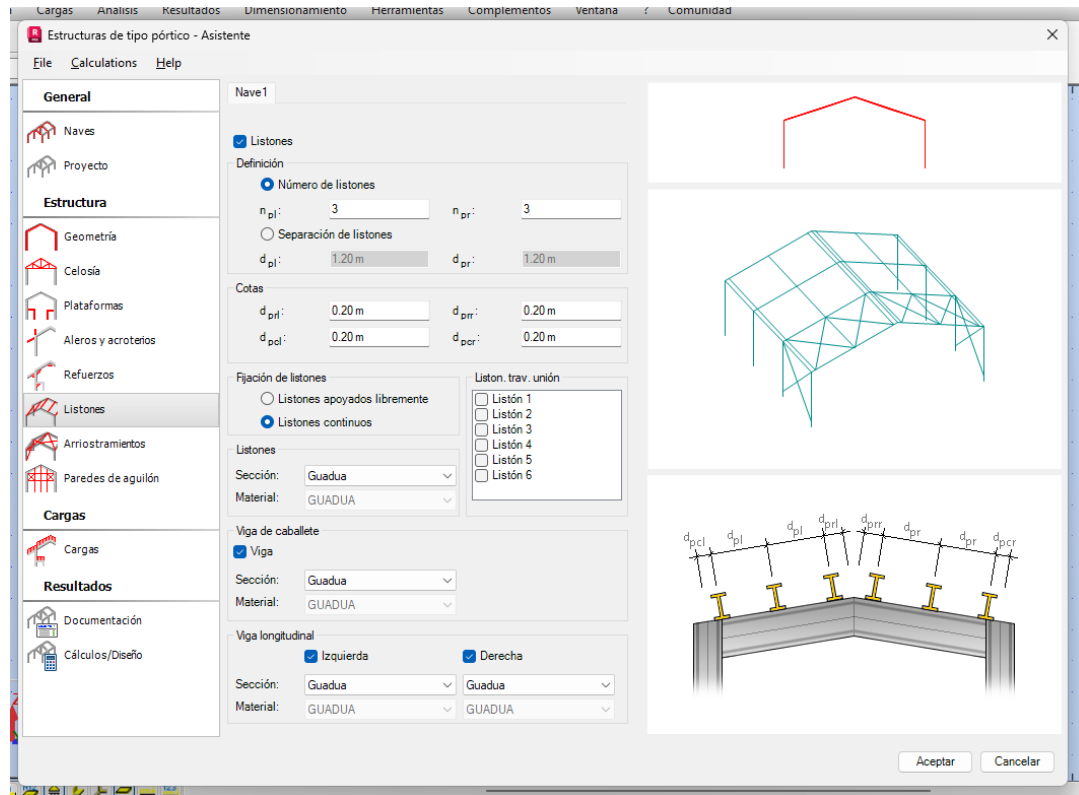
- h_r : Height of the ridge.
- α : Angle of the roof slope.
- h_{cl} : Height of the eave on the left side.
- h_{cr} : Height of the eave on the right side.
- h_{aj} : Height of the eave on the left side (including the overhang).
- h_{fr} : Height of the eave on the right side (including the overhang).
- b : Total width of the structure.
- b_t : Width of the eave overhang.

Acceptar Cancelar

Nota. Elaborado por los autores.

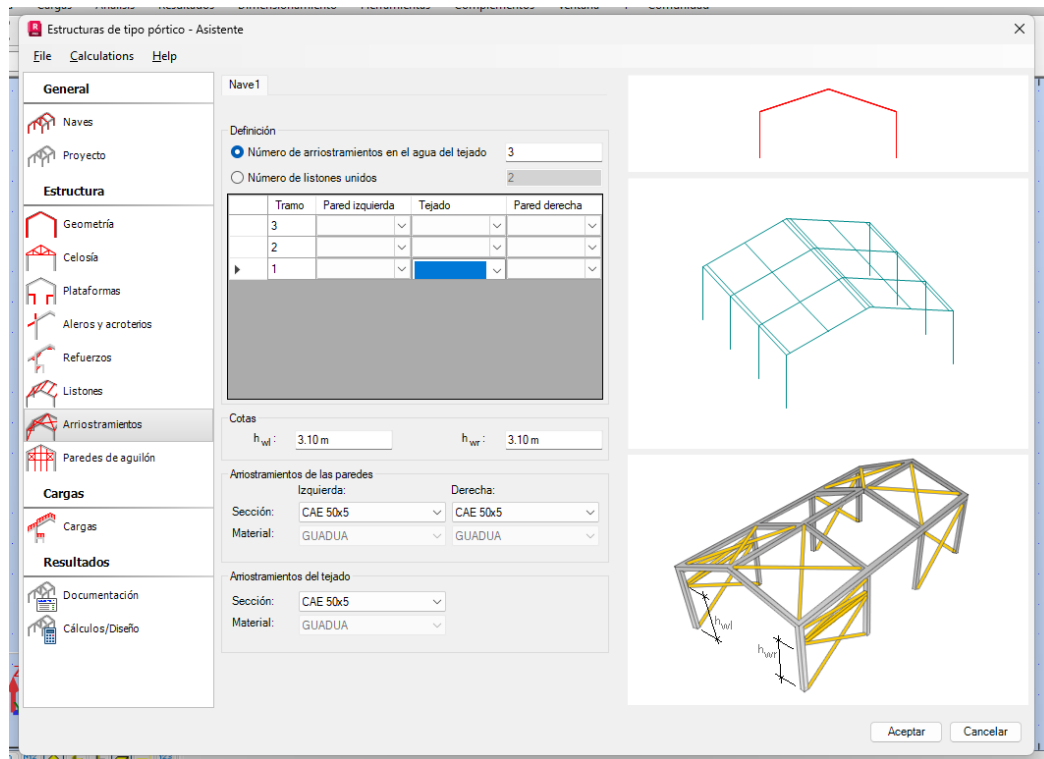
Estructura empotrada no cuenta con una placa base como tal, y las columnas y vigas están compuestas por caña guadua.

Figura 23 Especificación de correas



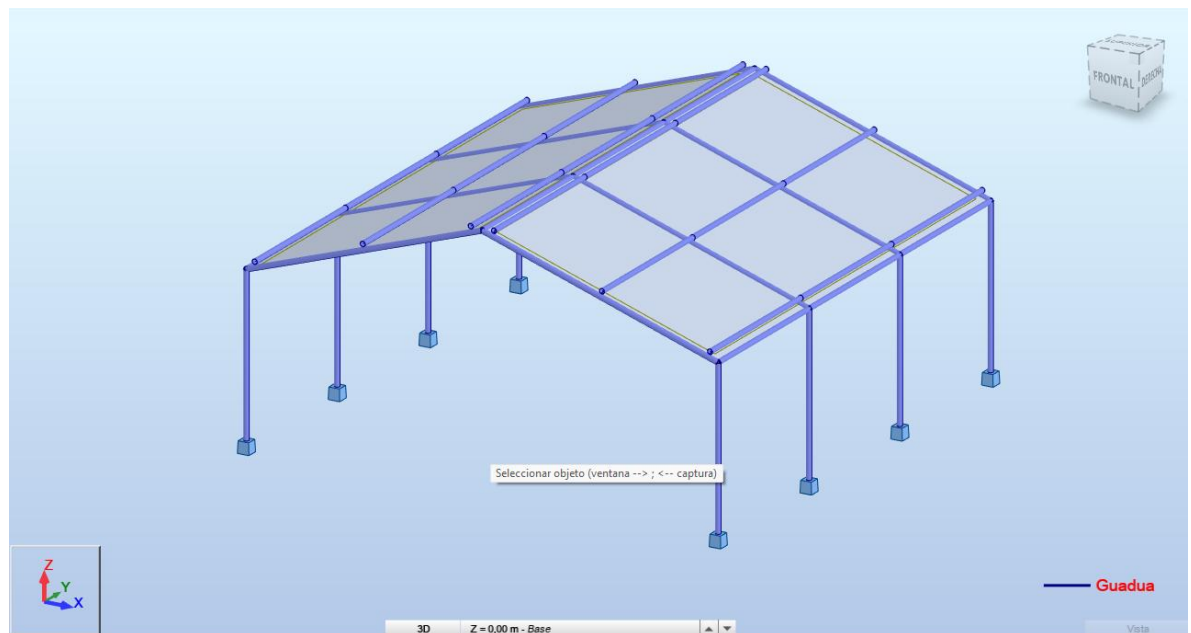
Nota. Elaborado por los autores.

Figura 24 Sin arriostramientos la estructura empírica



Obteniendo la estructura correspondiente

Figura 25 Galpón empírico



Nota. Elaborado por los autores.

Creación de cargas estructurales en el software

Una vez realizado el modelado correspondiente del galpón empírico, se procede a crear las cargas estructurales y las combinaciones de carga.

Figura 26 Creación de cargas estructurales

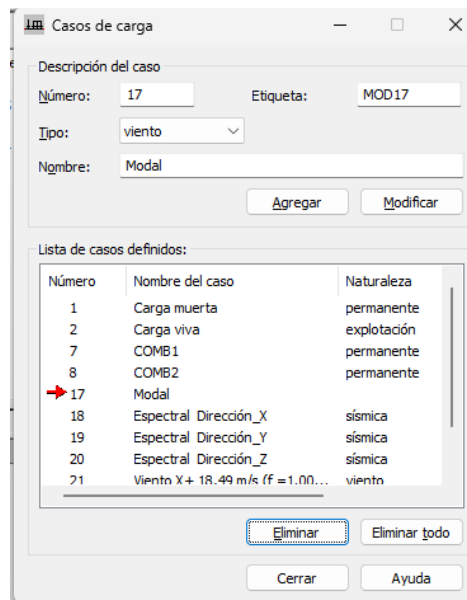
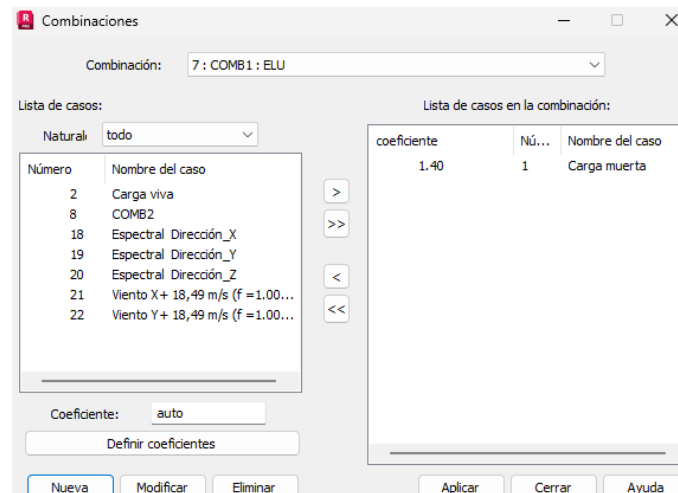


Figura 27 Combinaciones de cargas



Aplicación de cargas estructurales en la estructura

Con las cargas estructurales creadas y combinaciones correspondientes, se procede a aplicar las cargas muerta (D) y viva (L) calculadas y especificadas con anterioridad, con una carga muerta de 15 kgf/m² y una carga viva de 70 kgf/m² especificada por la NEC-15.

Figura 28 Carga uniforme muerta

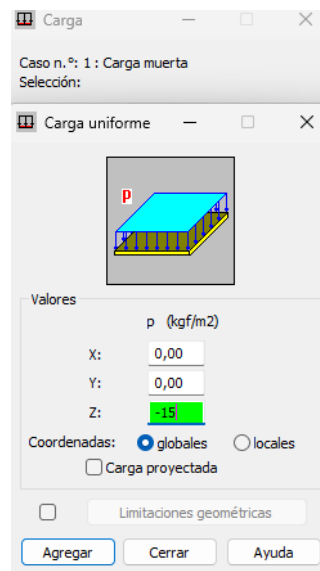
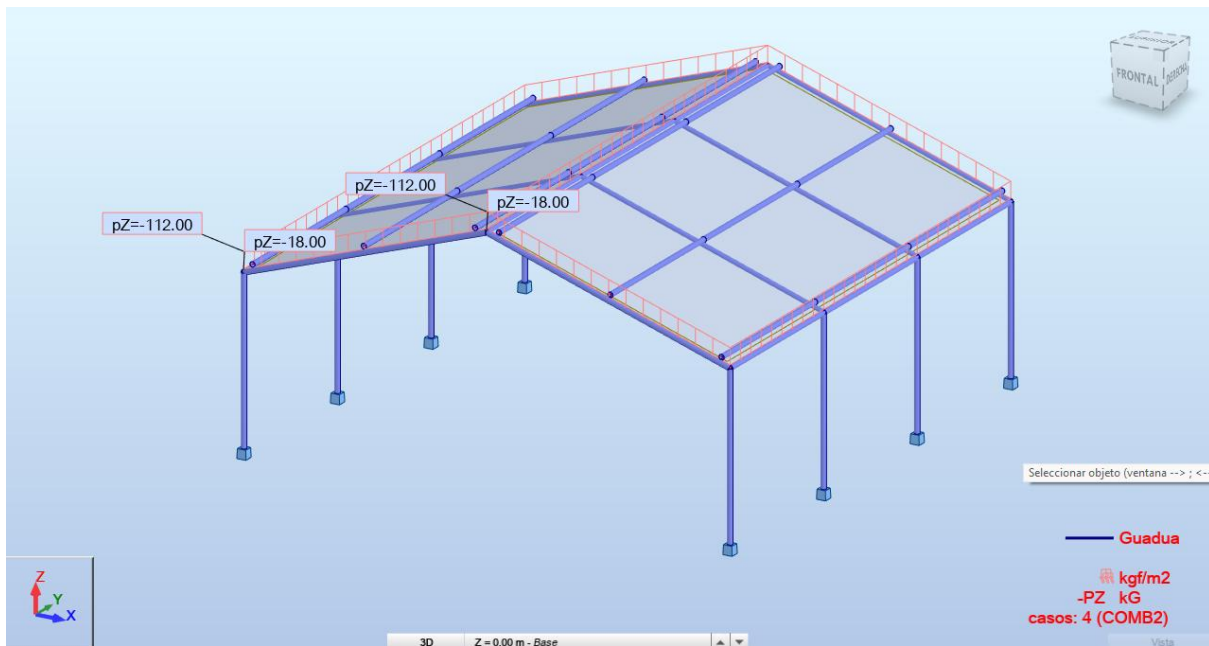


Figura 29 Carga uniforme viva



Figura 30 Carga distribuidas en la cercha



4.3.2 DIAGRAMAS DE ESFUERZOS, MOMENTOS Y DESFORMACIONES DEL GALPÓN EMPÍRICO

Con la combinación 2 ($1.4D + 1.6L$) se obtienen el diagrama de esfuerzos, momentos y deformaciones de la estructura.

Figura 31 Esfuerzo Fx

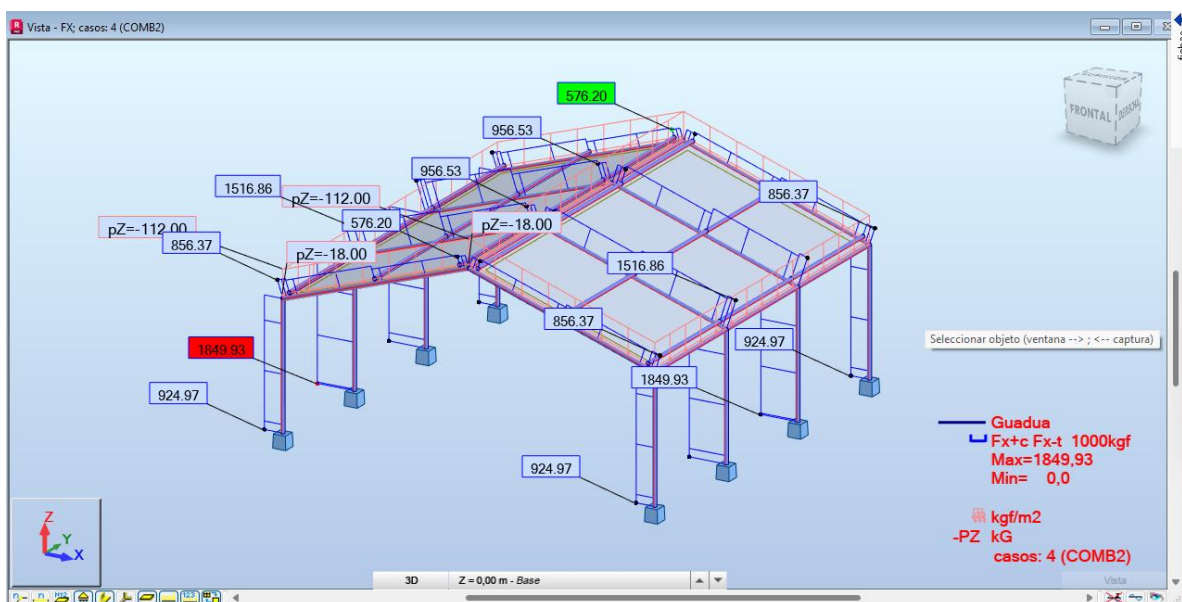
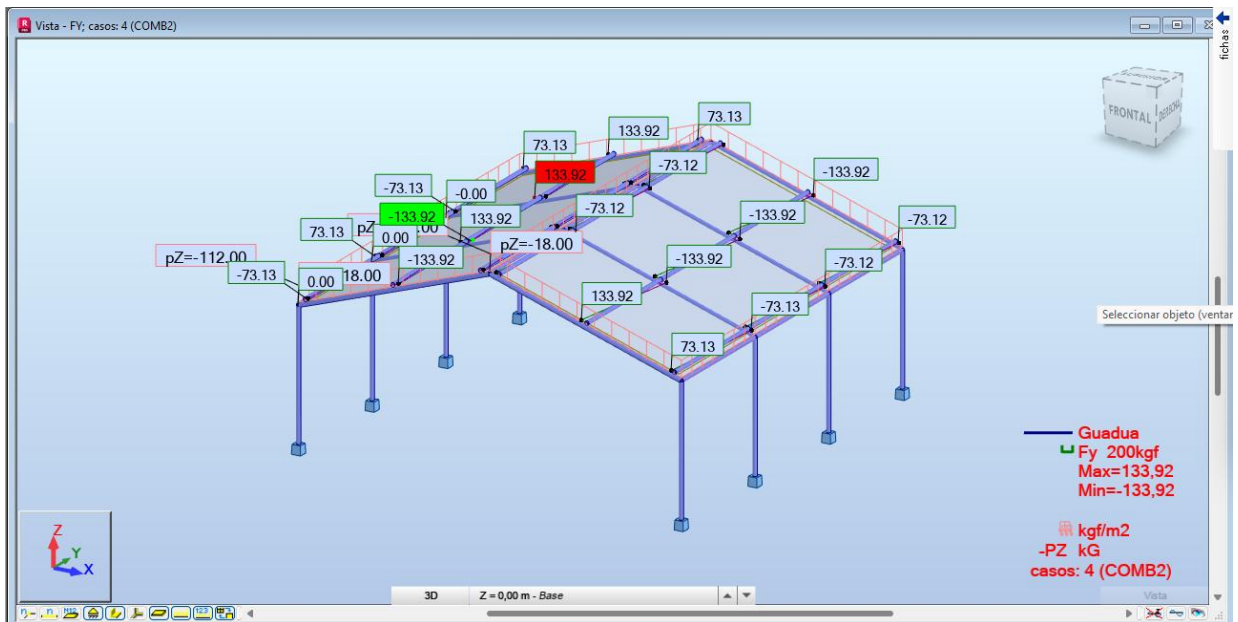
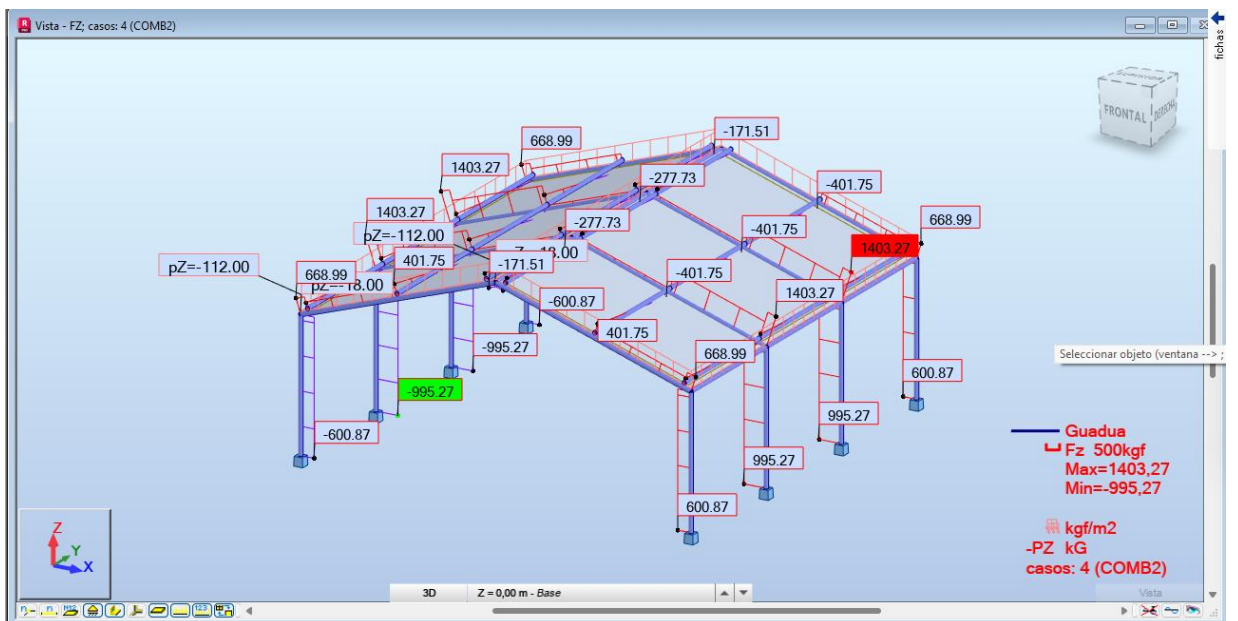
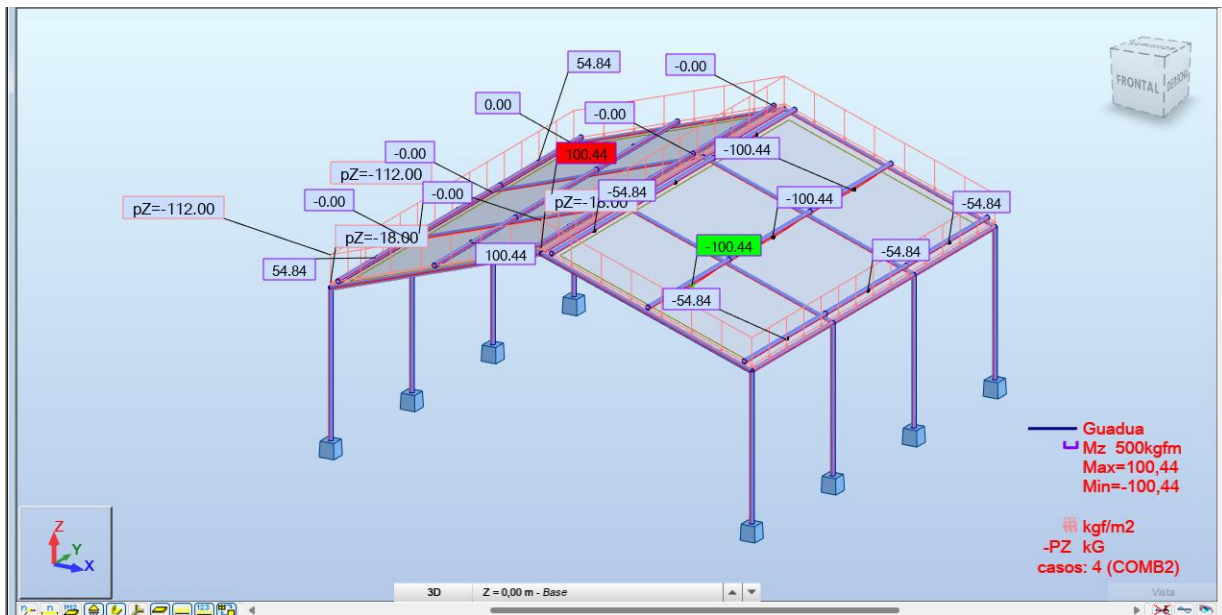


Figura 32 Esfuerzo F_y Figura 33 Esfuerzo F_z 

Momentos

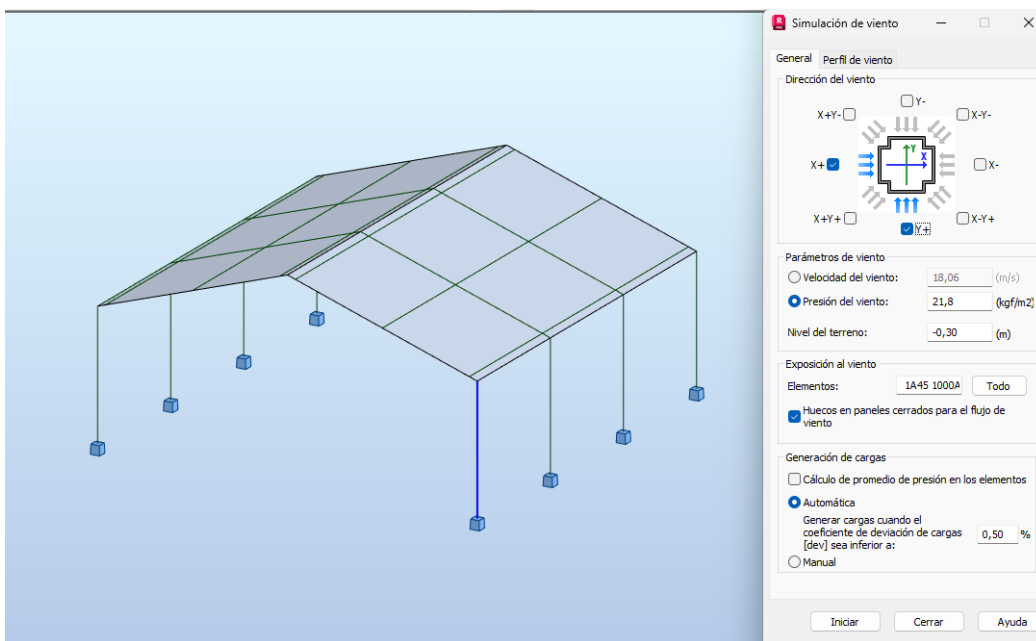
Figura 36 Mz



Generación de cargas de viento

Previamente calculada la velocidad y presión de viento, estos valores los introducimos en el software, para simularlo en dirección X y Y.

Figura 37 Datos para las cargas de viento



Con los datos introducidos se procede a realizar la simulación

Figura 38 Simulación en el sentido X

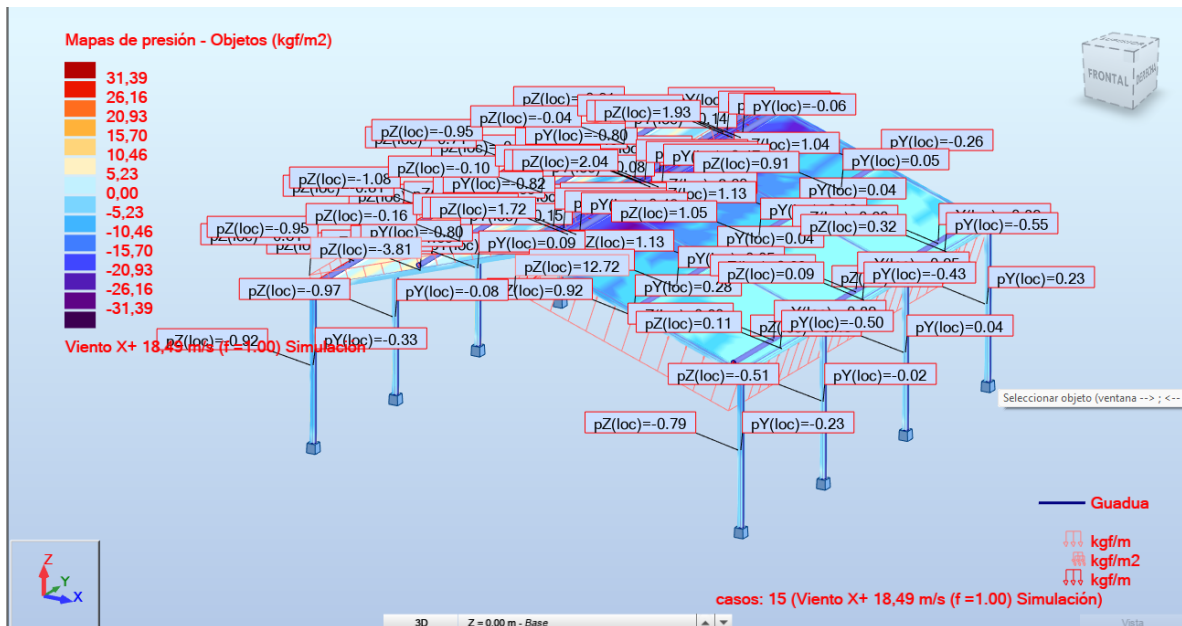
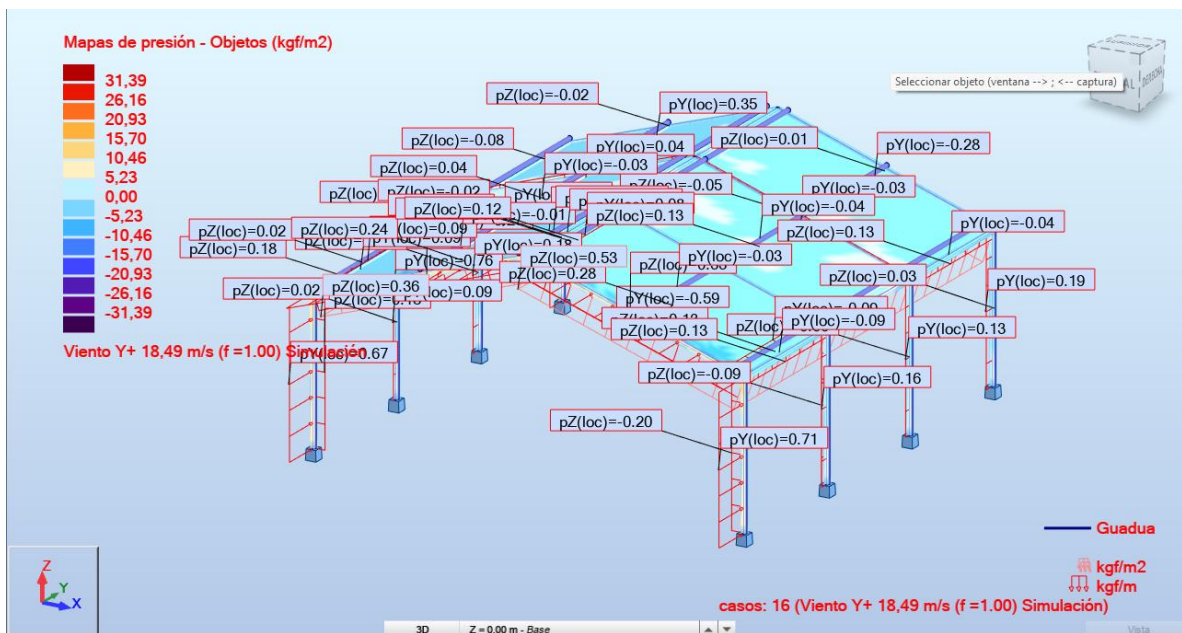


Figura 39 Simulación en el sentido Y



4.3.3 DEFORMACIONES POR CARGAS SÍSMICAS

Para la obtención de las deformaciones con respecto a las cargas sísmicas se crearán cargas nodales para la obtención de las deformaciones con cargas sísmicas.

Figura 40 Creación de carga modal

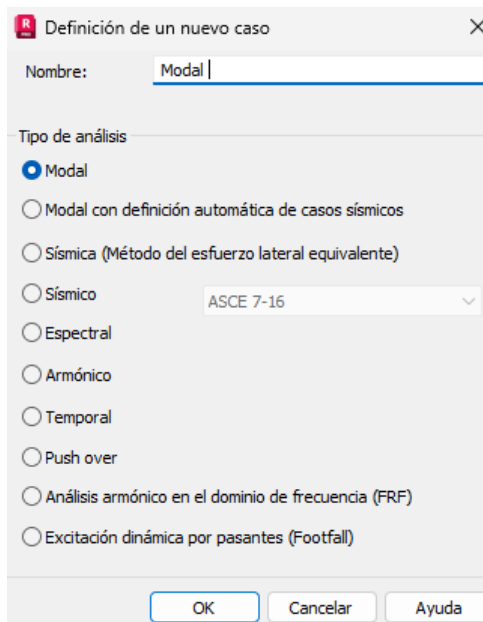
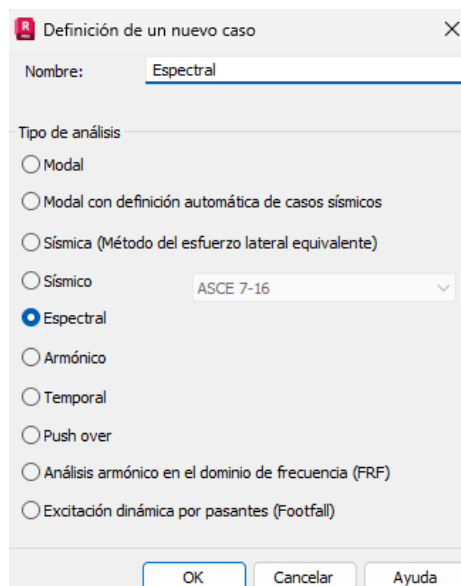


Figura 41 Creación de carga espectral



Con el espectro de diseño previamente realizado se lo procede a ejecutar en el software para poder realizar un análisis detallado basado en un espectro de diseño de la norma NEC-15.

Figura 42 Curva espectro de diseño

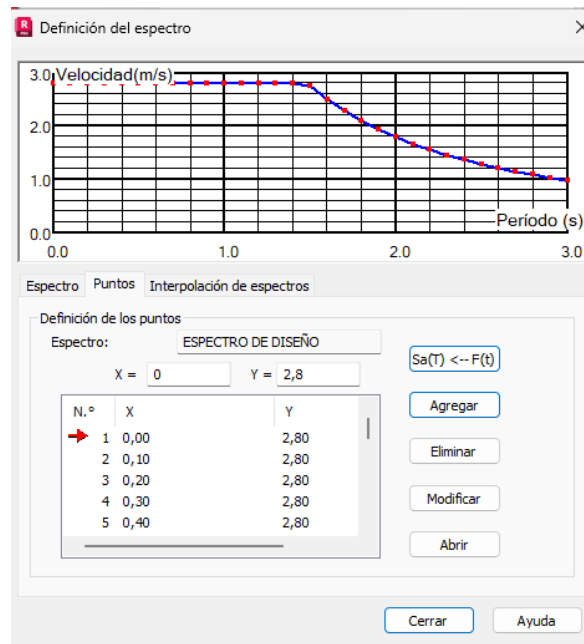
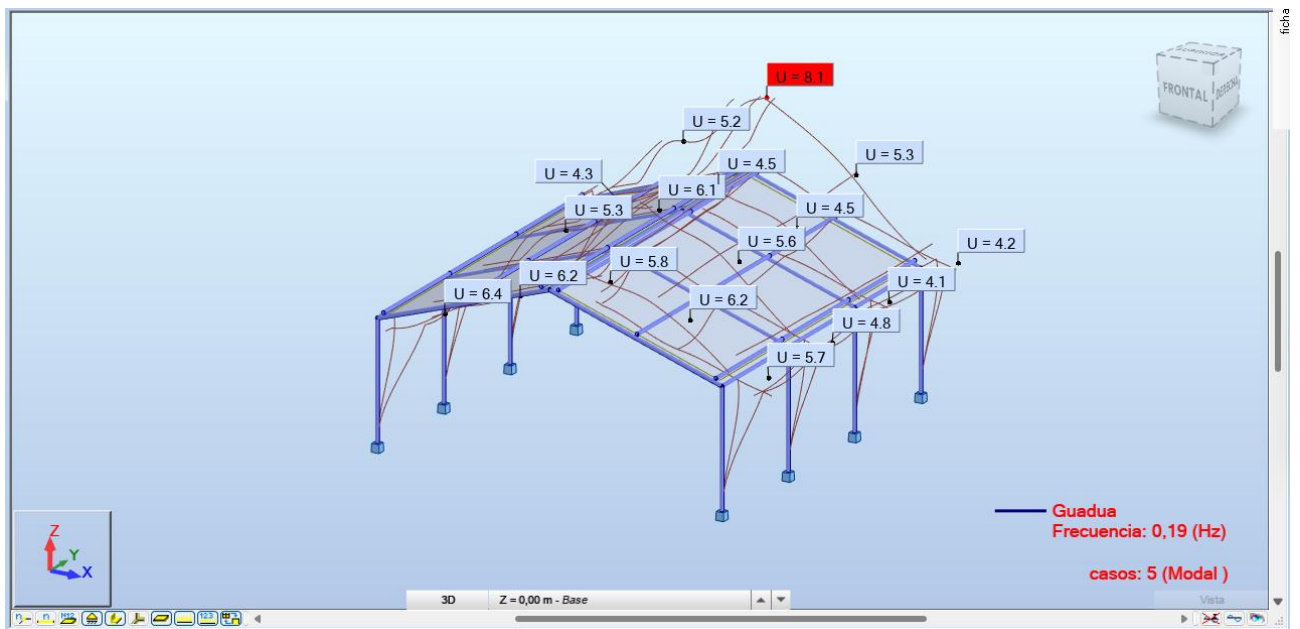


Figura 43 Deformaciones



4.4 ESTRUCTURA DE ACERO

4.4.1 PRE-DIMENSIONAMIENTO DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES

El pre-dimensionamiento de los elementos estructurales el galpón se realiza como una etapa inicial del diseño, aplicando los criterios del método LRFD (Load and Resistance Factor Design). Este método se basa en la combinación de cargas mayoradas y factores de resistencia, permitiendo estimar secciones preliminares que aseguren un nivel adecuado de seguridad estructural.

4.4.2 PREDIMENSIONAMIENTO DE VIGAS POR EL METODO LRFD

Figura 44 Área tributaria que soporta la viga

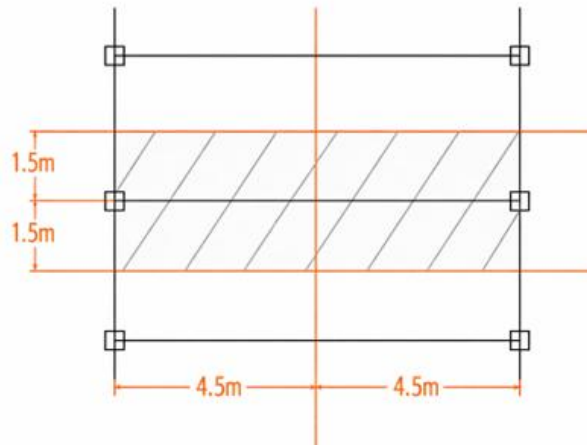


Tabla 27 Datos para el prediseño de la viga

DATOS		
fluencia del acero (F_y) =	36	ksi
Modulo de elasticidad (E) =	29000	ksi
Factor de seguridad (ϕ) =	0.9	
Largo (L) =	4.5	m
Ancho (B) =	3	m
Carga muerta (D_e) =	15	kg/m ²
Carga viva (L_i) =	70	kg/m ²

CÁLCULO DEL PESO RESISTENTE (W)

Peso ultimo

$$Pu = 1.2(De) + 1.6(Li)$$

$$Pu = 1.2(15 \text{ kg/m}^2) + 1.6(70 \text{ kg/m}^2)$$

$$Pu = 130 \text{ kg/m}^2$$

Área tributaria

$$AT = B * L$$

$$AT = 3 \text{ m} * 4.5 \text{ m}$$

$$AT = 13.5 \text{ m}^2$$

Peso resistente

$$W = \frac{AT * Pu}{L}$$

$$W = \frac{13.5 \text{ m}^2 * 130 \text{ kg/m}^2}{4.5 \text{ m}}$$

$$W = 390 \text{ kg/m}$$

CÁLCULO DE MOMENTO ULTIMO (Mu)

$$Mu = \frac{W * L^2}{8}$$

$$Mu = \frac{390 \text{ kg/m} * (4.5 \text{ m})^2}{8}$$

$$Mu = 987.19 \text{ kg} * \text{m}$$

CÁLCULO DEL MÓDULO DE SECCIÓN (Zx)

$$Mn = Fy * Zx$$

$$\emptyset * Mn \geq Mu$$

entonces reemplazamos Mn

$$\emptyset * Fy * Zx \geq Mu$$

Despejamos Z_x

$$Z_x \geq \frac{Mu}{\phi * F_y}$$

$$F_y = 36 \text{ ksi} = 25310000 \text{ kg/m}^2$$

$$Z_x \geq \frac{987.19 \text{ kg} * \text{m}}{0.9 * 25310000 \text{ kg/m}^2}$$

$$Z_x \geq 0.000043337 \text{ m}^3$$

$$Z_x \geq 43.337 \text{ cm}^3$$

Ahora nos referimos al catálogo de perfiles, para nuestro caso optamos por perfiles IPE para las vigas, con nuestro valor de Z_x vemos que en el catálogo esta denominado por W_x , y seleccionamos el perfil más adecuado.

Figura 45 Propiedades geométricas perfiles IPE

PERFILES IPE																					
Perfil	Dimensiones							Términos de la sección										Agujeros			Peso p kp/n
	h mm	b mm	e mm	e ₁ mm	r mm	h _t mm	u mm	A cm	S _x cm ³	I _x cm ⁴	W _x cm ³	i _x cm	I _y cm ⁴	W _y cm ³	i _y cm	I _t cm ⁴	I _p cm ⁵	w mm	a mm	e ₂ mm	
IPE 80	80	46	3,8	5,2	5	60	328	7,64	11,6	80,1	20,0	3,24	8,49	3,69	1,05	0,721	118			3,8	6,00
IPE 100	100	55	4,1	5,7	7	75	400	10,3	19,7	171	34,2	4,07	15,9	5,79	1,24	1,140	351			4,1	8,10
IPE 120	120	64	4,4	6,3	7	93	475	13,2	30,4	318	53,0	4,90	27,7	8,65	1,45	1,770	890	35		4,4	10,4
IPE 140	140	73	4,7	6,9	7	112	551	16,4	44,2	541	77,3	5,74	44,9	12,3	1,65	2,630	1981	40	11	4,7	12,9
IPE 160	160	82	5,0	7,4	9	127	623	20,1	61,9	869	109	6,58	68,3	16,7	1,84	3,640	3959	44	13	5	15,8
IPE 180	180	91	5,3	8,0	9	146	698	23,9	83,2	1320	146	7,42	101	22,2	2,05	5,060	7431	48	13	5,3	18,8
IPE 200	200	100	5,6	8,5	12	159	788	28,5	110	1940	194	8,26	142	28,5	2,24	6,670	12990	52	13	5,6	22,4
IPE 220	220	110	5,9	9,2	12	178	848	33,4	143	2770	252	9,11	205	37,3	2,48	9,150	22670	58	17	5,9	26,2
IPE 240	240	120	6,2	9,8	15	190	922	39,1	183	3890	324	9,97	284	47,3	2,69	12,00	37390	65	17	6,2	30,7
IPE 270	270	135	6,6	10,2	15	220	1040	45,9	242	5790	429	11,2	420	62,2	3,02	15,40	70580	72	21	6,6	36,1
IPE 300	300	150	7,1	10,7	15	249	1160	53,8	314	8360	557	12,5	604	80,5	3,35	20,10	125900	80	23	7,1	42,2
IPE 330	330	160	7,5	11,5	18	271	1250	62,6	402	11770	713	13,7	788	98,5	3,55	26,50	199100	85	25	7,5	49,1
IPE 360	360	170	8,0	12,7	18	299	1350	72,7	510	16270	904	15,0	1040	123	3,79	37,30	313600	90	25	8	57,1
IPE 400	400	180	8,6	13,5	21	331	1470	84,5	657	23130	1160	16,5	1320	146	3,95	48,30	490000	95	28	8,6	66,3
IPE 450	450	190	9,4	14,6	21	379	1610	98,8	851	33740	1500	18,5	1680	176	4,12	65,90	791000	100	28	9,4	77,6
IPE 500	500	200	10,2	16,0	21	426	1740	116	1100	48200	1930	20,4	2140	214	4,31	91,80	1249000	110	28	10,2	90,7
IPE 550	550	210	11,1	17,2	24	468	1880	134	1390	67120	2440	22,3	2640	254	4,45	122,0	1884000	115	28	11,1	106
IPE 600	600	220	12,0	19,0	24	514	2010	155	1760	92080	3070	24,3	3390	308	4,66	172,0	2846000	120	28	12,0	122

Se opta por el perfil IPE 120 para vigas entre pórticos, y las vigas de los pórticos van a ser de IPE 100.

Tabla 28 Propiedades de la sección viga

PROPIEDADES DE SECCION IPE 120				
Altura (h) =	120	mm	4,72	pulg
Ancho de alas (bf) =	64	mm	2.51	pulg
Espesor de alma (tw) =	4.4	mm	0.17	pulg
Espesor de alas (tf) =	6.3	mm	0.24	pulg
Seccion (A) =	13,2	cm ²	2.04	pulg ²
Modulo de elasticidad (E) =			29000	ksi
Fluencia de acero A36 (fy) =			36	ksi

Miembros no rigidizados Ala

(Compacto – No Compacto).

$$\frac{bf}{2 * tf} \leq 0.38 * \sqrt{\frac{E}{Fy}}$$

$$\frac{2.51 \text{ pulg}}{2 * 0.24 \text{ pulg}} \leq 0.38 * \sqrt{\frac{29000 \text{ ksi}}{36 \text{ ksi}}}$$

$$5.23 \leq 10.79$$

Perfil compacto

(Esbelto – No Esbelto)

$$\frac{bf}{2 * tf} \leq 1.0 * \sqrt{\frac{E}{Fy}}$$

$$\frac{2.51 \text{ pulg}}{2 * 0.24 \text{ pulg}} \leq 1.0 * \sqrt{\frac{29000 \text{ ksi}}{36 \text{ ksi}}}$$

$$5.23 \leq 28.38$$

Perfil no esbelto

Miembros rigidizados Alma

(Compacto – No Compacto).

$$\frac{h}{tw} \leq 3.76 * \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\frac{4.72 \text{ pulg}}{0.17 \text{ pulg}} \leq 3.76 * \sqrt{\frac{29000 \text{ ksi}}{36 \text{ ksi}}}$$

$$27.76 \leq 106.72$$

Perfil compacto

(Esbelto – No Esbelto)

$$\frac{h}{tw} \leq 5.70 * \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\frac{4.72 \text{ pulg}}{0.17 \text{ pulg}} \leq 5.70 * \sqrt{\frac{29000 \text{ ksi}}{36 \text{ ksi}}}$$

$$27.76 \leq 161.78$$

Perfil no esbelto

4.4.3 PRE-DIMENSIONAMIENTO DE CORREAS MÉTODO LRFD

Tabla 29 Datos del prediseño de las correas

<i>DATOS</i>		
<i>fluencia del acero (Fy) =</i>	36	<i>ksi</i>
<i>Modulo de elasticidad (E) =</i>	29000	<i>ksi</i>
<i>Factor de seguridad (Ø) =</i>	0.9	
<i>Largo (L) =</i>	4.5	<i>m</i>
<i>Ancho (B) =</i>	2	<i>m</i>
<i>Carga muerta (De) =</i>	15	<i>kg/m²</i>
<i>Carga viva (Li) =</i>	70	<i>kg/m²</i>

Cálculo del peso resistente (w)

Peso ultimo

$$Pu = 1.2(De) + 1.6(Li)$$

$$Pu = 1.2(15 \text{ kg/m}^2) + 1.6(70 \text{ kg/m}^2)$$

$$Pu = 130 \text{ kg/m}^2$$

Area tributaria

$$AT = B * L$$

$$AT = 2 \text{ m} * 3 \text{ m}$$

$$AT = 6 \text{ m}^2$$

Peso resistente

$$W = \frac{AT * Pu}{L}$$

$$W = \frac{6 \text{ m}^2 * 130 \text{ kg/m}^2}{3 \text{ m}}$$

$$W = 260 \text{ kg/m}$$

Cálculo de momento ultimo (Mu)

$$Mu = \frac{W * L^2}{8}$$

$$Mu = \frac{260 \text{ kg/m} * (3 \text{ m})^2}{8}$$

$$Mu = 292.5 \text{ kg} * \text{m}$$

Cálculo de módulo de sección (Zx)

$$Mn = Fy * Zx$$

$$\emptyset * Mn \geq Mu$$

entonces reemplazamos Mn

$$\emptyset * Fy * Zx \geq Mu$$

Despejamos Zx

$$Zx \geq \frac{Mu}{\phi * Fy}$$

$$Fy = 36 \text{ ksi} = 25310000 \text{ kg/m}^2$$

$$Zx \geq \frac{292.5 \text{ kg} * \text{m}}{0.9 * 25310000 \text{ kg/m}^2}$$

$$Zx \geq 0.000012862 \text{ m}^3$$

$$Zx \geq 12.86 \text{ cm}^3$$

Con el catálogo de perfiles nos guiamos para obtener el perfil adecuado, para nuestro caso para perfiles cuadrados estructurales para correas, con nuestro valor de Zx vemos que en el catálogo esta denominado como Wx y se selecciona el perfil más adecuado.

Figura 46 Catálogo de secciones para perfiles cuadrados

Designaciones		Área	Peso	Propiedades Estáticas		
				Eje x-x = y-y		
				Momento de inercia	Módulo de resistencia	Radio de giro
B	e	A	P	I	W	I
mm	mm	cm ²	kg/m	cm ⁴	cm ³	cm
50	1,40	2,67	2,10	10,42	4,17	1,97
	1,50	2,85	2,24	11,07	4,43	1,97
	1,80	3,39	2,66	12,95	5,18	1,96
	2,00	3,74	2,93	14,15	5,66	1,95
	2,50	4,59	3,60	16,96	6,78	1,92
	3,00	5,41	4,25	19,50	7,80	1,90
	4,00	6,95	5,45	23,84	9,54	1,85
60	1,50	3,45	2,71	19,52	6,51	2,38
	1,80	4,11	3,22	22,95	7,65	2,36
	2,00	4,54	3,56	25,15	8,38	2,35
	2,50	5,59	4,39	30,36	10,12	2,33
	3,00	6,61	5,19	35,17	11,72	2,31
	4,00	8,55	6,71	43,65	14,55	2,26

$$14.55 \text{ cm}^3 \geq 12.86 \text{ cm}^3$$

Se obtiene un perfil cuadrado de 60x60x4 mm.

Clasificación de los elementos de acuerdo con la tabla de la AISC 360-16

Tabla 30 Propiedades de la sección cuadrada

PROPIEDADES DE SECCION CUADRADA				
Ancho (b) =	60	mm	2.36	pulg
Largo (h) =	60	mm	2.36	pulg
Espesor (t – tw) =	4	mm	0.16	pulg
Seccion (A) =	8.55	cm ²	1.33	pulg ²
Modulo de elasticidad (E) =			29000	ksi
Fluencia de acero A36 (fy) =			36	ksi

Miembros no rigidizadores Ala

(Compacto – No Compacto).

$$\frac{b}{t} \leq 1.12 * \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\frac{2.36 \text{ pulg}}{0.16 \text{ pulg}} \leq 1.12 * \sqrt{\frac{29000 \text{ ksi}}{36 \text{ ksi}}}$$

$$14.75 \leq 31.70$$

Perfil compacto

(Esbelto – No Esbelto)

$$\frac{b}{t} \leq 1.40 * \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\frac{2.36 \text{ pulg}}{0.16 \text{ pulg}} \leq 1.40 * \sqrt{\frac{29000 \text{ ksi}}{36 \text{ ksi}}}$$

$$14.75 \leq 39.74$$

Perfil no esbelto

Miembros rigidizadores

(Compacto – No Compacto).

$$\frac{h}{tw} \leq 2.42 * \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\frac{2.36 \text{ pulg}}{0.16 \text{ pulg}} \leq 2.42 * \sqrt{\frac{29000 \text{ ksi}}{36 \text{ ksi}}}$$

$$14.75 \leq 68.69$$

Perfil compacto

(Esbelto – No Esbelto)

$$\frac{h}{tw} \leq 5.70 * \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\frac{2.36 \text{ pulg}}{0.16 \text{ pulg}} \leq 5.70 * \sqrt{\frac{29000 \text{ ksi}}{36 \text{ ksi}}}$$

$$14.75 \leq 161.78$$

Perfil no esbelto

4.4.4 PRE-DIMENSIONAMIENTO DE COLUMNA MÉTODO LRFD

Figura 47 Área tributaria que soporta cada columna

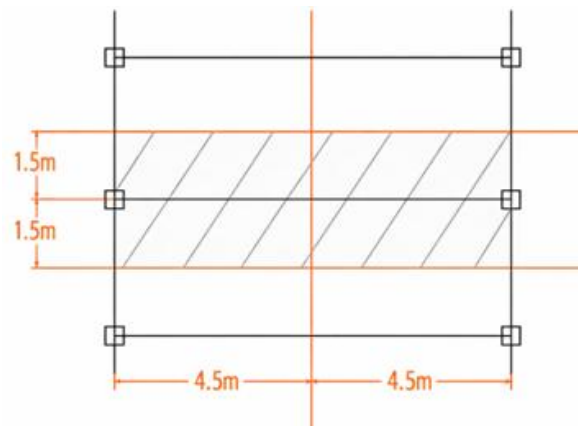


Tabla 31 Datos para el prediseño de la columna

DATOS		
<i>fluencia del acero (Fy) =</i>	36	<i>ksi</i>
<i>Modulo de elasticidad (E) =</i>	29000	<i>ksi</i>
<i>Factor de seguridad (Ø) =</i>	0.9	
<i>Largo (L) =</i>	4.5	<i>m</i>
<i>Ancho (B) =</i>	3	<i>m</i>
<i>Carga muerta (De) =</i>	15	<i>kg/m²</i>
<i>Carga viva (Li) =</i>	70	<i>kg/m²</i>

Cálculo del peso resistente (W)

Peso ultimo

$$Pu = 1.2(De) + 1.6(Li)$$

$$Pu = 1.2(15 \text{ kg/m}^2) + 1.6(70 \text{ kg/m}^2)$$

$$Pu = 130 \text{ kg/m}^2$$

Área tributaria

$$AT = B * L$$

$$AT = 4.5 \text{ m} * 3 \text{ m}$$

$$AT = 13.5 \text{ m}^2$$

Peso resistente

$$W = AT * Pu$$

$$W = 13.5 \text{ m}^2 * 130 \text{ kg/m}^2$$

$$W = 1755 \text{ kg/m}$$

$$W = 1755 \frac{\text{kg}}{\text{m}} * \frac{1 \text{ kip}}{453.59 \text{ kg}}$$

$$W = 3.869 \text{ kip}$$

Con respecto a los elementos sometidos principalmente a flexión, como vigas y correas, el comportamiento estructural de las columnas está gobernado por el fenómeno de

pandeo y no por la resistencia flexional del material. Por esta razón, en el prediseño de columnas no se define un módulo de sección requerido Z_x , se selecciona una sección preliminar y se verifica su estabilidad global mediante la evaluación de la esbeltez, el tipo de pandeo (elástico o inelástico) y la capacidad axial de diseño. Para este caso optamos por perfiles HEB.

Tabla 32 Catalogo de perfiles HEB

PERFILES HEB																						
Perfil	Dimensiones							Términos de la sección												Agujeros		
	h mm	b mm	a mm	e _y mm	r mm	h ₀ mm	u mm	A cm ²	S _x cm ³	I _x cm ⁴	W _x cm ³	I _y cm ⁴	W _y cm ³	I _z cm ⁴	W _z cm ³	I _{yz} cm ⁴	I _{xy} cm ⁴	I _{xy} cm ⁴	w mm	w ₁ mm	a mm	Peso p kp/m
HEB 100	100	100	6,0	10	12	56	567	26,0	52,1	450	90,0	4,16	167	33	2,53	9,34	3375		55	13		20,4
HEB 120	120	120	6,5	11	12	74	686	34,0	82,6	864	144	5,04	318	53	3,06	14,9	9410		65	17		26,7
HEB 140	140	140	7,0	12	12	92	805	43,0	123	1509	216,0	5,93	550	79	3,58	22,5	22480		75	21		33,7
HEB 160	160	160	8,0	13	15	104	918	54,3	177	2492	311	6,78	889	111	4,05	33,2	47940		85	23		42,6
HEB 180	180	180	8,5	14	15	122	1040	65,3	241	3831	426	7,66	1363	151	4,57	46,5	93750		100	25		51,2
HEB 200	200	200	9,0	15	18	134	1150	78,1	321	5696	570	8,54	2003	200	5,07	63,4	171100		110	25		61,3
HEB 220	220	220	9,5	16	18	152	1270	91,0	414	8091	736	9,43	2843	258	5,59	84,4	295400		120	25		71,5
HEB 240	240	240	10,0	17	21	164	1380	106,0	527	11259	938	10,3	3923	327	6,08	110	486900		90	35	25	83,2
HEB 260	260	260	10,0	17,5	24	177	1500	118,4	641	14919	1150	11,2	5135	395	6,58	130	753700		100	40	25	93
HEB 280	280	280	10,5	18	24	196	1620	131,4	767	19270	1380	12,1	6395	471	7,09	153	1130000		110	45	25	103
HEB 300	300	300	11,0	19	27	208	1730	149,1	934	25166	1680	13,0	8563	571	7,58	192	1688000		120	50	25	117
HEB 320	320	300	11,5	20,5	27	225	1770	161,3	1070	30823	1930	13,8	9239	616	7,57	241	2069000		120	50	25	127
HEB 340	340	300	12,0	21,5	27	243	1810	170,9	1200	36656	2160	14,6	9690	646	7,53	278	2454000		120	50	25	134
HEB 360	360	300	12,5	22,5	27	261	1850	180,6	1340	43193	2400	15,5	10140	676	7,49	320	2883000		120	50	25	142
HEB 400	400	300	13,5	24	27	298	1930	197,8	1620	57680	2880	17,1	10819	721	7,4	394	3817000		120	50	25	155
HEB 450	450	300	14,0	26	27	344	2030	218	1990	79887	3550	19,1	11721	781	7,33	500	5258000		120	50	25	171
HEB 500	500	300	14,5	28	27	390	2120	238,6	2410	107176	4290	21,2	12624	842	7,27	625	7018000		120	45	28	187

Tabla 33 Propiedades HEB 140

PROPIEDADES DE SECCION HEB 140				
Altura (h) =	140	mm	5.51	pulg
Ancho de alas (bf) =	140	mm	5.51	pulg
Espesor de alma (tw) =	7	mm	0.28	pulg
Espesor de alas (tf) =	12	mm	0.47	pulg
Seccion (A) =	43	cm ²	6.67	pulg ²
factor (k) =			0.8	
Altura de la columna (L) =	3	m	118.11	pulg
Radio de giro (r) =			1.408	pulg
Modulo de elasticidad (E) =			29000	ksi
Fluencia de acero A36 (fy) =			36	ksi

Relación de esbeltez perfil HEB 140

$$\lambda = \frac{k * L}{r}$$

$$\lambda = \frac{0.8 * 118.11 \text{ pulg}}{1.408 \text{ pulg}}$$

$$\lambda = 67.107$$

Calculo esfuerzo critico de Euler

$$Fe = \frac{\pi^2 * E}{\lambda^2}$$

$$Fe = \frac{\pi^2 * 29000 \text{ ksi}}{67.107^2}$$

$$Fe = 63.555 \text{ ksi}$$

Determinación de estado de pandeo elástico o inelástico

Pandeo elástico

$$\frac{k * L}{r} \geq 4.71 \sqrt{\frac{E}{Fy}}$$

$$\frac{0.8 * 118.11 \text{ pulg}}{1.408 \text{ pulg}} \geq 4.71 \sqrt{\frac{29000 \text{ ksi}}{36 \text{ ksi}}}$$

$$67.107 \geq 133.68$$

Pandeo inelástico

$$\frac{k * L}{r} \leq 4.71 \sqrt{\frac{E}{Fy}}$$

$$\frac{0.8 * 118.11 \text{ pulg}}{1.408 \text{ pulg}} \leq 4.71 \sqrt{\frac{29000 \text{ ksi}}{36 \text{ ksi}}}$$

$$67.107 \leq 133.68$$

Cálculo del esfuerzo critico

Por lo tanto $F_{cr} = 0.658^{\frac{F_y}{F_e}} * F_y$

$$F_{cr} = 0.658^{\frac{F_y}{F_e}} * F_y$$

$$F_{cr} = 0.658^{\frac{36 \text{ ksi}}{63.55 \text{ ksi}}} * 36 \text{ ksi}$$

$$F_{cr} = 28.401 \text{ ksi}$$

Cálculo de la capacidad axial Pn

$$P_n = \phi * F_{cr} * A$$

$$P_n = 0.9 * 28.401 \text{ ksi} * 6.67 \text{ pulg}$$

$$P_n = 170.49 \text{ kip} > 3.869 \text{ kip}$$

El perfil HEB 140 cumple con la capacidad axial

Clasificación de elementos de acuerdo con la tabla de la AISC 360-16

Miembros no rigidizadores Ala

(Compacto – No Compacto).

$$\frac{bf}{2 * tf} \leq 0.38 * \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\frac{5.51 \text{ pulg}}{2 * 0.47 \text{ pulg}} \leq 0.38 * \sqrt{\frac{29000 \text{ ksi}}{36 \text{ ksi}}}$$

$$5.83 \leq 10.79$$

Perfil compacto

(Esbelto – No Esbelto)

$$\frac{bf}{2 * tf} \leq 1.0 * \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\frac{5.51 \text{ pulg}}{2 * 0.47 \text{ pulg}} \leq 1.0 * \sqrt{\frac{29000 \text{ ksi}}{36 \text{ ksi}}}$$

$$5.83 \leq 28.38$$

Perfil no esbelto

Miembros rigidizadores Alma

(Compacto – No Compacto).

$$\frac{h}{tw} \leq 3.76 * \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\frac{5.51 \text{ pulg}}{0.28 \text{ pulg}} \leq 3.76 * \sqrt{\frac{29000 \text{ ksi}}{36 \text{ ksi}}}$$

$$19.68 \leq 106.72$$

Perfil compacto

(Esbelto – No Esbelto)

$$\frac{h}{tw} \leq 5.70 * \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\frac{5.51 \text{ pulg}}{0.28 \text{ pulg}} \leq 5.70 * \sqrt{\frac{29000 \text{ ksi}}{36 \text{ ksi}}}$$

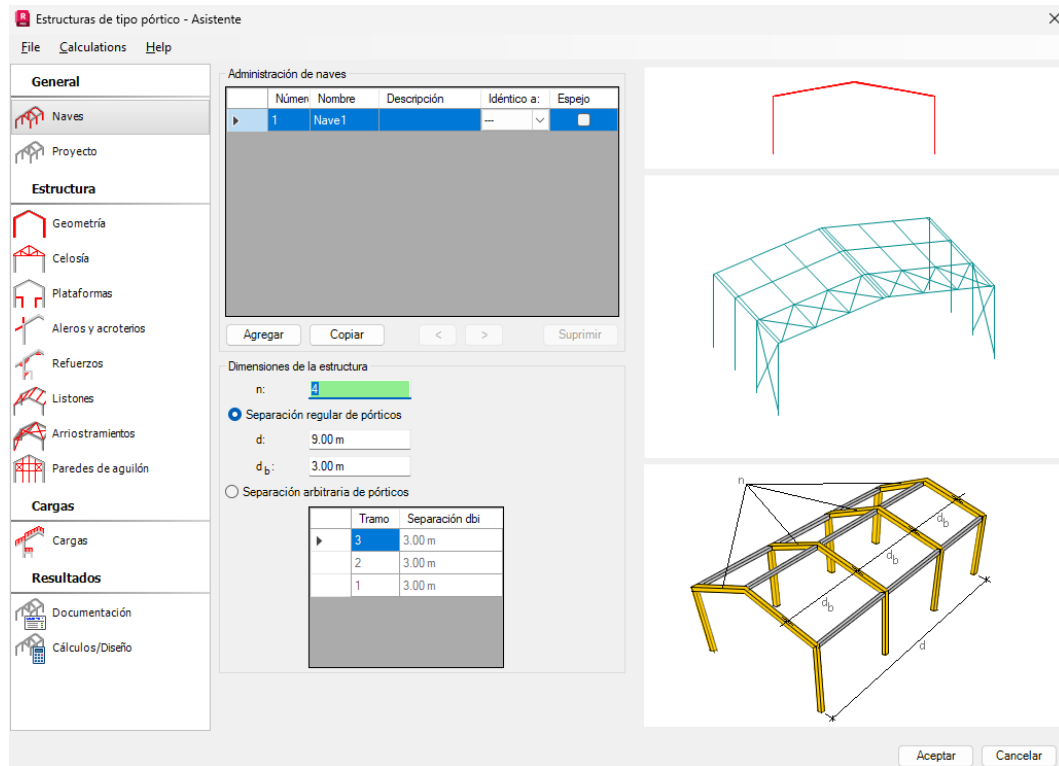
$$14.75 \leq 161.78$$

Perfil no esbelto

Se utilizarán perfiles HEB 140 para las columnas esquineras y para las columnas de borde se utilizarán perfiles HEB 160.

4.4.5 MODELADO DEL GALPÓN DE ACERO

Figura 48 Longitud del galpón de acero



Nota. Medidas del galpón empírico para realizar el modelado del galpón de acero y tener un análisis comparativo adecuado.

Figura 49 Materiales del galpón

Estructuras de tipo pórtico - Asistente

File Calculations Help

General

Naves

Proyecto

Estructura

Geometría

Celosía

Plataformas

Aleros y acroterios

Refuerzos

Listones

Arriostramientos

Paredes de aguilón

Cargas

Cargas

Resultados

Documentación

Cálculos/Diseño

Definición de la estructura

☒ Nuevo

☐ Existente (no hay definición de cargas de viento y nieve, cálculos y docum.)

Punto de insertar x 0.00 m y 0.00 m z 0.00 m

Rotación 0.0 °

Materiales

☐ Definición del material para todos los elementos

Tipo de elemento	Material
Pilares	ACERO 36
Vigas	ACERO 36
Correas inferiores (celosía)	ACERO 36
Correas superiores (celosía)	ACERO 36
Diagonales (celosía)	ACERO 36
Montantes (celosía)	ACERO 36
Vigas de la plataforma	ACERO 36
Pilares de la plataforma	ACERO 36
Aleros	ACERO 36
Acroterios	ACERO 36
Listones	ACERO 36
Vigas de caballete	ACERO 36
Vigas de ángulo	ACERO 36
Arriostramientos de las paredes	ACERO 36
Arriostramientos del tejado	ACERO 36
Vigas (paredes de aguilón)	ACERO 36
Pilares (paredes de aguilón)	ACERO 36
Arriostramientos (paredes de aguilón)	ACERO 36
Ménsula corta	ACERO 36

Aceptar Cancelar

Figura 50 Perfiles

Estructuras de tipo pórtico - Asistente

File Calculations Help

General

Naves

Proyecto

Estructura

Geometría

Celosía

Plataformas

Aleros y acroterios

Refuerzos

Listones

Arriostramientos

Paredes de aguilón

Cargas

Cargas

Resultados

Documentación

Cálculos/Diseño

Nave1

Tipo de tejado

☐ Un agua

☒ Dos aguas ☒ Simetría de la nave

Cotas

h_r : 1.50 m α : 18.4 °

h_{cl} : 3.00 m h_{cr} : 3.00 m

h_H : 0.30 m h_{Hr} : 0.30 m

b: 9.00 m b_t : 4.50 m

Apoyos

Izquierda Derecha

Empotrado Empotrado

Pilares

Sección: HEB 140 HEB 140

Material: ACERO 36 ACERO 36

Vigas

Sección: IPE 100 IPE 100

Material: ACERO 36 ACERO 36

Diagrama de perfil de la nave:

Aceptar Cancelar

Figura 51 Correa

Estructuras de tipo pórtico - Asistente

File Calculations Help

General

Naves

Proyecto

Estructura

Geometría

Celosía

Plataformas

Aleros y acroterios

Refuerzos

Listones

Arriostramientos

Paredes de aguilón

Cargas

Cargas

Resultados

Documentación

Cálculos/Diseño

Nave1

☒ Listones

Definición

☒ Número de listones

n_{pl} : 3 n_{pr} : 3

☐ Separación de listones

d_{pl} : 1.20 m d_{pr} : 1.20 m

Cotas

d_{prl} : 0.20 m d_{prr} : 0.20 m

d_{pcl} : 0.20 m d_{pcr} : 0.20 m

Fijación de listones

☒ Listones apoyados libremente

☐ Listones continuos

Listones

Sección: CORREA CUADR.

Material: ACERO 36

Liston, trav. unión

☐ Listón 1

☐ Listón 2

☐ Listón 3

☐ Listón 4

☐ Listón 5

☐ Listón 6

Viga de caballete

☐ Viga

Sección: IPE 120

Material: ACERO 36

Viga longitudinal

☒ Izquierda ☒ Derecha

Sección: IPE 120 IPE 120

Material: ACERO 36 ACERO 36

Aceptar Cancelar

Figura 52 Arriostramiento

Estructuras de tipo pórtico - Asistente

File Calculations Help

General

Naves

Proyecto

Estructura

Geometría

Celosía

Plataformas

Aleros y acroterios

Refuerzos

Listones

Arriostramientos

Paredes de aguilón

Cargas

Cargas

Resultados

Documentación

Cálculos/Diseño

Nave1

Definición

☒ Número de arriostramientos en el agua del tejado 3

☐ Número de listones unidos 2

Tramo	Pared izquierda	Tejado	Pared derecha
3			
2			
1			

Cotas

h_{wl} : 3.10 m h_{wr} : 3.10 m

Arriostramientos de las paredes

Izquierda:

Sección: CAE 50x5

Material: ACERO 36

Derecha:

Sección: CAE 50x5

Material: ACERO 36

Arriostramientos del tejado

Sección: CAE 50x5

Material: ACERO 36

Aceptar Cancelar

Tabla 34 Perfiles del galpón metálico

Perfiles por el que compuesto el galpón metálico	
Vigas	Vigas IPE 100, Vigas IPE 120
Columnas	Columnas HEB 140, Columnas HEB 160
Correas	Perfil cuadrado 60x60x4
Arriostramiento	L 50x50x5

Figura 53 Galpón de acero

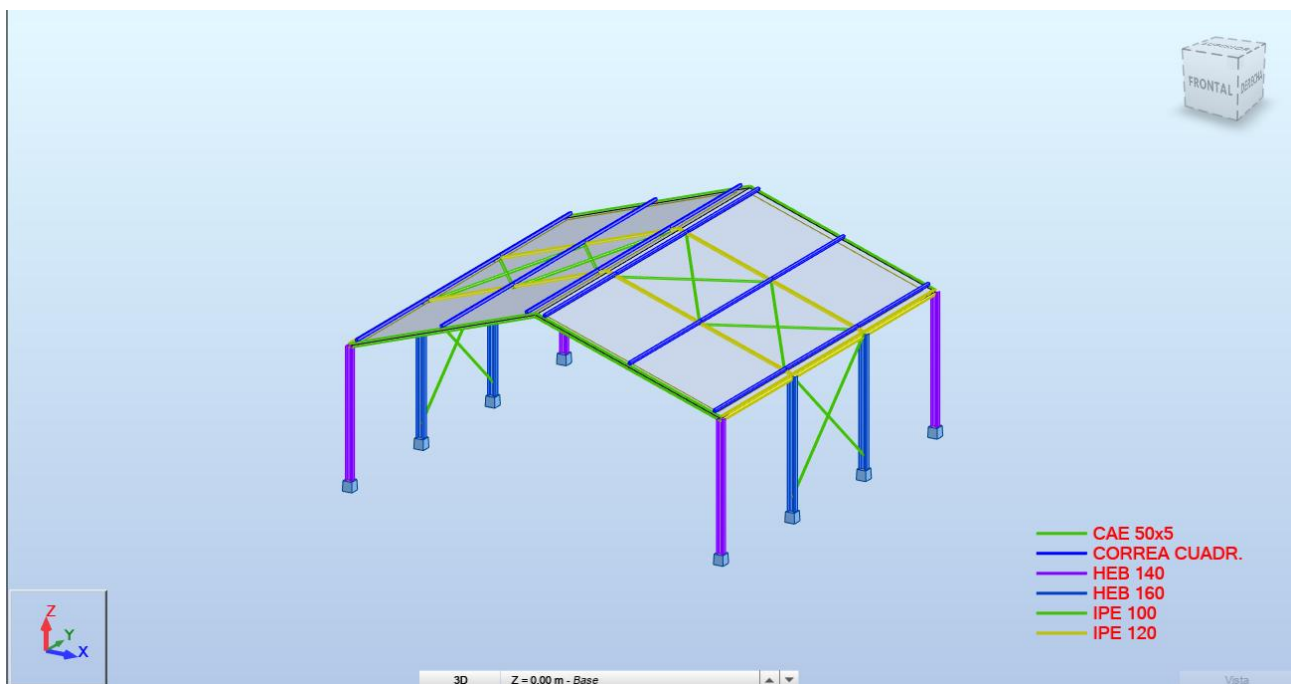


Figura 54 Cargas y combinaciones

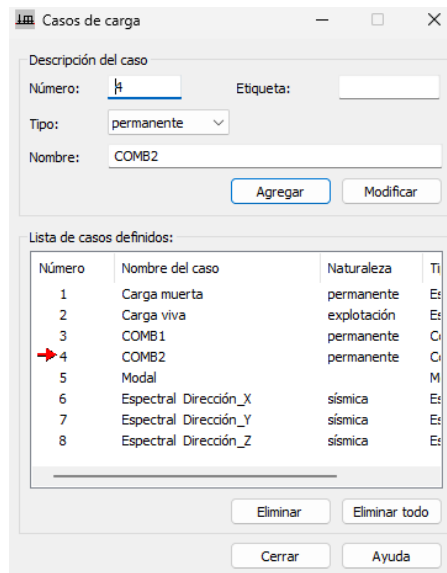
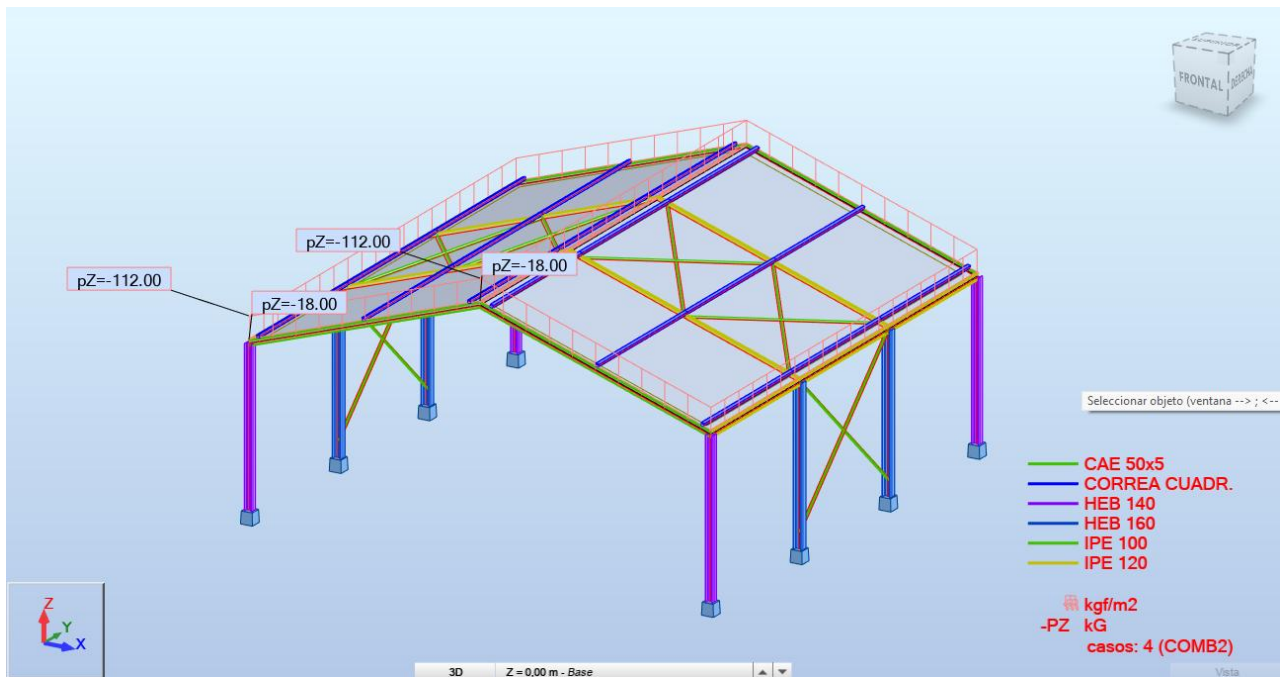


Figura 55 Determinación de cargas en el galpón



4.4.6 DIAGRAMA DE ESFUERZOS, MOMENTOS Y DESPLAZAMIENTOS

Figura 56 Esfuerzo Fx

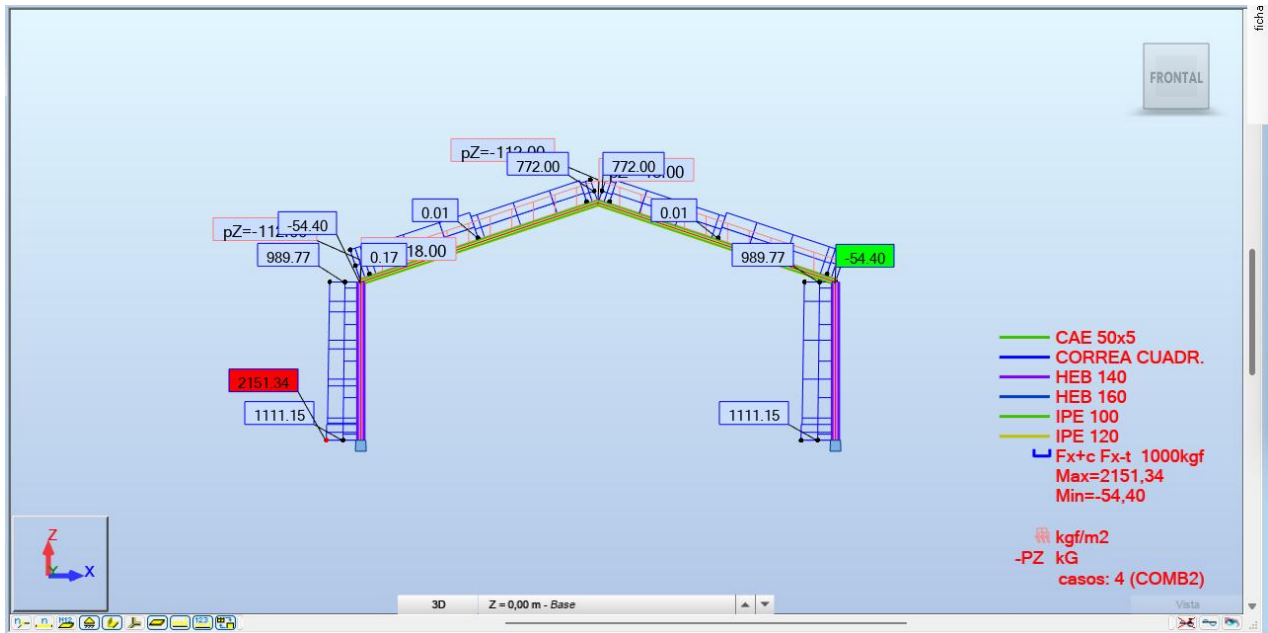


Figura 57 Esfuerzo Fy

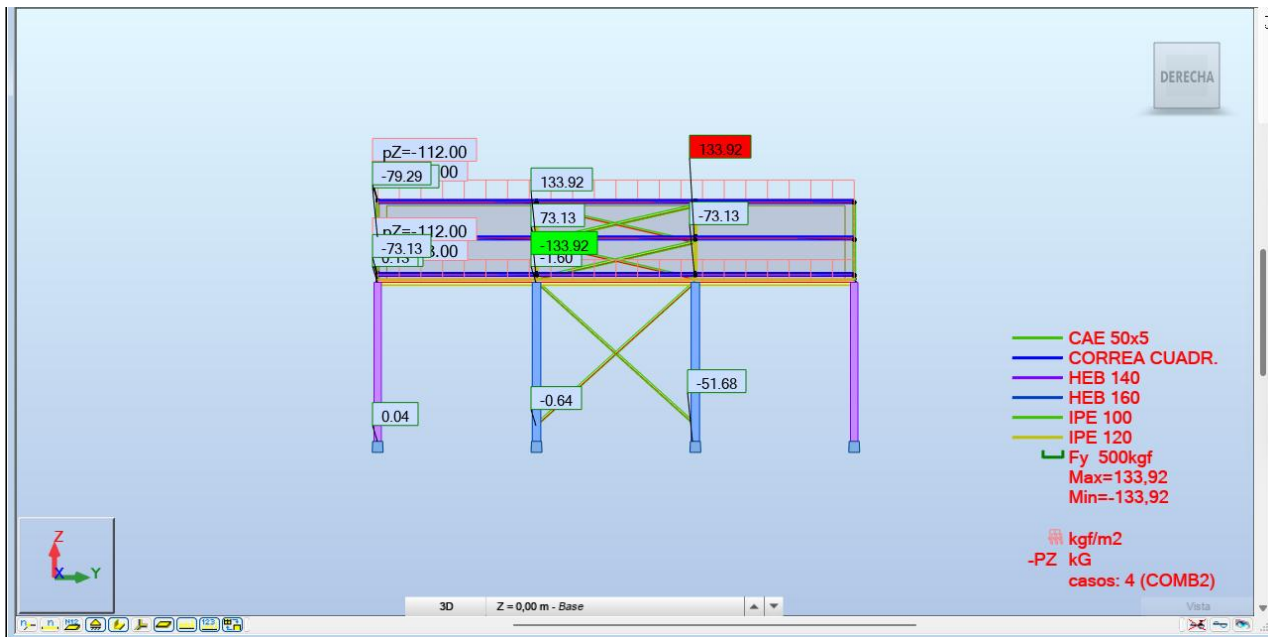


Figura 58 Esfuerzo Fz

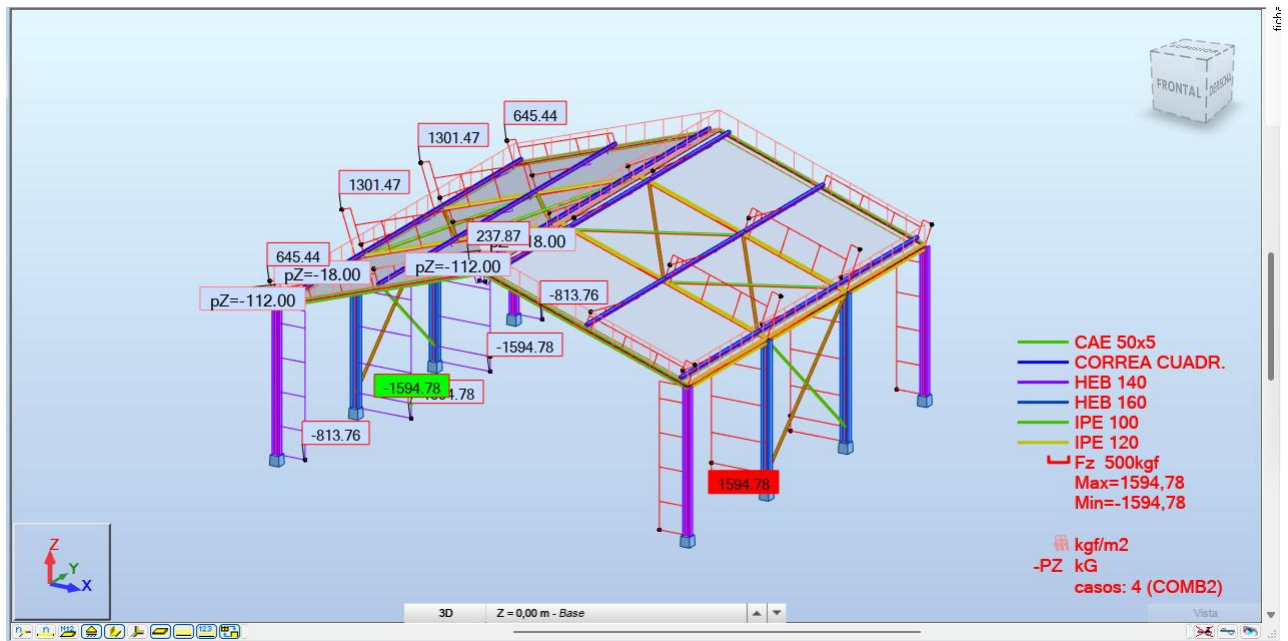


Figura 59 Mx

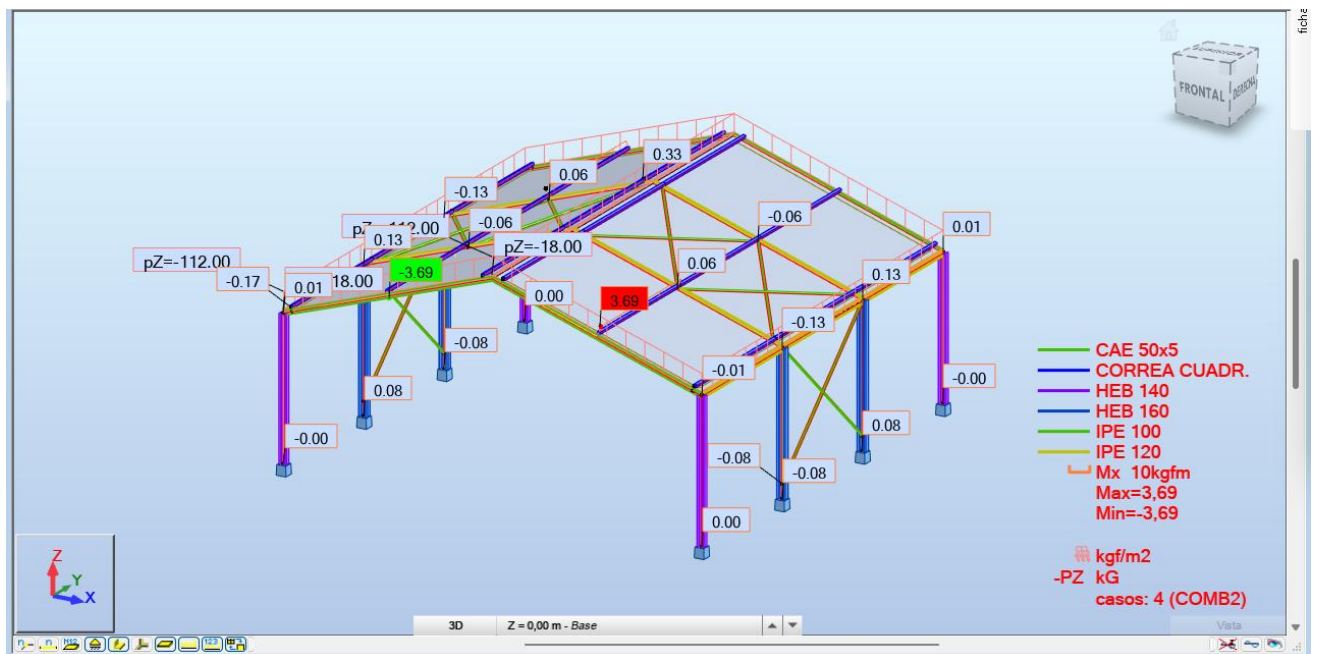


Figura 60 My

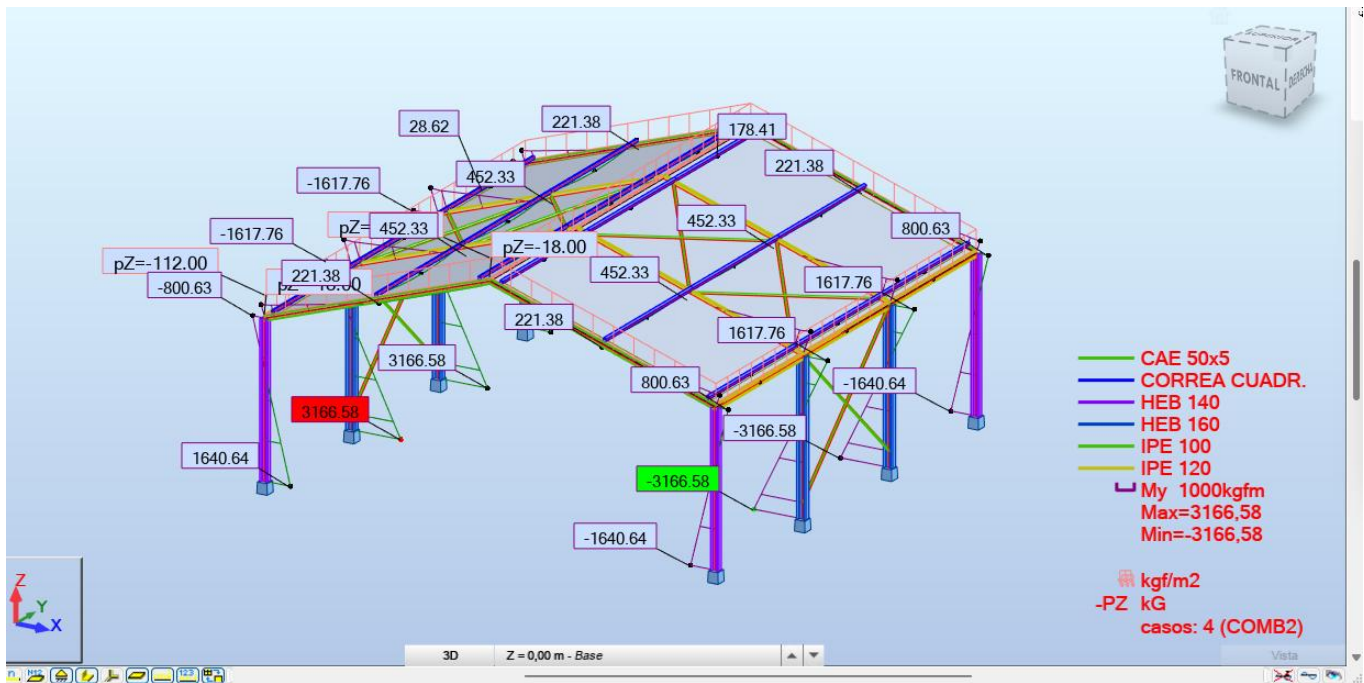
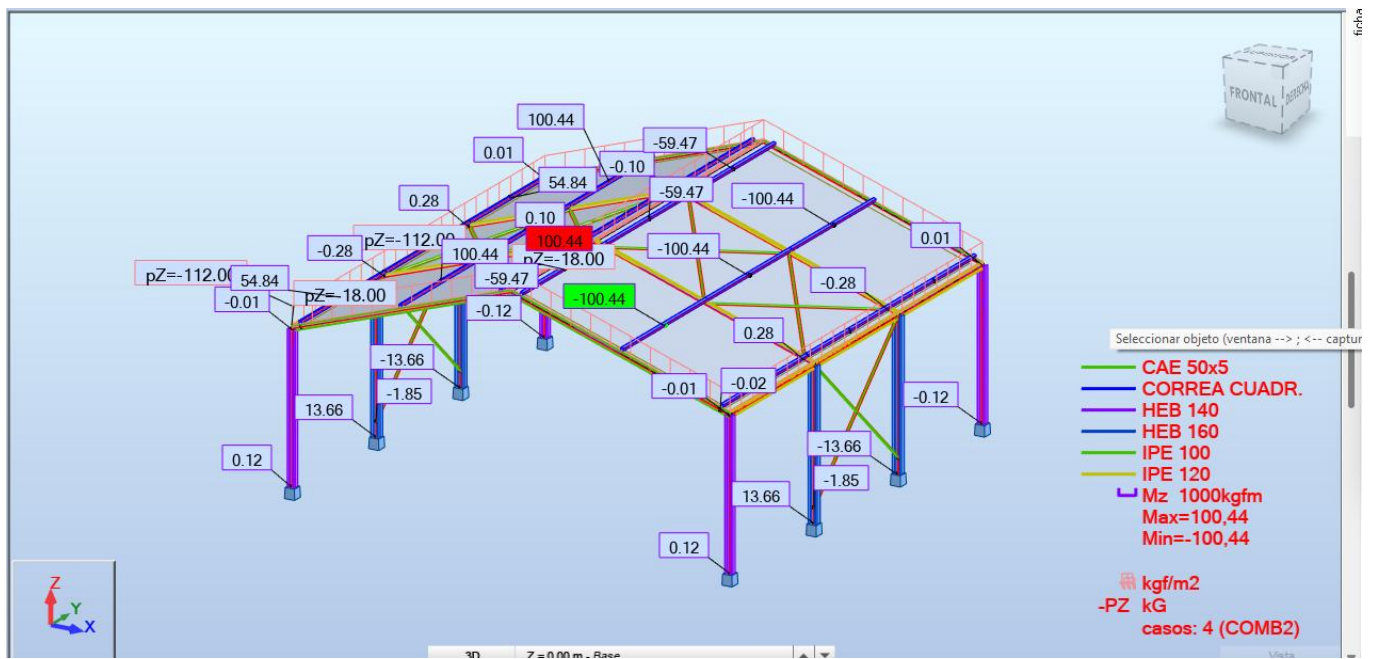


Figura 61 Mz



CARGAS DE VIENTO

Figura 62 Sentido X

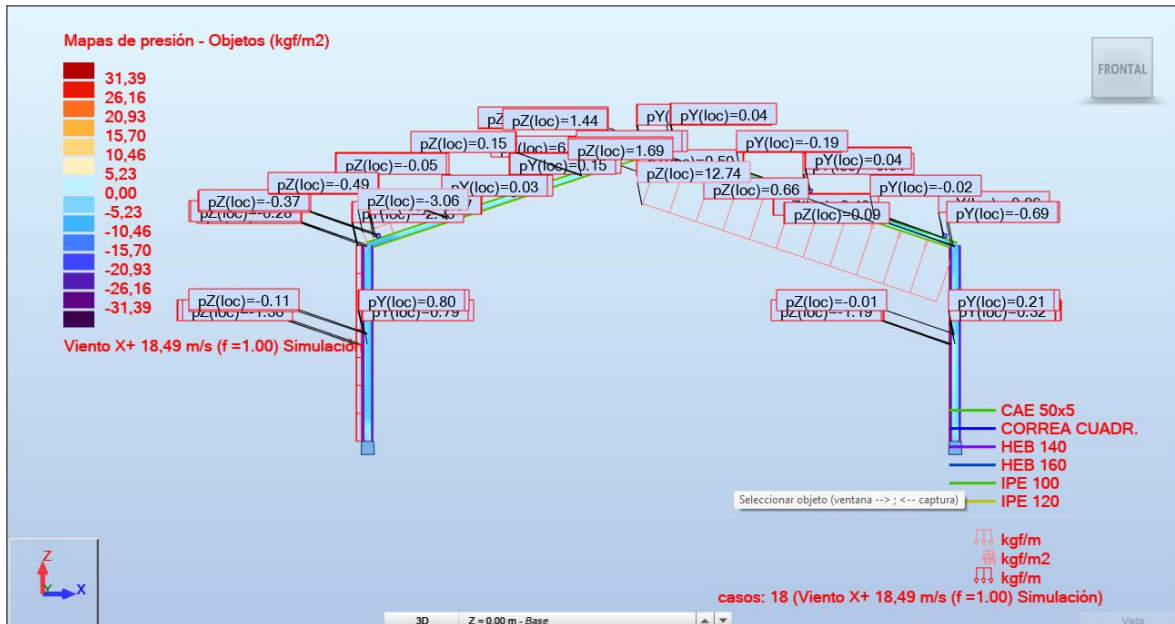
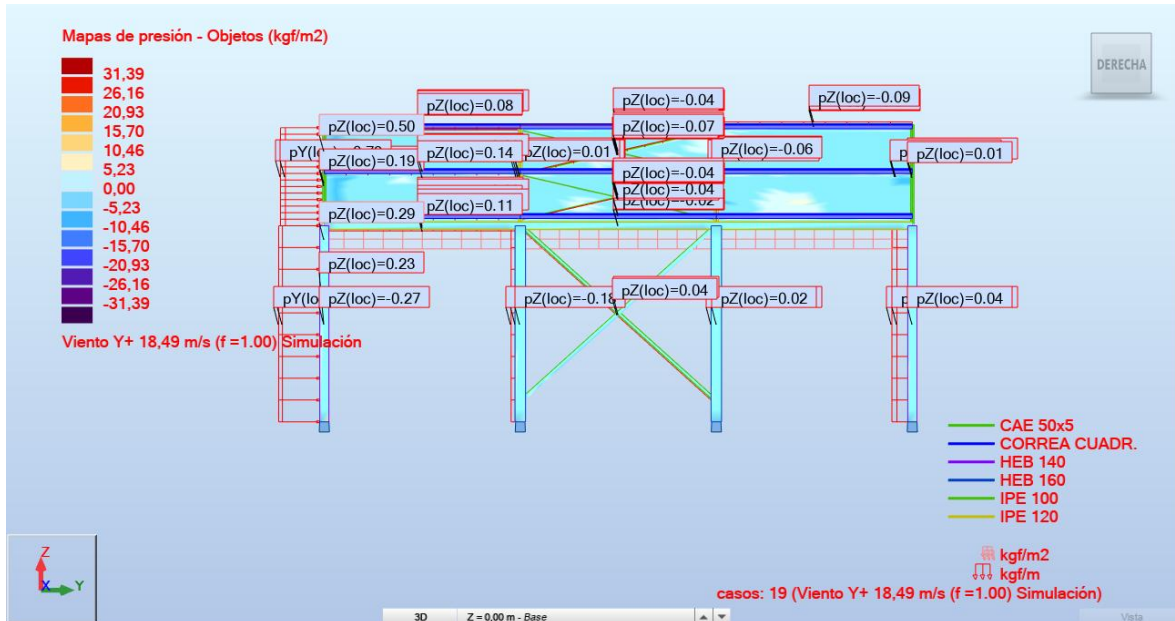
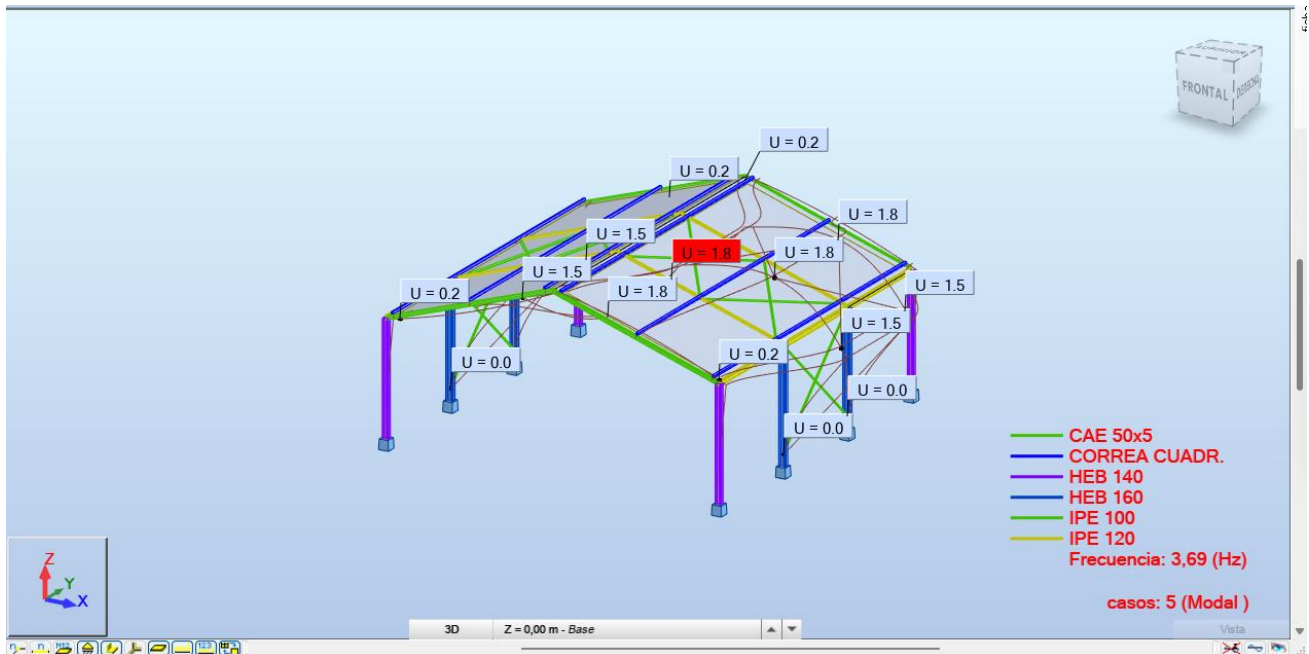


Figura 63 Sentido Y



DEFORMACIONES NODALES RESPECTO AL ESPECTRO DE DISEÑO

Figura 64 Deformaciones



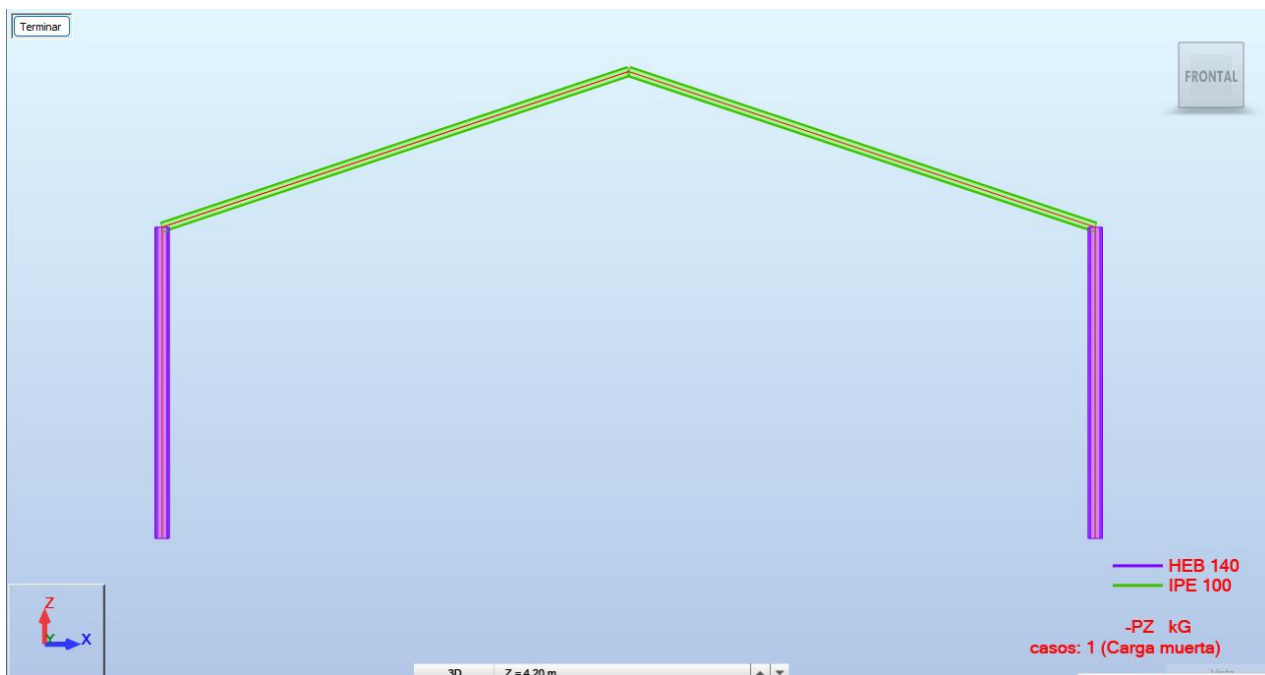
4.4.7 DISEÑO DE UNIONES ATORNILLADAS

Las uniones se realizan en los nodos correspondientes, cada nodo tiene su respectiva numeración, la estructura de acero está compuesta por diferentes perfiles de sección tanto como las columnas y las vigas tienen diferentes perfiles, por lo que las uniones atornilladas tendrán diferentes dimensiones con respecto a que perfiles conformarán.

La estructura está conformada por cuatro pórticos, dos pórticos tienen diferentes perfiles de columna y viga a diferencia de los otros dos pórticos, por lo que habrá diferentes dimensiones en las uniones atornilladas, así mismo se dispondrá de uniones atornilladas entre pórticos.

4.4.7.1 PÓRTICOS 1-4

Figura 65 Pórtico compuesto por perfiles IPE 100, HEB 140



Nota. Este pórtico corresponde al pórtico 1 y 4 ya que tienen perfiles similares.

Datos de la unión atornillada entre viga y columna

Figura 66 Geometría de la Columna HEB 140 y Viga 100

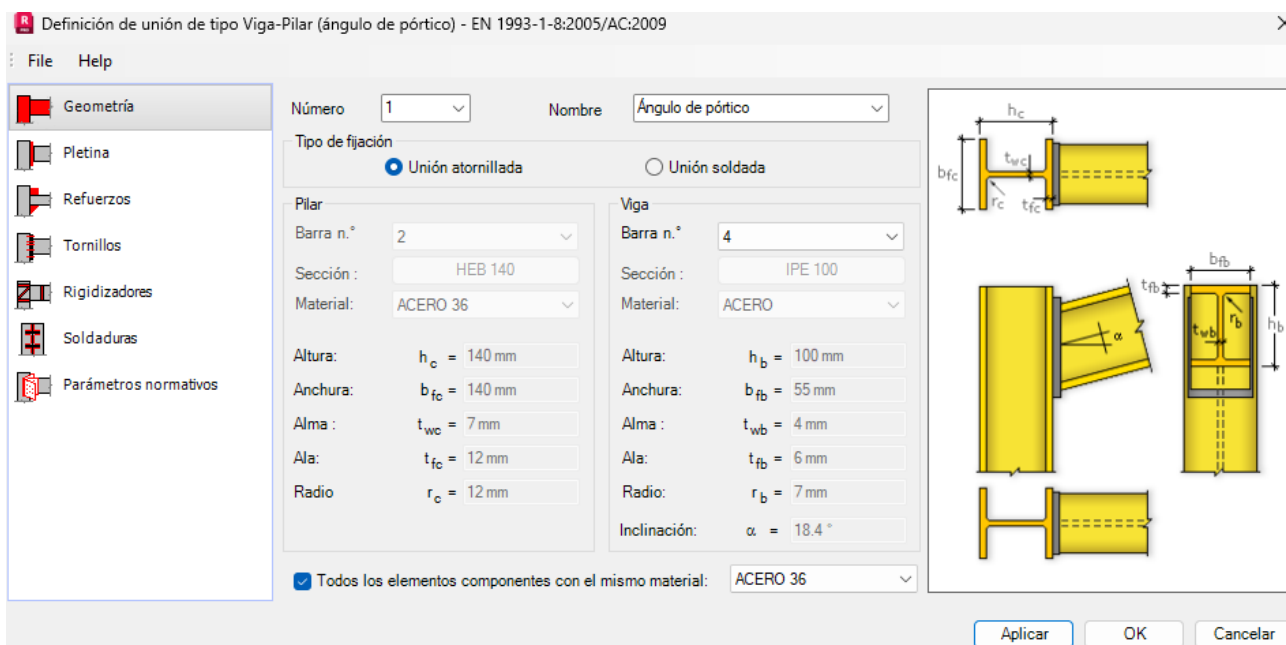


Figura 67 Pletina para unión entre Columna HEB 140 y Viga IPE 100

Definición de unión de tipo Viga-Pilar (ángulo de pórtico) - EN 1993-1-8:2005/AC:2009

File Help

Geometría

Pletina

Refuerzos

Tornillos

Rigidizadores

Soldaduras

Parámetros normativos

Pletina de tope

Altura: $h_p = 270 \text{ mm}$

Material: ACERO 36

Anchura: $b_p = 80 \text{ mm}$

Espesor: $t_p = 10 \text{ mm}$

$e_{pu} = 10 \text{ mm}$

$e_{pd} = 15 \text{ mm}$

☐ Refuerzo superior del ala del pilar

Altura: $h_{bu} =$

Anchura: $b_{bu} =$

Espesor: $t_{bu} =$

Posición: $e_{bu} =$

Material:

☐ Refuerzo inferior del ala del pilar

Altura: $h_{bd} =$

Anchura: $b_{bd} =$

Espesor: $t_{bd} =$

Posición: $e_{bd} =$

Material:

Aplicar OK Cancelar

Figura 68 Refuerzo para unión entre Columna HEB 140 y Viga IPE 100

Definición de unión de tipo Viga-Pilar (ángulo de pórtico) - EN 1993-1-8:2005/AC:2009

File Help

Geometría

Pletina

Refuerzos

Tornillos

Rigidizadores

Soldaduras

Parámetros normativos

Refuerzo vertical superior

Tipo de refuerzo:

☐ Pletina de refuerzo superior

Longitud: $l_{pu} =$

Anchura: $w_{pu} =$

Espesor: $t_{pu} =$

Material:

Refuerzo vertical inferior

Tipo de refuerzo:

Altura: $h_d = 140 \text{ mm}$

Longitud: $l_d = 300 \text{ mm}$

Anchura: $w_d = 55 \text{ mm}$

Alma: $t_{wd} = 10 \text{ mm}$

Ala: $t_{fd} = 12 \text{ mm}$

Ángulo: $\alpha_d = 39.5^\circ$

Material: ACERO 36

☐ Pletina de refuerzo inferior

Longitud: $l_{pd} =$

Anchura: $w_{pd} =$

Espesor: $t_{pd} =$

Material:

Aplicar OK Cancelar

Figura 69 Tornillos para unión entre Columna HEB 140 y Viga IPE 100

Definición de unión de tipo Viga-Pilar (ángulo de pórtico) - EN 1993-1-8:2005/AC:2009

File Help

Geometría
Pletina
Refuerzos
Tornillos
Rigidizadores
Soldaduras
Parámetros normativos

Tornillos
Diámetro : M10
Clase : 10.9

Plano de corte
☒ Parte no fileteada ☐ Parte fileteada

Distribución
Número de columnas : $n_h = 2$
Número de líneas : $n_v = 4$

Separación horizontal : $e = 40 \text{ mm}$
Separación vertical : $(p_1 : p_2 \dots) = 40; 60; 70 \text{ mm}$
☐ Separ. uniforme
Distancia respecto al borde : $h_1 = 40 \text{ mm}$ ☐ Simetría

Aplicar OK Cancelar

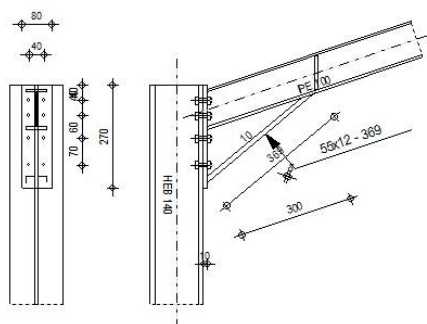
Figura 70 Verificación de la unión

Robot Structural Analysis Professional 2024

Cálculo del empotramiento Viga - Columna
EN 1993-1-8:2005/AC:2009

OK

Relación
0,45



Datos de la unión atornillada entre viga y viga

Figura 71 Geometría entre Vigas IPE 100

Definición de unión de tope de tipo Viga-Viga - EN 1993-1-8:2005/AC:2009

Geometría

Número: 2 Nombre: De tope

Tipo de fijación: ☒ Unión atornillada ☐ Unión soldada

Viga izquierda: Barra n.º: 3 Sección: IPE 100 Material: ACERO

Viga derecha: Barra n.º: 4 Sección: IPE 100 Material: ACERO

Altura: $h_{bl} = 100 \text{ mm}$ $h_{br} = 100 \text{ mm}$

Anchura: $b_{fbl} = 55 \text{ mm}$ $b_{fbr} = 55 \text{ mm}$

Alma: $t_{wbl} = 4 \text{ mm}$ $t_{wbr} = 4 \text{ mm}$

Ala: $t_{fbl} = 6 \text{ mm}$ $t_{fbr} = 6 \text{ mm}$

Radio: $r_{bl} = 7 \text{ mm}$ $r_{br} = 7 \text{ mm}$

Inclinación: $\alpha = -161.6^\circ$ $\alpha = -18.4^\circ$

☒ Todos los elementos componentes con el mismo material: ACERO 36

[Ayuda](#) Aplicar OK Cancelar

Figura 72 Pletina para unión entre Viga IPE 100 y Viga IPE 100

Definición de unión de tope de tipo Viga-Viga - EN 1993-1-8:2005/AC:2009

Geometría

Pletina de tope

Altura: $h_{pr} = 260 \text{ mm}$ Material: ACERO 36

Anchura: $b_{pr} = 70 \text{ mm}$

Espesor: $t_{pr} = 10 \text{ mm}$

$e_{pru} = 10 \text{ mm}$

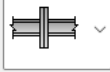
$e_{prd} = 5 \text{ mm}$

[Ayuda](#) Aplicar OK Cancelar

Figura 73 Refuerzo para unión entre Viga IPE 100 y Viga IPE 100

Definición de unión de tope de tipo Viga-Viga - EN 1993-1-8:2005/AC:2009

Geometría
Refuerzos
 Tornillos
 Soldaduras
 Parámetros normativos

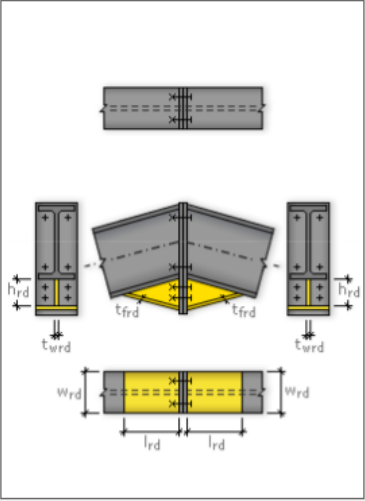
Refuerzo vertical superior
 Tipo de refuerzo: 

Refuerzo vertical inferior
 Tipo de refuerzo: 

Altura: $h_{rd} = 140 \text{ mm}$
 Longitud: $l_{rd} = 300 \text{ mm}$
 Anchura: $w_{rd} = 55 \text{ mm}$
 Alma: $t_{wrd} = 5 \text{ mm}$
 Ala: $t_{frd} = 6 \text{ mm}$
 Ángulo: $\alpha_d = 9.0^\circ$
 Material: ACERO 36

☐ Pletina de refuerzo superior
 Longitud: $l_{sru} =$
 Anchura: $w_{sru} =$
 Espesor: $t_{sru} =$
 Material:

☐ Pletina de refuerzo inferior
 Longitud: $l_{srd} =$
 Anchura: $w_{srd} =$
 Espesor: $t_{srd} =$
 Material:



[Ayuda](#) Aplicar OK Cancelar

Figura 74 Tornillos para unión entre Viga IPE 100 y Viga IPE 100

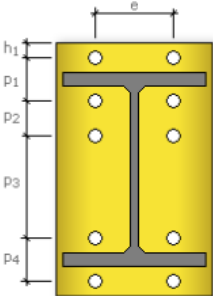
Definición de unión de tope de tipo Viga-Viga - EN 1993-1-8:2005/AC:2009

Geometría
Tornillos
 Soldaduras
 Parámetros normativos

Tornillos
 Diámetro: M10
 Clase: 10.9

Plano de corte
☒ Parte no fileteada ☐ Parte fileteada

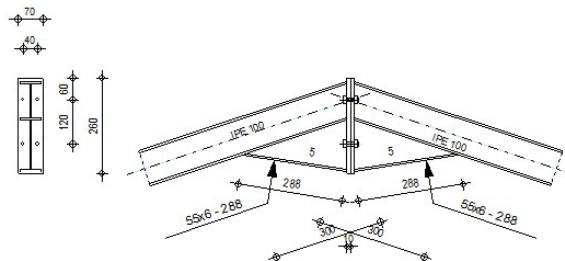
Distribución
 Número de columnas: $n_h = 2$
 Número de líneas: $n_v = 2$
 Separación horizontal: $e = 40 \text{ mm}$
 Separación vertical: $(p_1 : p_2 \dots) = 120 \text{ mm}$
☐ Separ. uniforme
 Distancia respecto al borde: $h_1 = 60 \text{ mm}$ ☐ Simetría



[Ayuda](#) Aplicar OK Cancelar

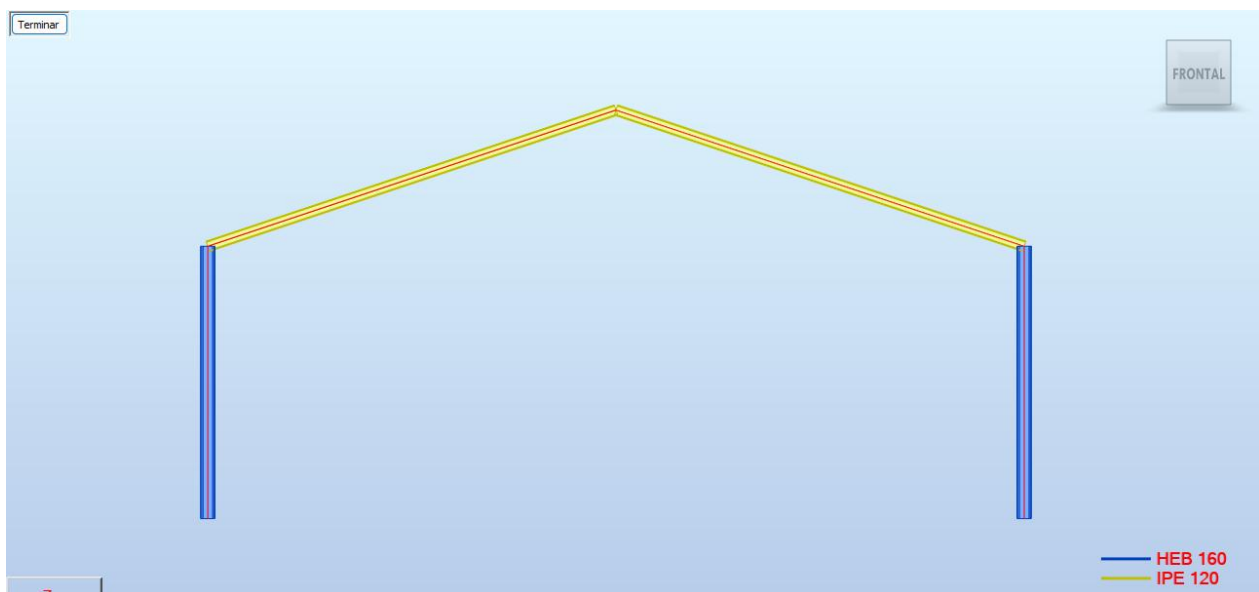
Figura 75 Verificación de la unión

	Robot Structural Analysis Professional 2024 Cálculo del empotramiento Viga - Viga EN 1993-1-8:2005/AC:2009	 Relación 0,09
---	---	---



4.4.7.2 PÓRTICOS 2-3

Figura 76 Pórtico de perfiles IPE 120, HEB 160



Nota. Este pórtico representa el pórtico 2-3 del galpón de acero.

Datos de la unión atornillada viga y columna

Figura 77 Geometría entre Columna HEB 160 y Viga IPE 120

Definición de unión de tipo Viga-Pilar (ángulo de pórtico) - EN 1993-1-8:2005/AC:2009

File Help

Geometría

Número: 4 Nombre: Ángulo de pórtico

Tipo de fijación: ☒ Unión atornillada ☐ Unión soldada

Pilar:

Barra n.º: 5 Sección: HEB 160 Material: ACERO 36

Alta: $h_c = 160 \text{ mm}$
 Anchura: $b_{fc} = 160 \text{ mm}$
 Alma: $t_{wc} = 8 \text{ mm}$
 Ala: $t_{fc} = 13 \text{ mm}$
 Radio: $r_c = 15 \text{ mm}$

Viga:

Barra n.º: 7 Sección: IPE 120 Material: ACERO 36

Alta: $h_b = 120 \text{ mm}$
 Anchura: $b_{fb} = 64 \text{ mm}$
 Alma: $t_{wb} = 4 \text{ mm}$
 Ala: $t_{fb} = 6 \text{ mm}$
 Radio: $r_b = 7 \text{ mm}$
 Inclinación: $\alpha = 18.4^\circ$

☒ Todos los elementos componentes con el mismo material: ACERO 36

Aplicar OK Cancelar

Figura 78 Pletina para unión entre Columna HEB 160 y Viga IPE 120

Definición de unión de tipo Viga-Pilar (ángulo de pórtico) - EN 1993-1-8:2005/AC:2009

File Help

Geometría

Pletina de tope:

Alta: $h_p = 430 \text{ mm}$ Material: ACERO 36
 Anchura: $b_p = 100 \text{ mm}$
 Espesor: $t_p = 10 \text{ mm}$

$e_{pu} = 10 \text{ mm}$
 $e_{pd} = 14 \text{ mm}$

☐ Refuerzo superior del ala del pilar ☐ Refuerzo inferior del ala del pilar

Alta: $h_{bu} =$ Anchura: $b_{bu} =$ Espesor: $t_{bu} =$ Posición: $e_{bu} =$ Material:
 Alta: $h_{bd} =$ Anchura: $b_{bd} =$ Espesor: $t_{bd} =$ Posición: $e_{bd} =$ Material:
 Material:
 Material:

Aplicar OK Cancelar

Figura 79 Refuerzo para Unión entre Columna HEB 160 y Viga IPE 120

Definición de unión de tipo Viga-Pilar (ángulo de pórtico) - EN 1993-1-8:2005/AC:2009

File Help

Geometría
Pletina
Refuerzos
Tornillos
Rigidizadores
Soldaduras
Parámetros normativos

Refuerzo vertical superior
Tipo de refuerzo:

Altura: $h_u = 140 \text{ mm}$
Longitud: $l_u = 300 \text{ mm}$
Anchura: $w_u = 50 \text{ mm}$
Alma: $t_{wu} = 5 \text{ mm}$
Ala: $t_{fu} = 10 \text{ mm}$
Ángulo: $\alpha_u = 9.0^\circ$
Material: ACERO 36

Refuerzo vertical inferior
Tipo de refuerzo:

Altura: $h_d = 140 \text{ mm}$
Longitud: $l_d = 300 \text{ mm}$
Anchura: $w_d = 50 \text{ mm}$
Alma: $t_{wd} = 5 \text{ mm}$
Ala: $t_{fd} = 10 \text{ mm}$
Ángulo: $\alpha_d = 39.5^\circ$
Material: ACERO 36

☐ Pletina de refuerzo superior
Longitud: $l_{pu} =$
Anchura: $w_{pu} =$
Espesor: $t_{pu} =$
Material:

☐ Pletina de refuerzo inferior
Longitud: $l_{pd} =$
Anchura: $w_{pd} =$
Espesor: $t_{pd} =$
Material:

Aplicar OK Cancelar

Figura 80 Tornillos para unión entre Columna HEB 160 y Viga IPE 120

Definición de unión de tipo Viga-Pilar (ángulo de pórtico) - EN 1993-1-8:2005/AC:2009

File Help

Geometría
Pletina
Refuerzos
Tornillos
Rigidizadores
Soldaduras
Parámetros normativos

Tornillos
Diámetro: M12
Clase: 10.9

Plano de corte
☒ Parte no fileteada ☐ Parte fileteada

Distribución
Número de columnas: $n_h = 2$
Número de líneas: $n_v = 4$

Separación horizontal: $e = 50 \text{ mm}$
Separación vertical: $(p_1 : p_2 \dots) = 130; 60; 120 \text{ mm}$
☐ Separ. uniforme ☐ Simetría

Distancia respecto al borde: $h_1 = 50 \text{ mm}$

Aplicar OK Cancelar

Figura 83 Pletina para unión de Vigas IPE 120

Definición de unión de tope de tipo Viga-Viga - EN 1993-1-8:2005/AC:2009

Geometría

Pletina

Refuerzos

Tornillos

Soldaduras

Parámetros normativos

Pletina de tope

Altura: $h_{pr} = 500 \text{ mm}$

Material: ACERO 36

Anchura: $b_{pr} = 80 \text{ mm}$

Espesor: $t_{pr} = 10 \text{ mm}$

$e_{pru} = 10 \text{ mm}$

$e_{prd} = 14 \text{ mm}$

Aplicar OK Cancelar

Figura 84 Refuerzos para unión entre Vigas IPE 120

Definición de unión de tope de tipo Viga-Viga - EN 1993-1-8:2005/AC:2009

Geometría

Pletina

Refuerzos

Tornillos

Soldaduras

Parámetros normativos

Refuerzo vertical superior

Tipo de refuerzo:

Altura: $h_{ru} = 150 \text{ mm}$

Longitud: $l_{ru} = 350 \text{ mm}$

Anchura: $w_{ru} = 55 \text{ mm}$

Alma: $t_{wru} = 5 \text{ mm}$

Ala: $t_{fru} = 10 \text{ mm}$

Ángulo: $\alpha_u = 38.1^\circ$

Material: ACERO 36

☐ Pletina de refuerzo superior

Longitud: $l_{sru} =$

Anchura: $w_{sru} =$

Espesor: $t_{sru} =$

Material: Material

Refuerzo vertical inferior

Tipo de refuerzo:

Altura: $h_{rd} = 200 \text{ mm}$

Longitud: $l_{rd} = 350 \text{ mm}$

Anchura: $w_{rd} = 55 \text{ mm}$

Alma: $t_{wrd} = 5 \text{ mm}$

Ala: $t_{frd} = 10 \text{ mm}$

Ángulo: $\alpha_d = 15.1^\circ$

Material: ACERO 36

☐ Pletina de refuerzo inferior

Longitud: $l_{srd} =$

Anchura: $w_{srd} =$

Espesor: $t_{srd} =$

Material: Material

Aplicar OK Cancelar

Figura 85 Tornillos para unión de Vigas IPE 120

Definición de unión de tope de tipo Viga-Viga - EN 1993-1-8:2005/AC:2009

Geometría

Tornillos

Diámetro : M10

Clase: 10.9

Plano de corte

☒ Parte no fileteada ☐ Parte fileteada

Distribución

Número de columnas: $n_h = 2$

Número de líneas: $n_v = 4$

Separación horizontal : $e = 40 \text{ mm}$

Separación vertical : $(p_1 : p_2 \dots) = 130; 120; 130 \text{ mm}$

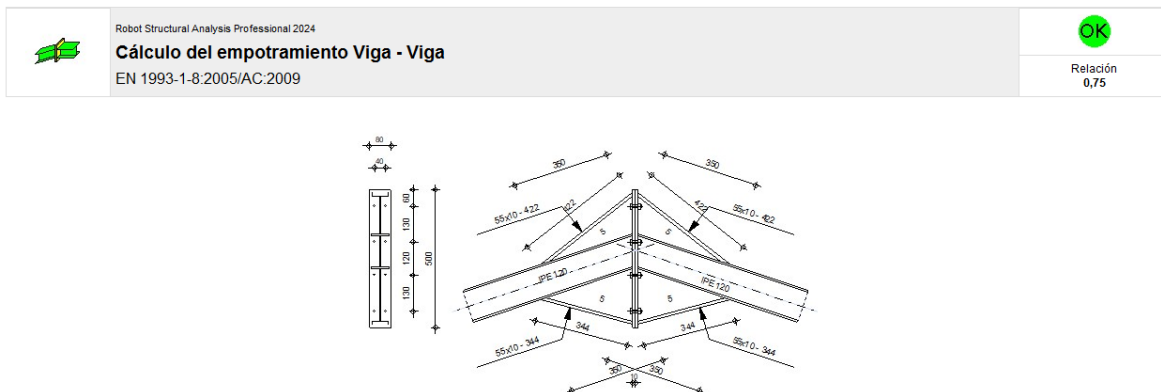
☐ Separ. uniforme

Distancia respecto al borde : $h_1 = 60 \text{ mm}$ ☐ Simetría

[Ayuda](#)

Aplicar OK Cancelar

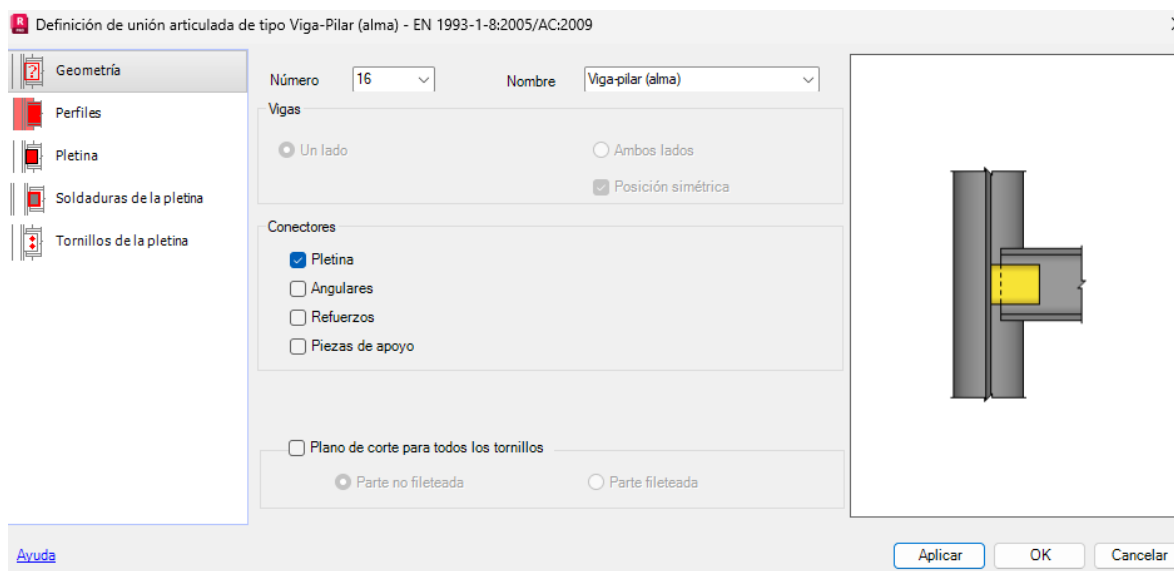
Figura 86 Verificación de la unión



4.4.7.3 UNIÓN ATORNILLADA ENTRE PÓRTICOS

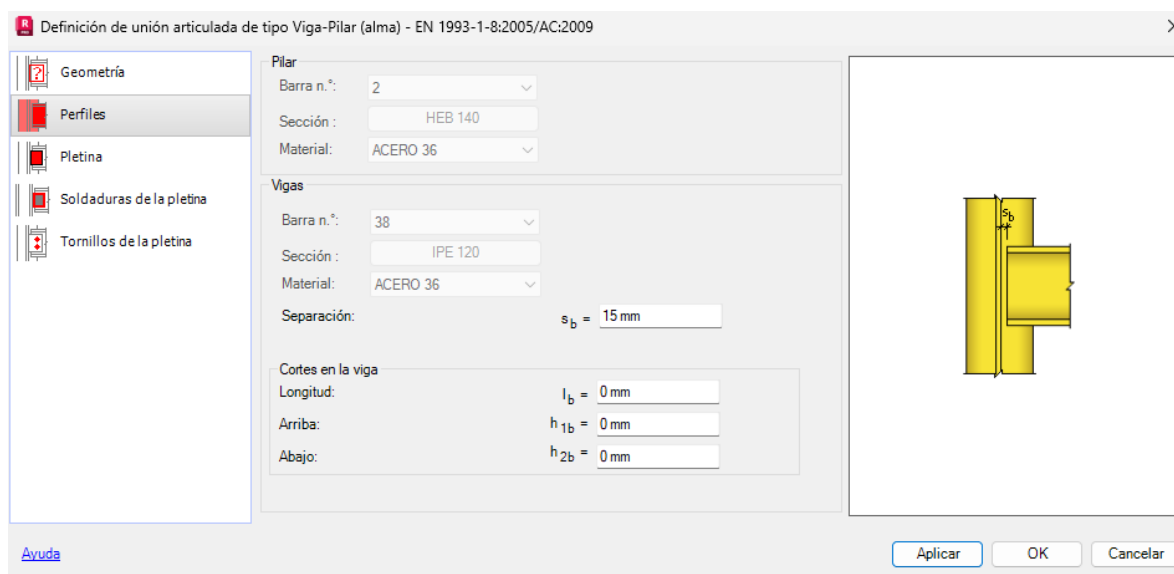
Para las uniones atornilladas entre pórticos tendrán las mismas dimensiones para las conexiones entre las vigas a columnas de los pórticos.

Figura 87 Geometría de la unión



Nota. En este caso el conector será pletina.

Figura 88 Perfiles que emplearán la unión



Nota. La separación de 15 mm será la misma para todas las uniones entre pórticos.

Figura 89 Datos de la pletina

Definición de unión articulada de tipo Viga-Pilar (alma) - EN 1993-1-8:2005/AC:2009

Geometría

Perfiles

Pletina

Soldaduras de la pletina

Tornillos de la pletina

Parámetros de la pletina

☐ Un lado

Altura: $h_p = 90 \text{ mm}$

Longitud: $l_p = 80 \text{ mm}$

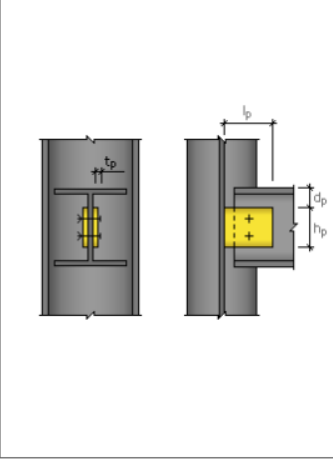
Espesor: $t_p = 5 \text{ mm}$

☒ Centrar

Distancia: $d_p = 15 \text{ mm}$

Material: ACERO 36

Unida a la viga:



Aplicar OK Cancelar

Figura 90 Tornillos para la pletina

Definición de unión articulada de tipo Viga-Pilar (alma) - EN 1993-1-8:2005/AC:2009

Geometría

Perfiles

Pletina

Soldaduras de la pletina

Tornillos de la pletina

Parámetros de los tornillos

Diámetro: M8

Clase: 10.9

Plano de corte

☒ Parte no fileteada ☐ Parte fileteada

Número de columnas: $k = 1$

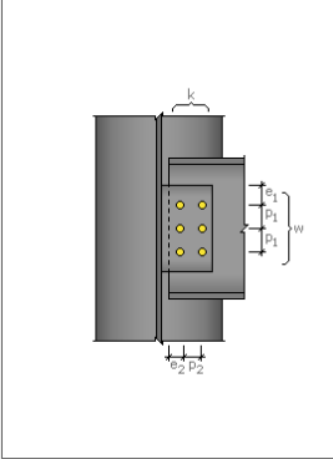
Número de líneas: $w = 2$

Distancia: $e_1 = 20 \text{ mm}$ ☒ Centrar

Distancia: $e_2 = 35 \text{ mm}$

Separación vertical: $p_1 = 50 \text{ mm}$

Separación horizontal: $p_2 =$



Aplicar OK Cancelar

Los datos previamente visualizados serán los mismos empleados para la creación de uniones entre los pórticos, por ello solo se muestra un ejemplo.

Figura 91 Verificación de la unión

	Robot Structural Analysis Professional 2024	
	Cálculos de la sección viga - pilar (alma)	
	EN 1993-1-8:2005/AC:2009	

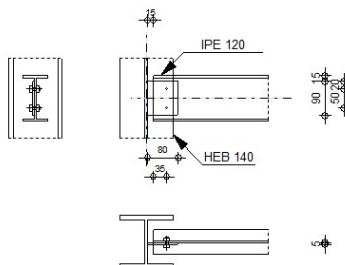


Tabla 35 Verificación de las uniones

Número	Solic.	Nudo	Nombre de la unión
Uniones de acero (24)			
1	✓ 0.45	4	Ángulo de pórtico
2	✓ 0.09	5	De topo
3	✓ 0.45	2	Ángulo de pórtico
4	✓ 0.63	7	Ángulo de pórtico
5	✓ 0.75	12	De topo
6	✓ 0.63	9	Ángulo de pórtico
7	✓ 0.63	14	Ángulo de pórtico
8	✓ 0.75	19	De topo
9	✓ 0.63	16	Ángulo de pórtico
10	✓ 0.45	21	Ángulo de pórtico
11	✓ 0.09	24	De topo
12	✓ 0.45	23	Ángulo de pórtico
13	✓ 0.10	2	Viga-pilar (alma)
14	✓ 0.10	21	Viga-pilar (alma)
15	✓ 0.09	23	Viga-pilar (alma)
16	✓ 0.10	4	Viga-pilar (alma)
17	✓ 0.10	7	Viga-pilar (alma)
18	✓ 0.10	14	Viga-pilar (alma)
19	✓ 0.10	9	Viga-pilar (alma)
20	✓ 0.25	16	Viga-pilar (alma)
21	✓ 0.03	16	Viga-pilar (alma)
22	✓ 0.03	9	Viga-pilar (alma)
23	✓ 0.03	14	Viga-pilar (alma)
24	✓ 0.03	7	Viga-pilar (alma)

Uniones de acero

5 CAPÍTULO V

5.1 RESULTADOS

5.1.1 ANÁLISIS COMPARATIVO TÉCNICO Y ECONÓMICO

5.1.1.1 ANÁLISIS COMPARATIVO TÉCNICO

Para el análisis comparativo técnico se va a realizar mediante la comparación de los resultados obtenidos del cálculo de ambas estructuras por el software, teniendo en consideración los esfuerzos, momentos y desplazamientos.

Tabla 36 Esfuerzos, momentos Max y desplazamientos de los galpones

Cuadro comparativo						
	Fx (kgf)	Fy (kgf)	Fz (kgf)	Mx (kgfm)	My (kgfm)	U (cm)
Galpón Empírico	1849,93	133,92	1403,27	146,21	1616,29	8,1
Galpón metálico	2151,34	133,92	1594,78	3,69	3166,58	1,8

El galpón metálico presenta valores más altos en Fx y Fz que el galpón empírico, este comportamiento se asocia a la mayor rigidez y continuidad estructural de la estructura de acero, lo que permite una mejor redistribución de cargas y una mayor capacidad resistente. El esfuerzo Fy se mantiene constante en ambos casos, lo que indica que las condiciones de las cargas verticales aplicadas fueron equivalentes para ambas estructuras.

Los momentos flectores tienen valores distintos y iguales para ambas estructuras, el momento My del galpón de acero tiene el doble del valor que del galpón empírico indicando que fue diseñada para resistir mayores demandas de flexión sin alcanzar estados críticos. A

diferencia de los valores M_x , siendo este el caso en el que el galpón empírico tiene un valor más alto que el galpón metálico reflejando menor eficiencia estructural de parte de la estructura empírica para controlar esfuerzos provenientes de esa dirección

REVISIÓN DE DERIVAS

Para la revisión de derivas se debe tener el valor máximo de deformación y calcular la deriva máxima para corroborar que este dentro de los límites permitidos por la NEC.

Tabla 37 Verificación de derivas

Estructuras de:	Δ_M máxima (sin unidad)
Hormigón armado, estructuras metálicas y de madera	0.02
De mampostería	0.01

$$\Delta_{\max} = 0.75 * R * \frac{\Delta_{\text{eje}}}{H}$$

Galpón empírico

$$\Delta_{\max} = 0.75 * 3 * \frac{0.081}{4.5} =$$

$$\Delta_{\max} = 0.04 > 0.02$$

Galpón de acero

$$\Delta_{\max} = 0.75 * 3 * \frac{0.0181}{4.5} =$$

$$\Delta_{\max} = 0.009 < 0.02$$

La norma nos establece un límite máximo de deriva de 0.02 m.

Con los cálculos realizados se puede determinar que estructura cumple con los límites de derivas establecidos por la NEC, evidenciando al galpón de acero que presenta un desempeño superior ya que controla adecuadamente las deformaciones laterales cumpliendo con la NEC, mientras que el galpón empírico excede los límites, mostrando una rigidez ineficiente, por lo que requeriría mejoras en cuanto a soportes o cambios de estructuras.

5.1.1.2 ANÁLISIS COMPARATIVO ECONÓMICO

El análisis comparativo económico va a comparar los costos del material por el que está compuesto las secciones estructurales por los que están conformado los galpones, para determinar los costos se harán presupuestos referenciales de ambas estructuras.

El galpón empírico al estar construida toda la estructura con material de guadua, se hace un presupuesto referencial tomando precios de este material por unidad por metro, para ello se va a determinar las medidas totales de las vigas, columnas y correas y con ello multiplicarlo para el valor del precio unitario en unidad por metro y así sacar el precio total de cada sección, esto se realiza de este modo porque así se comercializa en estas zonas rurales la caña de guadua. La cubierta de 8\$ el metro cuadrado.

Rubro	Descripción	Unidad	P. Unitario	Cantidad	P. total
1	Vigas	M	1,67	55,92	93,39
2	Columnas	M	1,67	24	40,08
3	Correas	M	1,67	54	90,18
4	Cubierta	M2	8	85,3	682,4
				Subtotal	906
				IVA 15%	136
				Total (USD)	1042

Obtenemos un total de 1042\$, costo estimado por el cual se requirió para la obtención de los materiales para la construcción del galpón empírico.

Para el caso del presupuesto referencial del galpón de acero se calcularán los pesos totales de cada perfil y con ellos se determinaran los precios por unidad por kg, como toda la estructura está compuesta por el material acero A36 se usara el precio unitario de este por kg, así calculando el peso total de cada perfil por el que está compuesto el galpón y multiplicado por el precio unitario del material obteniendo así el precio total de cada perfil y/o materiales por el cual podría estar compuesto el galpón metálico. Para la pintura anticorrosiva se estima un valor de 0,15\$ el kg, esto se lo multiplica por el peso total de la estructura, así mismo se calcula el número de pernos a emplear y su precio por cada perno.

Rubro	Descripción	Unidad	P. Unitario (USD)	Cantidad (kg)	P, total
1	Vigas	Kg	1,85	537,96	995,23
2	Columnas	Kg	1,85	915,6	1693.86
3	Correas	Kg	1,85	362,34	670,33
4	Cubierta	M2	8	85,3	682,4
5	Arriostramiento	Kg	1,85	162,9	301,37
6	Uniones	Kg	1,85	136,83	253,14
7	Pernos	U	3	112	336
8	Pintura anticorrosiva	kg	0,15	2115,63	317,34
				Subtotal	5250
				IVA 15%	787
				Total (USD)	6037

Obteniendo un total de 6037\$, costo total que se requeriría gastar para la obtención de los materiales necesarios para la construcción de un galpón metálico de las mismas dimensiones que el galpón empírico.

COMPARACIÓN DE COSTOS

	Estructura metálica	Estructura empírica
Costo total (USD)	6037	1042
Diferencia absoluta	-	4995
Relación de costos	1	0,17

Se determina que el costo del galpón empírico representa aproximadamente el 17% del costo del galpón metálico, es decir que el costo del galpón metálico es 6 veces más costoso que del galpón empírico.

El costo del galpón metálico es mayor debido a que el costo del acero es mayor al de la guadua, y también porque la finalidad de las estructuras de acero es tener una durabilidad aproximada de 25 años sin cambios de perfiles, con el mantenimiento adecuado por ello se incluyó la pintura anticorrosiva. A comparación del galpón empírico con un costo relativamente económico, pero teniendo más en consideración el mantenimiento de los materiales cada año, haciendo más costos por el mantenimiento.

La rentabilidad económica del galpón empírico es muy beneficiosa, pero el costo del galpón metálico se justifica por su gran desempeño estructural y durabilidad de este.

ESFUERZOS INTERNOS Y MOMENTOS DEL GALPÓN EMPÍRICO

Nudo/Caso/Modo	FX (kgf)	FY (kgf)	FZ (kgf)	MX (kgfm)	MY (kgfm)	MZ (kgfm)
1/ 1/	69,33	0,0	106,73	0,0	94,97	0,0
1/ 2/	323,54	0,0	498,06	0,0	443,19	0,0
1/ 3 (C)/	97,06	0,0	149,42	0,0	132,96	0,0
1/ 4 (C)/	600,87	0,0	924,97	0,0	823,07	0,0
1/ 6/ CQC	180,92	0,02	64,02	0,04	353,16	0,03
1/ 7/ CQC	0,02	107,72	0,06	301,47	0,01	71,85
1/ 8/ CQC	192,72	0,01	242,44	0,02	271,33	0,01
3/ 1/	-69,33	0,0	106,73	0,0	-94,97	0,0
3/ 2/	-323,54	0,0	498,06	0,0	-443,19	0,0
3/ 3 (C)/	-97,06	0,0	149,42	0,0	-132,96	0,0
3/ 4 (C)/	-600,87	0,0	924,97	0,0	-823,07	0,0
3/ 6/ CQC	180,92	0,01	64,14	0,01	353,16	0,00
3/ 7/ CQC	0,01	107,73	0,00	301,49	0,02	71,85
3/ 8/ CQC	192,74	0,01	242,50	0,01	271,35	0,00
6/ 1/	114,84	0,0	213,45	0,0	158,02	0,0
6/ 2/	535,91	0,0	996,12	0,0	737,43	0,0
6/ 3 (C)/	160,77	0,0	298,84	0,0	221,23	0,0
6/ 4 (C)/	995,27	0,0	1849,93	0,0	1369,52	0,0
6/ 6/ CQC	254,39	0,02	199,17	0,04	482,80	0,03
6/ 7/ CQC	0,01	110,25	0,03	303,73	0,01	71,20
6/ 8/ CQC	285,89	0,01	370,79	0,02	402,89	0,01
8/ 1/	-114,84	0,0	213,45	0,0	-158,02	0,0
8/ 2/	-535,91	0,0	996,12	0,0	-737,43	0,0
8/ 3 (C)/	-160,77	0,0	298,84	0,0	-221,23	0,0
8/ 4 (C)/	-995,27	0,0	1849,93	0,0	-1369,52	0,0
8/ 6/ CQC	254,39	0,01	199,21	0,01	482,80	0,00
8/ 7/ CQC	0,00	110,26	0,01	303,75	0,00	71,21
8/ 8/ CQC	285,89	0,01	370,79	0,01	402,89	0,00
11/ 1/	114,84	0,0	213,45	0,0	158,02	0,0
11/ 2/	535,91	0,0	996,12	0,0	737,43	0,0
11/ 3 (C)/	160,77	0,0	298,84	0,0	221,23	0,0
11/ 4 (C)/	995,27	0,0	1849,93	0,0	1369,52	0,0
11/ 6/ CQC	254,40	0,02	199,33	0,04	482,81	0,03
11/ 7/ CQC	0,01	110,25	0,04	303,73	0,01	71,20
11/ 8/ CQC	285,89	0,01	370,78	0,02	402,89	0,01
13/ 1/	-114,84	0,0	213,45	0,0	-158,02	0,0

13/ 2/	-535,91	0,0	996,12	0,0	-737,43	0,0
13/ 3 (C)/	-160,77	0,0	298,84	0,0	-221,23	0,0
13/ 4 (C)/	-995,27	0,0	1849,93	0,0	-1369,52	0,0
13/ 6/ CQC	254,40	0,01	199,28	0,01	482,81	0,00
13/ 7/ CQC	0,01	110,26	0,01	303,75	0,01	71,21
13/ 8/ CQC	285,89	0,01	370,79	0,01	402,89	0,00
16/ 1/	69,33	0,0	106,73	0,0	94,97	0,0
16/ 2/	323,54	0,0	498,06	0,0	443,19	0,0
16/ 3 (C)/	97,06	0,0	149,42	0,0	132,96	0,0
16/ 4 (C)/	600,87	0,0	924,97	0,0	823,07	0,0
16/ 6/ CQC	180,92	0,02	64,09	0,04	353,16	0,03
16/ 7/ CQC	0,01	107,72	0,03	301,47	0,02	71,85
16/ 8/ CQC	192,71	0,01	242,45	0,02	271,31	0,01
18/ 1/	-69,33	0,0	106,73	0,0	-94,97	0,0
18/ 2/	-323,54	0,0	498,06	0,0	-443,19	0,0
18/ 3 (C)/	-97,06	0,0	149,42	0,0	-132,96	0,0
18/ 4 (C)/	-600,87	0,0	924,97	0,0	-823,07	0,0
18/ 6/ CQC	180,92	0,01	64,13	0,01	353,16	0,00
18/ 7/ CQC	0,01	107,73	0,01	301,49	0,01	71,85
18/ 8/ CQC	192,72	0,01	242,48	0,01	271,33	0,00

PROPIEDADES DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES

COLUMNA

Propiedades: Barra n.º 6

Nudos X Y Z [m]
 8 9,00 3,00 -0,30
 9 9,00 3,00 2,70
 Longitud L=3,00 [m]

Tipo de barra: UNE-EN_1993-1:2013/A1:2014_Pilar_derecho1
 Sección: Guadua
 Material: GUADUA

Atributos adicionales:
 Ángulo gama=0,0

Características de la sección:
 Guadua

HY=10,0, HZ=10,0 [cm]
 AX=14,92 [cm²]
 IX=337,62, IY=168,81, IZ=168,81 [cm⁴]

Características de material:

$E=122364,00$ (kgf/cm²) $NI=0,30$ $G=47060,00$ (kgf/cm²)
 Peso específico (densidad)=600,00 (kgf/m³) $Re=153,00$ (kgf/cm²) $LX=0,00$ (1/°C)

Resultados: Barra n.º 6

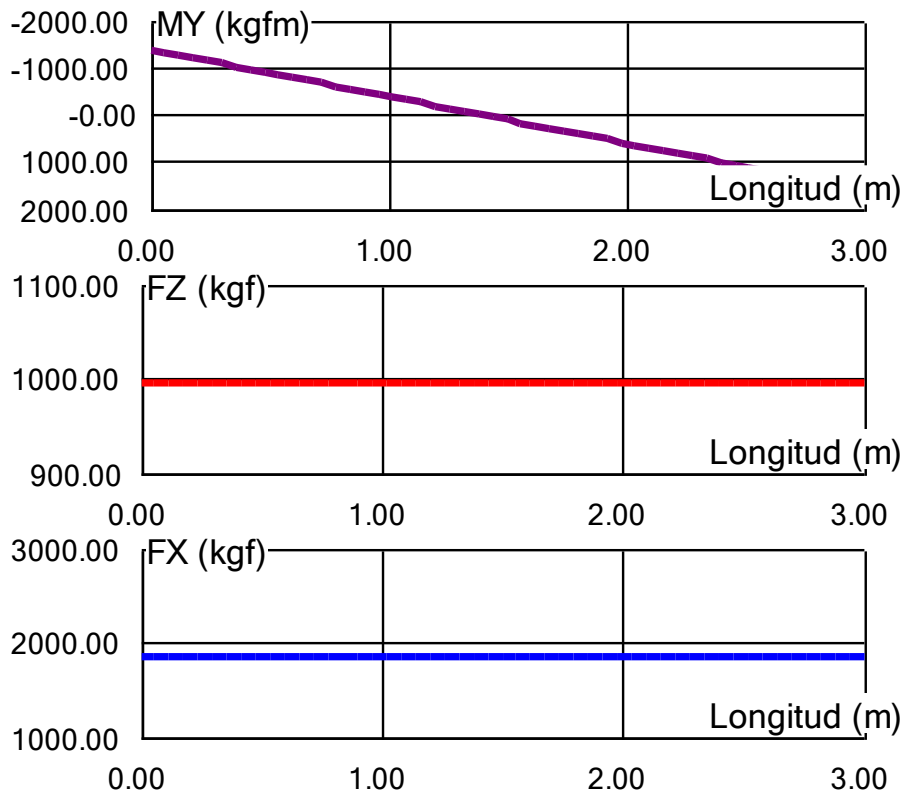
Caso 4 COMB2

Desplazamientos [cm]:

8	UX=0,0	UY=0,0	UZ=0,0
9	UX=-0,3	UY=0,0	UZ=-81,5

Flechas máximas [cm]:

UX=0,0	UY=0,0	UZ=-15,2
en el punto X=0,80	X=0,0	X=0,75



Barra n.º 6 Guadua Longitud L=3,00 (m) Caso 4 COMB2

	Fx (kgf)	Fz (kgf)	My (kgf*m)
MAX para la barra 6	1849,93	995,27	1616,29
en el punto:	0,0	0,0	3,00
MIN para la barra 6	1849,93	995,27	-1369,52
en el punto:	0,0	0,0	0,0

Comprobación relamentaria de acuerdo con ANSI/AISC 360-16

Sección: Guadua

Tipo de barra: UNE-EN_1993-1:2013/A1:2014_Pilar_derecho1

Material: GUADUA Re=153,00 (kgf/cm²)

* Perfil incorrecto

Símbolo Ax, Iy, Iz ... UnidadDescripción

Solicitud:

RAT 24.47 solicitud

4 COMB2 1*1.20+2*1.60

Caso de carga más desfavorable - ELU

x = 1.00 L = 3.00 m

Puntos

Otros

Lambda y 89.20 esbeltez de la barra

Lambda z 89.20 esbeltez de la barra

Desplazamientos (COORDENADAS GLOBALES):

vxt 51.1 cm desplazamiento de la barra en la dirección X

vxt max 2.0 cm desplazamiento admisible de la barra en la dirección X

6 Espectral Dirección_X

Caso de carga más desfavorable - ELS

No verificado

vyt 43.5 cm desplazamiento de la barra en la dirección Y

vyt max 2.0 cm desplazamiento admisible de la barra en la dirección Y

7 Espectral Dirección_Y

Caso de carga más desfavorable - ELS

VIGA

Propiedades: Barra n.º 42

Nudos X Y Z [m]

9 9,00 3,00 2,70

14 9,00 6,00 2,70

Longitud L=3,00 [m]

Tipo de barra: UNE-EN_1993-1:2013/A1:2014_Tejado_Viga_de_ángulo_derecha1

Sección: Guadua

Material: GUADUA

Atributos adicionales:

Ángulo gama=0,0

Relajamientos=Relajación_1, ffffl ffffl

Características de la sección:

Guadua

* HY=10,0, HZ=10,0 [cm]

AX=14,92 [cm²]
 IX=337,62, IY=168,81, IZ=168,81 [cm⁴]

Características de material:

E=122364,00 (kgf/cm²) NI=0,30 G=47060,00 (kgf/cm²)
 Peso específico (densidad)=600,00 (kgf/m³) Re=153,00 (kgf/cm²) LX=0,00 (1/°C)

Resultados: Barra n.º 42

Caso 4 COMB2

Desplazamientos [cm]:

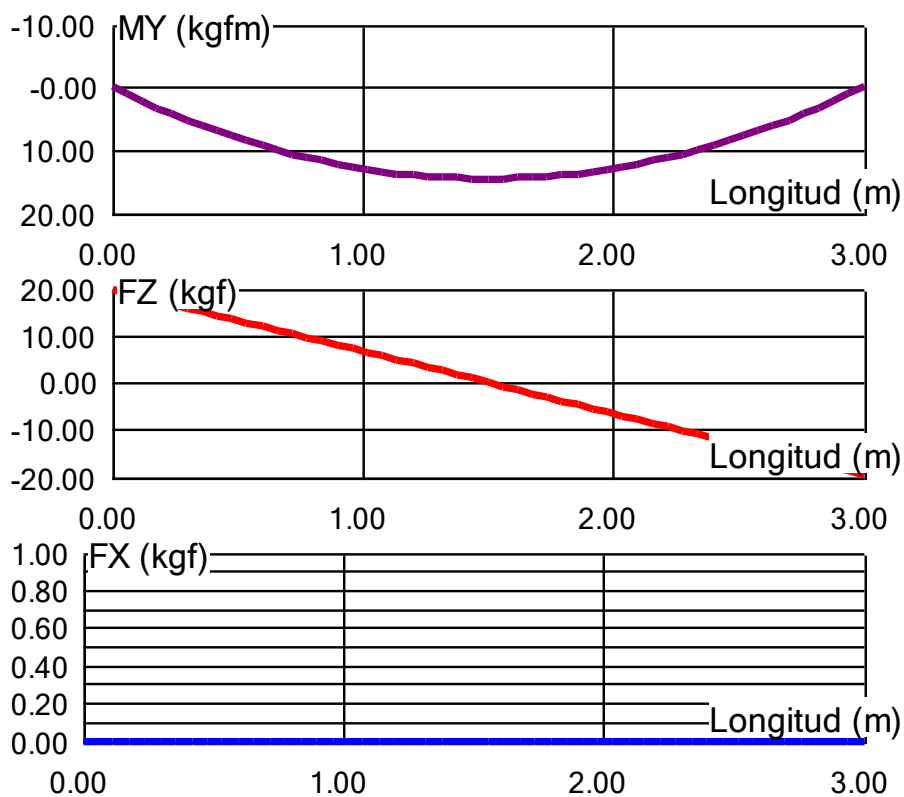
9 UX=0,0 UY=-81,5 UZ=-0,3

14 UX=0,0 UY=-81,5 UZ=-0,3

Flechas máximas [cm]:

UX=0,0 UY=0,0 UZ=-0,7

en el punto X=0,0 X=0,60 X=0,50



Barra n.º 42 Guadua Longitud L=3,00 (m) Caso 4 COMB2

	Fx (kgf)	Fz (kgf)	My (kgf*m)
MAX para la barra	420,0	19,50	14,63
en el punto:	0,0	0,0	1,50
MIN para la barra	42	0,0	-19,50
			-0,00

en el punto: 0,0 3,00 3,00

Comprobación relamentaria de acuerdo con ANSI/AISC 360-16

Sección: Guadua

Tipo de barra: UNE-EN_1993-1:2013/A1:2014_Tejado_Viga_de_ángulo_derecha1

Material: GUADUA Re=153,00 (kgf/cm2)

Perfil correcto

Símbolo Ax, Iy, Iz ... UnidadDescripción

Solicitud:

RAT 0.24 sollicitación

4 COMB2 1*1.20+2*1.60

Caso de carga más desfavorable - ELU

x = 0.50 L = 1.50 m Puntos

Otros

Lambda y 89.20 esbeltez de la barra

Lambda z 89.20 esbeltez de la barra

CORREA

Propiedades: Barra n.º 36

Nudos X Y Z [m]

31 6,75 3,00 3,45

37 6,75 6,00 3,45

Longitud L=3,00 [m]

Tipo de barra: UNE-EN_1993-1:2013/A1:2014_Tejado_listón1

Sección: Guadua

Material: GUADUA

Atributos adicionales:

Ángulo gama=18,4

Excentricidad=Desfase_8,

Relajamientos=Relajación_1, ffffl ffffl

Características de la sección:

Guadua

HY=10,0, HZ=10,0 [cm]

AX=14,92 [cm²]

IX=337,62, IY=168,81, IZ=168,81 [cm⁴]

Características de material:

$E=122364,00$ (kgf/cm²) $NI=0,30$ $G=47060,00$ (kgf/cm²)
 Peso específico (densidad)=600,00 (kgf/m³) $Re=153,00$ (kgf/cm²) $LX=0,00$ (1/°C)

Resultados: Barra n.º 36

Caso 4 COMB2

Desplazamientos [cm]:

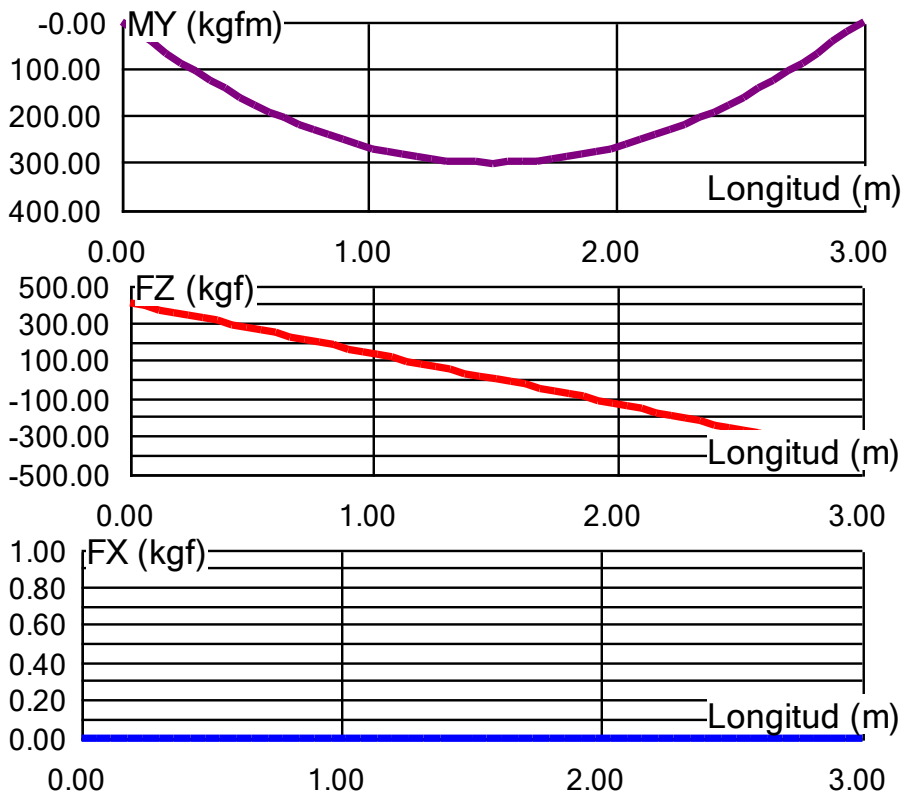
31 $UX=0,0$ $UY=-70,1$ $UZ=-136,4$

37 $UX=0,0$ $UY=-70,1$ $UZ=-136,4$

Flechas máximas [cm]:

$UX=0,0$ $UY=-4,6$ $UZ=-13,7$

en el punto $X=0,0$ $X=0,50$ $X=0,50$



Barra n.º 36 Guadua Longitud $L=3,00$ (m) Caso 4 COMB2

	F_x (kgf)	F_z (kgf)	M_y (kgf*m)
MAX para la barra 36	0,0	401,75	301,31
en el punto:	0,0	0,0	1,50
MIN para la barra 36	0,0	-401,75	0,0
en el punto:	0,0	3,00	0,0

Comprobación relamentaria de acuerdo con ANSI/AISC 360-16

Sección: Guadua

Tipo de barra: UNE-EN_1993-1:2013/A1:2014_Tejado_listón1

Material: GUADUA Re=153,00 (kgf/cm²)

* Perfil incorrecto

Símbolo Ax, Iy, Iz ... UnidadDescripción

Solicitud:

RAT 6.46 solicitud

4 COMB2 1*1.20+2*1.60 Caso de carga más desfavorable - ELU

x = 0.50 L = 1.50 m Puntos

Otros

Lambda y 89.20 esbeltez de la barra

Lambda z 89.20 esbeltez de la barra

Flechas (COORDENADAS LOCALES):

uyt -2.5 cm flecha de la barra en la dirección Y - Cargas totales

uyt max 1.2 cm Deformación admisible de la barra en la dirección Y - Cargas totales

2 Carga viva Caso de carga más desfavorable - ELS

ESFUERZOS INTERNOS Y MOMENTOS DEL GALPÓN DE ACERO

Nudo/Caso/Modo	FX (kgf)	FY (kgf)	FZ (kgf)	MX (kgfm)	MY (kgfm)	MZ (kgfm)
1/ 1/	122,52	0,01	261,88	-0,02	245,88	-0,00
1/ 2/	416,70	0,02	498,06	-0,06	841,00	-0,00
1/ 3 (C)/	171,53	0,01	366,64	-0,03	344,23	-0,00
1/ 4 (C)/	813,76	0,04	1111,15	-0,12	1640,64	-0,00
1/ 6/ CQC	3825,18	0,04	648,34	0,10	10794,09	0,00
1/ 7/ CQC	34,84	39,55	0,00	109,91	93,80	94,77
1/ 8/ CQC	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
3/ 1/	-122,52	0,01	261,88	-0,02	-245,88	0,00
3/ 2/	-416,70	0,02	498,06	-0,06	-841,00	0,00
3/ 3 (C)/	-171,53	0,01	366,64	-0,03	-344,23	0,00
3/ 4 (C)/	-813,76	0,04	1111,15	-0,12	-1640,64	0,00
3/ 6/ CQC	3825,18	0,04	648,34	0,10	10794,09	0,00
3/ 7/ CQC	34,84	39,55	0,00	109,91	93,80	94,77
3/ 8/ CQC	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
6/ 1/	240,00	9,72	464,63	-2,57	474,87	0,01
6/ 2/	816,74	25,01	996,12	-6,61	1622,97	0,04
6/ 3 (C)/	336,00	13,60	650,48	-3,59	664,81	0,02
6/ 4 (C)/	1594,78	51,68	2151,34	-13,66	3166,58	0,08
6/ 6/ CQC	7093,24	31,35	1275,14	8,47	19908,27	0,40
6/ 7/ CQC	3544,98	3436,69	8365,12	1036,97	7773,03	80,68
6/ 8/ CQC	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
8/ 1/	-240,00	9,72	464,63	-2,57	-474,87	-0,01
8/ 2/	-816,74	25,01	996,12	-6,61	-1622,97	-0,04
8/ 3 (C)/	-336,00	13,60	650,48	-3,59	-664,81	-0,02
8/ 4 (C)/	-1594,78	51,68	2151,34	-13,66	-3166,58	-0,08
8/ 6/ CQC	7093,24	31,35	1275,14	8,47	19908,27	0,40
8/ 7/ CQC	3544,98	3436,81	8365,27	1037,00	7773,03	80,68
8/ 8/ CQC	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
13/ 1/	240,00	-9,72	464,63	2,57	474,87	-0,01
13/ 2/	816,74	-25,01	996,12	6,61	1622,97	-0,04
13/ 3 (C)/	336,00	-13,60	650,48	3,59	664,81	-0,02
13/ 4 (C)/	1594,78	-51,68	2151,34	13,66	3166,58	-0,08
13/ 6/ CQC	7093,24	31,35	1275,14	8,47	19908,27	0,40
13/ 7/ CQC	3544,99	3436,70	8365,12	1036,97	7773,05	80,68
13/ 8/ CQC	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
15/ 1/	-240,00	-9,72	464,63	2,57	-474,87	0,01
15/ 2/	-816,74	-25,01	996,12	6,61	-1622,97	0,04
15/ 3 (C)/	-336,00	-13,60	650,48	3,59	-664,81	0,02

Nudo/Caso/Modo	FX (kgf)	FY (kgf)	FZ (kgf)	MX (kgfm)	MY (kgfm)	MZ (kgfm)
15/ 2/	-816,74	-25,01	996,12	6,61	-1622,97	0,04
15/ 3 (C)/	-336,00	-13,60	650,48	3,59	-664,81	0,02
15/ 4 (C)/	-1594,78	-51,68	2151,34	13,66	-3166,58	0,08
15/ 6/ CQC	7093,24	31,35	1275,14	8,47	19908,27	0,40
15/ 7/ CQC	3544,99	3436,81	8365,27	1037,00	7773,04	80,68
15/ 8/ CQC	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
20/ 1/	122,52	-0,01	261,88	0,02	245,88	0,00
20/ 2/	416,70	-0,02	498,06	0,06	841,00	0,00
20/ 3 (C)/	171,53	-0,01	366,64	0,03	344,23	0,00
20/ 4 (C)/	813,76	-0,04	1111,15	0,12	1640,64	0,00
20/ 6/ CQC	3825,18	0,04	648,34	0,10	10794,09	0,00
20/ 7/ CQC	34,86	39,55	0,00	109,91	93,84	94,77
20/ 8/ CQC	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
22/ 1/	-122,52	-0,01	261,88	0,02	-245,88	-0,00
22/ 2/	-416,70	-0,02	498,06	0,06	-841,00	-0,00
22/ 3 (C)/	-171,53	-0,01	366,64	0,03	-344,23	-0,00
22/ 4 (C)/	-813,76	-0,04	1111,15	0,12	-1640,64	-0,00
22/ 6/ CQC	3825,18	0,04	648,34	0,10	10794,09	0,00
22/ 7/ CQC	34,86	39,55	0,00	109,91	93,84	94,78
22/ 8/ CQC	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

PROPIEDADES DE LOS PERFILES DEL GALPÓN EMPÍRICO

VIGA

Propiedades: Barra n.º 38

Nudos	X	Y	Z	[m]
4	9,00	0,0	2,70	
9	9,00	3,00	2,70	

Longitud L=3,00 [m]

Tipo de barra: ANSI/AISC_360-16_Tejado_Viga_de_ángulo_derecha1
 Sección: IPE 120
 Material: ACERO 36

Atributos adicionales:
 Ángulo gama=0,0
 Relajamientos=Relajación_1, ffffl ffffl

Características de la sección:
 IPE 120

HY=6,4, HZ=12,0 [cm]
 AX=13,21 [cm²]
 IX=1,71, IY=317,75, IZ=27,67 [cm⁴]

Características de material:

E=2038901,70 (kgf/cm²) NI=0,30 G=784203,81 (kgf/cm²)
 Peso específico (densidad)=7849,05 (kgf/m³) Re=2531,05 (kgf/cm²) LX=0,00
 (1/°C)

Resultados: Barra n.º 38

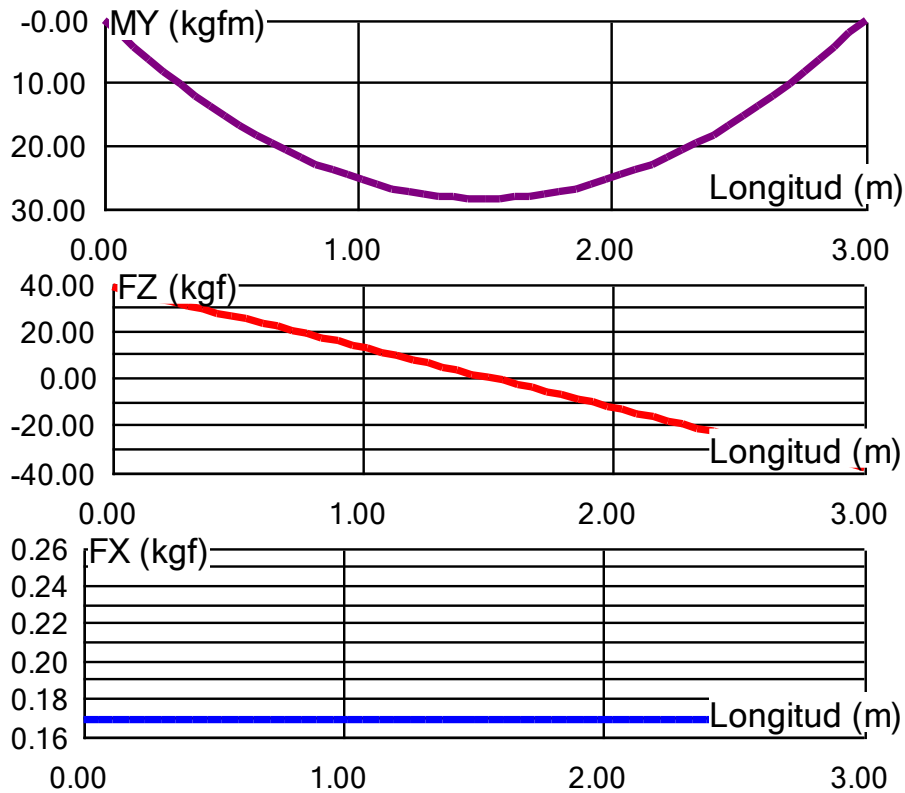
Caso 4 COMB2

Desplazamientos [cm]:

4	UX=-0,0	UY=-1,2	UZ=-0,0
9	UX=-0,0	UY=-1,4	UZ=-0,0

Flechas máximas [cm]:

UX=0,0 UY=-0,0 UZ=-0,0
 en el punto X=0,85 X=0,25 X=0,50



Barra n.º 38 IPE 120 Longitud L=3,00 (m) Caso 4 COMB2

	Fx (kgf)	Fz (kgf)	My (kgf*m)
MAX para la barra	380,17	38,16	28,62
en el punto:	0,0	0,0	1,50
MIN para la barra	38 0,17	-38,16	0,0
en el punto:	0,0	3,00	0,0

Comprobación relamentaria de acuerdo con ANSI/AISC 360-16

Sección: IPE 120

Tipo de barra: ANSI/AISC_360-16_Tejado_Viga_de_ángulo_derecha1

Material: ACERO 36 Re=2531,05 (kgf/cm²)

* Perfil correcto

Símbolo Ax, Iy, Iz ... UnidadDescripción

Solicitación:

RAT 0.09 solicitud

7 Espectral Dirección_Y

Caso de carga más desfavorable - ELU

x = 0.00 L = 0.00 m

Puntos

Otros
 Lambda y 61.17 esbeltez de la barra
 Lambda z 207.29 esbeltez de la barra

COLUMNA

Propiedades: Barra n.º 6

Nudos X Y Z [m]
 8 9,00 3,00 -0,30
 9 9,00 3,00 2,70
 Longitud L=3,00 [m]

Tipo de barra: ANSI/AISC_360-16_Pilar_derecho2
 Sección: HEB 160
 Material: ACERO 36

Atributos adicionales:
 Ángulo gama=0,0

Características de la sección:
 HEB 160

HY=16,0, HZ=16,0 [cm]
 AX=54,25 [cm²]
 IX=32,20, IY=2492,00, IZ=889,23 [cm⁴]

Características de material:

E=2038901,70 (kgf/cm²) NI=0,30 G=784203,81 (kgf/cm²)
 Peso específico (densidad)=7849,05 (kgf/m³) Re=2531,05 (kgf/cm²) LX=0,00
 (1/°C)

Resultados: Barra n.º 6

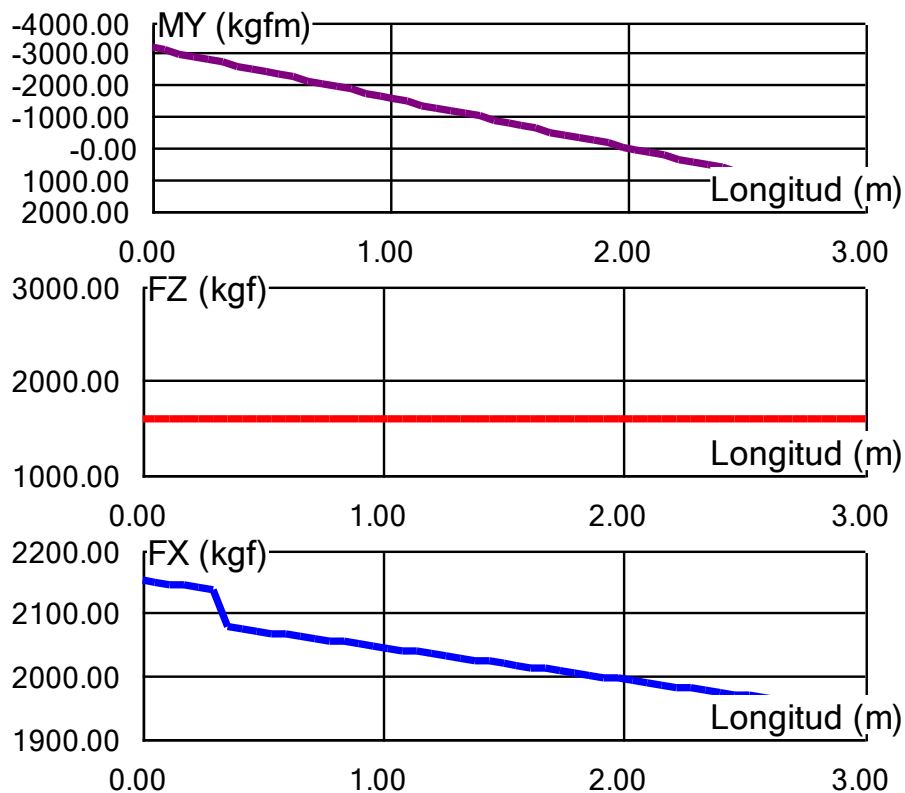
Caso 4 COMB2

Desplazamientos [cm]:

8	UX=0,0	UY=0,0	UZ=0,0
9	UX=-0,0	UY=-0,0	UZ=-1,4

Flechas máximas [cm]:

	UX=-0,0	UY=-0,0	UZ=0,2
en el punto	X=0,10	X=0,46	X=0,33



Barra n.º 6 HEB 160 Longitud L=3,00 (m) Caso 4 COMB2

	Fx (kgf)	Fz (kgf)	My (kgf*m)	
MAX para la barra 6	2151,34	1594,78	1594,78	1617,76
en el punto:	0,0	0,0	3,00	
MIN para la barra 6	1941,82	1594,78	1594,78	-3166,58
en el punto:	3,00	0,36	0,0	

Comprobación relamentaria de acuerdo con ANSI/AISC 360-16

Sección: HEB 160

Tipo de barra: ANSI/AISC_360-16_Pilar_derecho2

Material: ACERO 36 Re=2531,05 (kgf/cm²)

Perfil incorrecto

Símbolo Ax, Iy, Iz ... UnidadDescripción

Solicitud:

RAT 2.57 solicitud

6 Espectral Dirección_X

Caso de carga más desfavorable - ELU

x = 0.00 L = 0.00 m

Puntos

Otros

Lambda y 44.26 esbeltez de la barra

Lambda z 74.10 esbeltez de la barra
 Desplazamientos (COORDENADAS GLOBALES):
 vxt 11.7 cm desplazamiento de la barra en la dirección X
 vxt max 2.0 cm desplazamiento admisible de la barra en la dirección X
 6 Espectral Dirección_X Caso de carga más desfavorable - ELS
 No verificado
 vyt 0.3 cm desplazamiento de la barra en la dirección Y
 vyt max 2.0 cm desplazamiento admisible de la barra en la dirección Y
 7 Espectral Dirección_Y Caso de carga más desfavorable - ELS

ARRIOSTRAMIENTO

Propiedades: Barra n.º 44

Nudos X Y Z [m]
 18 9,00 6,00 0,0
 9 9,00 3,00 2,70
 Longitud L=4,04 [m]

Tipo de barra: ANSI/AISC_360-16_Arriostramiento_de_la_pared1
 Sección: CAE 50x5
 Material: ACERO 36

Atributos adicionales:
 Ángulo gama=0,0
 Barra de celosía

Características de la sección:
 CAE 50x5

HY=5,0, HZ=5,0 [cm]
 AX=4,80 [cm²]
 IX=0,40, IY=10,96, IZ=10,96 [cm⁴]

Características de material:

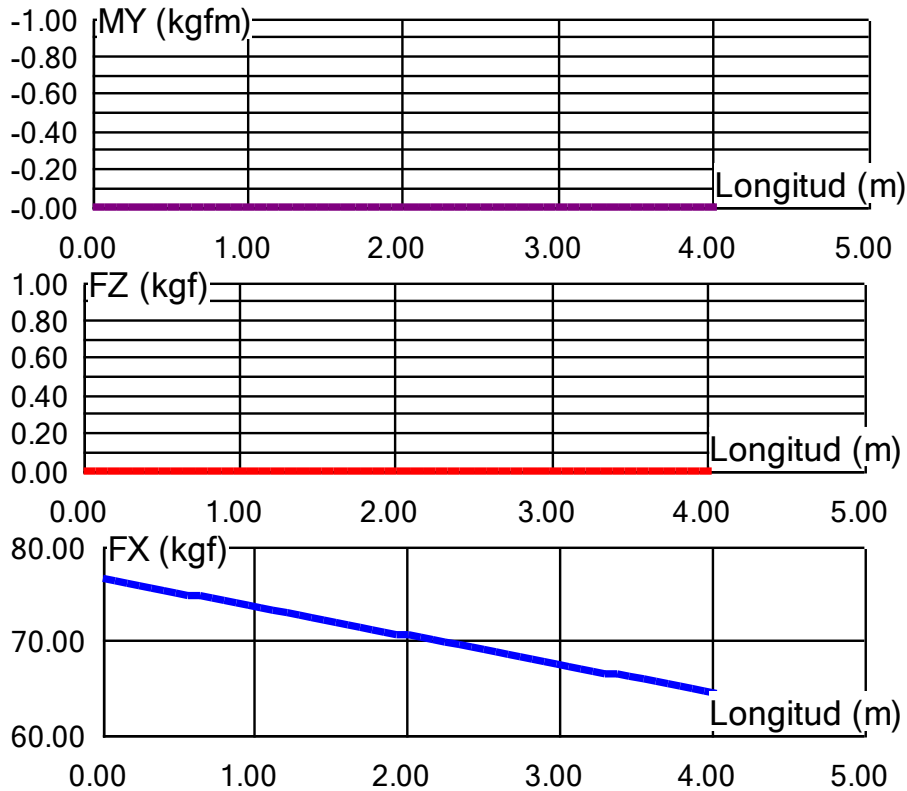
E=2038901,70 (kgf/cm²) NI=0,30 G=784203,81 (kgf/cm²)
 Peso específico (densidad)=7849,05 (kgf/m³) Re=2531,05 (kgf/cm²) LX=0,00
 (1/°C)

Resultados: Barra n.º 44

Caso 4 COMB2

Desplazamientos [cm]:

18 UX=-0,0 UY=0,0 UZ=-0,0
 9 UX=-0,0 UY=1,4 UZ=-0,0
 Flechas máximas [cm]:
 UX=0,0 UY=-0,0 UZ=-0,0
 en el punto X=0,60 X=0,70 X=0,75



Barra n.º 44 CAE 50x5 Longitud L=4,04 (m) Caso 4 COMB2

	Fx (kgf)	Fz (kgf)	My (kgf*m)
MAX para la barra	4476,50	0,0	0,0
en el punto:	0,0	0,0	0,0
MIN para la barra	44	64,29	0,0
en el punto:	4,04	0,0	0,0

Comprobación relamentaria de acuerdo con ANSI/AISC 360-16

Sección: CAE 50x5

Tipo de barra: ANSI/AISC_360-16_Arriostramiento_de_la_pared1

Material: ACERO 36 Re=2531,05 (kgf/cm²)

Perfil inestable

Símbolo Ax, Iy, Iz ... UnidadDescripción

Solicitud:

RAT 4.32 solicitud

7 Espectral Dirección_Y

Caso de carga más desfavorable - ELU

$x = 0.00$ L = 0.00 m Puntos
 Otros
 Lambda y 267.17 esbeltez de la barra
 Lambda z 267.17 esbeltez de la barra

CORREA

Propiedades: Barra n.º 30

Nudos X Y Z [m]
 36 4,69 3,00 4,14
 42 4,69 6,00 4,14
 Longitud L=3,00 [m]

Tipo de barra: ANSI/AISC_360-16_Tejado_listón1
 Sección: CORREA CUADR.
 Material: ACERO 36

Atributos adicionales:
 Ángulo gama=18,4
 Excentricidad=Desfase_8,
 Relajamientos=Relajación_1, ffffl ffffl

Características de la sección:
 CORREA CUADR.

$HY=6,0$, $HZ=6,0$ [cm]
 $AX=8,96$ [cm²]
 $IX=70,25$, $IY=47,07$, $IZ=47,07$ [cm⁴]

Características de material:

$E=2038901,70$ (kgf/cm²) $NI=0,30$ $G=784203,81$ (kgf/cm²)
 $\text{Peso específico (densidad)}=7849,05$ (kgf/m³) $Re=2531,05$ (kgf/cm²) $LX=0,00$
 (1/°C)

Resultados: Barra n.º 30

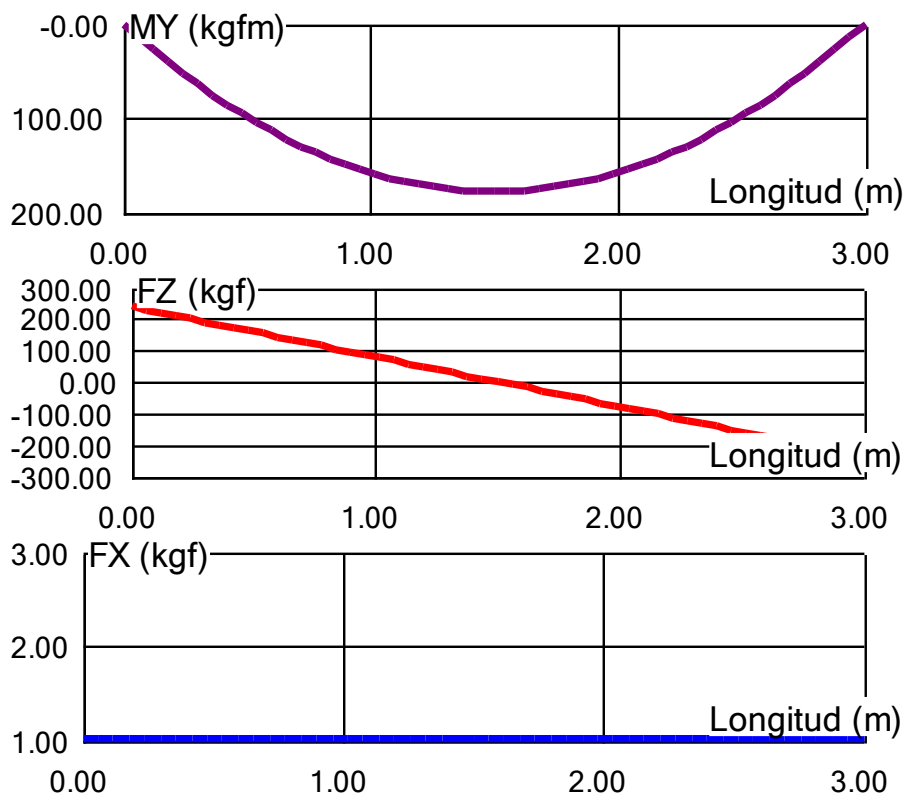
Caso 4 COMB2

Desplazamientos [cm]:

 36 $UX=-0,0$ $UY=-1,3$ $UZ=-4,1$
 42 $UX=0,0$ $UY=-1,3$ $UZ=-4,1$

Flechas máximas [cm]:

$UX=0,0$ $UY=-0,6$ $UZ=-1,7$
 en el punto $X=0,70$ $X=0,50$ $X=0,50$



Barra n.º 30 CORREA CUADR. Longitud L=3,00 (m) Caso 4 COMB2

	Fx (kgf)	Fz (kgf)	My (kgf*m)
MAX para la barra	301,01	237,87	178,41
en el punto:	0,0	0,0	1,50
MIN para la barra	1,01	-237,87	0,0
en el punto:	0,0	3,00	0,0

Comprobación relamentaria de acuerdo con ANSI/AISC 360-16

Sección: CORREA CUADR.

Tipo de barra: ANSI/AISC_360-16_Tejado_listón1

Material: ACERO 36 Re=2531,05 (kgf/cm²)

.

Símbolo Ax, Iy, Iz ... UnidadDescripción

Solicitud:

RAT 0.55 solicitud

4 COMB2 1*1.20+2*1.60

Caso de carga más desfavorable - ELU

x = 0.50 L = 1.50 m

Puntos

Otros

Lambda y 130.89 esbeltez de la barra

Lambda z 130.89 esbeltez de la barra

Flechas (COORDENADAS LOCALES):

uyt -3.4 cm flecha de la barra en la dirección Y - Cargas totales
 uyt max 1.2 cm Deformación admisible de la barra en la dirección Y - Cargas
 totales
 7 Espectral Dirección_Y Caso de carga más desfavorable - ELS

6 CAPITULO VI

6.1 CONCLUSIONES

La toma de datos en el sitio permitió comprender de mejor manera como está compuesto el galpón empírico, obteniendo un análisis de la estructura de manera precisa con las dimensiones de los perfiles determinadas y sus distancias y el número de estructuras por el cual está conformada la estructura.

Este análisis de ambas estructuras determino la importancia del uso de normas de diseño para la construcción de estructuras de todo tipo, ya que la construcción de manera empírica no toma en consideración las cargas de diseño que dictamina la NEC-15, presentando deficiencias y desplazamientos elevados, asegurando colapsos estructurales. Mientas que el análisis del galpón metálico expone un mejor comportamiento estructural ya que el uso de perfiles como las vigas y columnas de acero se determinaron mediante cálculos, así obteniendo los perfiles correspondientes necesarios para la estructura de acero, también la implementación de arrostramientos y uniones brindaron mejor comportamiento estructural sobre las cargas de diseño dictaminados por la norma y cumpliendo con sus estándares como la NEC-15 y el AISC.

El análisis estructural comparativo técnico y económico determinó el galpón metálico como la estructura que puede soportar grandes esfuerzos sin sufrir grandes desplazamientos por las cargas de diseño, pero es una estructura con un costo inicial elevado en comparación al galpón empírico, pero garantiza la seguridad y eficiencia estructural, siendo estos puntos clave que se tienen que priorizar al momento de realizar una construcción. Este modelo y análisis puede servir como un rediseño o aplicable a otras estructuras empíricas.

6.2 RECOMENDACIONES

Con el estudio realizado y con el aprendizaje adquirido durante el desarrollo del trabajo de titulación, se presentan diversas recomendaciones para la continuidad del proyecto, inclusive a futuras investigaciones en el análisis estructural o en la mejora de las estructuras agrícolas. Con el análisis de ambas estructuras realizado y con la determinación de la mejor opción estructural para galpones de uso agrícola siendo este el galpón metálico, se sugiere realizar un estudio de suelos en el sitio para obtener una mejora clara de los desplazamientos por la implementación de placas de anclaje en las columnas, mejorando drásticamente la eficiencia estructural del galpón metálico.

La culminación de este trabajo de titulación puede servir como un rediseño de la propia estructura del galpón empírico, por lo que se recomienda realizar un análisis de precios unitarios para así tener en consideración la mano de obra y los equipos necesarios para la construcción del galpón metálico, obteniendo así un enfoque más claro en cuanto a los costos del proyecto.

Es recomendable realizar un plan de inspección y mantenimiento a los elementos estructurales por el cual estará compuesto el galpón metálico, incluyendo las uniones atornilladas, los sistemas de arriostramientos y la cubierta por la que está conformada. Esto ayuda a la prevención de fallas estructurales y desgastes de los materiales, así atribuyendo a la prolongación de la vida útil de la estructura, manteniendo su funcionalidad durante todo su funcionamiento y garantizando la seguridad.

7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bibliografía

- Aguirre, G. (2022). *Cubiertas Metalicas*. SCRIBD.
- Aicher, S. (2022). COMPRESSIVE STRENGTH AND MODULUS OF ELASTICITY PARALLEL TO CULM AXIS OF GUADUA BAMBOO . *Otto Graf Journal*, 26.
- AISC. (2016). *Specification for Structural Steel Buildings*. alacero.
- Allen. (2019). *Fundamentals of Building Construction: Materials and Methods*. WILEY.
- ASTM. (2010). *Standard Test Method for Ductility Testing of Metallic Foil*. ASTM.
- BCSA. (s.f.). *Steel Construction.info*. Obtenido de Steel Construction.info:
https://www.steelconstruction.info/Corrosion_of_structural_steel
- Bejinariu, C. (2022). Deterioration of Mechanical Properties and the Damage Constitutive Model of Corroded Steel in an Industrial Environment. *Materials*.
- Branco, R., & Berto, F. (2021). High-Strength Low-Alloy Steels. *Metals*.
- Bravo, I. (2024). *Inmobiliaria Bravo*. Obtenido de
<https://inmobiliariabravo.com.ec/galpones-espacios-versatiles-para-diversos-usos/>
- Bruneau, M. (2018). State-of-the-Art Review on Seismic Design of Steel Structures. *ASCE library*.
- CAMICON. (Diciembre de 2014). Estructuras de acero. MIDUVI.
- Campos, L. (2025). A review of heat treatments applied to low and medium and high carbon steels used in cold drawn. *Discover*.
- Ching, F. D. (2020). *Building Construction Illustrated*,. WILEY.
- construction.info, S. (s.f.). *Steel construction.info*. Obtenido de Portal Frames:
https://steelconstruction.info/Portal_frames
- Correia, J. (2021). *Effect of temperature loading on the performance of a prestressed concrete bridge in Oklahoma: Probabilistic modelling*. Science Direct.
- Corsa, G. (2019). *Principios de protección de estructuras metálicas*. Obtenido de
https://www.gerdaucorsa.com.mx/sites/mx_gerdau/files/PDF/AT_PRINCIPIOS%20DE%20PROTECCI%C3%93N%20ESTRUCTURAS%20MET%C3%81LICAS%20EN%20SITUACI%C3%93N%20CORROSI%C3%93N-FUEGO.pdf
- Cruz, D. (2024). *Diseño de una estructura de acero para una bodega de productos industriales en la parroquia Alberto Spencer, Cantón Santa Elena*. Guayaquil.

- Da Silva, L. (2020). *Journal of Constructional Steel Research*. ScienceDirect.
- DeAcero. (20 de Noviembre de 2019). *Blog.deacero*. Obtenido de <https://blog.deacero.com/perfiles-de-acero-tipos-y-aplicaciones-que-existen>
- Dipac. (19 de Febrero de 2025). *Dipac productos de acero*. Obtenido de <https://dipacmanta.com/guia-sobre-perfiles-estructurales/>
- Engineers, A. S. (2017). *Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures*. ASCE library.
- FAO. (2011). *Rural structures in the tropics*. Rome: CTA.
- Fernández, J. (2024). Comparison of structural typologies in industrial warehouses. *International Multidisciplinary Modeling & Simulation Multiconference*, 1-6.
- Hernández, R. (2000). *Arriostramiento*. Madrid: Cuadernos del Instituto Juan de Herrera.
- Hibbeler, R. (2022). *Engineering Mechanics: Statics & Dynamics*. Pearson.
- Hosen, K. (2024). Fatigue Life Assessment of Steel Structure, A State-Of-The-Art-Review. *ResearchGate*.
- indiacadworks. (2025). *IndiaCADworks*. Obtenido de <https://www.indiacadworks.com/article/structural-engineering.php>
- Lee, Y. (2014). Review on Cold-Formed Steel Connections. *The Scientific World*.
- López. (2021). *Scielo*. Obtenido de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-27382021000100010
- Lui, E. (2024). *Optimization of the Mechanical Properties of Bolted Connections between Concrete-Filled Tubular Columns and Steel Beam with Reinforcing Rings*. Obtenido de <https://www.mdpi.com/2075-5309/14/3/782>
- Magon. (31 de Julio de 2024). *Magon.es*. Obtenido de <https://magon.es/perfiles-estructurales-que-son/>
- Medel, R. (12 de Febrero de 2024). *UNESCO*. Obtenido de <https://www.unesco.org/en/articles/designers-evolution-how-structural-engineers-shape-our-built-environment>
- metal, C. (1990). *Copper metal*. Obtenido de <https://coppermetal.com.br/es/blog/perfiles-de-acero/>
- MIDUVI. (2015). NEC. *CAMICON*.

- MIDUVI. (2015). *PELIGRO SÍSMICO DISEÑO SISMO RESISTENTE*. Ecuador: CAMICON.
- MIDUVI. (2023). *NEC*. Obtenido de <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/documentos-normativos-nec-norma-ecuatoriana-de-la-construccion/>
- Miguel, T. (2012). Pandeo crítico de vigas esbeltas con rigidizadores tipo delta diseñadas con AASHTO sometidas a cargas concentradas. *ACADEMIA*.
- Monge, D. (2022). *Manual de Construcción para Estructuras Metálicas con base en Perfiles Dobaldos en Frío*. ICOTEC.
- Montajes, I. y. (2024). *MIC SAS*. Obtenido de estructuras metalicas colombia: <https://www.estructurasmetalicascolombia.com/construcciones-metalicas/porticos/construccion-de-porticos>
- MPYA. (9 de Septiembre de 2021). *Multipanel y aceros*. Obtenido de <https://multipanelyaceros.com/cubiertas-metalicas-que-son-y-como-se-componen/>
- NEC. (2015). *Cargas (no sísmicas)*. CAMICON.
- NOVACERO. (2025). *NOVACERO*. Obtenido de <https://www.novacero.com/pe-correas/>
- Pelayo, J. (2021). *repositorio.itm*. Obtenido de https://repositorio.itm.edu.co/bitstream/handle/20.500.12622/6048/Rep_Itm_pre_PelayoJhoan_2021.pdf
- Perez, J., & Merino, M. (26 de Noviembre de 2019). *Definición de Galpón*. Obtenido de definición.de: <https://definicion.de/galpon/>
- Richard, L. (2018). *Introduction to Mathematical Statistics and Its Applications*. Florida: Pearson.
- Russell, H. (2010). *Mechanics of materials*. Prentice Hall.
- Sato, E. (2018). Constructing and evaluating generalized models for a base-isolated structure. *Wiley*.
- Serendipia, A. d. (s.f.). *estructurasframe.ec*. Obtenido de Galpones industriales: <https://estructurasframe.ec/proyectos-estructurales/>
- Servicor. (2025). *Servicor.ec*. Obtenido de <https://servicor.com.ec/index.php/2024/03/01/acero-estructural-que-es-propiedades-tipos-usos-y-caracteristicas/>
- steel, B. (2025). *Buildsteel.org*. Obtenido de <https://buildsteel.org/why-steel/cold-formed-steel-101/what-is-cold-formed-steel-framing-and-how-can-i-use-it/>

- SteelConstruction.info. (2017). Obtenido de Steel material properties: https://www.steelconstruction.info/Steel_material_properties
- StruCalc. (2024). *StruCalc*. Obtenido de <https://strucalc.com/blog/learning/structural-analysis-in-engineering/>
- Suquilanda, J., & Benavides, A. (2025). *Análisis estructural de Galpón Destinado al Almacenamiento de insumos farmacéuticos en el km 6.5 vía durán tambo*. Guayaquil.
- Ted, S. (2020). Journal of Wind Engineering & Industrial Aerodynamics. *Department of Building, Civil and Environmental Engineering, Concordia University*.
- Tensco. (12 de Marzo de 2025). *Tensco*. Obtenido de Tensco: <https://tensco.pe/galpones-guia-completa-sobre-tipos-construccion-y-costos/#:~:text=de%20maquinaria%20pesada.-,Galpones%20Agr%C3%ADcolas,refugios%20para%20animales%20de%20granja.>
- VHaceros. (2021). *Palabra de Acero*. Obtenido de Blog: <https://vhaceros.cl/blog/que-es-un-galpon-de-acero/>
- Weck, R. (1965). Failure of steel structures: causes and remedies. *THE ROYAL SOCIETY*.
- Worldsteel. (2025). *Worldsteel*. Obtenido de <https://worldsteel.org/>
- Zille, A. (30 de January de 2025). *Assessment of the Effectiveness of Protective Coatings in Preventing Steel Corrosion in the Marine Environment*. Obtenido de <https://www.mdpi.com/2073-4360/17/3/378>

8 ANEXOS

