



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE GUAYAQUIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**DISEÑO Y ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN GALPÓN PARA
ALMACENAMIENTO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN EN DAULE**

Trabajo de titulación previo a la obtención del

Título de ingeniero civil

AUTORES: Mario Eduardo Moyano Reyes

Kenny Ariel Villalba Pachucho

TUTOR: Ing. Leonardo Javier Echeverria Fabre, DBA.

Guayaquil – Ecuador

2025

**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Nosotros, Mario Eduardo Moyano Reyes con documento de identificación N° 0951878743 y Kenny Ariel Villalba Pachucho con documento de identificación N° 0944172915; manifestamos que:

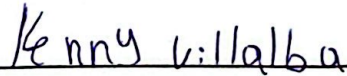
Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Atentamente,



Mario Eduardo Moyano Reyes

CI. 0951878743



Kenny Ariel Villalba Pachucho

CI. 0944172915

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

Nosotros, Mario Eduardo Moyano Reyes con documento de identificación N° 0951878743 y Kenny Ariel Villalba Pachucho con documento de identificación N° 0944172915, 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 proyecto técnico: DISEÑO Y ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN GALPÓN PARA ALMACENAMIENTO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN EN DAULE, 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.

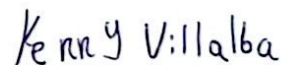
En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Atentamente,



Mario Eduardo Moyano Reyes

CI. 0951878743



Kenny Ariel Villalba Pachucho

CI. 0944172915

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: DISEÑO Y ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE UN GALPÓN PARA ALMACENAMIENTO DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN EN DAULE, realizado por Mario Eduardo Moyano Reyes con documento de identificación N° 0951878743 y por Kenny Ariel Villalba Pachucho con documento de identificación N° 0944172915, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción proyecto técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Atentamente,



Ing. Leonardo Javier Echeverria Fabre, DBA.

RESUMEN

El presente trabajo de titulación se centra en el diseño y análisis estructural de un galpón destinado al almacenamiento de materiales de construcción en el cantón Daule, Ecuador. Dada la localización en una zona sísmicamente activa, el objetivo principal es asegurar la seguridad y funcionalidad de la estructura frente a movimientos telúricos.

El proyecto, se fundamenta en un análisis completo. Este incluye el dimensionamiento de perfiles de acero, empleando herramientas como el software Robot Structural Analysis Professional (Autodesk) para simular el comportamiento de la estructura ante cargas permanentes, de viento y sísmicas. La metodología se alinea con la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-15) para garantizar el cumplimiento normativo.

Se resalta la elección del acero estructural por su resistencia, ductilidad y ligereza, propiedades esenciales para una respuesta eficaz ante fuerzas sísmicas. Este enfoque no solo busca la seguridad estructural, sino también un desarrollo urbano sostenible, promoviendo la eficiencia energética y la construcción responsable. El estudio se presenta como un modelo técnico para futuras construcciones resilientes en zonas con características sísmicas similares.

ABSTRACT

The present thesis focuses on the structural design and analysis of a warehouse intended for storing construction materials in the canton of Daule, Ecuador. Given its location in a seismically active zone, the main objective is to ensure the safety and functionality of the structure against seismic movements.

The project is based on a comprehensive analysis. This includes the dimensioning of steel profiles, employing tools such as Robot Structural Analysis Professional (Autodesk) software to simulate the structure's behavior under permanent, wind, and seismic loads. The methodology aligns with the Ecuadorian Construction Standard (NEC-15) to guarantee regulatory compliance.

The choice of structural steel is highlighted for its strength, ductility, and lightness, essential properties for an effective response to seismic forces. This approach not only seeks structural safety but also sustainable urban development, promoting energy efficiency and responsible construction. The study is presented as a technical model for future resilient constructions in areas with similar seismic characteristics.

Agradecimientos

Deseamos expresar nuestro más profundo agradecimiento a quienes, con su invaluable apoyo y dedicación, hicieron posible la culminación de este proyecto de tesis.

En primer lugar, nuestra gratitud infinita a nuestras familias, por su amor incondicional, paciencia inquebrantable y el apoyo constante que nos motivó a perseverar en cada etapa, especialmente en los momentos más desafiantes. Su confianza en nosotros ha sido un pilar fundamental.

Gracias a todos los ingenieros de la carrera por hacer el camino más ameno con su invaluable compañía, los momentos memorables que compartimos, sus palabras de aliento y su colaboración desinteresada, que enriquecieron significativamente nuestro proceso.

Asimismo, queremos reconocer la guía excepcional de nuestro tutor, el Ing. Leonardo Javier Echeverría Fabre DBA. por la inspiración de un gran ejemplo profesional y gran admiración a su valiosa orientación, dedicación y las enseñanzas impartidas fueron imprescindibles para el éxito y la calidad de este trabajo.

Finalmente, valoramos profundamente el esfuerzo y compromiso mutuo que nos permitió trabajar en equipo de manera efectiva, superando juntos cada reto que este proyecto académico nos presentó. Esta experiencia no solo fortaleció nuestros conocimientos, sino también nuestra capacidad de colaborar hacia un objetivo común, culminando con éxito esta importante etapa.

Dedicatoria

Expreso mi más profundo agradecimiento a mis padres Mario Moyano y Tania Reyes, cuyo amor, sacrificio y fe constante fueron el motor que me impulsó a alcanzar esta meta. Su apoyo inquebrantable fue esencial en cada paso de este camino. Mi gratitud se extiende a mi tutor el Ing. Leonardo Echeverría Fabre, DBA. por su invaluable guía, paciencia y conocimiento. Sus directrices fueron fundamentales para el desarrollo y éxito de este proyecto. Este trayecto me ha enseñado que la vida está llena de altas y bajas. Sin embargo, la perseverancia es clave. Nunca debemos rendirnos, pues incluso tras las tormentas, el sol siempre vuelve a salir. Este logro es una prueba de ello. A todos quienes contribuyeron, mi sincero agradecimiento.

Mario Eduardo Moyano Reyes

Dedicatoria

Dedico esta tesis a Dios, por ser mi guía y fortaleza en cada paso de este camino académico. A mis padres, por su amor incondicional y apoyo constante, pilares fundamentales en mi formación. A mis hermanos, por su comprensión y ánimo en los momentos difíciles. A mis amigos que hice en el camino, que hicieron menos difícil la carrera. Y a aquellos que dudaron de mí, gracias por impulsarme a demostrar que sí era posible.

Kenny Ariel Villalba Pachucho

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	ii
CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACION A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA	iii
CERTIFICADO DE DIRCCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	iv
RESUMEN.....	v
ABSTRACT	vi
CAPITULO I.....	1
1. Introducción.....	1
2. Justificación.....	2
3. Objetivos	2
3.1 Objetivo General:	3
3.2 Objetivos Específicos:	3
CAPITULO II	4
4. Marco Teórico Referencial	4
5. Estructuras Metálicas: Un Pilar Fundamental de la Construcción Moderna en Ecuador	4
5.1 Ventajas de las Estructuras de Acero.....	5
5.1.2 Ductilidad.....	5
5.1.3 Alta Resistencia.	5
5.1.4 Durabilidad.	5
5.1.5 Uniformidad.....	5

5.1.6	Tenacidad.....	6
5.2	Desventajas de las Estructuras de Acero	6
5.2.2	Fatiga.....	6
5.2.3	Corrosión.....	6
5.2.4	Fractura frágil.....	6
5.2.5	Costo de la protección contra el fuego.....	7
5.2.6	Susceptibilidad al Pandeo.	7
6.	Elementos del galpón.....	7
6.1	Vigas	8
6.2	Columnas	8
7.	Perfiles de Acero Estructural	10
7.2	Perfiles Tubulares Cuadrados (PTC)	11
8.	Diagrama de Esfuerzo-Deformación	13
8.1	Comportamiento Plástico.....	14
8.2	Fluencia.....	14
8.3	Endurecimiento por deformación	14
8.4	Estricción y Fractura	15
9.	Almacenamiento y Logística Eficiente de Materiales de Construcción con Soluciones Adaptables en la Vía Daule: Un Enfoque Estratégico	15
10.	Naves Industriales Metálicas Sismo Resistentes según Normativa Ecuatoriana e Internacional	16
11.	Esquema de un sismo.....	18
11.1	El Foco o Hipocentro	18

11.2	El Epicentro	18
11.3	La Falla Geológica.....	18
11.4	Las Ondas Sísmicas	19
11.4.1	Ondas de Cuerpo.....	19
11.4.2	Ondas Superficiales	19
12.	Tipos de fallas.....	20
12.1	Fallas Normales	20
12.1.1	¿Cómo se ven?	20
12.1.2	En Ecuador.....	20
12.2	Fallas Inversas (o Compresionales)	20
12.2.1	¿Cómo se ven?	20
12.2.2	En Ecuador.....	20
12.3	Fallas de Rumbo (o de Desgarre/Transformantes):	21
12.3.1	¿Cómo se ven?	21
12.3.2	En Ecuador.....	21
12.4	Fallas Oblicuas:.....	21
12.4.1	¿Cómo se ven?	21
12.4.2	En Ecuador.....	21
13.	¿Qué tipos de ondas generan los sismos?	21
13.1	Ondas que viajan por dentro de la Tierra (Ondas de Cuerpo)	22
13.1.1	Ondas P (Primarias o de Compresión).....	22

13.1.2 Ondas S (Secundarias o de Cizallamiento):.....	22
13.2 Ondas que viajan por la superficie de la Tierra (Ondas Superficiales).....	23
13.2.1 Ondas Love (Ondas L):.....	23
13.2.2 Ondas Rayleigh (Ondas R):	23
14. Disipación de energía.....	24
15. Cargas en la estructura	24
15.1 Cargas Muertas (D).....	24
15.2 Cargas Vivas (L).....	25
15.3 Cargas de Viento (W)	25
15.3.1 La Velocidad Base del Viento para Diseño:	25
15.3.2 Ajuste de la Velocidad del Viento según el Entorno y la Altura	26
• La altura de la edificación.....	26
• Las características del entorno	26
15.3.3 Las características topográficas se reparten en 3 categorías:	27
15.3.4 Determinación simplificada de C_f	29
15.3.5 Barlovento (La Cara que Recibe el Empuje):	29
15.3.6 El Lado de Sotavento (La Cara que Siente la Succión):	29
15.4 Cargas sísmicas.....	30
15.4.1 El comportamiento dinámico inherente a la estructura metálica	31
15.4.2 Categoría del edificio y coeficiente importante	31
15.4.3 Espectro elástico horizontal de diseño en aceleraciones.....	33

15.4.4	El periodo fundamental de vibración T	35
15.4.5	Factor de amplificación de las ordenadas en el espectro de respuesta elástico	36
15.5	Cortante basal de diseño	38
15.6	Deriva de piso	39
16.	Definición de combinaciones de carga en la estructura.....	39
17.	Normativas.....	40
17.1	Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC 2015).....	40
17.1.1	NEC-SE-DS (Diseño Sismo Resistente).....	40
17.1.2	NEC-SE-ACERO (Estructuras de Acero)	40
17.1.3	NEC-SE-CG (Cargas No Sísmicas - Cargas de Viento y Cargas Vivas)	41
17.1.4	NEC-SE-CIM.....	41
17.2	American Institute of Steel Construction (AISC).....	41
17.2.1	ANSI/AISC 360-16 (Specification for Structural Steel Buildings).....	41
17.2.2	ANSI/AISC 341-16 (Seismic Provisions for Structural Steel Buildings)	42
17.3	American Society of Civil Engineers (ASCE):	42
17.3.1	ASCE/SEI 7-16 (Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures)	42
CAPITULO III		42
18.	Marco Metodológico	42
19.	Tipo de Investigación	42
19.1	Enfoque de la Investigación.....	43
19.2	Alcance de la Investigación	43

20.	Metodología de Recolección de Datos	44
20.1	Herramientas de Software.....	45
20.1.1	Robot Structural Analysis Professional (Autodesk)	45
20.1.2	Microsoft Excel.....	46
20.1.3	Microsoft Word.....	46
21.	Modelado de la estructura en Robot Structural Analysis Professional (Autodesk).....	46
CAPITULO III.....		52
22.	Datos de la estructura metálica	52
23.	Estructura metálica.....	52
24.	Espectro elástico e inelástico en Daule.....	52
25.	Modelado en el software Robot Structural Analysis Professional (Autodesk)..	55
25.1	Cargas de explotación	57
26.	Cortante.....	57
26.1	Esfuerzo F_y - F_z	58
26.1.1	F_y	58
26.1.2	F_z	59
27.	Cargas Axiales	60
28.	Deformación nodal.....	60
29.	Momentos	61
30.	Deformación en la estructura por cargas sísmicas	61
31.	Resultados Del Software.....	62

32.	Columnas	63
33.	VIGAS	65
34.	ALEROS	67
35.	MONTANTE DE CELOSIA	70
36.	DIAGONAL DE CELOSIA	72
37.	CORREA SUPERIOR DE CELOSIA.....	74
38.	CORREA INFERIOR DE CELOSIA.....	76
39.	Esfuerzos internos (fuerzas y momentos)	79
40.	Deformada del galpón.....	84
CAPITULO V		86
41.	Conclusiones	86
42.	Recomendaciones	88
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		90

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Elementos de un galpón (Fuente: aulaseproinca, s.f.)	10
Ilustración 2: Perfil IPE (Fuente: Construx, s.f.).....	11
Ilustración 3: Perfiles Tubulares Cuadrado (Fuente: Cofiasa, s.f.)	11
Ilustración 4: Perfiles Tubulares Rectangulares (Fuente: Importaceros, s.f.)	12
Ilustración 5: Perfiles Ángulo Doblado (Fuente: Construx, s.f.)	12
Ilustración 6: Diagrama de Esfuerzo-Deformación (Fuente: NEC-2015)	14
Ilustración 7: mapa zona sísmica Ecuador (Fuente: NEC peligro sísmico, 2015).....	18
Ilustración 8: Fallas Geológicas	19
Ilustración 9: Ondas P (Autor: Miguel Saez).....	22
Ilustración 10: Ondas S (Autor: Miguel Saez).....	23
Ilustración 11: Ondas Love (Autor: Miguel Saez).....	23
Ilustración 12: Ondas Rayleigh (Autor: Miguel Saez).....	24
Ilustración 13: Dimensiones del galpón (Fuente: Elaborada por los autores)	45
Ilustración 14: Robot Structural Analysis Professional (Fuente: Autodesk. S.f.).....	46
Ilustración 15: Modelado del galpón (Fuente: Elaborada por los autores)	47
Ilustración 16: Modelado del galpón 1 (Fuente: Elaborada por los autores)	48
Ilustración 17: Modelado del galpón 2 (Fuente: Elaborada por los autores)	49
Ilustración 18: Modelado del galpón 3 (Fuente: Elaborada por los autores)	50
Ilustración 19: Modelado del galpón 4 (Fuente: Elaborada por los autores)	50
Ilustración 20: Modelado del galpón 5 (Fuente: Elaborada por los autores)	51

Ilustración 21: Cargas Permanentes (Fuente: Elaborada por los autores).....	56
Ilustración 22: Cargas de explotación (Fuente: Elaborada por los autores).....	57
Ilustración 23: Diagrama de cortante F_y (Fuente: Elaborada por los autores)	59
Ilustración 24: Diagrama de cortante F_z (Fuente: Elaborada por los autores).....	59
Ilustración 25: Cargas axiales (Fuente: Elaborada por los autores).....	60
Ilustración 26: deformación nodal (Fuente: Elaborada por los autores)	61
Ilustración 27; Simulación de deformaciones por sismo (Dirección Y)	84
Ilustración 28: Desplazamientos nodales	85

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Coeficiente de corrección σ (Fuente: NEC, 2015).....	27
Tabla 2: Determinación de factor de forma c_e (Fuente: NEC, 2015)	28
Tabla 3: Determinación simplificada del factor de forma c_f (Fuente: NEC, 2015).....	29
Tabla 4: Categoría de edificio y coeficiente de importancia (Fuente: NEC, 2015).....	32
Tabla 5: Valores de coeficiente de reducción de respuesta estructural R (Fuente: NEC, 2015)	33
Tabla 6: Espectro elástico de diseño en aceleraciones (Fuente: NEC, 2015)	34
Tabla 7: Tipo de estructura (Fuente: NEC, 2015).....	36
Tabla 8: Tipo de suelo y factores de sitio F_a (Fuente: NEC, 2015).....	37
Tabla 9: Tipo de suelo y factores del comportamiento inelástico de subsuelo (Fuente: NEC, 2015)	37
Tabla 10: Tipo de suelo y factores del comportamiento inelástico de subsuelo (Fuente: NEC, 2015)	38
Tabla 11: Valores de Δm máximos expresados como fracción de altura de piso (NEC, 2015)	39
Tabla 12: Combinación de cargas básicas (NEC, 2015).....	40
Tabla 13: Cargas uniformes (NEC-15)	52
Tabla 14: Tipo de estructuras (Fuente: NEC-2015).....	53
Tabla 15: Cálculos del espectro (Fuente: Elaborada por los autores)	53
Tabla 16: tabla del espectro (Fuente: Elaborada por los autores)	54
Tabla 17: Espectro de diseño (Fuente: Elaborada por los autores)	55
Tabla 18: Espectro elástico (Fuente: Elaborada por los autores).....	55
Tabla 19: Caso / Momentos (Fuente: Elaborada por los autores).....	61

Tabla 20: Resistencia de dimensionamiento (Ala - Alma)	65
Tabla 21: Resistencia de dimensionamiento (Ala - Alma)	67
Tabla 22: Resistencia de dimensionamiento (Ala - Alma)	69
Tabla 23: Resistencia de dimensionamiento (Ala - Alma)	72
Tabla 24: Resistencia de dimensionamiento (Ala - Alma)	74
Tabla 25: Resistencia de dimensionamiento (Ala - Alma)	76
Tabla 26: Resistencia de dimensionamiento (Ala - Alma)	78
Tabla 27: Fuerzas y momentos	79
Tabla 28: Fuerzas y momentos	80
Tabla 29: Fuerzas y momentos	81
Tabla 30: Fuerzas y momentos	82
Tabla 31: Fuerzas y momentos	83
Tabla 32: Fuerzas y momentos	84

CAPITULO I

1. Introducción

El dinamismo del sector de la construcción en la Vía Daule, eje fundamental del desarrollo en Guayaquil, conlleva una demanda sostenida de espacios para el resguardo organizado y seguro de materiales constructivos.

No obstante, la infraestructura de almacenamiento existente a menudo exhibe limitaciones derivadas de la ausencia de un diseño y análisis estructural detallado que considere las cargas inherentes a los materiales, las particularidades del entorno geoclimático local y el marco normativo vigente. Esta situación puede traducirse en insuficiencia de la capacidad portante, ineficiencia en la gestión del espacio, susceptibilidad ante fenómenos naturales y potenciales riesgos operativos, además de implicaciones económicas desfavorables por la adopción de soluciones estructurales no optimizadas.

Frente a esta coyuntura, la edificación de una nave industrial se presenta como una alternativa innovadora. Su finalidad radica en ofrecer un recinto que posibilite el depósito seguro y organizado de los materiales de construcción, sin la necesidad de efectuar alteraciones definitivas. Esto simplificaría la reutilización de este espacio si en un caso cambiara de utilidad, reduciendo los gastos y optimizando la gestión logística del proyecto.

2. Justificación

La Vía Daule, como eje neurálgico del desarrollo constructivo en Guayaquil, experimenta una demanda constante y creciente de infraestructuras de almacenamiento para materiales de construcción. Sin embargo, la observación empírica y la literatura técnica sugieren que muchas de las soluciones de almacenamiento existentes en la zona adolecen de un diseño y análisis estructural exhaustivo que considere las cargas específicas de los materiales, las condiciones del suelo y, crucialmente, la alta sismicidad característica del territorio ecuatoriano que este caso sería la Vía Daule (Yepez, 2010).

Esta deficiencia no solo pone en riesgo la integridad de los materiales y la seguridad del personal operativo, sino que también puede acarrear ineficiencias logísticas y económicas significativas para las empresas del sector (Ballou, 2004). Por lo tanto, la presente investigación se justifica por la apremiante necesidad de proponer un modelo de diseño y análisis estructural robusto y fundamentado para un galpón destinado al almacenamiento de materiales de construcción en la Vía Daule, con un énfasis primordial en su capacidad sismo resistente.

La implementación de principios de diseño basados en normativas de reconocido prestigio internacional, como las del American Institute of Steel Construction (American Institute of Steel Construction, 2016), y el estricto cumplimiento de la Norma Ecuatoriana de la Construcción (Norma Ecuatoriana de la Construcción, 2015). particularmente en sus secciones relativas a estructuras metálicas y diseño sísmico, permitirá establecer un estándar de seguridad y calidad para este tipo de infraestructuras. Un galpón concebido bajo estos parámetros no solo asegurará la protección de los materiales almacenados ante eventos sísmicos, sino que también optimizará la distribución del espacio y facilitará las operaciones logísticas. (BLANCO, 2011)

3. Objetivos

3.1 Objetivo General:

Diseñar un sistema estructural de un galpón sismo resistente que permitirá el almacenamiento de materiales de construcción cumpliendo las normativas ANSI/AISC Y NEC-2015.

3.2 Objetivos Específicos:

Elegir meticulosamente los elementos constructivos del galpón, priorizando su resistencia y vida útil.

Analizar el modelado de una nave industrial cumpliendo con las normativas de construcción vigentes, considerando las características geotécnicas del terreno y sus respectivas cargas.

Diseñar los planos de la estructura, para que sean un instrumento de referencia en la construcción futura del proyecto.

CAPITULO II

4. Marco Teórico Referencial

5. Estructuras Metálicas: Un Pilar Fundamental de la Construcción Moderna en Ecuador

El acero estructural se ha consolidado como un material de construcción esencial a nivel global, incluyendo Ecuador, gracias a sus notables ventajas inherentes. Estas incluyen una elevada relación resistencia-peso, lo que permite la creación de estructuras esbeltas y la optimización del espacio; una versatilidad excepcional en el diseño, facilitando la materialización de formas arquitectónicas complejas y la adaptación a diversas necesidades funcionales; una durabilidad considerable, que garantiza la longevidad de las construcciones con un mantenimiento adecuado; y una eficiencia destacada en los procesos de fabricación y montaje, lo que se traduce en una reducción sustancial de los tiempos de construcción en comparación con otros materiales (MAGNACERO, s/f; Johnson, 2012).

En el contexto específico de la industria de la construcción ecuatoriana, y particularmente en una zona de alto dinamismo constructivo como la Vía Daule en Guayaquil, las estructuras metálicas se han convertido en una solución ampliamente adoptada en una variedad de proyectos, desde edificios industriales y comerciales de gran envergadura hasta centros de almacenamiento y equipamientos urbanos.

La composición del acero estructural, una aleación cuidadosamente controlada de hierro, carbono y elementos estratégicos como silicio, manganeso, fósforo y azufre, le confiere un espectro de propiedades mecánicas superiores, incluyendo una alta resistencia a la tracción (la capacidad de resistir fuerzas de estiramiento) y a la compresión (la capacidad de resistir fuerzas de aplastamiento), así como una ductilidad (la capacidad de deformarse significativamente sin fracturarse) y una tenacidad (la capacidad de absorber energía antes de la falla) que son cruciales para el comportamiento estructural, especialmente en zonas sísmicas (Hibbeler, 2017; Johnson, 2012; American Institute of Steel Construction, 2016)

5.1 Ventajas de las Estructuras de Acero

Cuando elegimos el acero para construir, estamos optando por una serie de beneficios que lo hacen destacar:

5.1.2 Ductilidad.

El acero tiene una cualidad asombrosa: puede deformarse mucho, pero mucho, antes de siquiera pensar en romperse. Imagina que la estructura está bajo una tensión enorme; el acero te dará un aviso claro al estirarse o doblarse antes de fallar por completo. Un material frágil, en cambio, se quiebra sin decir ni pío.

5.1.3 Alta Resistencia.

Si la idea es crear espacios amplios, con grandes luces entre apoyos, el acero es la estrella. Su impresionante resistencia lo convierte en el material ideal para soportar cargas pesadas a lo largo de esas grandes extensiones.

5.1.4 Durabilidad.

Con el cuidado adecuado, las estructuras de acero son prácticamente eternas. Lo interesante es que, según investigaciones recientes, los aceros modernos a veces ni siquiera necesitan pintura para mantenerse en forma, lo que significa menos mantenimiento y más vida útil.

5.1.5 Uniformidad.

A diferencia del hormigón, cuyas propiedades pueden variar con el tiempo, el acero es consistente. Sus características se mantienen estables a lo largo de los años, lo que nos da una gran certeza sobre cómo se comportará la estructura.

5.1.6 Tenacidad.

El acero es increíblemente "duro de pelar". Puede absorber una cantidad tremenda de energía y seguir resistiendo fuerzas importantes incluso después de haber sufrido deformaciones considerables. Esta tenacidad es clave: significa que los elementos de acero se pueden manipular, doblar, golpear o perforar durante la fabricación y el montaje sin que se dañen.

5.2 Desventajas de las Estructuras de Acero

Sin embargo, como todo en la construcción, el acero también presenta algunos puntos a considerar:

5.2.2 Fatiga

. Esta es una de esas características que buscan mermar la resistencia del acero: cuando se somete a fuerzas repetidas, el material puede fatigarse. Si hay tensiones constantes, la fatiga puede aparecer y reducir su capacidad de carga con el tiempo.

5.2.3 Corrosión.

La mayoría de los aceros no se llevan bien con el aire y el agua, lo que los hace propensos a oxidarse. Por eso, necesitan capas de pintura periódicas para protegerse. Aunque hay aceros intemperizados que son más resistentes, no siempre son la solución, y la corrosión puede ser un problema real en muchas situaciones.

5.2.4 Fractura frágil.

Bajo ciertas condiciones, como bajas temperaturas extremas, o cuando el material está sometido a cargas de fatiga y en puntos donde las tensiones se concentran mucho

(especialmente con esfuerzo triaxial), el acero puede perder su ductilidad y fracturarse de forma repentina y frágil.

5.2.5 Costo de la protección contra el fuego.

El acero es un excelente conductor de calor. Esto significa que, sin protección, un incendio en una parte del edificio puede calentar rápidamente el acero y propagar el fuego a otras áreas. Por lo tanto, es indispensable proteger las estructuras de acero con materiales aislantes y a menudo con sistemas de rociadores, lo cual añade un costo significativo al proyecto.

5.2.6 Susceptibilidad al Pandeo.

Una debilidad importante de las estructuras metálicas es su tendencia al pandeo local y lateral. Mientras más largos y esbeltos sean los elementos que trabajan a compresión (como las columnas), mayor es su vulnerabilidad a este fenómeno. Esto a menudo obliga a usar más material o refuerzos adicionales (como atezadores) para evitar el pandeo, lo que encarece el diseño.

6. Elementos del galpón

El diseño de los elementos estructurales de acero (vigas, columnas, cerchas, arriostramientos) y sus conexiones (soldaduras, pernos) debe realizarse en estricto cumplimiento con las especificaciones del AISC 360-16 y los requisitos de ductilidad y resistencia sísmica detallados en el NEC-SE-DS (2015) y en la norma **ANSI/AISC 341-16: Seismic Provisions for Structural Steel Buildings**, que proporciona criterios específicos para el diseño de estructuras de acero en zonas sísmicas (American Institute of Steel Construction, 2016).

6.1 Vigas

Son elementos estructurales horizontales que ayudan a soportar cargas en una construcción. Transfieren el peso desde los pisos o techos hacia columnas o muros. Su forma y tamaño dependen del tipo de edificación. Generalmente están hechas de concreto armado, acero o madera. En este caso serán de acero los perfiles.

6.2 Columnas

Son elementos verticales que soportan el peso de una estructura. Transfieren las cargas desde los techos y losas hacia los cimientos. Su forma y material pueden variar según el diseño y uso del edificio. Son esenciales para mantener la estabilidad y seguridad de la construcción.

6.3 Pórticos

Son estructuras formadas por la combinación de columnas y vigas, que crean un marco resistente capaz de soportar cargas tanto verticales como horizontales.

6.4 Nodos

Dentro de una estructura son puntos claves que conectan elementos como vigas o barras. Sirven para definir geometría, aplicar cargas o restricciones. En análisis estructural, permiten estudiar cómo se distribuyen las fuerzas. Son esenciales para representar el comportamiento de una estructura.

6.5 Correas

Son elementos horizontales que se apoyan sobre las cerchas o vigas principales. Su

función es sostener la cubierta o techo y transmitir su peso a la estructura. También ayudan a dar rigidez al conjunto. Se colocan de forma paralela y a intervalos regulares.

6.6 Largueros

Son elementos horizontales que se fijan a las columnas o pórticos. Su función principal es soportar y unir las correas del techo o muros. Ayudan a distribuir las cargas hacia la estructura principal. Son clave para dar rigidez y estabilidad al cerramiento.

6.7 Cubiertas

Son las partes superiores que lo protegen de la lluvia, sol y viento. Están hechas de materiales como zinc, policarbonato o teja metálica. Se apoyan sobre correas y cerchas.

6.8 Cumbre

Es el elemento que une las dos pendientes del techo en su punto más alto. Su función principal es sellar esta unión para evitar filtraciones de agua y asegurar la estanqueidad de la cubierta. Además, contribuye a la estética del galpón, brindando un acabado limpio y profesional. En resumen, es la "cima" del tejado que lo protege de las inclemencias del tiempo.

6.9 Arriostramientos

Son elementos estructurales estratégicos, usualmente diagonales, que se añaden para proporcionar estabilidad lateral y longitudinal. Funcionan como "refuerzos" que evitan deformaciones y el colapso de la estructura frente a fuerzas como el viento o sismos. En esencia, son las piezas clave que rigidizan el esqueleto del galpón, asegurando

su firmeza integral.

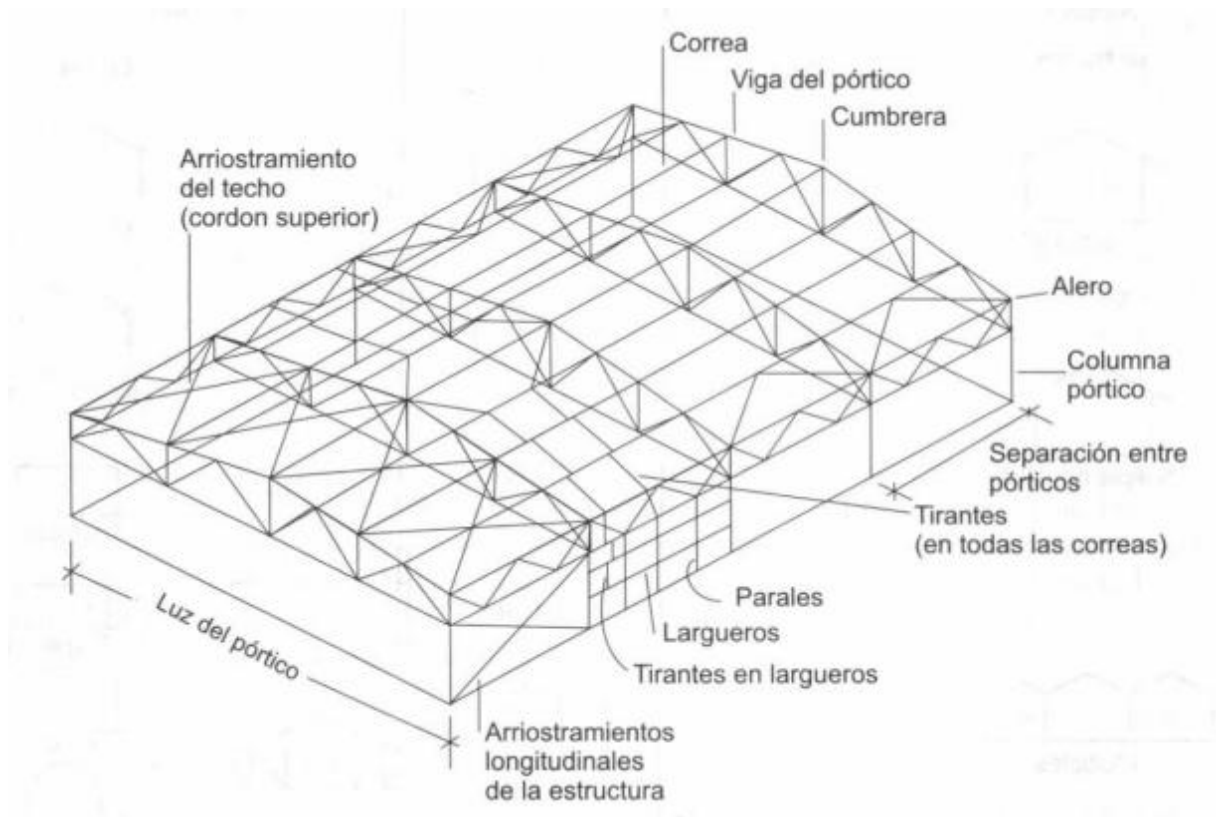


Ilustración 1: Elementos de un galpón (Fuente: aulaseproinca, s.f.)

7. Perfiles de Acero Estructural

La construcción de galpones en Ecuador se apoya fuertemente en una variedad de perfiles de acero estructural, seleccionados por su resistencia y versatilidad para cumplir con las exigencias de diseño y las normativas locales como la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC). Los aceros más utilizados, como el ASTM A36 y el ASTM A572 Gr. 50, cumplen con estos requisitos (DIPAC, 2025; Novacero, s.f.).

7.1 Vigas IPE y HEB (Perfiles I o H)

Son los perfiles más utilizados para la estructura principal de galpones, sirviendo como vigas y columnas. Las IPE son más ligeras y eficientes para ciertas luces, mientras que las HEB, más robustas, son elegidas para mayores cargas y vanos. Su diseño les otorga

una gran capacidad de carga y estabilidad (DIPAC, 2025; Novacero, s.f.).



Ilustración 2: Perfil IPE (Fuente: Construx, s.f.)

7.2 Perfiles Tubulares Cuadrados (PTC)

Los tubos de sección cuadrada son ideales para columnas secundarias, elementos de arriostramiento y estructuras ligeras debido a su buena resistencia a la torsión y su estética limpia. (DIPAC, 2025).

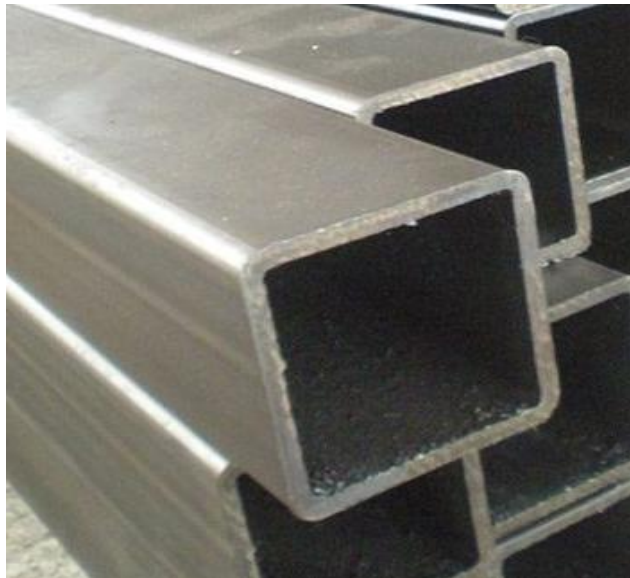


Ilustración 3: Perfiles Tubulares Cuadrado (Fuente: Cofiasa, s.f.)

7.3 Perfiles Tubulares Rectangulares (PTR)

Similares a los cuadrados, pero con una sección rectangular, son muy útiles en largueros de cerchas, marcos estructurales y elementos que requieren mayor inercia en una dirección específica.



Ilustración 4: Perfiles Tubulares Rectangulares (Fuente: Importaceros, s.f.)

7.4 Angulares (Perfiles L o Ángulo Doblado)

Con su característica forma de "L", los angulares son esenciales para uniones, elementos de celosía en cerchas, soportes de correas y refuerzos en general (DIPAC, 2025).

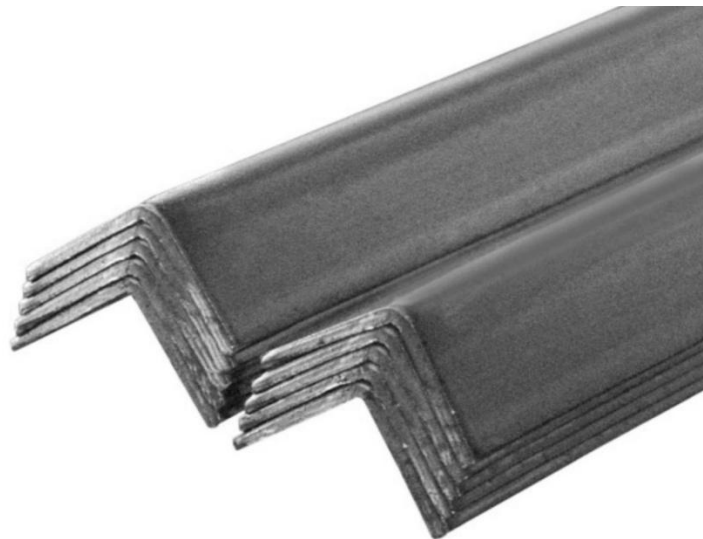


Ilustración 5: Perfiles Ángulo Doblado (Fuente: Construx, s.f.)

7.5 Láminas o Chapas

Son las planchas de acero planas, materia prima de la que se cortan y doblan muchos de los perfiles y elementos complementarios, como cartelas y placas base, adaptándose a los detalles de diseño de cada galpón.

8. Diagrama de Esfuerzo-Deformación

En ingeniería, entender cómo un material responde cuando lo sometemos a una fuerza es tan crucial como conocer sus dimensiones. Para eso, contamos con una herramienta fundamental: el diagrama de esfuerzo-deformación. Este es un gráfico que nos pinta un retrato de la resistencia y flexibilidad de un material cuando se le aplica una carga.

Para crear este diagrama, se realiza una prueba sencilla pero vital en el laboratorio, generalmente un ensayo de tensión. Se toma una pequeña muestra del material, llamada probeta, y se estira gradualmente. Mientras se estira, medimos dos cosas: la fuerza que estamos aplicando (que luego convertimos en esfuerzo, o sea, la fuerza por unidad de área original) y cuánto se estira la muestra (que transformamos en deformación unitaria, el cambio de longitud con respecto a la longitud original) (Scribd, s.f.a). El esfuerzo va en el eje vertical del gráfico, y la deformación en el horizontal.

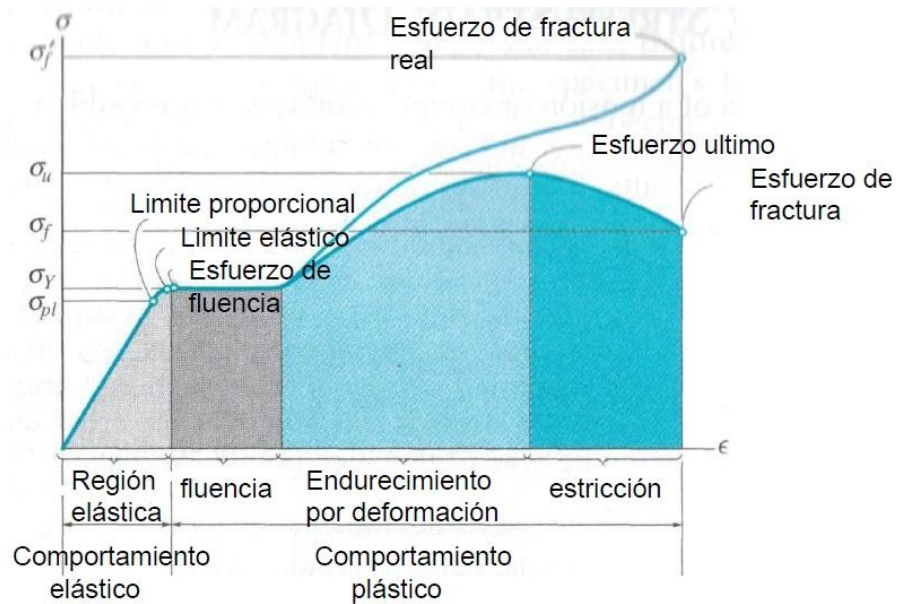


Ilustración 6: Diagrama de Esfuerzo-Deformación (Fuente: NEC-2015)

8.1 Comportamiento Plástico

A partir de aquí, el material ya no recupera su forma por completo; comienza a deformarse permanentemente. Esta fase se subdivide en tres partes en tu diagrama:

8.2 Fluencia

Al superar el límite elástico, el material empieza a estirarse considerablemente sin que sea necesario aumentar mucho el esfuerzo. En este punto la curva se aplana, mostrándonos el Esfuerzo de Fluencia (σ_y), un valor que es fundamental para el diseño estructural (Scribd, s.f.b).

8.3 Endurecimiento por deformación

Después de la fluencia, la estructura interna del material cambia, haciendo que se vuelva más fuerte. Por eso, para seguir estirándolo, necesitamos aplicar más esfuerzo, y la curva vuelve a subir hasta alcanzar un pico. Ese punto más alto es el Esfuerzo Último (σ_u) o resistencia a la tracción, que representa la máxima fuerza que puede soportar antes de

empezar a fallar.

8.4 Estricción y Fractura

Al pasar el esfuerzo último, el material se concentra en una pequeña región y empieza a adelgazarse visiblemente, como un cuello. Esto se llama estricción. Finalmente, el material se rompe en el punto de Esfuerzo de Fractura, culminando el proceso (Scribd, s.f.b). La curva superior que se ve en el gráfico, que llega a un punto más alto, representa el "Esfuerzo de fractura real", que tiene en cuenta esa reducción del área para un cálculo más preciso.

Este diagrama ilustra por qué el acero es un material ideal para la construcción en zonas sísmicas: su amplia zona de "fluencia" y "endurecimiento" permite que las estructuras se deformen de forma notable antes de colapsar, dando una valiosa advertencia visual de que hay un problema, a diferencia de un material frágil que se rompería de golpe.

9. Almacenamiento y Logística Eficiente de Materiales de Construcción con Soluciones Adaptables en la Vía Daule: Un Enfoque Estratégico

La gestión eficaz del almacenamiento y la logística de materiales de construcción representa un factor crítico para la optimización de la eficiencia, la seguridad y la rentabilidad de los proyectos que se desarrollan en la Vía Daule, un eje de crecimiento económico clave en Guayaquil. Un sistema de almacenamiento bien planificado y ejecutado, que considere las particularidades del flujo de materiales, la accesibilidad y la seguridad, contribuye directamente a la reducción de los costos operativos, la minimización de las pérdidas y el deterioro de los materiales, la mejora de la seguridad en la obra al reducir la congestión y los riesgos de manipulación, y la optimización de los flujos de trabajo generales (Tompkins y otros, 2010; Rushton, A. y otros, 2014; FEMA, 2011).

Los métodos tradicionales de almacenamiento, caracterizados a menudo por grandes extensiones de terreno al aire libre, presentan desafíos significativos en términos de inflexibilidad para adaptarse a las necesidades cambiantes de los proyectos, costos asociados a la preparación y el mantenimiento de estas áreas, una exposición considerable a las condiciones climáticas tropicales de Guayaquil (altas temperaturas, humedad, lluvias intensas) que pueden comprometer la integridad de ciertos materiales (cemento, acero no protegido, etc.), y una limitada capacidad para ofrecer seguridad contra robos o vandalismo (Johnson C. , 2018).

En contraposición, las soluciones innovadoras y adaptables, como las naves industriales prefabricadas o modulares con estructura metálica, ofrecen ventajas sustanciales que responden a los desafíos del entorno de la Vía Daule. Estas incluyen una notable rapidez de construcción e instalación, lo que minimiza la interrupción de las actividades y permite una puesta en marcha más temprana; una flexibilidad inherente para adaptarse a diferentes configuraciones de almacenamiento según los tipos, cantidades y rotación de los materiales; la potencial reutilización o reubicación de la estructura en el futuro, ofreciendo una solución sostenible y adaptable a las necesidades cambiantes del desarrollo urbano; y la capacidad de proporcionar un ambiente controlado que protege los materiales de las inclemencias del tiempo y mejora la seguridad (EPA, 2009).

10. Naves Industriales Metálicas Sismo Resistentes según Normativa Ecuatoriana e Internacional

El diseño estructural de naves industriales metálicas destinadas al almacenamiento de materiales de construcción en la Vía Daule se fundamenta en los principios rigurosos de la mecánica estructural, que comprenden el análisis del comportamiento de los materiales bajo la acción de diversas cargas y la determinación de los esfuerzos internos resultantes (tensión, compresión, flexión, cortante, torsión), así como la aplicación de criterios de

estabilidad que aseguren la integridad y la funcionalidad de la estructura durante su vida útil (Hibbeler, 2017; Beer, F. P. & Johnston, E. R., 2012; Gere, J. M. & Goodno, B. J., 2017).

El cumplimiento estricto de las normativas y los estándares de diseño es primordial para garantizar la seguridad y la calidad de estas construcciones, especialmente en una zona con alta actividad sísmica como Guayaquil. En el ámbito de las estructuras de acero, las especificaciones del **American Institute of Steel Construction (ANSI/AISC 360-16)** constituyen una referencia fundamental a nivel internacional, proporcionando directrices detalladas y exhaustivas para el diseño, la fabricación y el montaje de elementos estructurales metálicos.

Esta norma abarca aspectos críticos como la resistencia de los miembros estructurales (vigas, columnas, tensores), la estabilidad global y local de la estructura (pandeo), el diseño de las conexiones (soldadas, atornilladas) y los criterios de servicio (deformaciones admisibles) (American Institute of Steel Construction, 2016).

Dado que el proyecto se ubica en Guayaquil, Ecuador, una zona clasificada con un alto peligro sísmico, la incorporación de los principios del diseño sismorresistente y el cumplimiento de las normativas locales establecidas en el **Código Ecuatoriano de la Construcción (NEC-SE-DS, 2015)** son mandatorios. Esta normativa define los parámetros sísmicos de diseño para las diferentes zonas del país, incluyendo los espectros de respuesta sísmica elástica, los factores de importancia según el uso de la edificación y los coeficientes sísmicos que deben aplicarse en el análisis.

El análisis sísmico debe considerar la respuesta dinámica de la estructura ante la acción del movimiento del suelo, utilizando métodos como el análisis estático equivalente para estructuras regulares y de baja altura, o métodos dinámicos más sofisticados como el análisis modal espectral o el análisis tiempo-historia para estructuras irregulares o de mayor complejidad (Chopra, 2017; Kramer, 1996).

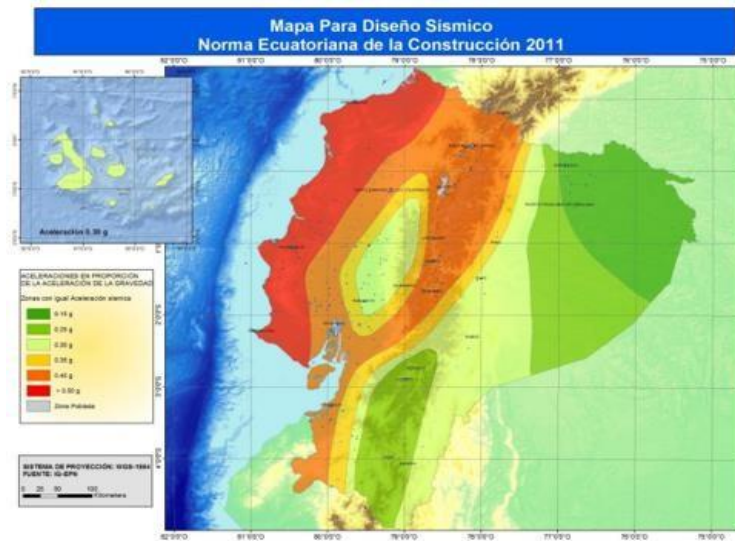


Ilustración 7: mapa zona sísmica Ecuador (Fuente: NEC peligro sísmico, 2015)

11. Esquema de un sismo

11.1 El Foco o Hipocentro

Es el punto exacto donde todo empieza. Es como el epicentro de una explosión, pero bajo tierra, el lugar profundo donde las rocas finalmente ceden y se produce el primer movimiento. Aquí es donde se gesta toda la energía liberada (Chopra, 2017).

11.2 El Epicentro

Este es el punto más conocido y, a menudo, el más temido. Es la ubicación en la superficie terrestre que está justo encima del foco. Generalmente, es aquí donde sentimos el terremoto con mayor intensidad y donde, lamentablemente, los daños suelen ser más evidentes (Kramer, 1996).

11.3 La Falla Geológica

Es una fractura a lo largo de la cual se deslizan las grandes piezas de la Tierra, conocidas como placas tectónicas. Cuando estas placas se mueven y la tensión acumulada se libera, es a través de estas fallas que se desencadena el sismo (Udías, A. & Muñoz, 1999).

Ecuador, por ejemplo, está atravesado por varias fallas geológicas activas debido a su ubicación en el Cinturón de Fuego del Pacífico (Alvarado, P, 2011).

11.4 Las Ondas Sísmicas

Una vez que la energía se libera, no se queda quieta; viaja y se dispersa en todas direcciones como si fueran ondas en el agua. Tenemos dos tipos principales:

11.4.1 Ondas de Cuerpo

Estas viajan por el interior del planeta. Las primeras en llegar son las Ondas P (primarias), que comprimen y estiran el terreno, y luego vienen las Ondas S (secundarias), que sacuden el suelo de lado a lado.

11.4.2 Ondas Superficiales

Estas son las que se desplazan por la superficie de la Tierra y, aunque son más lentas, suelen ser las más destructivas para nuestras construcciones porque provocan un movimiento de mayor amplitud y duración (Chopra, 2017).



Ilustración 8: Fallas Geológicas

12. Tipos de fallas

12.1 Fallas Normales

12.1.1 ¿Cómo se ven?

Es cuando el suelo se está estirando; un bloque de tierra (el que está "arriba" en la fractura) se desliza hacia abajo con respecto al otro. Esto sucede por fuerzas de tensión.

12.1.2 En Ecuador

Aunque no son las más comunes en la Cordillera, podemos encontrarlas en zonas donde el terreno se está "hundiendo" localmente, como en algunos valles interandinos.

12.2 Fallas Inversas (o Compresionales)

12.2.1 ¿Cómo se ven?

Justo lo contrario a las normales. Aquí, el bloque de tierra "de arriba" se empuja hacia arriba sobre el otro. Esto es producto de la compresión, lo que hace que la corteza se acorte. Si la inclinación es muy suave, se les llama cabalgamientos.

12.2.2 En Ecuador

La presión de la placa de Nazca es enorme, por eso son tan frecuentes en los Andes. El Sistema de Fallas de Quito es un ejemplo clásico: un grupo de fallas inversas que no solo levantaron la ciudad, sino que también son responsables de su actividad sísmica, (GK City, 2021).

12.3 Fallas de Rumbo (o de Desgarre/Transformantes):

12.3.1 ¿Cómo se ven?

En este caso, el movimiento es principalmente horizontal. Los bloques se deslizan lateralmente uno al lado del otro, sin que uno suba o baje significativamente.

12.3.2 En Ecuador

Son muy relevantes. El Sistema Dextral Mayor es un gran ejemplo, incluyendo fallas como las de Guayaquil, Pallatanga, Riobamba, Bucay y El Chaco que se extienden hacia Colombia (Scribd, s.f. a; Scribd, s.f. b). La Falla de Pallatanga, por ejemplo, ha estado involucrada en terremotos históricos importantes (Scribd, s.f. b).

12.4 Fallas Oblicuas:

12.4.1 ¿Cómo se ven?

Son un poco de todo. Combinan movimientos tanto verticales como horizontales, ya que son el resultado de fuerzas que actúan en varias direcciones.

12.4.2 En Ecuador

Dada la complejidad tectónica de nuestro país, es común encontrar este tipo de fallas que muestran una mezcla de compresión y deslizamiento lateral.

13. ¿Qué tipos de ondas generan los sismos?

Cuando la Tierra se sacude, la energía que se libera no lo hace de cualquier manera; viaja en forma de ondas sísmicas, que son como las olas que se forman en el agua, pero mucho más complejas y potentes. Entender estos diferentes tipos de ondas es clave para saber cómo nos afectan los terremotos.

13.1 Ondas que viajan por dentro de la Tierra (Ondas de Cuerpo)

Estas son las primeras en aparecer y se propagan a través del interior de nuestro planeta, desde el punto exacto donde se originó el sismo hasta la superficie.

13.1.1 Ondas P (Primarias o de Compresión)

Son las "rápidas". Llegan primero a cualquier sensor sísmico. Son como un resorte que se estira y se comprime en la misma dirección en la que avanza la energía; así mueven la roca. Piensa en el sonido, que viaja de forma similar (CK-12 Foundation, s.f.)

Tienen una capacidad única: pueden atravesar cualquier tipo de material, ya sea sólido, líquido o gas. Esto les permite, por ejemplo, cruzar el núcleo líquido de la Tierra (Funvisis, 2018).

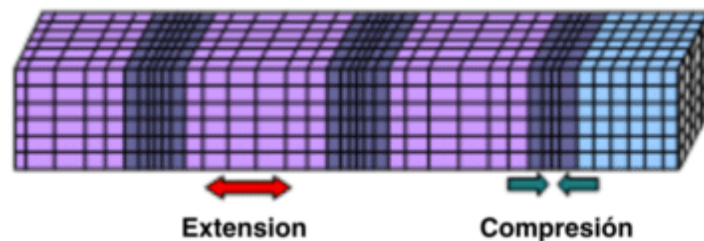


Ilustración 9: Ondas P (Autor: Miguel Saez)

13.1.2 Ondas S (Secundarias o de Cizallamiento):

Son las "lentas". Llegan después de las Ondas P. Su movimiento es como el de una cuerda que agitas hacia arriba y abajo, o de lado a lado; la roca se desplaza perpendicularmente a la dirección en que la onda avanza (CK-12 Foundation, s.f.).

A diferencia de las P, las Ondas S solo pueden propagarse a través de materiales sólidos. No logran viajar por líquidos o gases, y esta particularidad ha sido crucial para que los científicos entiendan la composición interna de la Tierra (Wikipedia, s.f.b).

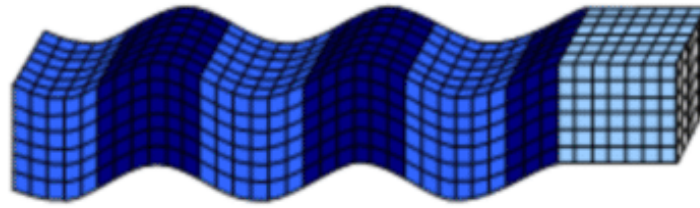


Ilustración 10: Ondas S (Autor: Miguel Saez)

13.2 Ondas que viajan por la superficie de la Tierra (Ondas Superficiales)

Estas ondas se forman cuando las ondas de cuerpo alcanzan la superficie. Son más lentas que las internas, pero suelen ser las que causan los mayores destrozos porque concentran su energía en la parte más superficial del terreno y sus movimientos son más amplios (Geoxnet, s.f.; CK-12 Foundation, s.f.).

13.2.1 Ondas Love (Ondas L):

Mueven el suelo solo en sentido horizontal, de un lado a otro, como una serpiente que se arrastra. No causan movimiento vertical (StudySmarter, s.f.; Funvisis, 2018).

Son particularmente destructivas para las bases de los edificios y las estructuras que no están preparadas para movimientos laterales intensos.

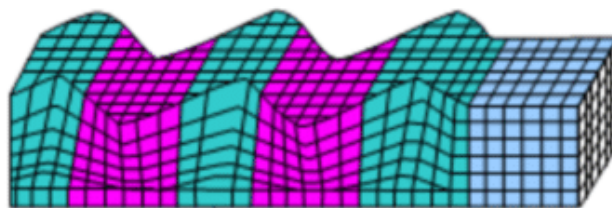


Ilustración 11: Ondas Love (Autor: Miguel Saez)

13.2.2 Ondas Rayleigh (Ondas R):

Estas son las que producen un movimiento más complejo, como las olas del mar.

Hacen que el suelo se mueva en un círculo, combinando movimientos verticales y horizontales (Wikipedia, s.f.c; SEG Wiki, s.f.).

Son extremadamente dañinas. Al "enrollar" el suelo, pueden hacer que las cosas se caigan y que las construcciones se colapsen con mayor facilidad.

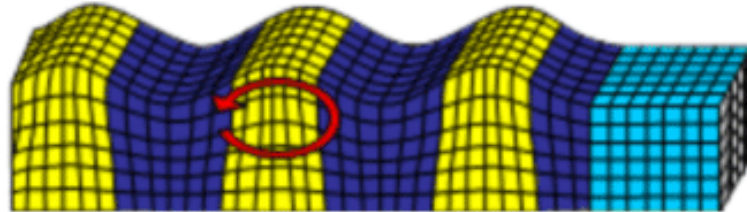


Ilustración 12: Ondas Rayleigh (Autor: Miguel Saez)

14. Disipación de energía

Cuando pensamos en galpones para almacenar materiales, en lugares como Guayaquil, la primera imagen que nos viene a la cabeza es la de grandes espacios diáfanos, repletos de mercancía y maquinaria. Pero ¿qué pasa si la tierra tiembla? Aquí es donde entran en juego los sistemas de disipación de energía, una solución ingenieril inteligente que va mucho más allá de simplemente cumplir con el código de construcción.

Es cuando un sismo inyecta una enorme cantidad de energía a un edificio. Si no hay nada que la controle, toda esa fuerza golpeará directamente la estructura principal del galpón (sus columnas, vigas, techos), provocando deformaciones excesivas y, en el peor de los casos, un colapso. Los disipadores de energía actúan como "válvulas de escape" sísmicas. Son dispositivos diseñados específicamente para absorber y dispersar una parte significativa de esa energía, desviándola de los elementos vitales de la estructura.

15. Cargas en la estructura

15.1 Cargas Muertas (D)

El peso propio de todos los elementos que componen la estructura, incluyendo los

perfiles de acero, la cubierta (láminas metálicas, paneles aislantes), los cerramientos laterales, las instalaciones permanentes (iluminación, sistemas contra incendios) y cualquier otro elemento adherido de forma permanente (ASCE 7-16, 2017).

15.2 Cargas Vivas (L)

Las cargas variables originadas por el uso previsto de la estructura, que en este caso corresponden principalmente al peso de los materiales de construcción que se almacenarán en el galpón. La correcta estimación de estas cargas, considerando la densidad, la altura máxima de apilamiento, los métodos de almacenamiento (estanterías, apilamiento directo) y la posible circulación de equipos de manipulación de materiales (montacargas, grúas), es fundamental para garantizar la seguridad estructural (ASCE 7-16, 2017).

15.3 Cargas de Viento (W)

Las presiones y succiones generadas por la acción del viento sobre las superficies exteriores de la estructura, las cuales dependen de la velocidad del viento de diseño para la zona de Guayaquil, la forma geométrica del galpón (dimensiones, pendiente de la cubierta), su orientación con respecto a la dirección predominante del viento y la rugosidad del terreno circundante (NEC-SE-VI, 2015; ASCE 7-16, 2017; Holmes, 2015).

Cuando diseñamos una estructura en Ecuador, como un galpón aquí en Guayaquil, uno de los factores críticos que no podemos pasar por alto son las fuerzas del viento. La Norma Ecuatoriana de la Construcción, específicamente su capítulo NEC-SE-CG (Cargas No Sísmicas - Cargas de Viento), establece pautas claras para asegurar que nuestros edificios puedan resistir los embates del viento. Aquí te explico dos puntos esenciales que contempla la norma:

15.3.1 La Velocidad Base del Viento para Diseño:

Para cualquier proyecto, especialmente para las partes bajas de la edificación (hasta los 10 metros de altura), la velocidad del viento que debemos considerar en nuestros cálculos de diseño debe ser la que corresponda a la zona donde se ubica el galpón. Sin embargo, hay una regla de oro: esa velocidad nunca debe ser inferior a 28 metros por segundo (o lo que es lo mismo, 100 kilómetros por hora).

Esto quiere decir que, incluso si la zona se considera de vientos "suaves" según los mapas, el diseño debe asumir una velocidad mínima garantizada para asegurar la seguridad y la robustez de la estructura (NEC-SE-CG, Capítulo Cargas de Viento, Sección 2.1.1).

15.3.2 Ajuste de la Velocidad del Viento según el Entorno y la Altura

La velocidad del viento que tomamos como punto de partida (esa "velocidad instantánea máxima") no es la que aplicamos directamente en el diseño final. La norma nos pide que la multipliquemos por un factor de corrección, un coeficiente (σ). Este factor es crucial porque tiene en cuenta dos aspectos muy importantes del sitio:

- **La altura de la edificación**

No es lo mismo el viento que golpea a ras de suelo que el que azota la parte más alta de un techo de galpón. A mayor altura, generalmente mayor exposición y velocidad.

- **Las características del entorno**

Un galpón rodeado de edificios altos o en una zona urbana densa no experimentará el mismo viento que uno situado en un campo abierto o cerca de la costa. La topografía, la rugosidad del terreno y la presencia de otras construcciones influyen significativamente en cómo el viento interactúa con nuestra edificación (NEC-SE-CG, Capítulo Cargas de Viento, Sección 2.2). Este coeficiente nos permite refinar la velocidad de diseño para que sea más

realista y específica para cada proyecto.

$$V_b = v * \sigma$$

Donde:

V_b = Velocidad del viento corregida en m/s.

V = La velocidad máxima instantánea del viento en metros por segundo registrada a una altura de 10 metros sobre el suelo.

σ = Coeficiente de corrección.

15.3.3 Las características topográficas se reparten en 3 categorías:

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

Categoría B (obstrucción baja): edificios en zonas suburbanas con edificación de baja altura, promedio hasta 10 m.

Categoría C (zona edificada): zonas urbanas con edificios de altura (NEC, 2015).

Altura (m)	Sin observación Categoría A	Obstrucción baja Categoría B	Zona edificada Categoría C
5	0,91	86,00	0,80
10	1,00	0,90	0,80
20	1,06	0,97	0,88
40	1,14	1,03	0,96
80	1,21	1,14	1,06
150	1,28	1,22	1,15

Tabla 1: Coeficiente de corrección σ (Fuente: NEC, 2015)

Para asegurar que estos elementos puedan soportar esa fuerza sin ceder, necesitamos

determinar una presión de cálculo (P). Este valor es fundamental para evaluar la resistencia necesaria de cualquier componente. La norma nos proporciona una fórmula específica para llegar a este valor de presión, asegurando que nuestros diseños consideren de manera adecuada el impacto que el viento ejercerá sobre la envolvente del Galpón. (NEC, 2015).

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

Dónde:

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

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

c_e : Coeficiente de entorno/altura.

c_f : Coeficiente de forma.

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	
Arcos y cubiertas cilíndricas con un ángulo de inclinación que no exceda los 45°	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

Tabla 2: Determinación de factor de forma c_e (Fuente: NEC, 2015)

(+) indica presión.

(-) indica succión.

15.3.4 Determinación simplificada de C_f

Se podrá utilizar los siguientes valores para contener de forma sencilla para determinar el coeficiente 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 exterior por su parte inferior, así como ventanas interiores (en el caso de que se dispongan dobles ventanas).	0,3
Elementos en fachas protegidas en edificios alineados en calles rectas, a una distancia de la esquina, mayo que la altura de la edificación en bloques exentos en parte central de una fachada, de longitud mayor que el doble de altura o en patios abiertos a fachadas o patios de manzana.	0,8
Elementos en fachadas expuestas en edificaciones aisladas o fachadas de longitud menores que el doble altura de la altura	1,3
Elementos en fachadas muy expuestas, situados al borde de la orilla de lagos o de mar, próximos a escarpaduras, laderas de fuerte inclinación, desfiladeros, y otros.	1,5

Tabla 3: Determinación simplificada del factor de forma c_f (Fuente: NEC, 2015)

15.3.5 Barlovento (La Cara que Recibe el Empuje):

Este es el costado del galpón que está directamente de cara al viento. Es la superficie que siente el golpe frontal de la corriente de aire (RAE, s.f.a).

Sobre esta cara, el viento ejerce una presión positiva. Es como si una mano invisible estuviera "empujando" la pared o la sección del techo en esa dirección, tratando de meterla hacia adentro del galpón.

Para quienes diseñamos, esto significa que los elementos de esta fachada —desde los paneles de cierre hasta las columnas y las vigas que los soportan— deben ser lo suficientemente robustos para resistir esa fuerza de empuje constante. Las puertas y ventanas en este lado también necesitan una resistencia especial a la presión.

15.3.6 El Lado de Sotavento (La Cara que Siente la Succión):

Este es el costado del galpón que se encuentra opuesto a la dirección del viento, es

decir, el lado que queda "a resguardo" o "a favor" del viento una vez que este ha pasado el edificio (RAE, s.f.b).

Aunque parezca que aquí el viento no hace fuerza, en realidad, al rodear el galpón, el aire crea un efecto de succión o presión negativa. Es como si el viento estuviera "jalando" la pared o la cubierta hacia afuera, intentando arrancarla de la estructura.

Esta fuerza de succión es tan crítica como la de presión, y a veces incluso más peligrosa, especialmente en las esquinas o en ciertas partes del techo. Los elementos de esta fachada deben estar diseñados para resistir esa tendencia a ser "aspirados" hacia el exterior.

15.4 Cargas sísmicas

En un país como Ecuador, donde la actividad sísmica es una constante, cada construcción debe ser un bastión de seguridad. La Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC 2015) organiza nuestro territorio en seis diferentes zonas sísmicas. Y un punto importante a destacar es en la ciudad de Guayaquil, se encuentran clasificados dentro de las áreas de alto riesgo sísmico. Esto nos obliga a ser especialmente meticulosos en el diseño.

Por ello, cuando nos enfrentamos al diseño sismorresistente de un galpón metálico en la vía Daule, recurrimos directamente a las directrices de la NEC-SE-DE-Peligro-Sísmico. Esta sección de la normativa no es una sugerencia, sino la guía fundamental que establece los requisitos mínimos para los cálculos y el diseño que aseguren que nuestra estructura resista un terremoto.

El proceso de análisis sísmico para este tipo de estructuras metálicas es complejo y detallado. No se trata solo de aplicar una fórmula; se deben tomar en cuenta numerosos aspectos que influyen directamente en cómo se comportará el galpón ante un temblor. Entre los más críticos, se encuentran:

15.4.1 El comportamiento dinámico inherente a la estructura metálica

Las estructuras de acero tienen una manera particular de vibrar y deformarse bajo cargas sísmicas, lo cual debe ser modelado y analizado con precisión.

Precisamente, la Norma Ecuatoriana de la Construcción, en su apartado NEC-SE-DE-Peligro-Sísmico, nos proporciona la ecuación matemática que utilizamos para calcular el cortante basal de diseño de la estructura. Esta fórmula es la base para determinar la fuerza sísmica horizontal total que el edificio debe ser capaz de soportar en su base.

$$V = \eta * Z * Fa * I * W$$

Donde:

V= Cortante basal total de diseño.

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

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

Fa = Coeficiente de amplificación de suelo en la zona de periodo corto
Amplificación las ordenadas del espectro elástico de respuesta de aceleraciones para diseño en roca, considerando los efectos de sitio.

I= Coeficiente de importancia.

W= Carga sísmica reactiva.

15.4.2 Categoría del edificio y coeficiente importante

Al momento de diseñar cualquier edificación en Ecuador, un paso fundamental es determinar su nivel de importancia. La Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC 2015)

nos ayuda en esto, clasificando las estructuras en diversas categorías.

hay ciertas edificaciones que, por su función o por la cantidad de personas que albergan, deben seguir operando o sufrir el menor daño posible, tanto durante como después de un terremoto. Como en este caso el galpón será destinado para almacenamiento de materiales de construcción por eso se debe asegurar que estas estructuras vitales sean diseñadas con una robustez adicional (NEC, 2015).

Coefficiente I	Categoría	Tipo de uso, destino e importancia
1,5	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.
1,3	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.
1,0	Otras estructuras	Todas las estructuras de edificación y otras que no clasifican dentro de las categorías anteriores

Tabla 4: Categoría de edificio y coeficiente de importancia (Fuente: NEC, 2015)

En el diseño sismorresistente, se introduce un concepto clave: el factor de reducción de resistencia sísmica, denotado como "R". Este factor nos permite, de alguna manera, "disminuir" las fuerzas sísmicas de diseño que una estructura debería soportar si se comportara de forma puramente elástica.

Sin embargo, esta reducción no es gratuita. Solo se puede aplicar cuando el diseño de la estructura garantiza que esta posee la resistencia y la ductilidad adecuadas. Esto significa que el edificio está preparado para deformarse de forma controlada (sin colapsar) y absorber parte de la energía del terremoto a través de esa deformación plástica. Es como si la estructura tuviera la capacidad de "doblarse sin romperse" en lugar de simplemente

oponerse rígidamente a la fuerza. Para saber qué valor de "R" utilizar, las normativas nos proporcionan tablas específicas que corresponden a cada tipo de sistema estructural y su capacidad de disipar energía (NEC-SE-DS; PELIGRO SÍSMICO, 2014).

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	2
Torres de enfriamiento	3.5
Depósitos elevados soportados por una pila o por apoyos no arriostrados 3	3
Letreros y carteleras	3.5
Estructuras para vallas publicitarias y monumentos	2
Otras estructuras no descritas en este documento	2

Tabla 5: Valores de coeficiente de reducción de respuesta estructural R (Fuente: NEC, 2015)

15.4.3 Espectro elástico horizontal de diseño en aceleraciones

El espectro de respuesta elástico (S_a) es una herramienta esencial que nos permite evaluar cómo una estructura se comportará durante un sismo, basándose en sus periodos de vibración. Su valor no es estático; también varía según el tipo de suelo donde se asienta el edificio y un factor clave, el "Z", que se detalla en otra sección de la norma (NEC-SE-DS, PELIGRO SÍSMICO, 2014). En esencia, nos ayuda a predecir la aceleración que la estructura experimentaría.

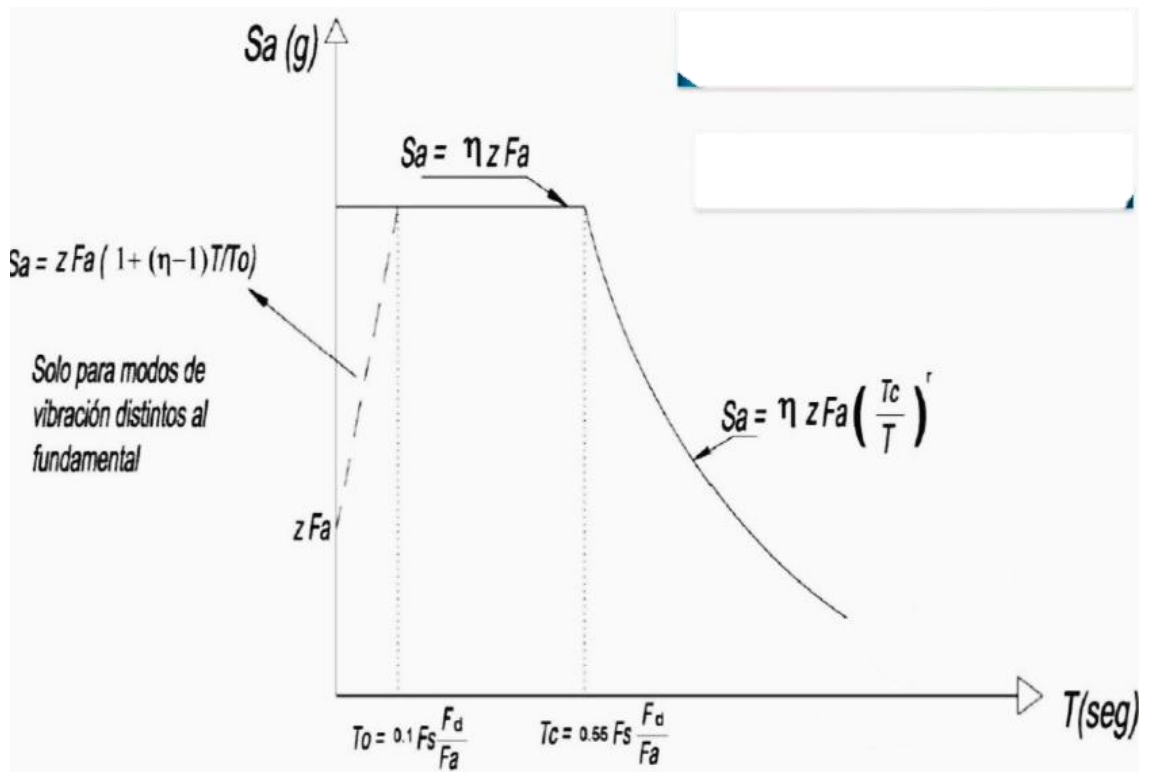


Tabla 6: Espectro elástico de diseño en aceleraciones (Fuente: NEC, 2015)

$$Sa = \eta Z Fa \text{ para } 0 \leq T \leq Tc$$

$$Sa = \eta Z Fa (Tc/T)^r \text{ para } T > Tc$$

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

r = Factor usado en el espectro de diseño elástico, cuyos valores dependen de la ubicación geográfica del proyecto.

$r = 1$ para todos los tipos de suelos, con excepción del 1 tipo de suelo que es el tipo E.

$r = 1.5$ para tipo de suelo E.

Sa = Espectro de respuesta elástico de aceleraciones.

T = Período fundamental de vibración de la estructura.

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 .

Según la normativa, el valor de η varía según la región del Ecuador, adaptando los siguientes valores.

$\eta = 1.80$: Provincias de la Costa (excepto Esmeraldas),

$\eta = 2.48$: Provincias de la Sierra, Esmeraldas y Galápagos

$\eta = 2.60$: Provincias del Oriente

15.4.4 El periodo fundamental de vibración T

El periodo fundamental de vibración (T) de una estructura es un dato crucial para determinar el valor del espectro de respuesta elástico (S_a). Piensa en él como el "ritmo natural" de oscilación de un edificio. Conocer este periodo nos da una estimación adecuada para calcular las fuerzas sísmicas que actuarán sobre la estructura, lo que a su vez nos permite optimizar su diseño para que sea seguro y eficiente. Según la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC 2015), existen dos métodos para estimar este valor de T . De estos, el "método 1" suele ser el más práctico y comúnmente utilizado en la ingeniería. Es a través de este método que la NEC-SE-DS (PELIGRO SÍSMICO, 2014) nos proporciona la ecuación específica para calcular.

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

Dónde:

C_t = Coeficiente que depende del tipo de estructura.

h_n = Altura máxima de la estructura y de número de pisos, medida desde la base del edificio, en metros.

T = Período de vibración el tipo de estructura.

Tipo de estructura	C_t	α
<i>Estructuras de acero</i>		
Sin arriostramientos	0.072	0.8
Con arriostramientos	0.073	0.75
<i>Pórticos especiales de hormigón armado</i>		
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

Tabla 7: Tipo de estructura (Fuente: NEC, 2015)

El período límite de vibración T_0 en el espectro sísmico de aceleraciones nos dará lo que será la duración característica del sismo y constituye en la siguiente formula.

$$T_0 = 0,10 * F_s * F_d / F_a$$

F_a = Coeficiente de amplificación de suelo en la zona en un período cortó.

F_d = Coeficiente de amplificación de suelo. Amplifica las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos para diseño en roca.

F_s = Coeficiente de amplificación de suelo. Considera el comportamiento no lineal de los suelos.

15.4.5 Factor de amplificación de las ordenadas en el espectro de respuesta elástico

En la siguiente tabla se muestra los valores correspondientes de F_a , que actúa como un factor de amplificación de las ordenadas en el espectro de respuesta elástico.

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y Factor Fa					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.4	≥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	1.23	1.23	1.2	1.18
D	1.6	1.4	1.25	1.25	1.2	1.12
E	1.8	1.4	1.25	1.1	1.0	0.85
F	Se clasificará según el tipo de perfil del suelo de la tabla 7.					

Tabla 8: Tipo de suelo y factores de sitio Fa (Fuente: NEC, 2015)

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y Factor Fd					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.4	≥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	Se clasificará según el tipo de perfil del suelo de la tabla 7.					

Tabla 9: Tipo de suelo y factores del comportamiento inelástico de subsuelo (Fuente: NEC, 2015)

A continuación, se presenta la tabla de F_s , que incorpora el comportamiento no lineal de los tipos de suelos y la degradación del período del sitio, factores que dependen de la intensidad y el contenido de frecuencia de la excitación. (NEC-SE-DS, PELIGRO SÍSMICO, 2014)

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y Factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.4	≥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	Se clasificará según el tipo de perfil del suelo de la tabla 7.					

Tabla 10: Tipo de suelo y factores del comportamiento inelástico de subsuelo (Fuente: NEC, 2015)

El período límite de vibración T_c en el espectro sísmico de aceleraciones, que representa el sismo del diseño, se define de la siguiente forma en la ecuación.

$$T_c = 0,55 F_s * F_s/F_a$$

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_s = Coeficiente de amplificación de suelo. Se considera el comportamiento no lineal de los tipos de suelos, la degradación del período del sitio que depende de la intensidad y contenido de frecuencia de la excitación sísmica y también los desplazamientos relativos del suelo.

T_c = Es el período límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño.

15.5 Cortante basal de diseño

Es la suma de todas las fuerzas laterales totales consideradas en el diseño sísmico de la estructura, y se resuelve con la siguiente ecuación. (NEC-SE-DS, PELIGRO SÍSMICO, 2014)

$$V = \frac{I * S_a(T_a)}{R * \phi_P * \phi_E}$$

$S_a(T_a)$ = Espectro de diseño en aceleración.

ϕ_P = Coeficientes de configuración en planta y elevación.

ϕ_E = Coeficientes de configuración en planta y elevación.

I = Coeficiente de importancia.

R = Factor de reducción de resistencia sísmica.

V = Cortante basal total de diseño.

W = Carga sísmica reactiva.

T_a = Período de vibración.

15.6 Deriva de piso

Este desplazamiento o deriva se calcula restando el desplazamiento del extremo inferior del piso al del extremo superior. (NEC-SE-DS, PELIGRO SÍSMICO , 2014)

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

Tabla 11: Valores de Δm máximos expresados como fracción de altura de piso (NEC, 2015)

16. Definición de combinaciones de carga en la estructura

A continuación, está la tabla con las combinaciones básicas que debemos usar ala realizar nuestro proyecto.

Combinación de carga	Ecuación	Carga primaria
$U = 1.4D$	(5.3.1a)	D
$U = 1.2D + 1.6L + 0.5(L, \text{ ó } S \text{ ó } R)$	(5.3.1b)	L
$U = 1.2D + 1.6(L, \text{ ó } S \text{ ó } R) + (1.0L \text{ ó } 0.5W)$	(5.3.1c)	$L, \text{ ó } S \text{ ó } R$
$U = 1.2D + 1.0W + 1.0L + 0.5(L, \text{ ó } S \text{ ó } R)$	(5.3.1d)	W
$U = 1.2D + 1.0E + 1.0L + 0.2S$	(5.3.1e)	E
$U = 0.9D + 1.0W$	(5.3.1f)	W
$U = 0.9D + 1.0E$	(5.3.1g)	E

Tabla 12: Combinación de cargas básicas (NEC, 2015)

17. Normativas

Para diseñar y analizar un galpón metálico que sirva para almacenar materiales de construcción en la Vía Daule, Guayaquil, y que además sea resistente a los sismos, nos basamos en un conjunto de normativas esenciales. Estas guías, tanto locales como internacionales, son la columna vertebral que asegura la seguridad y durabilidad de la estructura.

17.1 Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC 2015)

Esta es la biblia de la construcción en nuestro país, de cumplimiento obligatorio. Dentro de ella, varios capítulos son directamente aplicables a nuestro proyecto:

17.1.1 NEC-SE-DS (Diseño Sismo Resistente)

Este capítulo es crucial. Nos proporciona los parámetros sísmicos específicos para la zona de Guayaquil, la clasificación de los tipos de suelo y las metodologías para calcular las fuerzas que un terremoto ejercerá sobre el galpón. Es el punto de partida para que nuestra estructura "baile" bien con el sismo (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2015a).

17.1.2 NEC-SE-ACERO (Estructuras de Acero)

Aquí encontramos las directrices específicas para el diseño, dimensionamiento y detallado de todos los elementos de acero del galpón: columnas, vigas, cerchas, arriostramientos y sus conexiones. Nos asegura que el acero se comporte como esperamos (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2015b).

17.1.3 NEC-SE-CG (Cargas No Sísmicas - Cargas de Viento y Cargas Vivas)

Este apartado es vital para determinar todas las cargas que no provienen de un sismo. Incluye el peso propio de la estructura y los materiales (cargas muertas), el peso de los materiales a almacenar (cargas vivas, que en un galpón de almacenamiento son muy importantes), y cómo calcular las fuerzas del viento sobre el galpón, considerando su ubicación y forma (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2015c).

17.1.4 NEC-SE-CIM

Nos guía en la investigación del terreno en la Vía Daule y en el diseño del galpón. La base del galpón debe ser capaz de transmitir todas las cargas, incluidas las sísmicas, de forma segura al suelo (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2015d).

17.2 American Institute of Steel Construction (AISC)

Aunque tenemos nuestra norma local, las especificaciones del AISC son un referente internacional de primer nivel para el diseño de estructuras de acero, y se usan para complementar y profundizar en ciertos aspectos:

17.2.1 ANSI/AISC 360-16 (Specification for Structural Steel Buildings)

Esta es la especificación general para el diseño de elementos y conexiones de acero

estructural. Nos da las bases para asegurar la resistencia y estabilidad de cada componente (American Institute of Steel Construction, 2016a).

17.2.2 ANSI/AISC 341-16 (Seismic Provisions for Structural Steel Buildings)

Dada la alta sismicidad de Guayaquil, esta norma es fundamental. Proporciona requisitos adicionales y más estrictos para el diseño de conexiones y elementos de acero en sistemas sismorresistentes, asegurando que la estructura tenga la ductilidad necesaria para disipar energía durante un terremoto (American Institute of Steel Construction, 2016b).

17.3 American Society of Civil Engineers (ASCE):

17.3.1 ASCE/SEI 7-16 (Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures)

Esta norma es un estándar global para la determinación de cargas. La usamos para complementar y, en algunos casos, verificar las cargas muertas, vivas y de viento, asegurando que no se nos escape ningún detalle en la cuantificación de las fuerzas que el galpón debe soportar (American Society of Civil Engineers, 2017).

CAPITULO III

18. Marco Metodológico

19. Tipo de Investigación

El enfoque se centra en la recopilación y el análisis numérico de datos para evaluar el comportamiento estructural del galpón con estructura metálica. Se empleará el software especializado de análisis y diseño estructural Robot Structural Analysis Professional (Autodesk) como herramienta principal para modelar, analizar y dimensionar los elementos estructurales bajo la acción de diversas cargas (Engineering, 2024).

Se aplicarán principios de la mecánica estructural y modelos matemáticos para determinar la resistencia, la estabilidad y la seguridad de la estructura ante las cargas actuantes. La investigación es aplicada o proyectiva ya que nuestro objetivo primordial es generar una propuesta de diseño estructural detallada para un galpón destinado al almacenamiento de materiales de construcción, ubicado estratégicamente en la Vía Daule, Guayaquil.

19.1 Enfoque de la Investigación

El enfoque principal de esta investigación es el análisis y diseño estructural. Se abordará de manera sistemática la evaluación de las cargas (muertas, vivas, de viento y sísmicas) que actuarán sobre el galpón, la modelación estructural mediante software especializado, el análisis de la respuesta de la estructura ante estas cargas y el dimensionamiento de los elementos de acero para garantizar su integridad y funcionalidad a lo largo de su vida útil. Se integrarán los requerimientos normativos locales e internacionales para asegurar un diseño que cumpla con los estándares de seguridad y eficiencia.

19.2 Alcance de la Investigación

El alcance de esta investigación abarca el diseño estructural completo de un galpón con estructura metálica para el almacenamiento de materiales de construcción en la Vía Daule, Guayaquil. Esto incluye:

La definición de la configuración geométrica general del galpón.

La identificación, cuantificación y aplicación de las cargas actuantes (muertas, vivas y sísmicas) según la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC) y estándares internacionales como ASCE 7-16.

La creación de un modelo estructural tridimensional del galpón utilizando el

software Robot Structural Analysis Professional (Autodesk).

El análisis estructural del modelo bajo diversas combinaciones de carga, incluyendo el análisis sísmico espectral para evaluar la respuesta ante movimientos telúricos.

El diseño y dimensionamiento de los elementos estructurales de acero (vigas, columnas, cerchas, arriostramientos) según las especificaciones del American Institute of Steel Construction (AISC 360-16 y AISC 341-16 para consideraciones sísmicas) y la normativa NEC-SE-ACERO.

La elaboración de planos estructurales preliminares que representen la concepción del diseño.

20. Metodología de Recolección de Datos

Especificaciones del Galpón: Se definirán las especificaciones del galpón en función de las necesidades de almacenamiento de materiales de construcción, considerando las dimensiones requeridas, la distribución interna y los posibles requerimientos operativos.

En este caso las medidas del terreno ubicado en la zona de villa club Cantón Daule donde está previsto hacer el predimensionamiento es de 40 m x 30 m. Nuestra propuesta de medida para el galpón destinado para almacenamiento de materiales sería un galpón de 25 m x 15 m.

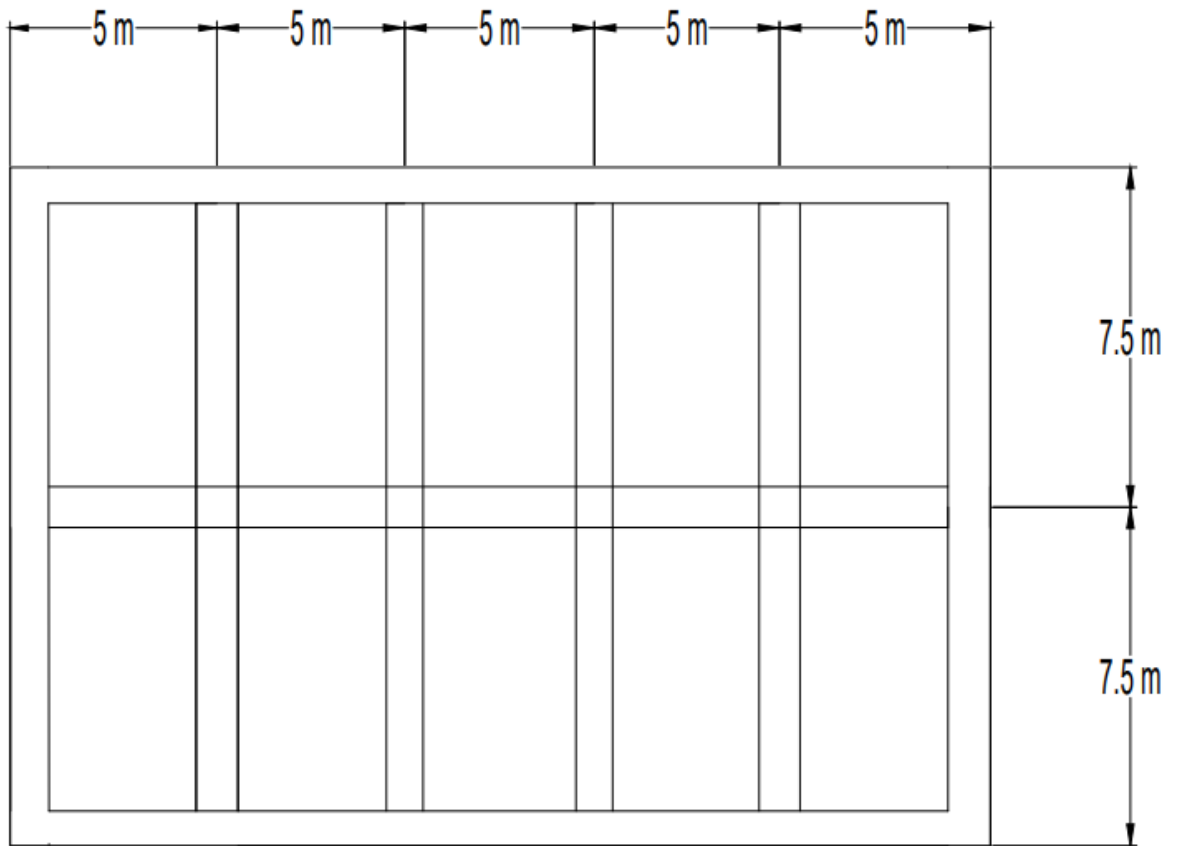


Ilustración 13: Dimensiones del galpón (Fuente: Elaborada por los autores)

20.1 Herramientas de Software

20.1.1 Robot Structural Analysis Professional (Autodesk)

Esta herramienta fue un pilar en todo nuestro proceso. Comenzamos modelando las estructuras completas: las columnas, las vigas, las cerchas... cada detalle pudimos recrearlo digitalmente con gran facilidad.

Luego, pasamos a la fase de análisis. Tuvimos la capacidad de simular cómo los galpones se comportarían bajo diferentes escenarios: el peso de la cubierta, las cargas sísmicas que son lo más crucial para garantizar la seguridad ya que si resiste las cargas sísmicas resiste las cargas de viento. Robot Structural Analysis Professional (Autodesk) nos proporcionó resultados muy detallados sobre los esfuerzos y deformaciones, lo que nos permitió tomar decisiones informadas en cada etapa del diseño.

Una de las características que más nos ayudaron fue su capacidad para el diseño integrado. Pudimos dimensionar los elementos de acero directamente en el programa, asegurándonos de que cumplieran con las normativas vigentes, lo cual optimizó la cantidad de material que se necesitaría. Además, la generación automática de cargas, como las de viento y nieve, nos ahorró muchísimo tiempo. (Autodesk, 2026).



Ilustración 14: Robot Structural Analysis Professional (Fuente: Autodesk. S.f.)

20.1.2 Microsoft Excel

Se empleará para la organización y el análisis de datos, la realización de cálculos complementarios y la generación de tablas y gráficos para la presentación de resultados (Microsoft, 2024).

20.1.3 Microsoft Word

Se utilizará para la elaboración del informe de tesis, la documentación del proceso de diseño y la presentación final del proyecto (Enciclopedia Concepto, 2024).

21. Modelado de la estructura en Robot Structural Analysis Professional (Autodesk)

Comenzamos abriendo el software que este caso será Robot Structural Analysis Professional (Autodesk) y con la ayuda del asistente para estructuras de tipo pórtico en la sección principal de naves escogemos las dimensiones del galpón, separación de pórticos y la separación.

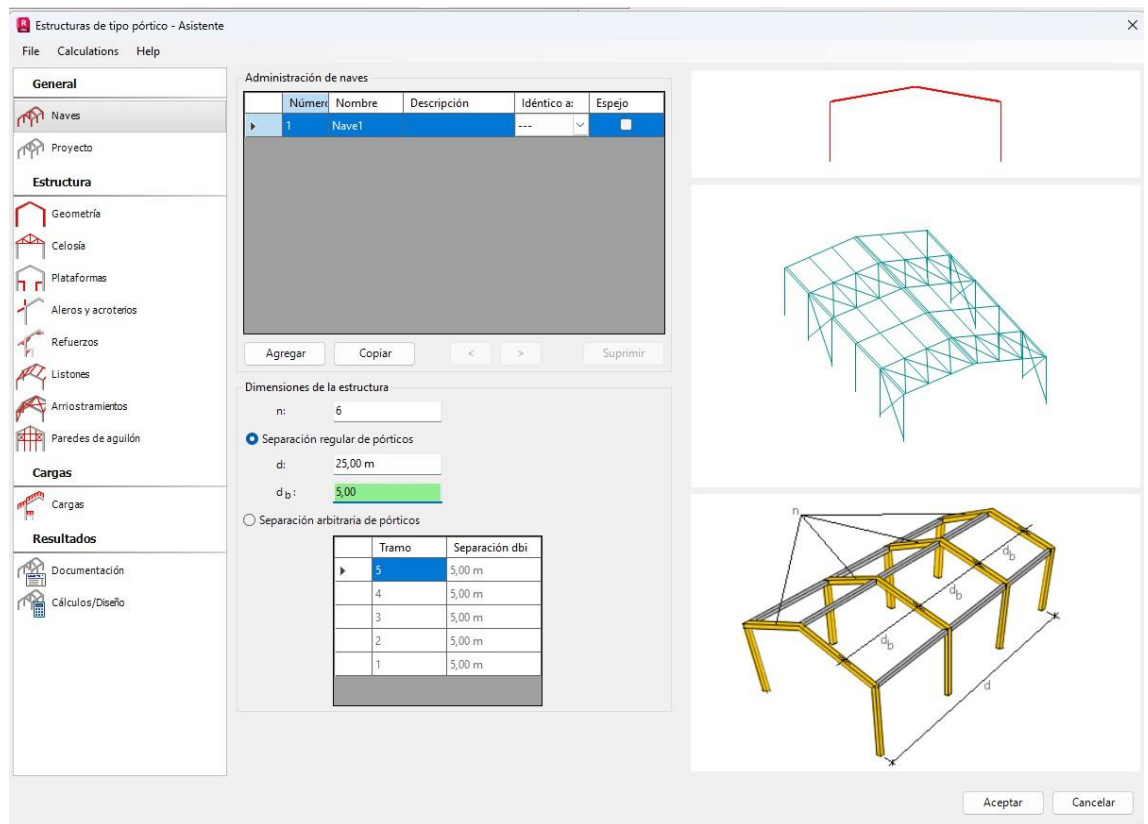


Ilustración 15: Modelado del galpón (Fuente: Elaborada por los autores)

En la sección de geometría seleccionamos a dos aguas el tipo de tejado, las medidas de las cotas, los apoyos y en pilares trabajaremos con perfiles HEA300, en vigas trabajaremos con IPE 270.

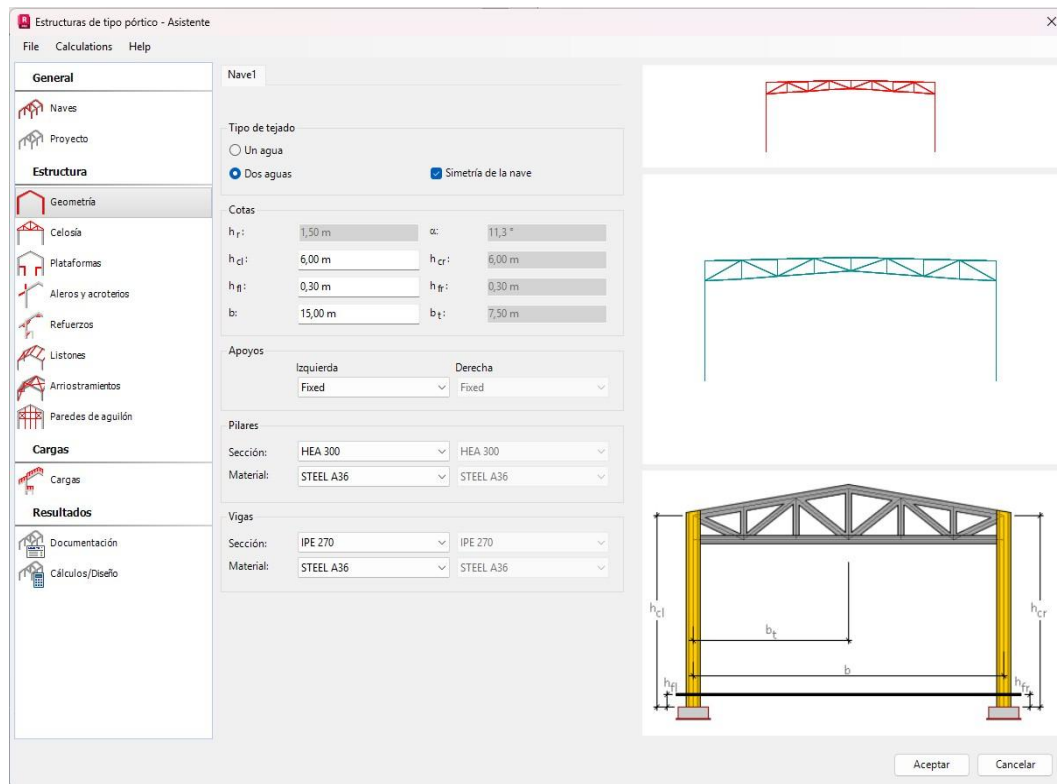


Ilustración 16: Modelado del galpón 1 (Fuente: Elaborada por los autores)

Vamos a la sección de celosía ponemos las medidas correspondientes y los perfiles de correas, montantes y diagonales de la celosía.

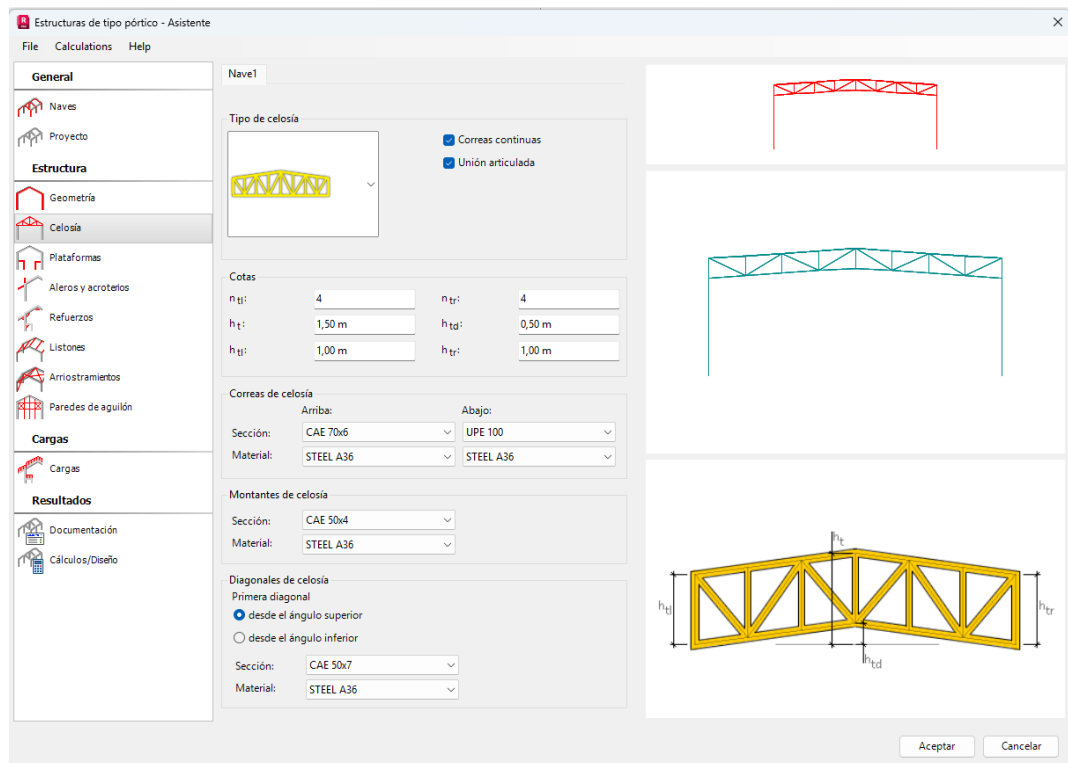


Ilustración 17: Modelado del galpón 2 (Fuente: Elaborada por los autores)

Luego entramos al apartado de aleros y acrotelios y colocamos las dimensiones de cada sección de los aleros. También el tipo de material que usaremos.

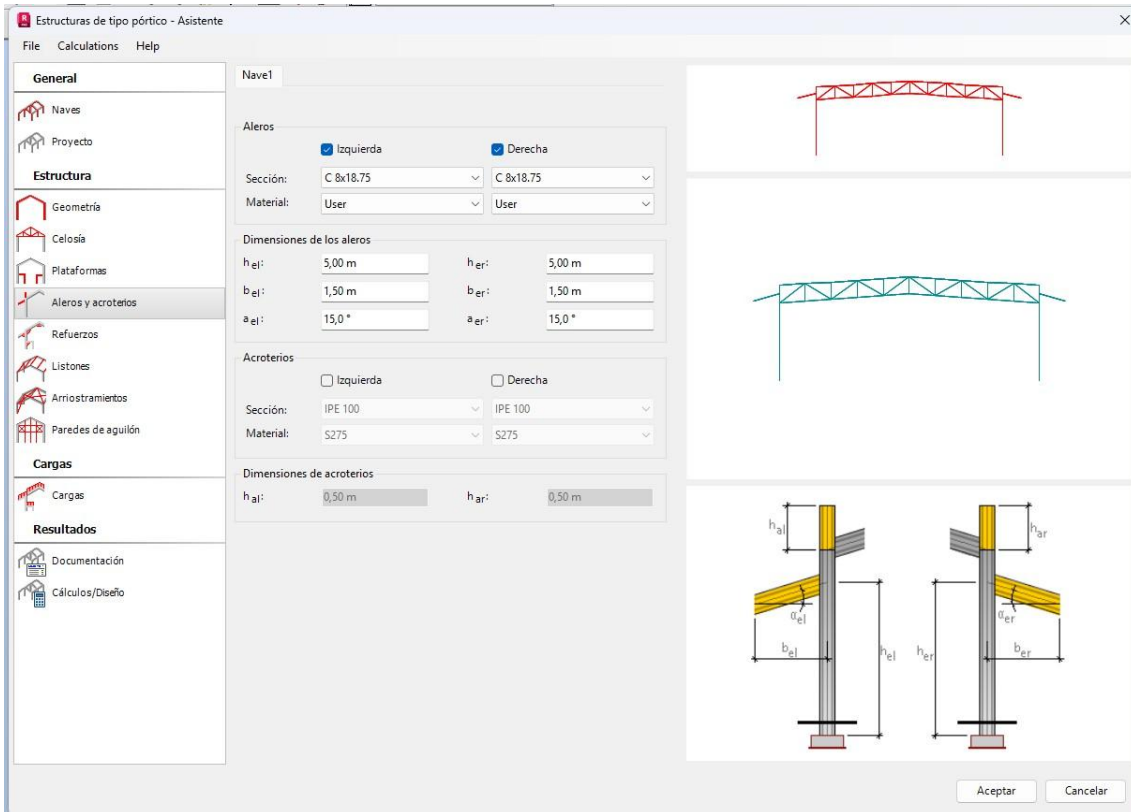


Ilustración 18: Modelado del galpón 3 (Fuente: Elaborada por los autores)

Agregaremos refuerzos tanto en los listones, caballetes y vigas.

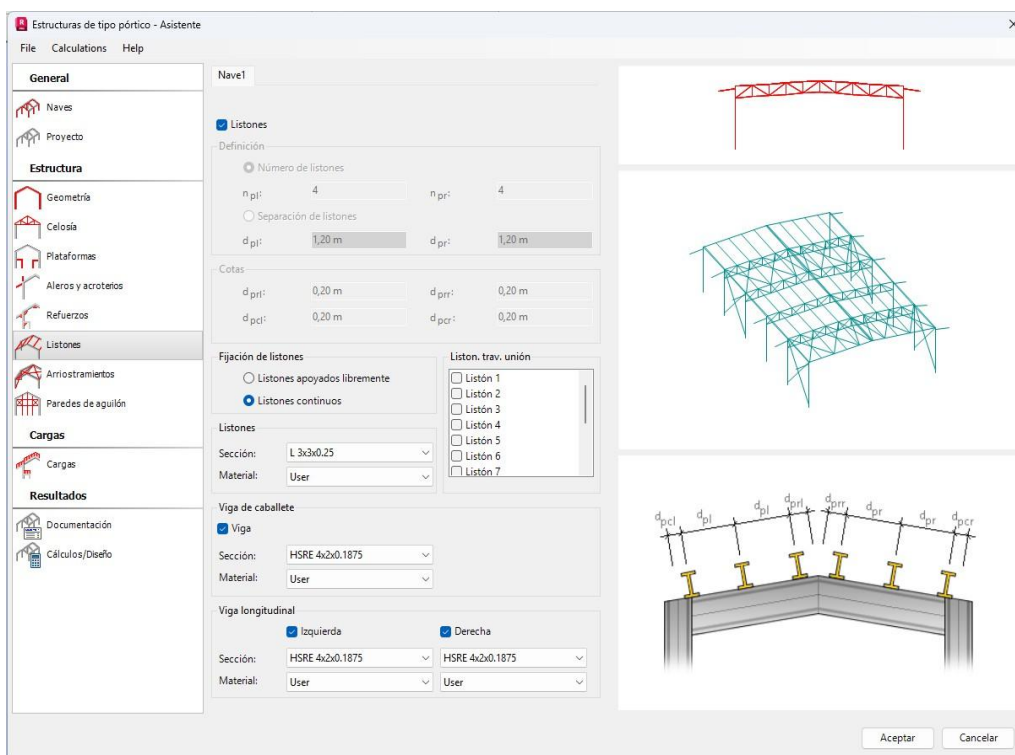


Ilustración 19: Modelado del galpón 4 (Fuente: Elaborada por los autores)

Luego definimos el número de arriostramientos de que va a tener la estructura sea en tejado o en las paredes. Colocamos la sección y material de cada arriostramiento

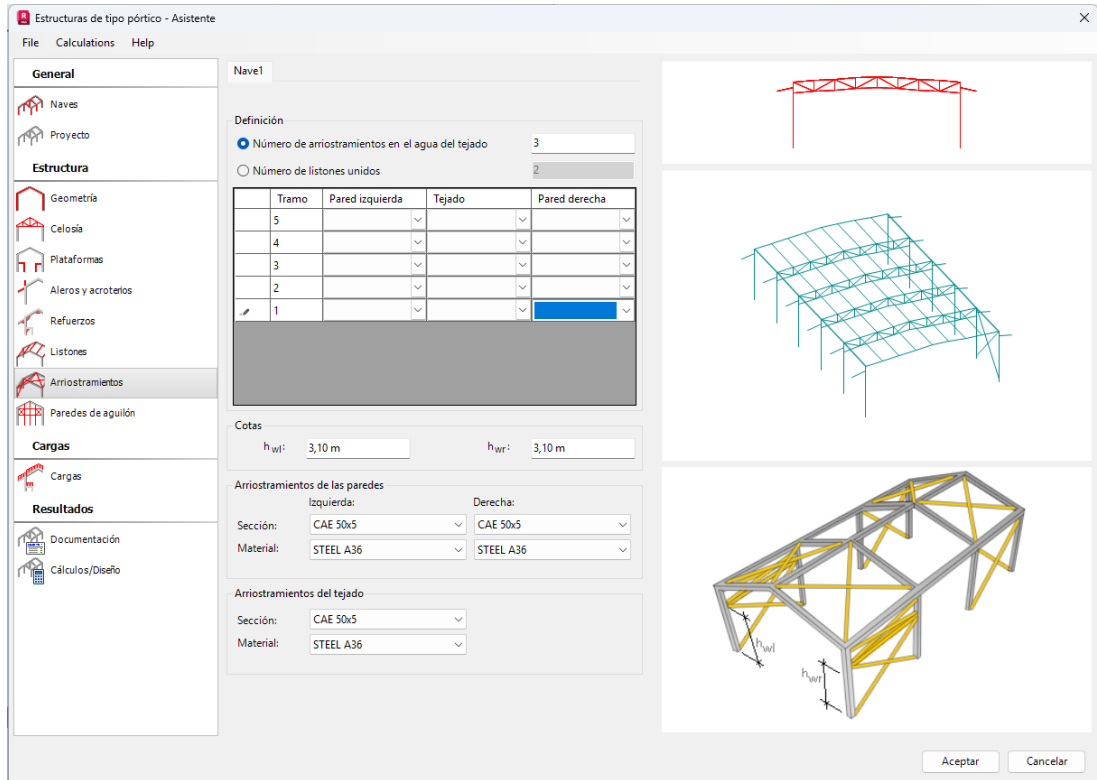


Ilustración 20: Modelado del galpón 5 (Fuente: Elaborada por los autores)

CAPITULO III

22. Datos de la estructura metálica

$$\text{Área} = 25\text{m} \times 15\text{m} = 375 \text{ m}^2$$

$$\text{Luz: } L = 5 \text{ m}$$

$$\text{Altura: } h = 5.5 \text{ m}$$

$$\text{Altura total} = 6 \text{ m}$$

$$\text{Número de pórticos} = 5$$

$$\text{Inclinación de la cubierta} = 4$$

$$\text{Separación entre correas} = 1.46 \text{ m}$$

23. Estructura metálica

Viendo la NEC-15, obtenemos el valor de 70 kg/m^2 para cubiertas metálicas.

(Valencia, 2014)

Ocupación o Uso	Carga uniforme (kN/m ²)	Carga concentrada (kN)
Cubiertas		
Cubiertas planas, inclinadas y curvas	0.70	

Tabla 13: Cargas uniformes (NEC-15)

24. Espectro elástico e inelástico en Daule

A continuación, se presenta la tabla que detalla el espectro de diseño sísmico para el sitio de interés, Daule. Esta información es crucial para la correcta estimación de las fuerzas sísmicas de diseño y la posterior concepción estructural del galpón de almacenamiento, buscando asegurar su funcionalidad y seguridad operativa.

En este caso hemos considerado el tipo de suelo E con las especificaciones de la

NEC-15.

Viendo las normativas vemos que nuestro galpón entra la sección de estructuras metálicas con arriostramientos entonces obtenemos los valores de C_t y α .

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

Tabla 14: Tipo de estructuras (Fuente: NEC-2015)

<i>Espectro Elastico</i>		
I	1.00	
f_{i p}	1.00	
f_{i e}	1.00	
R	6.00	
n	1.80	
Z	0.40	

<i>Calculos</i>		
C_t	0.073	
H	5.70	m
a	0.75	
T	0.27	s

Tipo	E
F_a	1.00
F_d	1.60
F_s	1.90
r	1.50
T_c	1.67

Tabla 15: Cálculos del espectro (Fuente: Elaborada por los autores)

<i>T(s)</i>	<i>Sa_Suelo E</i>	Sa_Inelastico_e
0.00	0.72	0.120
0.10	0.72	0.120
0.20	0.72	0.120
0.30	0.72	0.120
0.40	0.72	0.120
0.50	0.72	0.120
0.60	0.72	0.120
0.70	0.72	0.120
0.80	0.72	0.120
0.90	0.72	0.120
1.00	0.72	0.120
1.10	0.72	0.120
1.20	0.72	0.120
1.30	0.72	0.120
1.40	0.72	0.120
1.50	0.72	0.120
1.60	0.72	0.120
1.70	0.70	0.117
1.80	0.64	0.107
1.90	0.59	0.099
2.00	0.55	0.092
2.10	0.51	0.085
2.20	0.48	0.080
2.30	0.45	0.074
2.40	0.42	0.070
2.50	0.39	0.066
2.60	0.37	0.062
2.70	0.35	0.058
2.80	0.33	0.055
2.90	0.32	0.053
3.00	0.30	0.050

Tabla 16: tabla del espectro (Fuente: Elaborada por los autores)

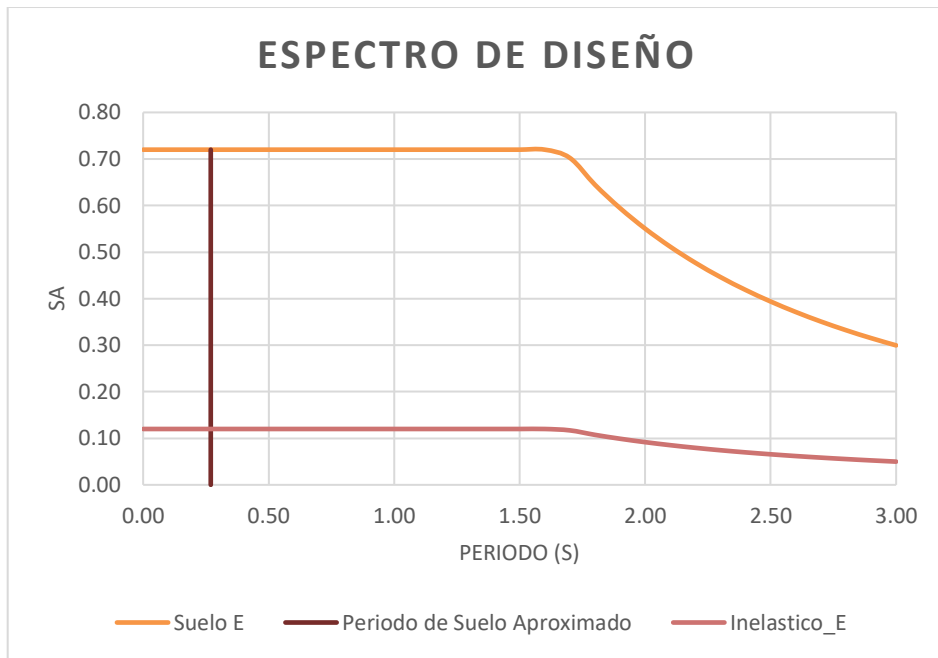


Tabla 17: Espectro de diseño (Fuente: Elaborada por los autores)

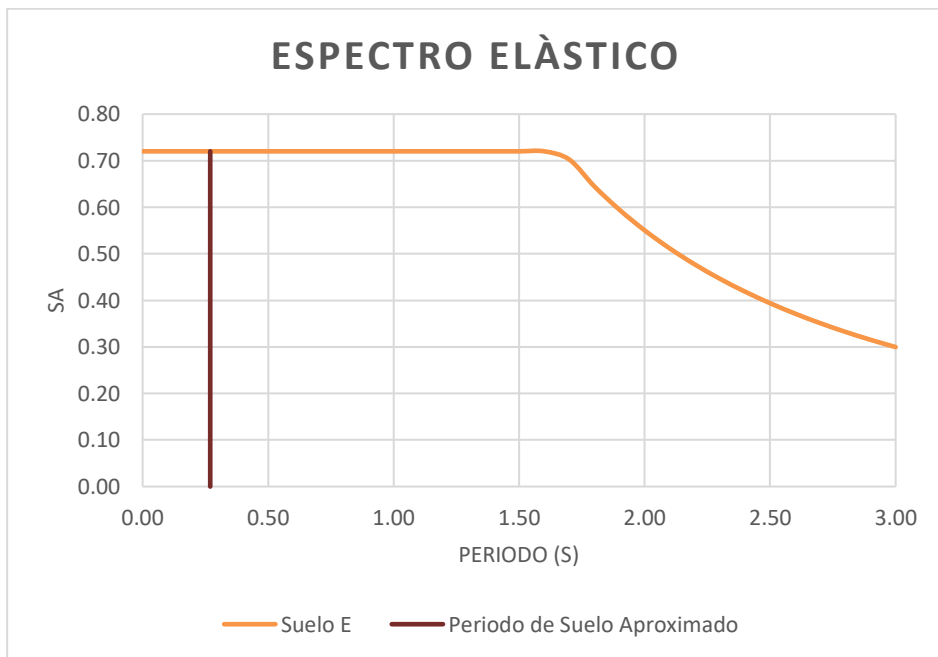


Tabla 18: Espectro elástico (Fuente: Elaborada por los autores)

25. Modelado en el software Robot Structural Analysis Professional (Autodesk)

Se realizó el modelado con las medidas y elementos de la estructura. Luego colocamos las cargas uniformes de 70 kg/m^2 en la estructura.



Como podemos observar hemos aplicado las cargas permanentes en la cercha de la estructura

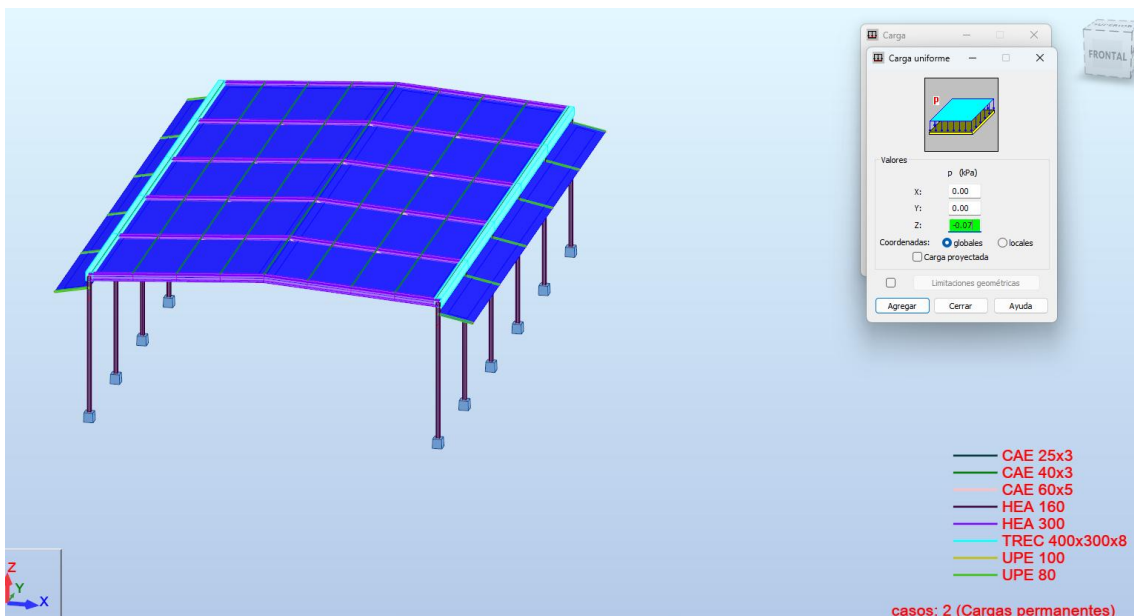


Ilustración 21: Cargas Permanentes (Fuente: Elaborada por los autores)

25.1 Cargas de explotación

Estas caras son las que actúan sobre la estructura del galpón debido a su uso normal y a las actividades que se realizan dentro de él. En este caso este galpón será destinado para almacenamiento de materiales entonces hemos incluido cargas el peso de equipos, maquinaria, vehículos, materiales, personas, e incluso la presión del viento.

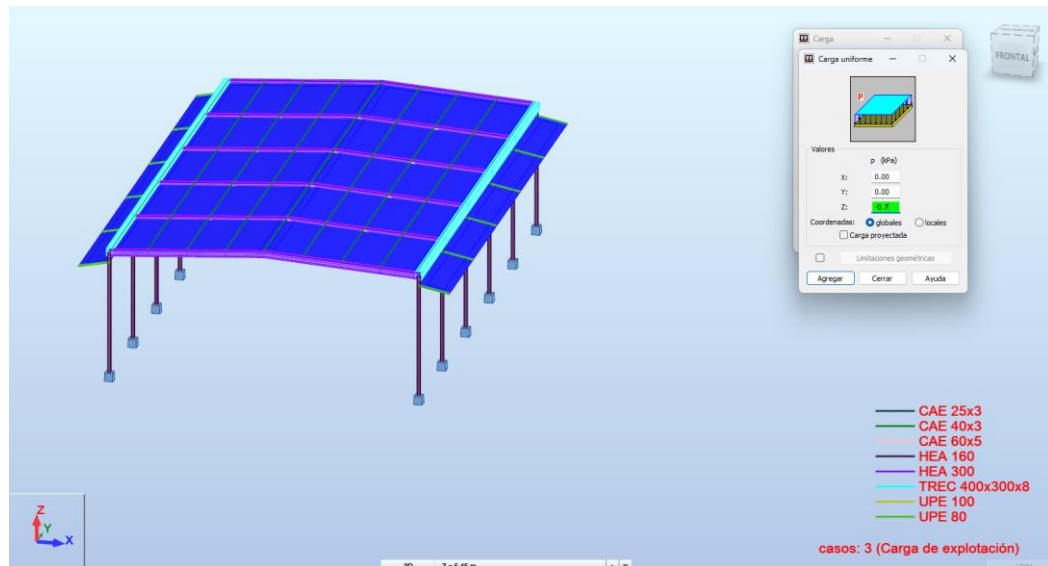
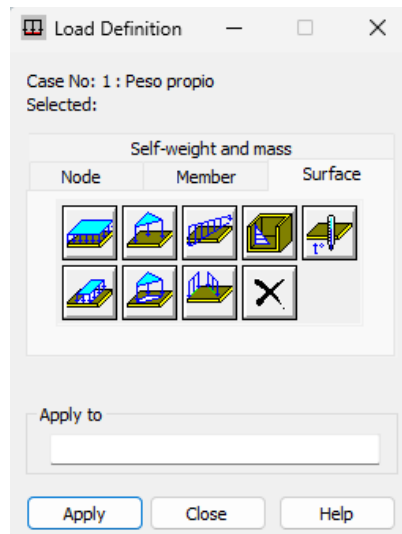


Ilustración 22: Cargas de explotación (Fuente: Elaborada por los autores)

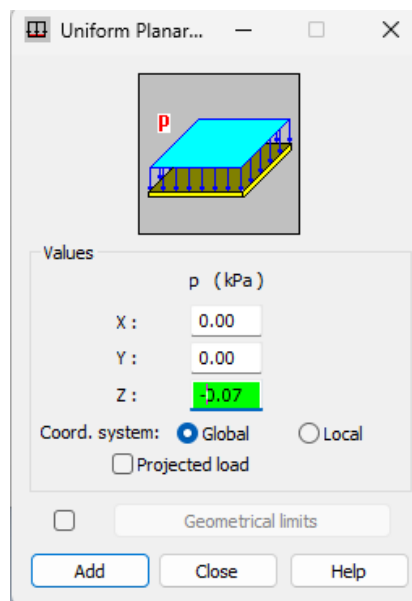
26. Cortante

La cortante es una fuerza interna en los elementos estructurales (vigas, columnas) que tiende a "cortarlos" o "rebanarlos". En un galpón, estas fuerzas surgen principalmente del peso propio de la cubierta, cargas horizontales y los sismos (que en Guayaquil son relevantes).

Vamos a la sección cargas luego aplastamos superficie y vamos a figura prima que dice carga superficial uniforme.



Colocamos 70 Kg/cm² en la z y aplastamos aplicar.



26.1 Esfuerzo Fy - Fz

Una vez realizado el análisis estructural de la edificación en Robot Structural Analysis Professional (Autodesk), se obtuvieron los diagramas de esfuerzos internos.

26.1.1 Fy

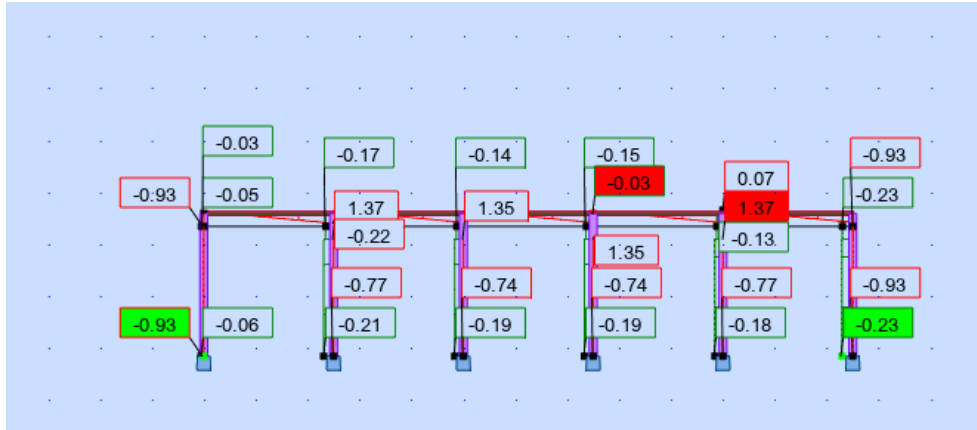


Ilustración 23: Diagrama de cortante F_y (Fuente: Elaborada por los autores)

- Los números indican la magnitud de la fuerza cortante en ese punto (ej., -0.93).
- Los signos (+/-) indican la dirección de la fuerza cortante.
- Las cajas rojas suelen resaltar los valores máximos o críticos de cortante, mientras que las verdes pueden indicar valores menores o una convención de visualización.

26.1.2 F_z

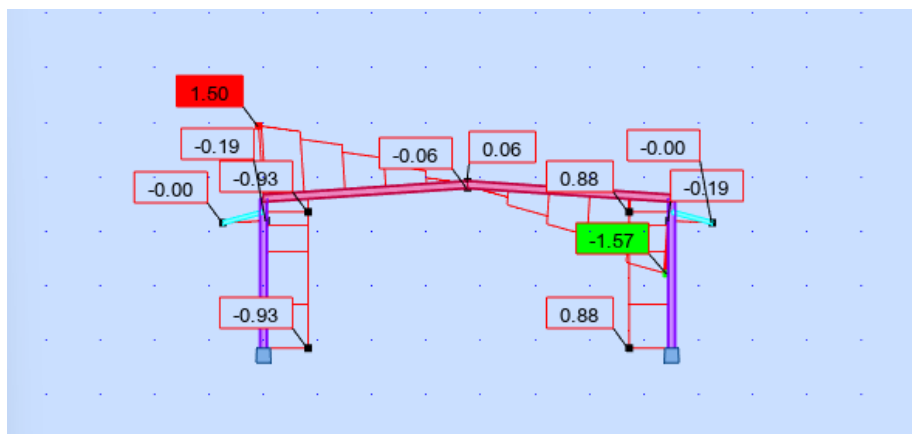


Ilustración 24: Diagrama de cortante F_z (Fuente: Elaborada por los autores)

- Los números (ej., 1.50, -1.57, -0.93) indican la magnitud de la fuerza de corte que los elementos experimentan.

- Los signos (+/-) señalan la dirección de estas fuerzas.
- Las cajas rojas y verdes resaltan los valores máximos de cortante, que son los puntos críticos a considerar.

27. Cargas Axiales

La figura a continuación muestra las cargas axiales verticales (FZ) en la base de las columnas del galpón, resultado del análisis estructural. Estos valores reflejan las fuerzas transmitidas al terreno bajo la combinación de carga más desfavorable, un paso esencial para garantizar la estabilidad de la estructura.

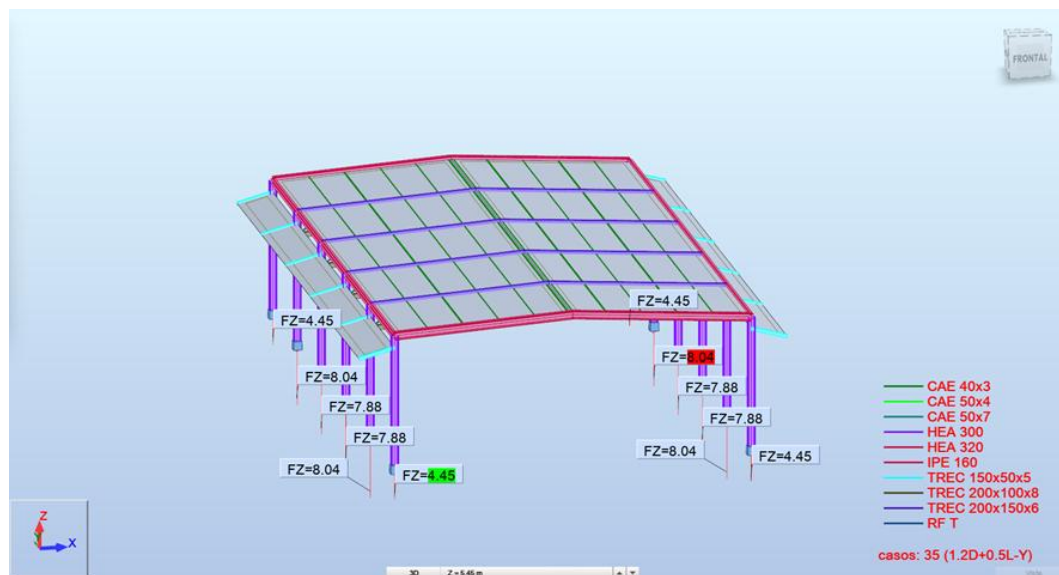


Ilustración 25: Cargas axiales (Fuente: Elaborada por los autores)

28. Deformación nodal

La siguiente figura ilustra las deformaciones nodales de la cercha principal de nuestro galpón, obtenidas tras el análisis estructural. Estos resultados son esenciales para confirmar que la estructura cumple con los límites de servicio establecidos por la normativa, garantizando así su funcionalidad y evitando problemas como el empozamiento de agua o el daño a elementos no estructurales.

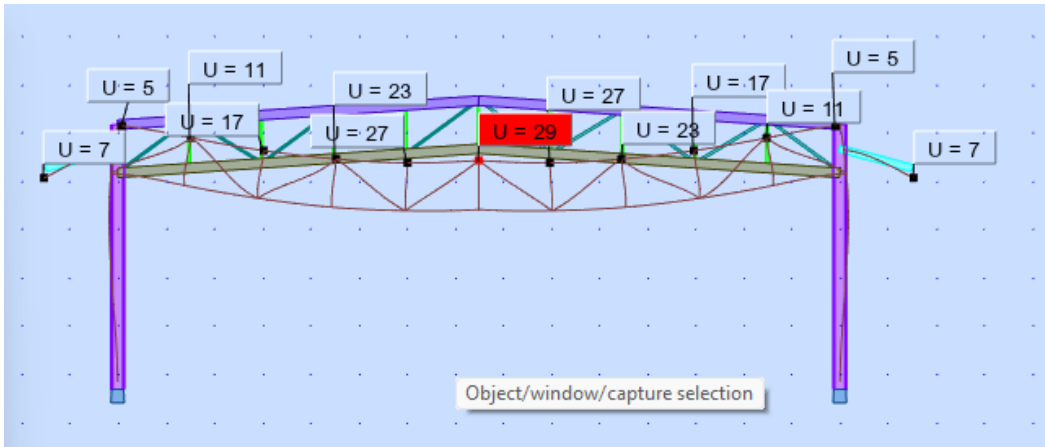


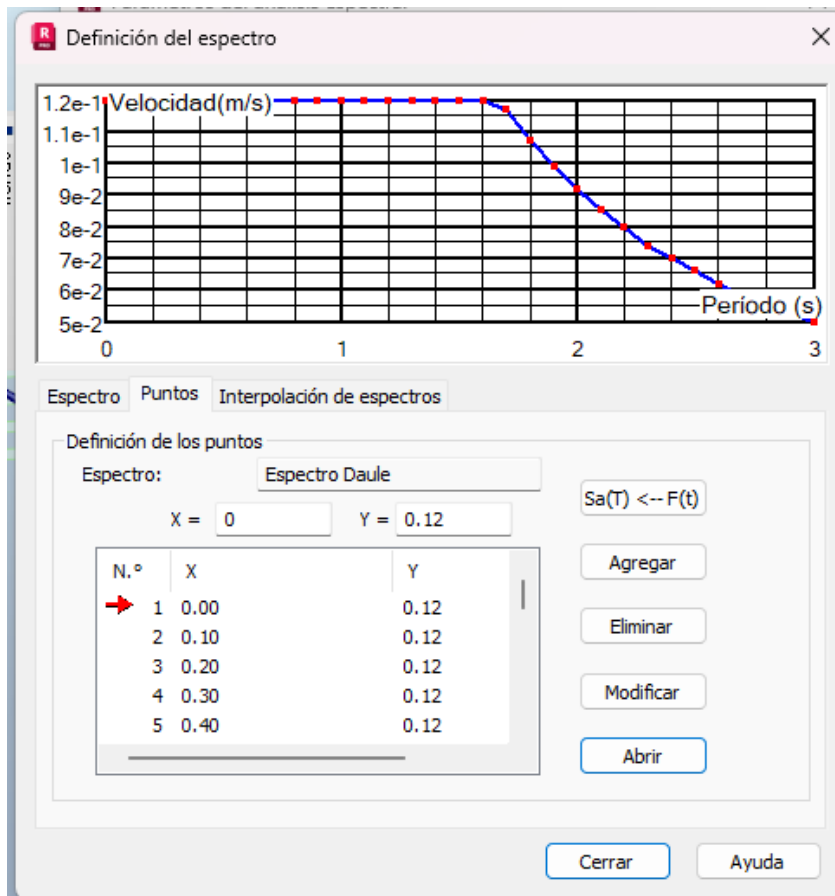
Ilustración 26: deformación nodal (Fuente: Elaborada por los autores)

29. Momentos

Caso/Modo	Frecuencia (Hz)	Período (sec)	. UX (%)	. UY (%)	. RZ (%)
8/ 1	0.27	3.71	0.00	1.50	0.04
8/ 2	0.27	3.71	0.00	1.50	0.04
8/ 3	0.27	3.70	0.00	1.50	0.04
8/ 4	0.27	3.70	0.00	1.50	0.04
8/ 5	0.42	2.37	0.00	93.69	0.04
8/ 6	0.51	1.95	0.00	93.69	0.04
8/ 7	0.51	1.95	0.00	93.69	0.04
8/ 8	0.51	1.95	0.00	93.69	0.04
8/ 9	0.51	1.94	0.00	95.08	0.13
8/ 10	0.72	1.39	0.00	95.08	0.13

Tabla 19: Caso / Momentos (Fuente: Elaborada por los autores)

30. Deformación en la estructura por cargas sísmicas



Tipo de análisis

Tipos de análisis Estructura - modelo Cargas - conversión Combinación - signo Res.

Parámetros de la conversión

Convertir casos 1 ... Dir. de la masa X Y Z

Dirección de la conversión Z - Adjuntar la masa a: Masa global

Coefficiente 1

Agregar Modificar

Casos conver...	Dir. de la con...	Coefficiente	Dirección	Caso n.º
1	Z -	1.00	XYZ	Masa global
2	Z -	1.00	XYZ	Masa global
3	Z -	0.50	XYZ	Masa global

Eliminar

Generar el modelo Calcular Cerrar Ayuda

31. Resultados Del Software

32. Columnas

Propiedades: Barra n.º 58

Nudos	X	Y	Z	[m]
48	0.0	10.00	-0.30	
49	0.0	10.00	5.20	
Longitud L=5.50 [m]				

Tipo de barra: BS-EN_1993-1:2005/NA:2008/A1:2014_Pilar_izquierdo1
Sección: HEA 300
Material: STEEL A36

Atributos adicionales:
Ángulo gama=0.0

Características de la sección:
HEA 300

HY=300, HZ=290 [mm]
AX=11253 [mm²]
IX=753000, IY=182635000, IZ=63095600 [mm⁴]

Características de material:

E=2038901.78 (kgf/cm²) NI=0.30 G=784203.81 (kgf/cm²)
Peso específico (densidad)=7.85 (T/m³) Re=2531.05 (kgf/cm²) LX=0.00 (1/°C)

Resultados: Barra n.º 58

Caso 35 1.2D+0.5L-Y

Desplazamientos [mm]:

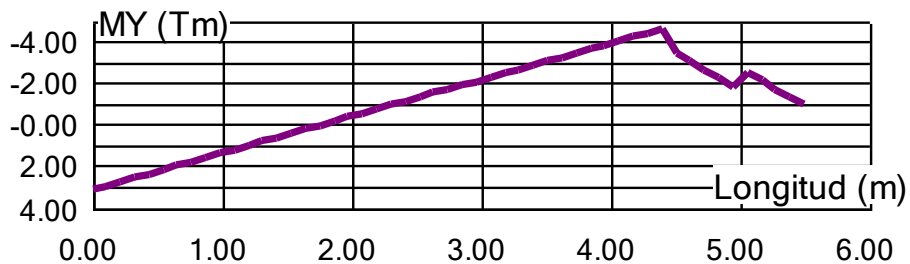
48 UX=0.0 UY=0.0 UZ=0.0

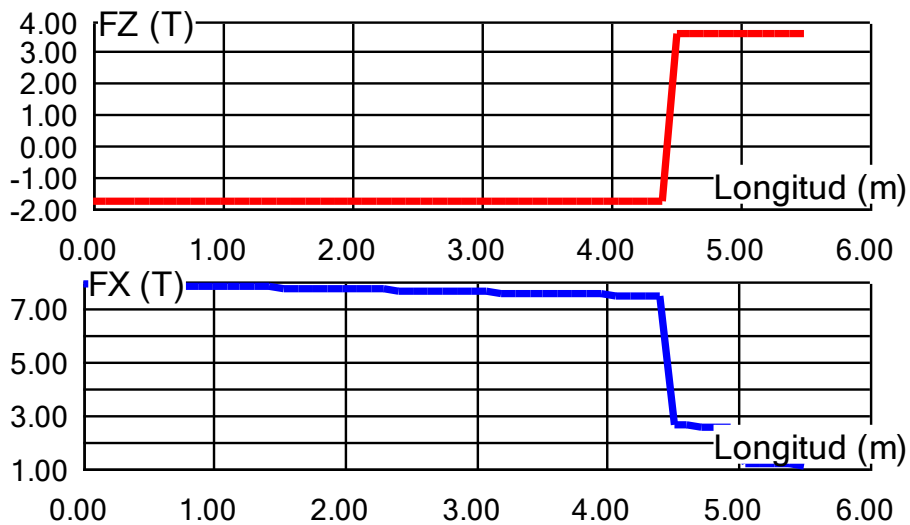
49 UX=-0 UY=-6 UZ=0

Flechas máximas [mm]:

UX=-0 UY=1 UZ=2

en el punto X=0.82 X=0.33 X=0.65





Barra n.º 58 HEA 300 Longitud L=5.50 (m) Caso 35 1.2D+0.5L-Y

	Fx (T)	Fz (T)	My (T*m)	
MAX para la barra 58	7.88	3.56	3.18	
en el punto:	0.0	4.51	0.0	
MIN para la barra 58	1.08	-1.77	-4.60	
en el punto:	5.50	0.0	4.40	

Comprobación relamentaria de acuerdo con ANSI/AISC 360-22

Sección: HEA 300
 Tipo de barra: BS-EN_1993-1:2005/NA:2008/A1:2014_Pilar_izquierdo1
 Material: STEEL A36 Re=2531.05 (kgf/cm2)

Perfil correcto

Símbolo Ax, Iy, Iz ... Unidad Descripción

Solicitud:

RAT 0.20 sollicitación
 35 1.2D+0.5L-Y (1+2)*1.20+3*0.50+21*-1.00

Caso de carga más desfavorable -

ELU

x = 0.82 L = 4.50 m Puntos

Otros

Lambda y 43.17 esbeltez de la barra

Lambda z 73.45 esbeltez de la barra

Desplazamientos (COORDENADAS GLOBALES):

vxt 0 mm desplazamiento de la barra en la dirección X

vxt max37 mm desplazamiento admisible de la barra en la dirección X

3 Carga de explotación Caso de carga más desfavorable - ELS

Verificado

vyt 6 mm desplazamiento de la barra en la dirección Y

vyt max37 mm desplazamiento admisible de la barra en la dirección Y

21 Espectral Dirección_Y Caso de carga más desfavorable - ELS

Verificado

RESISTENCIAS DE DIMENSIONAMIENTO	
$Fic \cdot Pn = 192.96 \text{ T}$	
$Fib \cdot Mny = 29.47 \text{ T} \cdot \text{m}$	$Fiv \cdot Vny = 114.81 \text{ T}$
$Fib \cdot Mnz = 14.61 \text{ T} \cdot \text{m}$	$1.00 \cdot Vnz = 37.43 \text{ T}$
ELEMENTOS DE LA SECCION	
ala = compacto	alma = compacto

Tabla 20: Resistencia de dimensionamiento (Ala - Alma)

33. VIGAS

Propiedades: Barra n.º 1020

Nudos	X	Y	Z	[m]
2	0.0	0.0	5.20	
9	7.50	0.0	5.70	
Longitud L=7.52 [m]				

Tipo de barra: Viga
 Sección: HEA 320
 Material: STEEL A36

Nombre de la barra: Viga_1020
 Lista de barras componentes: 1020

Atributos adicionales:
 Ángulo gama=0.0

Características de la sección:
 HEA 320

HY=300, HZ=310 [mm]
 AX=12437 [mm²]
 IX=1020000, IY=229286000, IZ=69852400 [mm⁴]

Características de material:

E=2038901.78 (kgf/cm²) NI=0.30 G=784203.81 (kgf/cm²)
 Peso específico (densidad)=7.85 (T/m³) Re=2531.05 (kgf/cm²) LX=0.00 (1/°C)

Resultados: Barra n.º 1020
 Caso 35 1.2D+0.5L-Y

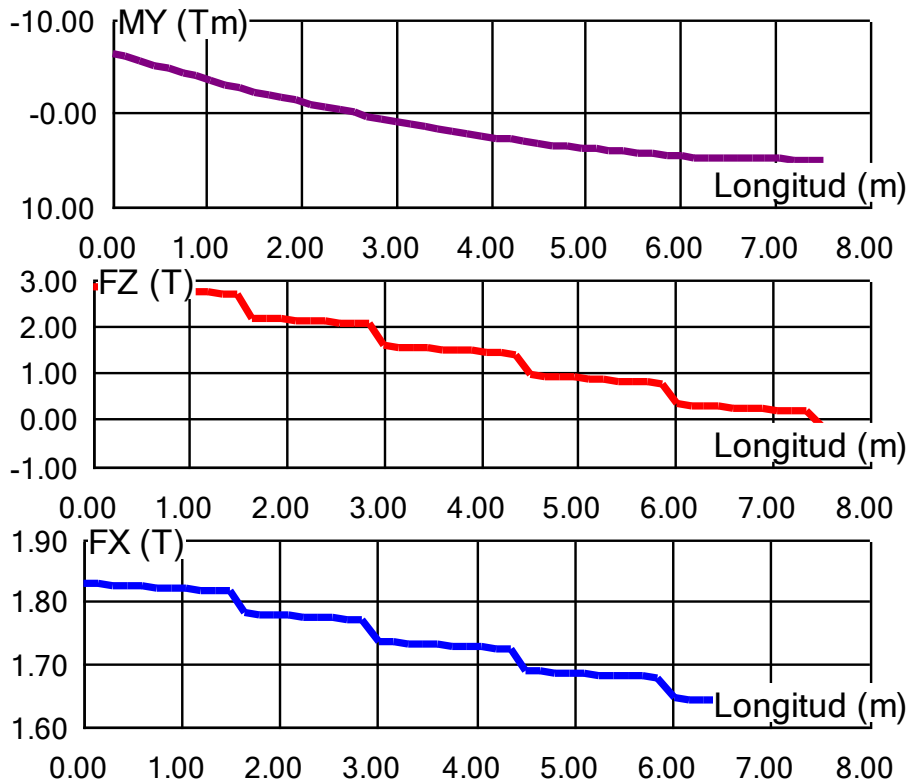
Desplazamientos [mm]:

2 UX=-1 UY=-6 UZ=-0
 9 UX=-1 UY=-31 UZ=-20

Flechas máximas [mm]:

UX=-0 UY=-12 UZ=-3

en el punto X=0.40 X=0.66 X=0.66



Barra n.º 1020 HEA 320 Longitud L=7.52 (m) Caso 35 1.2D+0.5L-Y

	Fx (T)	Fz (T)	My (T*m)
MAX para la barra 1020	1.83	2.84	5.10
en el punto:	0.0	0.0	7.37
MIN para la barra 1020	1.61	-0.12	-6.28
en el punto:	7.52	7.52	0.0

Comprobación relamentaria de acuerdo con ANSI/AISC 360-22

Sección: HEA 320
 Tipo de barra: Viga
 Material: STEEL A36 Re=2531.05 (kgf/cm²)

Perfil correcto

Símbolo Ax, Iy, Iz ... Unidad Descripción

Solicitud:

RAT 0.92 sollicitación

33 1.2D+0.5L+Y (1+2)*1.20+3*0.50+21*1.00

Caso de carga más desfavorable -

ELU

x = 0.00 L = 0.00 m

Puntos

Otros

Lambda y 55.36

esbeltez de la barra

Lambda z 100.30 esbeltez de la barra
 Flechas (COORDENADAS LOCALES):
 uyt -6 mm flecha de la barra en la dirección Y - Cargas totales
 uyt max31 mm Deformación admisible de la barra en la dirección Y - Cargas totales
 3 Carga de explotación Caso de carga más desfavorable - ELS
 Verificado
 uzt -2 mm flecha de la barra en la dirección Z - Cargas totales
 uzt max31 mm Deformación admisible de la barra en la dirección Z - Cargas totales
 3 Carga de explotación Caso de carga más desfavorable - ELS
 Verificado

RESISTENCIAS DE DIMENSIONAMIENTO	
$Fic * Pn = 166.82 T$	
$Fib * Mn_y = 32.12 T * m$	$Fiv * Vn_y = 127.11 T$
$Fib * Mn_z = 16.17 T * m$	$1.00 * Vn_z = 42.37 T$
ELEMENTOS DE LA SECCION	
ala = compacto	alma = compacto

Tabla 21: Resistencia de dimensionamiento (Ala - Alma)

34. ALEROS

Propiedades: Barra n.º 142

Nudos	X	Y	Z	[m]
102	-1.50	15.00	4.30	
82	0.0	15.00	4.70	
Longitud L=1.55 [m]				

Tipo de barra: BS-EN_1993-1:2005/NA:2008/A1:2014_Alero_izquierdo1
 Sección: TREC 150x50x5
 Material: STEEL A36

Atributos adicionales:
 Ángulo gama=0.0

Características de la sección:
 TREC 150x50x5

HY=50, HZ=150 [mm]

AX=1888 [mm²]
 IX=2296000, IY=4836000, IZ=804400 [mm⁴]

Características de material:

E=2038901.78 (kgf/cm²) NI=0.30 G=784203.81 (kgf/cm²)
 Peso específico (densidad)=7.85 (T/m³) Re=2531.05 (kgf/cm²) LX=0.00 (1/°C)

Resultados: Barra n.º 142

Caso 35 1.2D+0.5L-Y

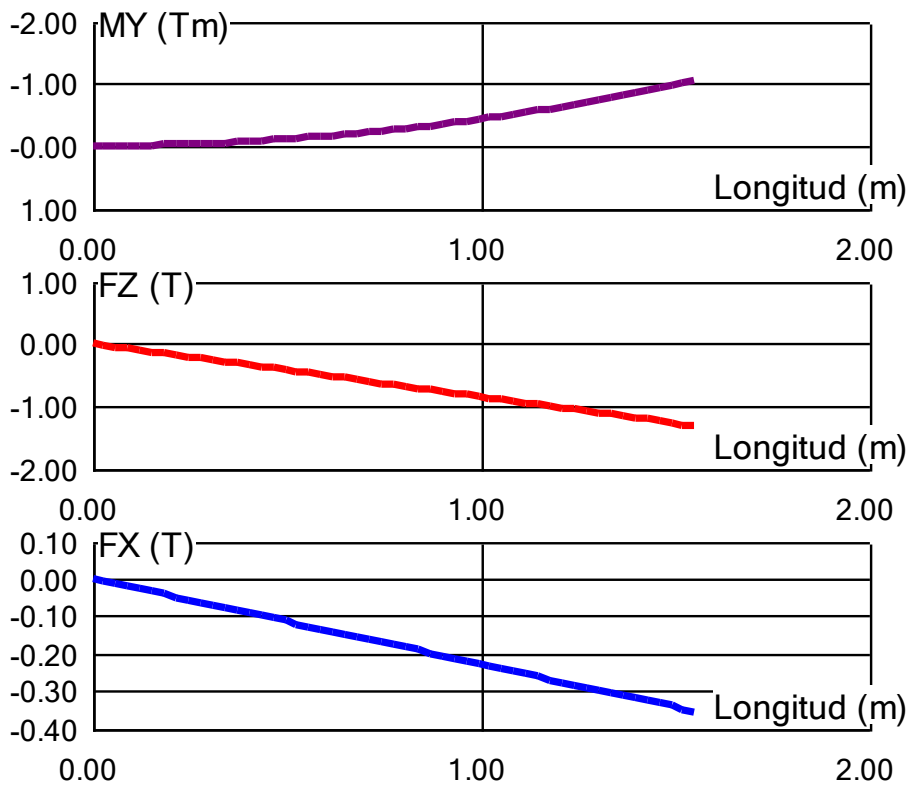
Desplazamientos [mm]:

102 UX=-1 UY=-21 UZ=-4
 82 UX=-1 UY=-5 UZ=0

Flechas máximas [mm]:

UX=0 UY=3 UZ=1

en el punto X=0.50 X=0.60 X=0.65



Barra n.º 142 TREC 150x50x5 Longitud L=1.55 (m) Caso 35 1.2D+0.5L-Y

	Fx (T)	Fz (T)	My (T*m)
MAX para la barra 142	-0.00	-0.00	0.00
en el punto:	0.0	0.0	0.0
MIN para la barra 142	-0.36	-1.33	-1.03
en el punto:	1.55	1.55	1.55

Comprobación relamentaria de acuerdo con ANSI/AISC 360-22

Sección: TREC 150x50x5
 Tipo de barra: BS-EN_1993-1:2005/NA:2008/A1:2014_Alero_izquierdo1
 Material: STEEL A36 Re=2531.05 (kgf/cm2)

Perfil correcto

Símbolo Ax, Iy, Iz ... Unidad Descripción

Solicitud:

RAT 0.73 sollicitación

7 ELU /10/ 1*-1.20 + 2*-1.20 + 3*-0.50 + 21*-1.00

Caso de carga más

desfavorable - ELU

x = 1.00 L = 1.55 m

Puntos

Otros

Lambda y 61.37 esbeltez de la barra

Lambda z 150.47 esbeltez de la barra

Flechas (COORDENADAS LOCALES):

uzt -3 mm flecha de la barra en la dirección Z - Cargas totales

uzt max 10 mm Deformación admisible de la barra en la dirección Z - Cargas totales

2 Cargas permanentes Caso de carga más desfavorable - ELS

Verificado

RESISTENCIAS DE DIMENSIONAMIENTO

$F_{ity} * P_{nty} = 43.01 \text{ T}$

$F_{ib} * M_{ny} = 1.91 \text{ T*m}$

$F_{iv} * V_{nz} = 17.77 \text{ T}$

ELEMENTOS DE LA SECCION

ala = compacto alma = compacto

Tabla 22: Resistencia de dimensionamiento (Ala - Alma)

35. MONTANTE DE CELOSIA

Propiedades: Barra n.º 60

Nudos	X	Y	Z	[m]
57	7.50	10.00	4.70	
56	7.50	10.00	5.70	

Longitud L=1.00 [m]

Tipo de barra: BS-EN_1993-1:2005/NA:2008/A1:2014_Celosía_montante1
Sección: CAE 50x4
Material: STEEL A36

Atributos adicionales:
Ángulo gama=0.0

Características de la sección:
CAE 50x4

HY=50, HZ=50 [mm]
AX=389 [mm²]
IX=2048, IY=90500, IZ=90500 [mm⁴]

Características de material:

E=2038901.78 (kgf/cm²) NI=0.30 G=784203.81 (kgf/cm²)
Peso específico (densidad)=7.85 (T/m³) Re=2531.05 (kgf/cm²) LX=0.00 (1/°C)

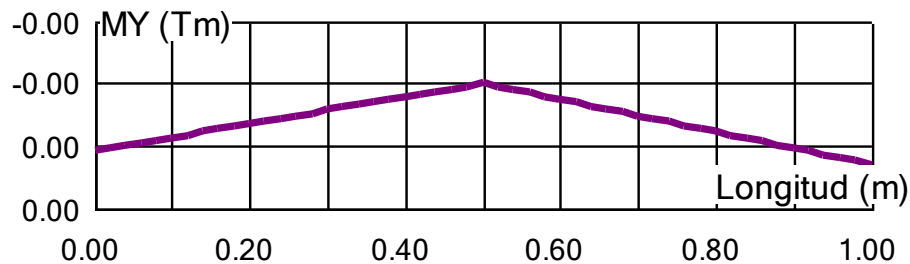
Resultados:Barra n.º 60

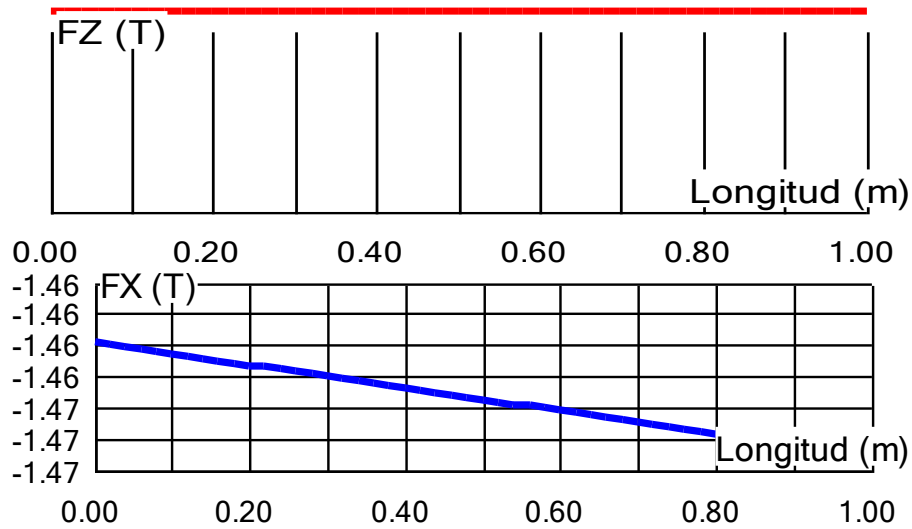
Caso 35 1.2D+0.5L-Y

Desplazamientos [mm]:

57	UX=-13	UY=-34	UZ=-0
56	UX=-13	UY=-37	UZ=-0

Flechas máximas [mm]:
UX=0 UY=-0 UZ=-0
en el punto X=0.50 X=0.80 X=0.80





Barra n.º 60 CAE 50x4 Longitud L=1.00 (m) Caso 35 1.2D+0.5L-Y

	Fx (T)	Fz (T)	My (T*m)	
MAX para la barra 60	-1.46	-0.00	0.00	
en el punto:	0.0	0.0	1.00	
MIN para la barra 60	-1.47	-0.00	0.00	
en el punto:	1.00	0.0	0.50	

Comprobación relamentaria de acuerdo con ANSI/AISC 360-22

Sección: CAE 50x4
 Tipo de barra: BS-EN_1993-1:2005/NA:2008/A1:2014_Celosía_montante1
 Material: STEEL A36 Re=2531.05 (kgf/cm²)

Perfil correcto

Símbolo Ax, Iy, Iz ... Unidad Descripción

Solicitud:

RAT 0.46 sollicitación

7 ELU /12/ 1*-1.20 + 2*-1.20 + 3*-0.50 + 21*1.00

Caso de carga más

desfavorable - ELU

x = 0.00 L = 0.00 m Puntos

Otros

Lambda y 65.58 esbeltez de la barra

Lambda z 52.47 esbeltez de la barra

TENSIONES DE DIMENSIONAMIENTO	
$F_a = 2277.95 \text{ kgf/cm}^2$	$F_{iv} * V_{ny} = 2.73 \text{ T}$
$F_{bz} = 1289.58 \text{ kgf/cm}^2$	$F_{iv} * V_{nz} = 2.73 \text{ T}$
ELEMENTOS DE LA SECCION	
ala = compacto	alma = compacto

Tabla 23: Resistencia de dimensionamiento (Ala - Alma)

36. DIAGONAL DE CELOSIA

Propiedades: Barra n.º 61

Nudos	X	Y	Z	[m]
56	7.50	10.00	5.70	
58	6.00	10.00	4.60	
Longitud L=1.86 [m]				

Tipo de barra: BS-EN_1993-1:2005/NA:2008/A1:2014_Celosía_diagonal1
 Sección: CAE 50x7
 Material: STEEL A36

Atributos adicionales:
 Ángulo gama=0.0
 Relajamientos=Relajación_1, fffffl fffffl

Características de la sección:
 CAE 50x7

HY=50, HZ=50 [mm]
 AX=656 [mm²]
 IX=10633, IY=146100, IZ=146100 [mm⁴]

Características de material:

E=2038901.78 (kgf/cm²) NI=0.30 G=784203.81 (kgf/cm²)
 Peso específico (densidad)=7.85 (T/m³) Re=2531.05 (kgf/cm²) LX=0.00 (1/°C)

Resultados:Barra n.º 61

Caso 35 1.2D+0.5L-Y

Desplazamientos [mm]:

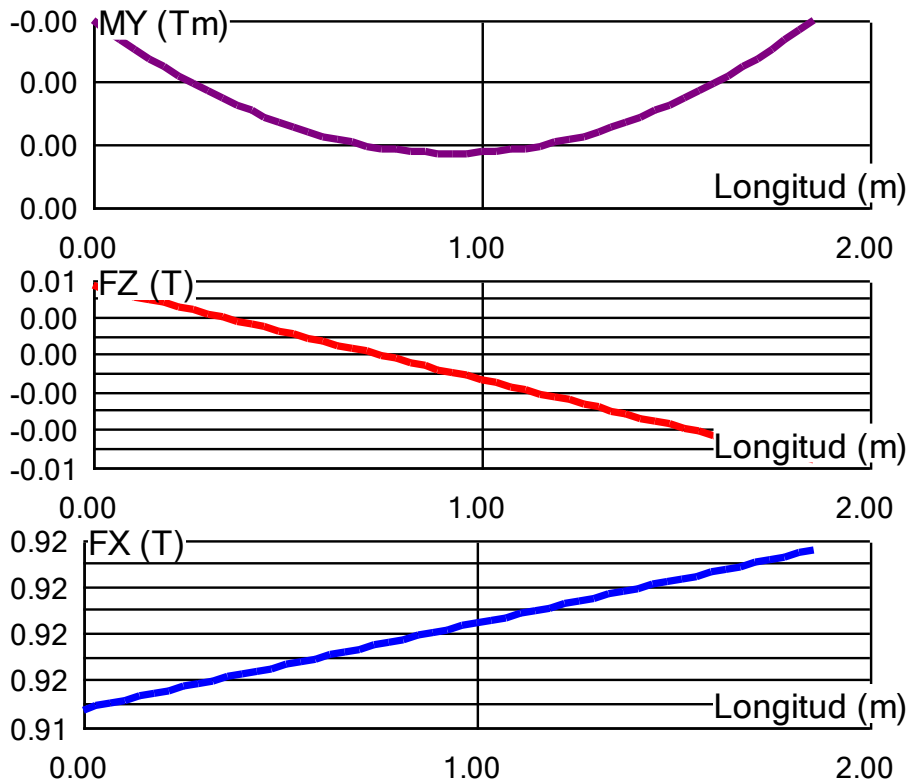
56 UX=8 UY=-39 UZ=-10

58 UX=7 UY=-33 UZ=-10

Flechas máximas [mm]:

UX=-0 UY=0 UZ=-0

en el punto X=0.50 X=0.50 X=0.50



Barra n.º 61 CAE 50x7 Longitud L=1.86 (m) Caso 35 1.2D+0.5L-Y

	Fx (T)	Fz (T)	My (T*m)
MAX para la barra 61	0.92	0.00	0.00
en el punto:	1.86	0.0	0.93
MIN para la barra 61	0.91	-0.00	0.0
en el punto:	0.0	1.86	0.0

Comprobación relamentaria de acuerdo con ANSI/AISC 360-22

Sección: CAE 50x7

Tipo de barra: BS-EN_1993-1:2005/NA:2008/A1:2014_Celosía_diagonal1

Material: STEEL A36 Re=2531.05 (kgf/cm2)

Perfil correcto

Símbolo Ax, Iy, Iz ... Unidad Descripción

Solicitud:

RAT 0.15 sollicitación

33 1.2D+0.5L+Y (1+2)*1.20+3*0.50+21*1.00
ELU

Caso de carga más desfavorable -

x = 0.50 L = 0.93 m

Puntos

Otros

Lambda y 124.67 esbeltez de la barra

Lambda z 99.73 esbeltez de la barra

RESISTENCIAS DE DIMENSIONAMIENTO	
$F_{ic} * P_n = 6.60 \text{ T}$	
	$F_{iv} * V_{ny} = 4.78 \text{ T}$
	$F_{iv} * V_{nz} = 4.78 \text{ T}$
ELEMENTOS DE LA SECCION	
ala = No esbelto	alma = No esbelto

Tabla 24: Resistencia de dimensionamiento (Ala - Alma)

37. CORREA SUPERIOR DE CELOSIA

Propiedades: Barra n.º 1027

Nudos X Y Z [m]

56 7.50 10.00 5.70

49 0.0 10.00 5.20

Longitud L=7.52 [m]

Tipo de barra: Barra

Sección: TREC 200x150x6

Material: STEEL A36

Nombre de la barra: Barra_1027

Lista de barras componentes: 1027

Atributos adicionales:

Ángulo gama=0.0

Características de la sección:

TREC 200x150x6

HY=150, HZ=200 [mm]

AX=3945 [mm²]

IX=28330000, IY=22490000, IZ=14470000 [mm⁴]

Características de material:

E=2038901.78 (kgf/cm²) NI=0.30 G=784203.81 (kgf/cm²)
 Peso específico (densidad)=7.85 (T/m³) Re=2531.05 (kgf/cm²) LX=0.00 (1/°C)

Resultados: Barra n.º 1027

Caso 35 1.2D+0.5L-Y

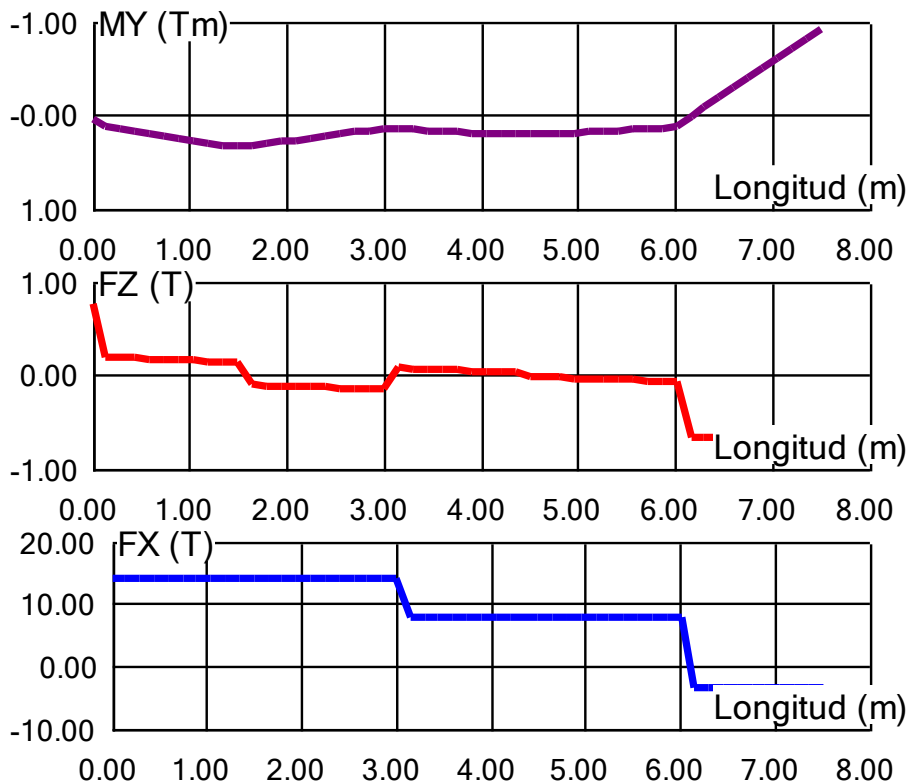
Desplazamientos [mm]:

56 UX=1 UY=-39 UZ=-13
 49 UX=0 UY=-6 UZ=-0

Flechas máximas [mm]:

UX=-0 UY=-4 UZ=-3

en el punto X=0.40 X=0.34 X=0.43



Barra n.º 1027 TREC 200x150x6 Longitud L=7.52 (m) Caso 35 1.2D+0.5L-Y

	Fx (T)	Fz (T)	My (T*m)
MAX para la barra 1027	14.12	0.74	0.35
en el punto:	3.01	0.0	1.50
MIN para la barra 1027	-3.54	-0.72	-0.91
en el punto:	6.16	7.52	7.52

Comprobación relamentaria de acuerdo con ANSI/AISC 360-22

Sección: TREC 200x150x6

Tipo de barra: Barra

Material: STEEL A36 Re=2531.05 (kgf/cm²)

Perfil correcto
 Símbolo Ax, Iy, Iz ... Unidad Descripción
 Solicitación:
 RAT 0.53 solicitación
 35 1.2D+0.5L-Y (1+2)*1.20+3*0.50+21*-1.00 Caso de carga más desfavorable -
 ELU
 x = 0.01 L = 0.10 m Puntos
 Otros
 Lambda y 99.55 esbeltez de la barra
 Lambda z 124.11 esbeltez de la barra

RESISTENCIAS DE DIMENSIONAMIENTO	
$FIT * Tn = 4.57 T * m$	
$Fic * Pn = 39.94 T$	
$Fib * Mny = 6.39 T * m$	$Fiv * Vny = 21.65 T$
$Fib * Mnz = 5.24 T * m$	$Fiv * Vnz = 29.85 T$
ELEMENTOS DE LA SECCION	
ala = compacto	alma = compacto

Tabla 25: Resistencia de dimensionamiento (Ala - Alma)

38. CORREA INFERIOR DE CELOSIA

Propiedades: Barra n.º 1035

Nudos	X	Y	Z	[m]
57	7.50	10.00	4.70	
52	0.0	10.00	4.20	

Longitud L=7.52 [m]

Tipo de barra: Barra
 Sección: TREC 200x100x8
 Material: STEEL A36

Nombre de la barra: Barra_1035
 Lista de barras componentes: 1035

Atributos adicionales:
 Ángulo gama=0.0

Características de la sección:
 TREC 200x100x8

HY=100, HZ=200 [mm]
 AX=4346 [mm²]

IX=18010000, IY=21130000, IZ=7110000 [mm⁴]

Características de material:

E=2038901.78 (kgf/cm²) NI=0.30 G=784203.81 (kgf/cm²)
 Peso específico (densidad)=7.85 (T/m³) Re=2531.05 (kgf/cm²) LX=0.00 (1/°C)

Resultados: Barra n.º 1035

Caso 35 1.2D+0.5L-Y

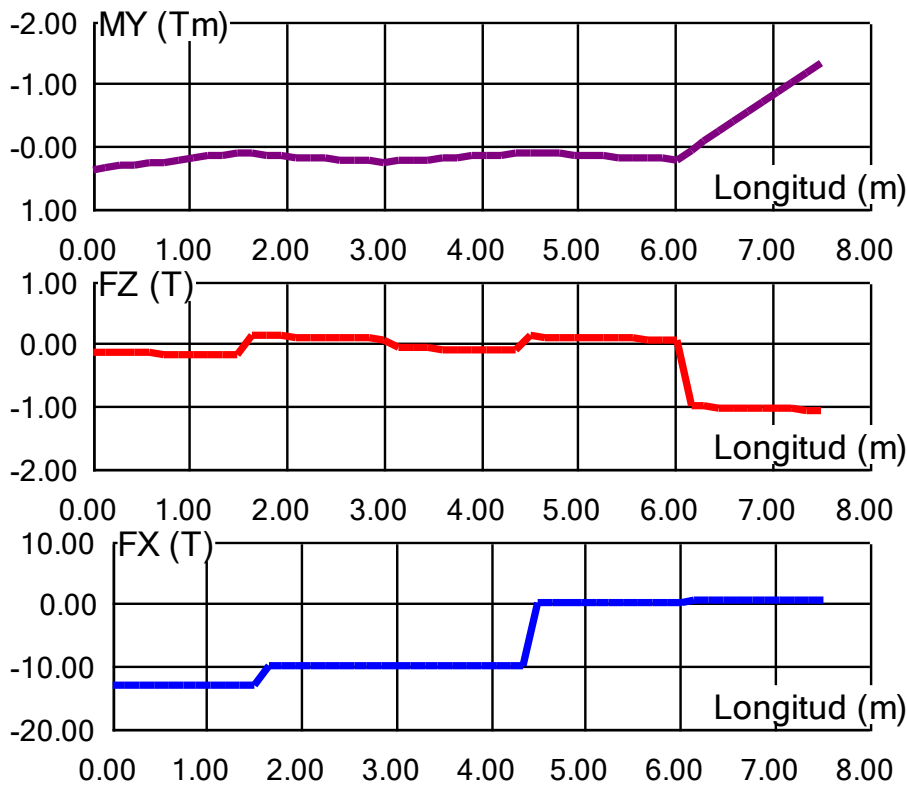
Desplazamientos [mm]:

57 UX=1 UY=-35 UZ=-13
 52 UX=1 UY=-5 UZ=-0

Flechas máximas [mm]:

UX=0 UY=-6 UZ=-3

en el punto X=0.60 X=0.42 X=0.43



Barra n.º 1035 TREC 200x100x8 Longitud L=7.52 (m) Caso 35 1.2D+0.5L-Y

	Fx (T)	Fz (T)	My (T*m)
MAX para la barra 1035	0.29	0.12	0.38
en el punto:	7.52	1.65	0.0
MIN para la barra 1035	-13.11	-1.07	-1.33
en el punto:	0.0	7.52	7.52

Comprobación relamentaria de acuerdo con ANSI/AISC 360-22

Sección: TREC 200x100x8
 Tipo de barra: Barra
 Material: STEEL A36 Re=2531.05 (kgf/cm2)

Perfil correcto

Símbolo Ax, Iy, Iz ... Unidad Descripción

Solicitud:

RAT 0.75 solicitud

7 ELU /12/ 1*-1.20 + 2*-1.20 + 3*-0.50 + 21*1.00

Caso de carga más

desfavorable - ELU

x = 0.00 L = 0.00 m

Puntos

Otros

Lambda y 107.80 esbeltez de la barra

Lambda z 185.84 esbeltez de la barra

RESISTENCIAS DE DIMENSIONAMIENTO

$$F_{IT} * T_n = 3.84 \text{ T*m}$$

$$F_{ic} * P_n = 19.99 \text{ T}$$

$$F_{ib} * M_{ny} = 6.49 \text{ T*m}$$

$$F_{iv} * V_{ny} = 16.62 \text{ T}$$

$$F_{ib} * M_{nz} = 4.00 \text{ T*m}$$

$$F_{iv} * V_{nz} = 38.49 \text{ T}$$

ELEMENTOS DE LA SECCION

ala = compacto

alma = compacto

Tabla 26: Resistencia de dimensionamiento (Ala - Alma)

39. Esfuerzos internos (fuerzas y momentos)

Nudo/Caso/Modo	FX (T)	FY (T)	FZ (T)	MX (Tm)	MY (Tm)	MZ (Tm)
1/ 1/	0.42	0.01	1.30	-0.02	0.84	0.00
1/ 2/	0.62	0.12	1.63	-0.22	1.25	0.00
1/ 3/	0.92	0.18	2.16	-0.32	1.84	0.00
1/ 5/ CQC	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
1/ 6/ CQC	0.02	0.18	0.09	0.77	0.04	0.01
1/ 9/ CQC	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1/ 10/ CQC	0.02	0.16	0.08	0.67	0.04	0.01
1/ ELU+	1.77	0.46	4.75	1.34	3.56	0.01
1/ 13/ CQC	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1/ 14/ CQC	0.02	0.17	0.09	0.71	0.05	0.01
1/ ELU-	-1.77	-0.46	-4.75	-1.34	-3.56	-0.01
1/ 17/ CQC	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1/ 18/ CQC	0.02	0.17	0.09	0.71	0.05	0.01
1/ 20/ CQC	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1/ 21/ CQC	0.06	0.21	0.15	0.90	0.12	0.01
1/ 32 (C) (CQC)/	1.71	0.25	4.60	-0.44	3.44	0.00
1/ 33 (C) (CQC)/	1.77	0.46	4.75	0.45	3.56	0.01
1/ 34 (C) (CQC)/	1.71	0.25	4.60	-0.44	3.44	0.00
1/ 35 (C) (CQC)/	1.65	0.03	4.45	-1.34	3.31	-0.01
1/ 36 (C) (CQC)/	0.94	0.12	2.64	-0.21	1.89	0.00
1/ 37 (C) (CQC)/	1.00	0.33	2.79	0.68	2.01	0.01
1/ 38 (C) (CQC)/	0.94	0.12	2.64	-0.21	1.89	0.00
1/ 39 (C) (CQC)/	0.88	-0.09	2.49	-1.11	1.76	-0.01
3/ 1/	-0.42	0.01	1.30	-0.02	-0.84	-0.00
3/ 2/	-0.62	0.12	1.63	-0.22	-1.25	-0.00
3/ 3/	-0.92	0.18	2.16	-0.32	-1.84	-0.00
3/ 5/ CQC	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
3/ 6/ CQC	0.02	0.16	0.08	0.67	0.04	0.01
3/ 9/ CQC	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3/ 10/ CQC	0.02	0.18	0.09	0.77	0.04	0.01
3/ ELU+	1.77	0.46	4.75	1.34	3.56	0.01
3/ 13/ CQC	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3/ 14/ CQC	0.02	0.17	0.09	0.71	0.05	0.01
3/ ELU-	-1.77	-0.46	-4.75	-1.34	-3.56	-0.01
3/ 17/ CQC	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3/ 18/ CQC	0.02	0.17	0.09	0.71	0.05	0.01
3/ 20/ CQC	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3/ 21/ CQC	0.06	0.21	0.15	0.90	0.12	0.01
3/ 32 (C) (CQC)/	-1.71	0.25	4.60	-0.44	-3.44	-0.00
3/ 33 (C) (CQC)/	-1.65	0.46	4.75	0.45	-3.31	0.01
3/ 34 (C) (CQC)/	-1.71	0.25	4.60	-0.44	-3.44	-0.00
3/ 35 (C) (CQC)/	-1.77	0.03	4.45	-1.34	-3.56	-0.01
3/ 36 (C) (CQC)/	-0.94	0.12	2.64	-0.21	-1.89	-0.00
3/ 37 (C) (CQC)/	-1.00	0.33	2.79	0.68	-1.76	0.01
3/ 38 (C) (CQC)/	-0.94	0.12	2.64	-0.21	-1.89	-0.00
3/ 39 (C) (CQC)/	-1.00	-0.09	2.49	-1.11	-2.01	-0.01
20/ 1/	0.19	-0.00	1.19	0.00	0.35	-0.00
20/ 2/	0.83	-0.03	3.58	0.06	1.49	-0.00
20/ 3/	1.21	-0.04	4.78	0.08	2.18	-0.00
20/ 5/ CQC	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
20/ 6/ CQC	0.01	0.24	0.04	0.87	0.02	0.01
20/ 9/ CQC	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabla 27: Fuerzas y momentos

Nudo/Caso/Modo	FX (T)	FY (T)	FZ (T)	MX (Tm)	MY (Tm)	MZ (Tm)
20/ 13/ CQC	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
20/ 14/ CQC	0.01	0.22	0.04	0.81	0.03	0.01
20/ ELU-/	-1.86	-0.33	-8.19	-1.12	-3.34	-0.01
20/ 17/ CQC	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
20/ 18/ CQC	0.01	0.22	0.04	0.81	0.03	0.01
20/ 20/ CQC	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
20/ 21/ CQC	0.03	0.28	0.07	1.01	0.05	0.01
20/ 32 (C) (CQC)/	1.84	-0.06	8.12	0.11	3.29	-0.00
20/ 33 (C) (CQC)/	1.86	0.22	8.19	1.12	3.34	0.01
20/ 34 (C) (CQC)/	1.84	-0.06	8.12	0.11	3.29	-0.00
20/ 35 (C) (CQC)/	1.81	-0.33	8.04	-0.91	3.24	-0.01
20/ 36 (C) (CQC)/	0.92	-0.03	4.29	0.05	1.65	-0.00
20/ 37 (C) (CQC)/	0.95	0.25	4.37	1.07	1.70	0.01
20/ 38 (C) (CQC)/	0.92	-0.03	4.29	0.05	1.65	-0.00
20/ 39 (C) (CQC)/	0.89	-0.30	4.22	-0.96	1.60	-0.01
22/ 1/	-0.19	-0.00	1.19	0.00	-0.35	0.00
22/ 2/	-0.83	-0.03	3.58	0.06	-1.49	0.00
22/ 3/	-1.21	-0.04	4.78	0.08	-2.18	0.00
22/ 5/ CQC	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
22/ 6/ CQC	0.01	0.21	0.04	0.76	0.02	0.01
22/ 9/ CQC	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
22/ 10/ CQC	0.01	0.24	0.04	0.87	0.02	0.01
22/ ELU+/	1.86	0.33	8.19	1.12	3.34	0.01
22/ 13/ CQC	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
22/ 14/ CQC	0.01	0.22	0.04	0.81	0.03	0.01
22/ ELU-/	-1.86	-0.33	-8.19	-1.12	-3.34	-0.01
22/ 17/ CQC	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
22/ 18/ CQC	0.01	0.22	0.04	0.81	0.03	0.01
22/ 20/ CQC	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
22/ 21/ CQC	0.03	0.28	0.07	1.01	0.05	0.01
22/ 32 (C) (CQC)/	-1.84	-0.06	8.12	0.11	-3.29	0.00
22/ 33 (C) (CQC)/	-1.81	0.22	8.19	1.12	-3.24	0.01
22/ 34 (C) (CQC)/	-1.84	-0.06	8.12	0.11	-3.29	0.00
22/ 35 (C) (CQC)/	-1.86	-0.33	8.04	-0.90	-3.34	-0.01
22/ 36 (C) (CQC)/	-0.92	-0.03	4.29	0.05	-1.65	0.00
22/ 37 (C) (CQC)/	-0.89	0.25	4.37	1.07	-1.60	0.01
22/ 38 (C) (CQC)/	-0.92	-0.03	4.29	0.05	-1.65	0.00
22/ 39 (C) (CQC)/	-0.95	-0.30	4.22	-0.96	-1.70	-0.01
48/ 1/	0.19	0.00	1.18	-0.00	0.35	-0.00
48/ 2/	0.79	0.00	3.47	-0.01	1.43	-0.00
48/ 3/	1.16	0.01	4.62	-0.01	2.09	-0.00
48/ 5/ CQC	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
48/ 6/ CQC	0.00	0.23	0.00	0.86	0.00	0.01
48/ 9/ CQC	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
48/ 10/ CQC	0.00	0.20	0.00	0.75	0.00	0.01
48/ ELU+/	1.77	0.28	7.90	1.02	3.18	0.01
48/ 13/ CQC	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
48/ 14/ CQC	0.00	0.21	0.00	0.80	0.00	0.01
48/ ELU-/	-1.77	-0.28	-7.90	-1.02	-3.18	-0.01
48/ 17/ CQC	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
48/ 18/ CQC	0.00	0.21	0.00	0.80	0.00	0.01
48/ 20/ CQC	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabla 28: Fuerzas y momentos

Nudo/Caso/Modo	FX (T)	FY (T)	FZ (T)	MX (Tm)	MY (Tm)	MZ (Tm)
48/ 33 (C) (CQC)/	1.77	0.28	7.90	1.00	3.18	0.01
48/ 34 (C) (CQC)/	1.77	0.01	7.89	-0.01	3.17	-0.00
48/ 35 (C) (CQC)/	1.77	-0.27	7.88	-1.02	3.17	-0.01
48/ 36 (C) (CQC)/	0.89	0.00	4.19	-0.00	1.60	-0.00
48/ 37 (C) (CQC)/	0.89	0.28	4.20	1.00	1.60	0.01
48/ 38 (C) (CQC)/	0.89	0.00	4.19	-0.01	1.60	-0.00
48/ 39 (C) (CQC)/	0.89	-0.27	4.18	-1.01	1.59	-0.01
50/ 1/	-0.19	0.00	1.18	-0.00	-0.35	0.00
50/ 2/	-0.79	0.00	3.47	-0.01	-1.43	0.00
50/ 3/	-1.16	0.01	4.62	-0.01	-2.09	0.00
50/ 5/ CQC	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
50/ 6/ CQC	0.00	0.20	0.00	0.75	0.00	0.01
50/ 9/ CQC	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
50/ 10/ CQC	0.00	0.23	0.00	0.86	0.00	0.01
50/ ELU+/	1.77	0.28	7.90	1.02	3.18	0.01
50/ 13/ CQC	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
50/ 14/ CQC	0.00	0.21	0.00	0.80	0.00	0.01
50/ ELU-/	-1.77	-0.28	-7.90	-1.02	-3.18	-0.01
50/ 17/ CQC	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
50/ 18/ CQC	0.00	0.21	0.00	0.80	0.00	0.01
50/ 20/ CQC	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
50/ 21/ CQC	0.00	0.27	0.01	1.01	0.00	0.01
50/ 32 (C) (CQC)/	-1.77	0.01	7.89	-0.01	-3.17	0.00
50/ 33 (C) (CQC)/	-1.77	0.28	7.90	1.00	-3.17	0.01
50/ 34 (C) (CQC)/	-1.77	0.01	7.89	-0.01	-3.17	0.00
50/ 35 (C) (CQC)/	-1.77	-0.27	7.88	-1.02	-3.18	-0.01
50/ 36 (C) (CQC)/	-0.89	0.00	4.19	-0.00	-1.60	0.00
50/ 37 (C) (CQC)/	-0.89	0.28	4.20	1.00	-1.59	0.01
50/ 38 (C) (CQC)/	-0.89	0.00	4.19	-0.01	-1.60	0.00
50/ 39 (C) (CQC)/	-0.89	-0.27	4.18	-1.01	-1.60	-0.01
76/ 1/	0.19	-0.00	1.18	0.00	0.35	0.00
76/ 2/	0.79	-0.00	3.47	0.01	1.43	0.00
76/ 3/	1.16	-0.01	4.62	0.01	2.09	0.00
76/ 5/ CQC	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
76/ 6/ CQC	0.00	0.23	0.00	0.86	0.00	0.01
76/ 9/ CQC	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
76/ 10/ CQC	0.00	0.20	0.00	0.75	0.00	0.01
76/ ELU+/	1.77	0.28	7.90	1.02	3.18	0.01
76/ 13/ CQC	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
76/ 14/ CQC	0.00	0.21	0.00	0.80	0.00	0.01
76/ ELU-/	-1.77	-0.28	-7.90	-1.02	-3.18	-0.01
76/ 17/ CQC	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
76/ 18/ CQC	0.00	0.21	0.00	0.80	0.00	0.01
76/ 20/ CQC	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
76/ 21/ CQC	0.00	0.27	0.01	1.01	0.00	0.01
76/ 32 (C) (CQC)/	1.77	-0.01	7.89	0.01	3.17	0.00
76/ 33 (C) (CQC)/	1.77	0.27	7.90	1.02	3.18	0.01
76/ 34 (C) (CQC)/	1.77	-0.01	7.89	0.01	3.17	0.00
76/ 35 (C) (CQC)/	1.77	-0.28	7.88	-1.00	3.17	-0.01
76/ 36 (C) (CQC)/	0.89	-0.00	4.19	0.01	1.60	0.00
76/ 37 (C) (CQC)/	0.89	0.27	4.20	1.01	1.60	0.01
76/ 38 (C) (CQC)/	0.89	-0.00	4.19	0.00	1.60	0.00

Tabla 29: Fuerzas y momentos

Nudo/Caso/Modo	FX (T)	FY (T)	FZ (T)	MX (Tm)	MY (Tm)	MZ (Tm)
76/ 39 (C) (CQC)/	0.89	-0.28	4.18	-1.00	1.59	-0.01
78/ 1/	-0.19	-0.00	1.18	0.00	-0.35	-0.00
78/ 2/	-0.79	-0.00	3.47	0.01	-1.43	-0.00
78/ 3/	-1.16	-0.01	4.62	0.01	-2.09	-0.00
78/ 5/ CQC	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
78/ 6/ CQC	0.00	0.20	0.00	0.75	0.00	0.01
78/ 9/ CQC	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
78/ 10/ CQC	0.00	0.23	0.00	0.86	0.00	0.01
78/ ELU+/	1.77	0.28	7.90	1.02	3.18	0.01
78/ 13/ CQC	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
78/ 14/ CQC	0.00	0.21	0.00	0.80	0.00	0.01
78/ ELU-/	-1.77	-0.28	-7.90	-1.02	-3.18	-0.01
78/ 17/ CQC	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
78/ 18/ CQC	0.00	0.21	0.00	0.80	0.00	0.01
78/ 20/ CQC	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
78/ 21/ CQC	0.00	0.27	0.01	1.01	0.01	0.01
78/ 32 (C) (CQC)/	-1.77	-0.01	7.89	0.01	-3.17	-0.00
78/ 33 (C) (CQC)/	-1.77	0.27	7.90	1.02	-3.17	0.01
78/ 34 (C) (CQC)/	-1.77	-0.01	7.89	0.01	-3.17	-0.00
78/ 35 (C) (CQC)/	-1.77	-0.28	7.88	-1.00	-3.18	-0.01
78/ 36 (C) (CQC)/	-0.89	-0.00	4.19	0.01	-1.60	-0.00
78/ 37 (C) (CQC)/	-0.89	0.27	4.20	1.01	-1.59	0.01
78/ 38 (C) (CQC)/	-0.89	-0.00	4.19	0.00	-1.60	-0.00
78/ 39 (C) (CQC)/	-0.89	-0.28	4.18	-1.00	-1.60	-0.01
104/ 1/	0.19	0.00	1.19	-0.00	0.35	0.00
104/ 2/	0.83	0.03	3.58	-0.06	1.49	0.00
104/ 3/	1.21	0.04	4.78	-0.08	2.18	0.00
104/ 5/ CQC	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
104/ 6/ CQC	0.01	0.24	0.04	0.87	0.02	0.01
104/ 9/ CQC	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
104/ 10/ CQC	0.01	0.21	0.04	0.76	0.02	0.01
104/ ELU+/	1.86	0.33	8.19	1.12	3.34	0.01
104/ 13/ CQC	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
104/ 14/ CQC	0.01	0.22	0.04	0.81	0.03	0.01
104/ ELU-/	-1.86	-0.33	-8.19	-1.12	-3.34	-0.01
104/ 17/ CQC	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
104/ 18/ CQC	0.01	0.22	0.04	0.81	0.03	0.01
104/ 20/ CQC	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
104/ 21/ CQC	0.03	0.28	0.07	1.01	0.05	0.01
104/ 32 (C) (CQC)/	1.84	0.06	8.12	-0.11	3.29	0.00
104/ 33 (C) (CQC)/	1.86	0.33	8.19	0.90	3.34	0.01
104/ 34 (C) (CQC)/	1.84	0.06	8.12	-0.11	3.29	0.00
104/ 35 (C) (CQC)/	1.81	-0.22	8.04	-1.12	3.24	-0.01
104/ 36 (C) (CQC)/	0.92	0.03	4.29	-0.05	1.65	0.00
104/ 37 (C) (CQC)/	0.95	0.30	4.37	0.96	1.70	0.01
104/ 38 (C) (CQC)/	0.92	0.03	4.29	-0.05	1.65	0.00
104/ 39 (C) (CQC)/	0.89	-0.25	4.22	-1.07	1.60	-0.01
106/ 1/	-0.19	0.00	1.19	-0.00	-0.35	-0.00
106/ 2/	-0.83	0.03	3.58	-0.06	-1.49	-0.00
106/ 3/	-1.21	0.04	4.78	-0.08	-2.18	-0.00
106/ 5/ CQC	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
106/ 6/ CQC	0.01	0.21	0.04	0.76	0.02	0.01

Tabla 30: Fuerzas y momentos

Nudo/Caso/Modo	FX (T)	FY (T)	FZ (T)	MX (Tm)	MY (Tm)	MZ (Tm)
106/ 9/ CQC	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
106/ 10/ CQC	0.01	0.24	0.04	0.87	0.02	0.01
106/ ELU+/	1.86	0.33	8.19	1.12	3.34	0.01
106/ 13/ CQC	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
106/ 14/ CQC	0.01	0.22	0.04	0.81	0.03	0.01
106/ ELU-/	-1.86	-0.33	-8.19	-1.12	-3.34	-0.01
106/ 17/ CQC	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
106/ 18/ CQC	0.01	0.22	0.04	0.81	0.03	0.01
106/ 20/ CQC	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
106/ 21/ CQC	0.03	0.28	0.07	1.01	0.05	0.01
106/ 32 (C) (CQC)/	-1.84	0.06	8.12	-0.11	-3.29	-0.00
106/ 33 (C) (CQC)/	-1.81	0.33	8.19	0.90	-3.24	0.01
106/ 34 (C) (CQC)/	-1.84	0.06	8.12	-0.11	-3.29	-0.00
106/ 35 (C) (CQC)/	-1.86	-0.22	8.04	-1.12	-3.34	-0.01
106/ 36 (C) (CQC)/	-0.92	0.03	4.29	-0.05	-1.65	-0.00
106/ 37 (C) (CQC)/	-0.89	0.30	4.37	0.96	-1.60	0.01
106/ 38 (C) (CQC)/	-0.92	0.03	4.29	-0.05	-1.65	-0.00
106/ 39 (C) (CQC)/	-0.95	-0.25	4.22	-1.07	-1.70	-0.01
132/ 1/	0.42	-0.01	1.30	0.02	0.84	-0.00
132/ 2/	0.62	-0.12	1.63	0.22	1.25	-0.00
132/ 3/	0.92	-0.18	2.16	0.32	1.84	-0.00
132/ 5/ CQC	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
132/ 6/ CQC	0.02	0.18	0.09	0.77	0.04	0.01
132/ 9/ CQC	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
132/ 10/ CQC	0.02	0.16	0.08	0.67	0.04	0.01
132/ ELU+/	1.77	0.46	4.75	1.34	3.56	0.01
132/ 13/ CQC	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
132/ 14/ CQC	0.02	0.17	0.09	0.71	0.05	0.01
132/ ELU-/	-1.77	-0.46	-4.75	-1.34	-3.56	-0.01
132/ 17/ CQC	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
132/ 18/ CQC	0.02	0.17	0.09	0.71	0.05	0.01
132/ 20/ CQC	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
132/ 21/ CQC	0.06	0.21	0.15	0.90	0.12	0.01
132/ 32 (C) (CQC)/	1.71	-0.25	4.60	0.44	3.44	-0.00
132/ 33 (C) (CQC)/	1.77	-0.03	4.75	1.34	3.56	0.01
132/ 34 (C) (CQC)/	1.71	-0.25	4.60	0.44	3.44	-0.00
132/ 35 (C) (CQC)/	1.65	-0.46	4.45	-0.45	3.31	-0.01
132/ 36 (C) (CQC)/	0.94	-0.12	2.64	0.21	1.89	-0.00
132/ 37 (C) (CQC)/	1.00	0.09	2.79	1.11	2.01	0.01
132/ 38 (C) (CQC)/	0.94	-0.12	2.64	0.21	1.89	-0.00
132/ 39 (C) (CQC)/	0.88	-0.33	2.49	-0.68	1.76	-0.01
134/ 1/	-0.42	-0.01	1.30	0.02	-0.84	0.00
134/ 2/	-0.62	-0.12	1.63	0.22	-1.25	0.00
134/ 3/	-0.92	-0.18	2.16	0.32	-1.84	0.00
134/ 5/ CQC	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00
134/ 6/ CQC	0.02	0.16	0.08	0.67	0.04	0.01
134/ 9/ CQC	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
134/ 10/ CQC	0.02	0.18	0.09	0.77	0.04	0.01
134/ ELU+/	1.77	0.46	4.75	1.34	3.56	0.01
134/ 13/ CQC	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
134/ 14/ CQC	0.02	0.17	0.09	0.71	0.05	0.01
134/ ELU-/	-1.77	-0.46	-4.75	-1.34	-3.56	-0.01

Tabla 31: Fuerzas y momentos

Nudo/Caso/Modo	FX (T)	FY (T)	FZ (T)	MX (Tm)	MY (Tm)	MZ (Tm)
134/ 17/ CQC	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
134/ 18/ CQC	0.02	0.17	0.09	0.71	0.05	0.01
134/ 20/ CQC	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
134/ 21/ CQC	0.06	0.21	0.15	0.90	0.12	0.01
134/ 32 (C) (CQC)/	-1.71	-0.25	4.60	0.44	-3.44	0.00
134/ 33 (C) (CQC)/	-1.65	-0.03	4.75	1.34	-3.31	0.01
134/ 34 (C) (CQC)/	-1.71	-0.25	4.60	0.44	-3.44	0.00
134/ 35 (C) (CQC)/	-1.77	-0.46	4.45	-0.45	-3.56	-0.01
134/ 36 (C) (CQC)/	-0.94	-0.12	2.64	0.21	-1.89	0.00
134/ 37 (C) (CQC)/	-0.88	0.09	2.79	1.11	-1.76	0.01
134/ 38 (C) (CQC)/	-0.94	-0.12	2.64	0.21	-1.89	0.00
134/ 39 (C) (CQC)/	-1.00	-0.33	2.49	-0.68	-2.01	-0.01

Tabla 32: Fuerzas y momentos

40. Deformada del galpón

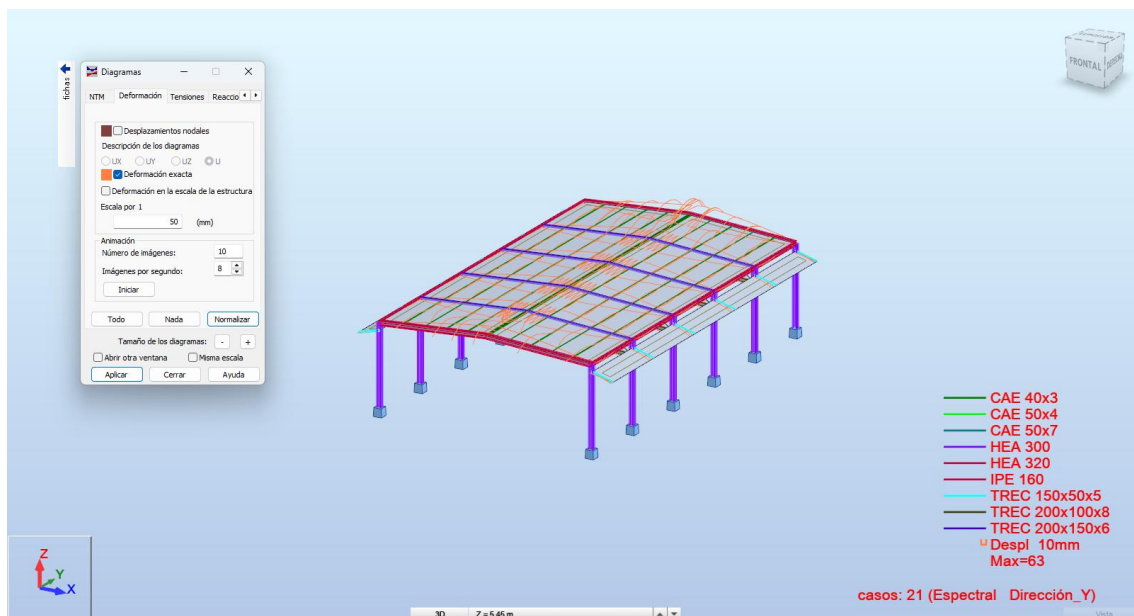


Ilustración 27; Simulación de deformaciones por sismo (Dirección Y)

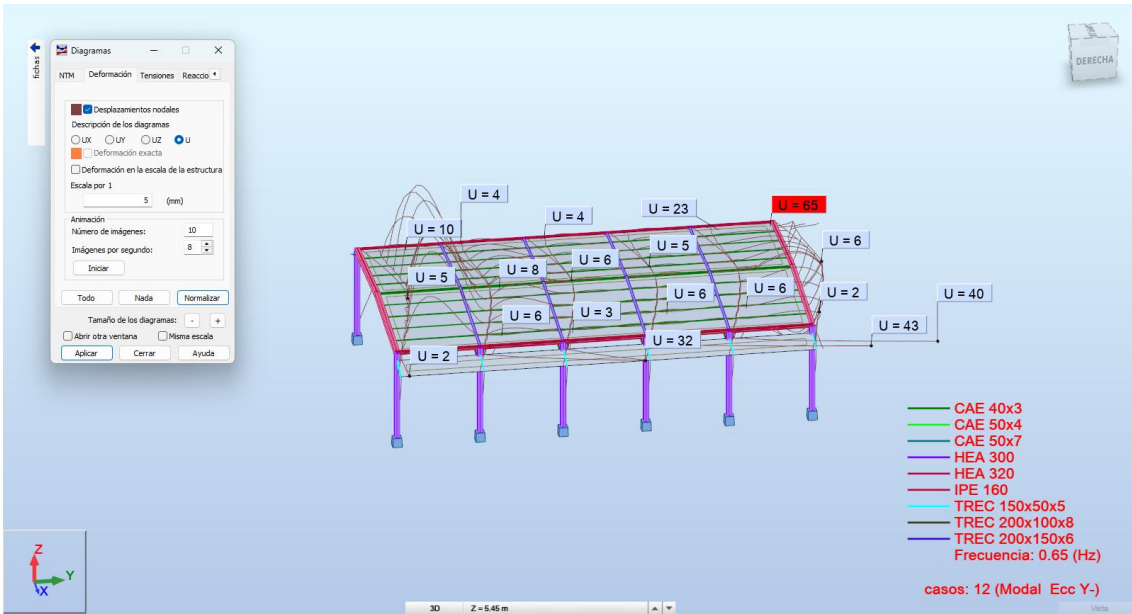


Ilustración 28: Desplazamientos nodales

CAPITULO V

41. Conclusiones

El presente trabajo de titulación ha permitido diseñar y analizar un galpón destinado al almacenamiento de materiales de construcción en el cantón Daule, Ecuador. A lo largo del proceso, se ha comprobado de manera concluyente que la propuesta estructural, conformada por perfiles de acero, cumple sólidamente con los requisitos de seguridad ante las combinaciones de carga más exigentes. Esto abarca las cargas permanentes, las impuestas por el viento, y de manera crucial, las acciones sísmicas derivadas de la ubicación del proyecto en una zona de reconocida actividad telúrica. El análisis detallado, llevado a cabo con el apoyo del software Robot Structural Analysis Professional y las verificaciones conforme a la normativa ANSI/AISC 360-22, confirmó consistentemente que todos los elementos estructurales operan dentro de sus límites de capacidad, evidenciado por ratios de solicitud/capacidad (RAT) o límites de deformación que garantizan un margen de seguridad adecuado y un comportamiento estructural aceptable bajo diversas condiciones.

Asimismo, la metodología de diseño implementada se ha alineado con los preceptos de la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-15). Esta normativa es un pilar fundamental que no solo asegura la conformidad legal del proyecto con la legislación vigente en Ecuador, sino que también garantiza su resiliencia y el desempeño esperado bajo las condiciones ambientales y sismológicas específicas del país. La elección del acero estructural como material principal ha demostrado ser una decisión acertada, dadas sus propiedades intrínsecas de alta resistencia, ductilidad y ligereza. Estas cualidades son esenciales para una respuesta estructural eficaz frente a eventos sísmicos, facilitando una disipación energética controlada y una mayor capacidad de deformación sin comprometer la integridad global de la edificación. La optimización en el dimensionamiento de los

perfiles fue un proceso clave para lograr un balance entre la seguridad necesaria y la eficiencia en el uso de los recursos materiales.

Finalmente, este proyecto no solo satisface una necesidad funcional de infraestructura para almacenamiento, sino que también establece un valioso modelo técnico. Este modelo es aplicable y adaptable para futuras construcciones en regiones con características sísmicas similares, contribuyendo activamente al desarrollo urbano sostenible. La propuesta promueve una construcción responsable y eficiente en el uso de los recursos, sentando así las bases para el establecimiento de infraestructuras más seguras y duraderas en el contexto local y regional de Ecuador. En síntesis, el diseño y análisis estructural del galpón presentado demuestra la factibilidad y la seguridad de la edificación propuesta, ofreciendo una solución de ingeniería, validada y adaptada a las exigencias del entorno de Daule, y sirviendo como una referencia práctica para la edificación de infraestructura civil resiliente en el país.

42. Recomendaciones

Con base en los resultados y la experiencia adquirida durante el desarrollo del presente trabajo de titulación, se formulan diversas recomendaciones orientadas a la continuidad del proyecto o a futuras investigaciones en el ámbito del diseño estructural. Inicialmente, y si bien el diseño actual satisface plenamente las normativas de seguridad, se sugiere encarecidamente la realización de un estudio de optimización más profundo en fases subsecuentes del proyecto. Esto implicaría evaluar la viabilidad de perfiles de acero alternativos que, sin comprometer los márgenes de seguridad requeridos, puedan generar una reducción en el consumo de material o una simplificación en los procesos de fabricación y montaje. Un análisis costo-beneficio detallado, que contemple la disponibilidad local de materiales y mano de obra, podría revelar oportunidades adicionales para mejorar la eficiencia económica sin menoscabar la integridad estructural.

Adicionalmente, se recomienda enfáticamente la elaboración de un plan exhaustivo de montaje y un detallado de conexiones preciso, dado que la correcta ejecución de las uniones (soldadas o atornilladas) es fundamental para el desempeño real y la durabilidad de la estructura. La inclusión de secuencias de montaje optimizadas, estrategias de seguridad en obra y el establecimiento de tolerancias constructivas complementaría de manera significativa el diseño teórico, facilitando una implementación segura y eficiente del galpón. Para futuras investigaciones o proyectos de magnitud similar, sería de gran valor la implementación de un monitoreo estructural post-construcción, utilizando instrumentación como sensores de desplazamiento o acelerómetros. La recopilación de datos empíricos sobre el comportamiento real de la estructura bajo cargas operativas o eventos sísmicos futuros proporcionaría una validación invaluable de los modelos teóricos, lo que a su vez permitiría refinar y optimizar los criterios de diseño en subsiguientes edificaciones.

Finalmente, se aconseja extender el alcance de la sostenibilidad del proyecto a través de una evaluación de ciclo de vida completo del galpón, analizando el impacto ambiental y económico desde la extracción de materias primas hasta el fin de la vida útil de los materiales. Un enfoque holístico en la sostenibilidad podría identificar nuevas oportunidades para reducir la huella de carbono y promover la economía circular en la industria de la construcción. Asimismo, la exploración de tecnologías emergentes en el diseño y construcción de galpones, como la integración de sistemas de gestión de información de la construcción (BIM) para una mejor coordinación, o la investigación de sistemas avanzados de protección sísmica, aunque potencialmente más costosos, podrían ofrecer niveles superiores de desempeño y protección, asegurando la resiliencia de la infraestructura civil.

43. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acero Center. (s.f.). PRODUCTOS para la construcción y metalmecánica PERFILES ESTRUCTURALES. <https://acerocenter.com.ec/wp-content/uploads/2021/06/Perfiles-Estructurales.pdf>

Alvarado, P. (2011). Sismicidad histórica y neotectónica del Ecuador. Revista Geofísica, págs. 74, 13-36.

American Institute of Steel Construction. (2016). ANSI/AISC 360-16. Specification for Structural Steel Buildings.

Ballou. (2004). Logística: Administración de la cadena de suministro. Pearson Educación.

Beer, F. P., & Johnston, E. R. (2012). Mecánica de materiales. McGraw-Hill.

Chopra, A. K. (2017). Dynamics of Structures. McGraw-Hill Education.

CK-12 Foundation. (s.f.). Ondas Sísmicas de Terremotos. <https://flexbooks.ck12.org/cbook/ck-12-conceptos-de-ciencias-de-la-tierra-grados-6-8-en-espanol/section/5.11/primary/lesson/ondas-s%C3%ADsmicas-de-terremotos/>

DIPAC. (2025). Guía sobre Perfiles Estructurales. <https://dipacmanta.com/guia-sobre-perfiles-estructurales/>

EPA. (2009). Green Building Materials: A Guide to Product Selection and Specification. Environmental Protection Agency.

FEMA. (2011). Warehouse Safety: A Guide to Safe Storage and Handling. Federal Emergency Management Agency.

Funvisis. (2018). Tipos de Ondas. <http://www.funvisis.gob.ve/old/objetosa/temblortierra/tondas.html>

Geoxnet. (s.f.). Ondas Sísmicas. <https://post.geoxnet.com/glossary/ondas-sismicas/>

Gere, J. M., & Goodno, B. J. (2017). Mechanics of Materials. Cengage Learning.

GK City. (2021). ¿Qué es la falla geológica de Quito?
<https://gk.city/2021/11/23/falla-geologica-quito/>

Hibbeler, R. C. (2017). Mecánica de materiales. Pearson Educación.

Johnson, C. (2018). Material Management in Disaster Reconstruction.

Johnson, J. E. (2012). Steel Structures: Design and Behavior. Pearson.

Kramer, S. L. (1996). Geotechnical Earthquake Engineering. Prentice Hall.

MAGNACERO. (s/f). Acero Estructural. <https://www.magnacero.com/acero-estructural/>

NEC-SE-DS;PELIGRO SÍSMICO. (2014). Norma Ecuatoriana de la Construcción, Capítulo Diseño Sismo Resistente, Peligro Sísmico. Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda.

Norma Ecuatoriana de la Construcción. (2015). NEC-SE-DS: Diseño Sismo Resistente. Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda.

Novacero. (s.f.). Soluciones Industriales / Galpones.
<https://www.novacero.com/soluciones-industriales-galpones/>

Rushton, A., Croucher, P., & Baker, P. (2014). The Handbook of Logistics and Distribution Management. Kogan Page Publishers.

Scribd. (s.f. a). Fallas Tectonicas Del Ecuador.
<https://es.scribd.com/document/405517833/fallas-tectonicas-del-ecuador-docx>

Scribd. (s.f. b). Analisis de Fallas Geologicas en El Ecuador.
<https://de.scribd.com/presentation/486460511/Analisis-de-Fallas-Geologicas-en-El-Ecuador>

Scribd. (s.f.a). Diagrama Esfuerzo Deformación.
<https://es.scribd.com/document/367410361/DIAGRAMA-ESFUERZO-DEFORMACION>

Scribd. (s.f.b). DIAGRAMA ESFUERZO DEFORMACION DEL ACERO.

<https://es.scribd.com/document/632254879/DIAGRAMA-ESFUERZO-DEFORMACION-DEL-ACERO>

SEG Wiki. (s.f.). Onda Rayleigh.

https://wiki.seg.org/wiki/Dictionary:Rayleigh_wave/es

StudySmarter. (s.f.). Ondas Love: 'Física', 'Movimiento'.

<https://www.studysmarter.es/resumenes/fisica/ondas/ondas-love/>

Tompkins, J., White, J., & Bozer, Y. (2010). Facilities Planning. John Wiley & Sons.

Udías, A., & Muñoz. (1999). Geofísica de la Tierra sólida. Alhambra Longman.

Wikipedia. (s.f.b). Onda S. https://es.wikipedia.org/wiki/Onda_S

Wikipedia. (s.f.c). Onda de Rayleigh.

https://es.wikipedia.org/wiki/Onda_de_Rayleigh

Yepez. (2010). Diseño sísmico de edificios con nuevas técnicas y materiales. UPV.

American Institute of Steel Construction. (2016a). ANSI/AISC 360-16: Specification for Structural Steel Buildings. AISC.

American Institute of Steel Construction. (2016b). ANSI/AISC 341-16: Seismic Provisions for Structural Steel Buildings. AISC.

American Society of Civil Engineers. (2017). ASCE/SEI 7-16: Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures. ASCE.

Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (2015a). Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-SE-DS: Diseño Sismo Resistente. MIDUVI.

Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (2015b). Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-SE-ACERO: Estructuras de Acero. MIDUVI.

Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (2015c). Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-SE-CG: Cargas No Sísmicas. MIDUVI.

Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (2015d). Norma Ecuatoriana de la

Construcción NEC-SE-CIM: Cimentaciones. MIDUVI.

44. ANEXOS

