



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

SEDE GUAYAQUIL

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**INFLUENCIA DE LA VARIACIÓN DE PARÁMETROS GEOMÉTRICOS EN EL
DISEÑO SISMORRESISTENTE DE NAVES INDUSTRIALES**

Trabajo de Titulación previo a la obtención del

Título de Ingeniero Civil

AUTORES:

GAIBOR CATAGÑA CARLOS SANTIAGO

CEVALLOS CALLE MATÍAS RICARDO

TUTOR:

ING. FABIAN ALBERTO MACAS JARAMILLO, MGTR

Guayaquil – Ecuador

2025

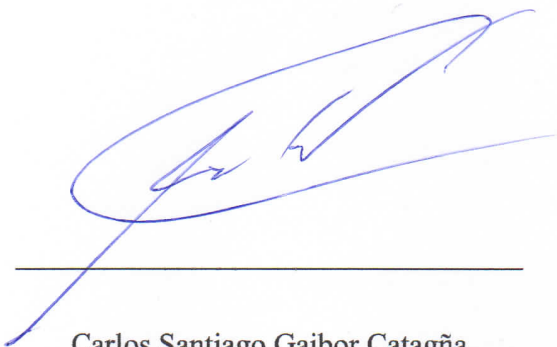
**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Nosotros, Carlos Santiago Gaibor Catagña con documento de identificación N°0605788181 y Matías Ricardo Cevallos Calle con documento de identificación N°0750307126; manifestamos que:

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

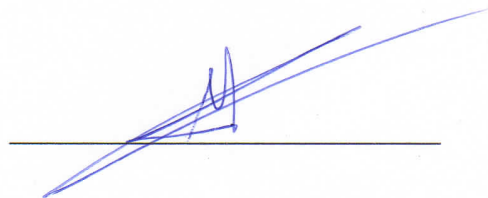
Guayaquil, 31 de julio del año 2025

Atentamente,



Carlos Santiago Gaibor Catagña

C.I: 0605788181



Matías Ricardo Cevallos Calle

C.I: 0750307126

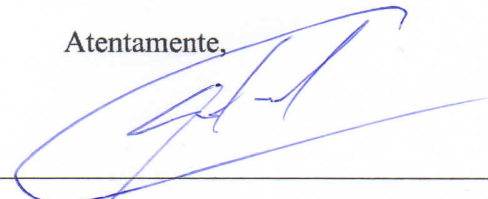
**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Carlos Santiago Gaibor Catagña con documento de identificación N°0605788181 y Matías Ricardo Cevallos Calle con documento de identificación N°0750307126; 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 de titulación: “Influencia de la variación de parámetros geométricos en el diseño sismorresistente de naves industriales”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Civil, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

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

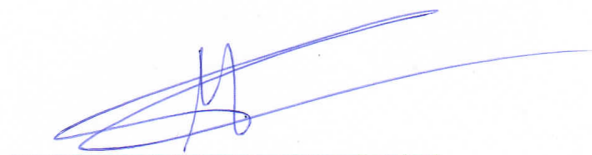
Guayaquil, 31 de julio del año 2025.

Atentamente,



Carlos Santiago Gaibor Catagña

C.I: 0605788181



Matías Ricardo Cevallos Calle

C.I: 0750307126

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Ing. Fabian Alberto Macas Jaramillo Mgtr. , con documento de identificación N.º0704808625, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: INFLUENCIA DE LA VARIACIÓN DE PARÁMETROS GEOMÉTRICOS EN EL DISEÑO SISMORRESISTENTE DE NAVES INDUSTRIALES, realizado por Carlos Santiago Gaibor Catagña con documento de identificación Nº0605788181 y Matías Ricardo Cevallos Calle con documento de identificación Nº0750307126, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción de Proyecto Técnico que cumple todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 31 de julio del año 2025



Ing. Fabian Alberto Macas Jaramillo

C.I: 0704808625

DEDICATORIA

Dedico este trabajo, en primer lugar, a mis padres, Erika Paola Calle Espinoza y Julio Ricardo Cevallos Mata, quienes han sido mi mayor apoyo a lo largo de mi vida. Gracias por educarme con amor, valores y responsabilidad. Gracias a ustedes soy una persona de bien que ha podido cumplir sus metas. Este logro es, principalmente, para ustedes.

También dedico este trabajo a mi ñaña, Marcia Fernanda Cevallos Mata, y a su esposo, Oliver Woods, quienes no solo me brindaron apoyo económico durante esta etapa universitaria, sino que, por encima de todo, jamás dejaron de creer en mí. Gracias por confiar y poner su fe en mí.

A mis abuelos, Marcia Patricia Mata Fabre y Julio César Cevallos Gonzáles, les dedico este trabajo con profundo cariño y gratitud. A ti, mami Marcia, por tu apoyo incondicional y por estar presente en los momentos en los que más la necesité. A ti, abuelo, por tus sabios consejos, por enseñarme a afrontar la vida con firmeza. Este logro también es de ustedes.

Y a mi hermano, Sebastián Menéndez Calle, a quien amo profundamente. Eres parte de mi inspiración diaria; quiero verte triunfar en la vida y verte convertirte en un gran profesional. Ojalá ser siempre un buen ejemplo para ti.

A todos ustedes, que me han acompañado con amor, apoyo y fe en este camino, les dedico con el corazón este trabajo.

Matías Ricardo Cevallos Calle

DEDICATORIA

A mis amados padres, Carlos Gaibor y Blanca Catagña, pilares fundamentales en mi vida, cuyo amor incondicional, esfuerzo incansable y sabios consejos han sido el motor que me ha impulsado a seguir adelante en cada etapa de mi formación. Gracias por enseñarme, con el ejemplo, el valor del trabajo honesto, la perseverancia y la humildad.

A mi hermano, Francis Gaibor, por su compañía constante, su apoyo silencioso y su fe en mí incluso cuando yo dudaba. Tu presencia en mi vida ha sido una fuente de alegría, inspiración y fortaleza.

A mis abuelos, Aurelio Gaibor y Luz Barragán, cuyo legado de amor, sabiduría y principios ha trascendido generaciones. Gracias por sus oraciones, por creer en mí desde el corazón y por enseñarme a soñar con los pies en la tierra. Este logro también les pertenece.

A cada uno de ustedes, les dedico esta tesis con profundo amor, gratitud y respeto. Este no es solo un logro académico, sino una expresión del fruto del amor familiar que me sostiene y me guía.

Carlos Santiago Gaibor Catagña

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Dios por brindarme la inteligencia, la fortaleza y la sabiduría necesarias para alcanzar esta meta tan importante en mi vida.

A mis padres, Erika Calle y Julio Cevallos, gracias infinitas por su amor incondicional, por sus consejos, por su fe en mí y por hacer siempre hasta lo imposible para que nunca me falte nada. A mis abuelos, Marcia Mata y Julio Cevallos, les agradezco profundamente por su cariño, dedicación y ejemplo, pilares fundamentales en la formación de la persona que soy hoy.

Con gratitud también reconozco a mi ñaña, Marcia Cevallos, y a Oliver Woods, quienes han sido un soporte constante a lo largo de mi vida. Agradezco de corazón a Génesis Gutiérrez, quien, sin obligación alguna, supo tenderme la mano y brindarme su apoyo. Gracias por acompañarme durante estos años de estudio.

Mi sincero agradecimiento al Ing. Fausto Cabrera, director de carrera, por su liderazgo y orientación. Al Dr. Leonardo Echeverría, gracias por tantos años compartiendo sus conocimientos con entrega y vocación. Al Ing. Kevin Proaño, por sus valiosos consejos y apoyo en nuestra formación profesional. Y a cada uno de los docentes de la carrera de Ingeniería Civil, gracias por su dedicación y compromiso con nuestra educación.

Extiendo mi agradecimiento al Ing. Fabián Macas, tutor de esta tesis, por su acompañamiento, paciencia y guía durante la elaboración de este trabajo.

A mi compañero de tesis, Santiago Gaibor, gracias por tu confianza cuando pocos lo hicieron. Desde el primer momento supimos que lograríamos culminar este proyecto con éxito.

A mis amigos de toda la vida, Germania, Denisse y Cristhian, gracias por estar presentes en mi vida en cada etapa, por acompañarme en los momentos felices y, sobre todo, en los más difíciles. Gracias por su amistad incondicional.

A Paul, Steven y Joel, colegas y amigos que la universidad me regaló, gracias por su apoyo, por todas las anécdotas compartidas y por hacer de este camino una experiencia inolvidable.

Finalmente, gracias a cada persona que creyó en mí desde el primer día. A quienes vieron en mí un potencial que, a veces, ni yo mismo lograba reconocer. Gracias por no dejarme caer, por su aliento y por acompañarme a cumplir este gran sueño.

Con todo mi amor y agradecimiento.

Matías Ricardo Cevallos Calle

AGRADECIMIENTO

Al culminar esta etapa tan importante en mi formación académica, quiero expresar mi más profundo agradecimiento a quienes hicieron posible este logro. Esta tesis no es solo un requisito académico, sino el reflejo del apoyo, cariño y enseñanzas que he recibido a lo largo de este camino.

En primer lugar, agradezco a Dios por haberme dado la salud, la sabiduría y la fuerza necesarias para afrontar cada desafío. Su presencia en mi vida ha sido guía constante y motivo de esperanza.

A mis padres, Carlos Gaibor y Blanca Catagña, gracias por ser mi mayor ejemplo de entrega y perseverancia. Su amor incondicional, sus consejos sinceros y su constante apoyo han sido fundamentales para alcanzar esta meta. A mi hermano, Francis Gaibor, por acompañarme siempre, brindándome ánimo, alegría y confianza en los momentos que más lo necesité.

A mis abuelos, Aurelio Gaibor y Luz Barragán, por su cariño entrañable y sus enseñanzas de vida. Su sabiduría, fortaleza y fe han dejado una huella imborrable en mí, y han sido inspiración constante durante este proceso.

Mi sincero agradecimiento a mis docentes, especialmente al Ing. Kevin Proaño y al DBA. Leonardo Echeverría, quienes aportaron con su conocimiento y vocación a mi crecimiento profesional. A mi tutor de tesis, Fabián Macas, por su guía paciente, su compromiso y el valioso acompañamiento en cada etapa de este proyecto.

Agradezco también a los grandes amigos que me regaló la universidad, hoy colegas y compañeros de vida: Kevin Paredes y Marck Caicedo. Gracias por compartir conmigo no solo

apuntes y trabajos, sino también sueños, caídas y logros. Su amistad ha sido parte esencial de este camino.

Un agradecimiento muy especial a mi compañero de tesis, Matías Cevallos, por su compromiso, responsabilidad y compañerismo durante todo el proceso. Su dedicación y trabajo conjunto hicieron posible llevar esta investigación a buen término con esfuerzo compartido y metas comunes.

A todos quienes, de alguna manera, me apoyaron, alentaron o inspiraron a seguir adelante, mi más sincero ¡gracias!

Carlos Santiago Gaibor Catagña

Resumen

El presente trabajo analiza la influencia de los parámetros geométricos particularmente la pendiente de la cubierta y la separación entre correas en el diseño sismorresistente de naves industriales metálicas. La investigación se desarrolla en el contexto ecuatoriano, una zona de alta sismicidad, y busca optimizar el comportamiento estructural, la eficiencia en el uso de materiales y la viabilidad económica del diseño. Para ello, se modelaron y analizaron múltiples configuraciones estructurales mediante el software ETABS, evaluando su respuesta ante cargas sísmicas, de viento, muertas y vivas, siguiendo los lineamientos de la norma vigente.

La metodología incluyó el prediseño de elementos clave como vigas, correas y arriostramientos, así como el análisis comparativo de sus deformaciones, esfuerzos internos y desplazamientos ante distintos escenarios de carga. Los resultados evidencian que pequeñas variaciones geométricas generan cambios significativos en la rigidez global, el peso total de la estructura y su desempeño sísmico, afectando directamente la eficiencia y seguridad del diseño.

Se concluye que una adecuada elección de la pendiente de cubierta y la distribución de correas no solo mejora el comportamiento estructural frente a eventos sísmicos, sino que también contribuye a reducir el consumo de acero. Esta investigación propone lineamientos técnicos que pueden ser útiles como referencia para ingenieros estructurales en el diseño de naves industriales más seguras y sostenibles en regiones con alta amenaza sísmica.

Palabras clave: diseño sismorresistente, naves industriales metálicas, pendiente de cubierta, separación entre correas, comportamiento estructural, optimización estructural

Abstract

This study analyzes the influence of geometric parameters specifically the roof slope and purlin spacing on the seismic-resistant design of steel industrial buildings. The research is conducted in the Ecuadorian context, a region of high seismic risk, and aims to optimize structural behavior, material efficiency, and economic feasibility. Multiple structural configurations were modeled and analyzed using ETABS software, evaluating their response to seismic, wind, dead, and live loads according to current local building codes.

The methodology included the preliminary design of key elements such as beams, purlins, and bracing systems, along with a comparative analysis of deformations, internal forces, and displacements under different loading scenarios. The results show that even minor geometric variations can significantly impact the global stiffness, total structural weight, and seismic performance, directly affecting the efficiency and safety of the design.

It is concluded that a proper selection of roof slope and purlin distribution not only improves structural behavior during seismic events but also helps reduce steel consumption. This research offers technical guidelines that may serve as a reference for structural engineers seeking to design safer and more sustainable industrial buildings in high seismic hazard areas.

Keywords: seismic-resistant design, metal industrial buildings, roof slope, purlin spacing, structural behavior, structural optimization

ÍNDICE

1.	Introducción	1
2.	Planteamiento de problema.....	2
3.	Objetivos.....	2
3.1.	<i>Objetivo General:</i>	2
3.2.	<i>Objetivos Específicos:</i>	2
4.	Justificación	3
5.	Hipótesis de investigación	3
6.	Marco Teórico.....	4
6.1.	Conceptos generales.....	4
6.1.1.	<i>Nave industrial</i>	4
6.1.2.	<i>Partes estructurales de una nave industrial metálica</i>	5
6.1.2.1.	Estructura principal (Primary Framing).....	5
6.1.2.2.	Estructura secundaria (Secondary Framing).....	6
6.1.2.3.	Correas	6
6.2.1.4.	Largueros	7
6.2.1.5.	Arriostramientos	7
6.2.1.6.	Cubierta y cerramientos	8
6.2.1.7.	Conexiones estructurales	9
6.2.1.8.	Cimentación	9
6.2.2.	<i>Tipos de naves industriales</i>	10
6.2.2.1.	Naves de hormigón	10

6.2.2.2.	Naves de estructura metálica	11
6.2.2.3.	Naves mixtas.....	12
6.2.3.	<i>Sismos</i>	12
6.2.4.	<i>Movimientos tectónicos</i>	13
6.3.	Eventos sísmicos dentro del Ecuador (2005-2025)	13
6.3.1.	<i>Enjambre sísmico de Manta (2005)</i>	14
6.3.2.	<i>Enjambre sismológico en Manta (2015)</i>	15
6.3.3.	<i>Terremoto de Pedernales (2016)</i>	15
6.3.4.	<i>Sismo en El Oro, Piñas (2024)</i>	16
6.3.5.	<i>Sismo en Napo (2025)</i>	17
6.3.6.	<i>Sismo en Esmeraldas (2025)</i>	18
6.4.	Ventajas de una nave industrial de acero	19
6.4.1.	<i>Optimización de espacio</i>	20
6.4.2.	<i>Calidad y control de los materiales</i>	20
6.5.	Perfiles de acero	20
6.6.	Perfiles utilizados para naves industriales	22
6.6.1.	<i>Perfil W (Wide Flange Beam)</i>	23
6.6.2.	<i>Perfil C (Channel Section)</i>	24
6.6.3.	<i>Perfil L (Angle)</i>	25
6.6.4.	<i>Perfil T (Structural Tee)</i>	25
6.7.	Cargas	26
6.7.1.	<i>Carga muerta</i>	26

6.7.2.	<i>Carga viva</i>	27
6.7.3.	<i>Carga de Viento</i>	28
6.7.4.	<i>Carga sísmica</i>	30
6.7.4.1.	Factor de zona sísmica (Z).....	31
6.7.4.2.	Coefficiente de importancia (I)	32
6.7.4.3.	Factor de reducción de respuesta (R).....	34
6.7.4.4.	Cortante total en la base de la estructura (V).....	35
6.7.4.5.	Periodo de Vibración	36
6.8.	Diseño por capacidad de servicio en naves industriales sismorresistentes.....	37
6.8.1.	<i>Estados Límite Últimos (ELU)</i>	38
6.8.2.	<i>Estados Límite de Servicio (ELS)</i>	38
6.9.	Aspectos fundamentales del diseño por capacidad de servicio en estructuras metálicas sismorresistentes	39
6.9.1.	<i>Expansión y contracción térmica</i>	39
6.9.2.	<i>Vibración</i>	40
6.9.3.	<i>Deslizamiento de conexión</i>	40
6.9.4.	<i>Unión tipo aplastamiento</i>	41
6.9.5.	<i>Deslizamiento crítico</i>	41
6.9.6.	<i>Movimiento inducido por el viento</i>	42
6.9.7.	<i>Corrosión</i>	42
6.10.	Diseño sismorresistente según normativa.....	43
6.10.1.	<i>NEC-SE-CG: Cargas (no sísmicas)</i>	44

6.10.2.	<i>NEC-SE-DS: Peligro Sísmico y Diseño Sismorresistente</i>	45
6.10.3.	<i>NEC-SE-AC: Estructuras de Acero</i>	46
6.10.4.	<i>Factores de comportamiento sísmico (R, Ω, C_d)</i>	47
6.10.5.	<i>Revisión del análisis modal espectral</i>	48
6.10.6.	<i>Requisitos de ductilidad y disipación de energía</i>	49
6.10.7.	<i>Categorías de importancia de las edificaciones industriales</i>	49
6.11.	Normas internacionales aplicadas en este proyecto al diseño de naves industriales	50
6.11.1.	<i>ANSI/AISC 360-22 – Specification for Structural Steel Buildings</i>	50
6.11.2.	<i>ASCE/SEI 7-22 – Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures</i>	52
6.12.	Modelado estructural en software de análisis sísmico	53
6.12.1.	<i>Introducción al software ETABS</i>	53
6.12.2.	<i>Modelado de naves con variación de geometría</i>	54
6.12.3.	<i>Tipos de análisis (estático, modal)</i>	54
6.12.4.	<i>Consideraciones prácticas para modelado preciso</i>	55
6.12.5.	<i>Comparación de resultados con variaciones geométricas</i>	55
7.	Marco Metodológico.....	56
7.1.	<i>Diseño de la investigación:</i>	56
7.1.1.	<i>Prediseño de naves industriales</i>	56
7.1.2.	<i>Cuantificación de cargas</i>	57
7.1.3.	<i>Cortante basal</i>	58

7.1.4.	<i>Carga de viento</i>	61
7.1.4.1.	Velocidad instantánea máxima del viento	61
7.1.4.2.	Velocidad corregida del viento	61
7.1.4.3.	Cálculo de la presión del viento.....	62
7.1.4.4.	Carga de viento aplicada por ancho tributario	64
7.1.5.	<i>Grado de inclinación de la cubierta</i>	65
7.1.6.	<i>Deflexión máxima</i>	66
7.1.7.	<i>Distribución de correas</i>	67
7.1.8.	<i>Prediseño de correas</i>	68
7.1.9.	<i>Prediseño de vigas</i>	72
7.2.	<i>Modelado en ETABS</i>	74
7.3.	<i>Fuerzas internas en elementos estructurales</i>	85
7.4.	<i>Deformaciones carga de servicio, sismo estático X, sismo estático Y</i>	90
8.	Análisis de resultados	122
9.	Conclusiones	140
10.	Recomendaciones	141
11.	Bibliografía	142

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema estructural de naves industrial y sus componentes	5
Figura 2. Estructura principal de una nave industrial.	6
Figura 3. Correas en nave industrial metálica.....	7
Figura 4. Nave industrial en etapa de construcción.	7
Figura 5. Arriostramiento de nave industrial.	8
Figura 6. Cubierta metálica de nave industrial.	8
Figura 7. Conexión estructural de nave industrial.	9
Figura 8. Cimentación de nave industrial.	10
Figura 9. Nave industrial con estructura completamente en hormigón armado.	11
Figura 10. Edificación industrial conformada predominantemente por elementos estructurales metálicos (vigas, columnas, cerchas).....	11
Figura 11. Nave industrial que combina elementos estructurales de acero (como cerchas y vigas) con elementos de hormigón armado (como columnas y cimentación).	12
Figura 12. Enjambre sísmico de Manta (2005).....	14
Figura 13. Enjambre sismológico en Manta, mecanismo focal, magnitud momento y localización del evento. (2015).....	15
Figura 14. Terremoto de Pedernales (2016)	16
Figura 15. Sismo en El Oro, Piñas; mecanismo focal con inversión de formas de onda, método MECAVEL.	17
Figura 16. Sismo en Napo, mapa de localización del sismo y sus primeras 3 réplicas. ...	18
Figura 17. Estructura colapsada por el sismo del 25 de abril de 2025 en Esmeraldas.	19

Figura 18. Perfiles laminados de acero.....	22
Figura 19. Perfil W	24
Figura 20. Perfil C.....	24
Figura 21. Perfil L.....	25
Figura 22. Perfil T.....	26
Figura 23. Incidencia del viento en un pórtico.	30
Figura 24. Zona sísmica del Ecuador.....	32
Figura 25. Espectro elástico de diseño.....	37
Figura 26. NEC-SE-CG: Cargas (no sísmicas).....	44
Figura 27. NEC SE DS: Peligro Sísmico y Diseño Sismorresistente.....	45
Figura 28. NEC SE AC: Estructuras de Acero	46
Figura 29. ANSI/AISC 360-22 – Specification for Structural Steel Buildings.....	51
Figura 30. ASCE/SEI 7-22 – Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures.....	53
Figura 31. Preferencias del proyecto.	74
Figura 32. Tipo de acero.	74
Figura 33. Dimensionamiento de la estructura.	75
Figura 34. Dimensionamiento de la estructura.	76
Figura 35. Elección de perfil en columnas.....	77
Figura 36. Elección de perfil en vigas	78
Figura 37. Elección de tubo cuadrado para las correas de cubierta.	79
Figura 38. Elaboración de tensor	80

Figura 39. Elaboración de arriostramiento.....	81
Figura 40. Diseño de nave industrial.	82
Figura 41. Casos de carga.	82
Figura 42. Combinaciones de carga.....	83
Figura 43. Combinaciones de carga.....	83
Figura 44. Asignación de cargas.	84
Figura 45. Fuerza axial pendiente 2%, correas 0.60m.....	85
Figura 46. Fuerza cortante pendiente 2%, correas 0.60m.....	86
Figura 47. Momento pendiente 2%, correas 0.60m.	86
Figura 48. Fuerza axial sismo estático X, pendiente 2%, correas 0.60m.	87
Figura 49. Fuerza cortante sismo estático X, pendiente 2%, correas 0.60m.	87
Figura 50. Momento en sismo estático X, pendiente 2%, correas 0.60m.....	88
Figura 51. Fuerza axial sismo estático Y, pendiente 2%, correas 0.60m.	88
Figura 52. Fuerza cortante sismo estático Y, pendiente 2%, correas 0.60m.	89
Figura 53. Momento en sismo estático Y, pendiente 2%, correas 0.60m.....	89
Figura 54. Nave industrial con pendiente 2% correas 0.60m.	90
Figura 55. Carga de servicio, pendiente 2% correas 0.60m.....	90
Figura 56. Sismo estático X, pendiente 2% correas 0.60m.	91
Figura 57. Sismo estático Y, pendiente 2% correas 0.60m.	91
Figura 58. Nave industrial con pendiente 2% correas 0.90m	92
Figura 59. Carga de servicio, pendiente 2% correas 0.90m.....	92
Figura 60. Sismo estático X, pendiente 2% correas 0.90m.	93

Figura 61. Sismo estático Y, pendiente 2% correas 0.90m.	93
Figura 62. Nave industrial con pendiente 2% correas 1.15m	94
Figura 63. Carga de servicio, pendiente 2% correas 1.15m.....	94
Figura 64. Sismo estático X, pendiente 2% correas 1.15m.	95
Figura 65. Sismo estático Y, pendiente 2% correas 1.15m.	95
Figura 66. Nave industrial con pendiente 2% correas 1.60m	96
Figura 67. Carga de servicio, pendiente 2% correas 1.60m.....	96
Figura 68. Sismo estático X, pendiente 2% correas 1.60m.	97
Figura 69. Sismo estático Y, pendiente 2% correas 1.60m.	97
Figura 70. Nave industrial con pendiente 5% correas 0.60m	98
Figura 71. Carga de servicio, pendiente 5% correas 0.60m.....	98
Figura 72. Sismo estático X, pendiente 5% correas 0.60m.	99
Figura 73. Sismo estático Y, pendiente 5% correas 0.60m.	99
Figura 74. Nave industrial con pendiente 5% correas 0.90m	100
Figura 75. Carga de servicio, pendiente 5% correas 0.90m.....	100
Figura 76. Sismo estático X, pendiente 5% correas 0.90m.	101
Figura 77. Sismo estático Y, pendiente 5% correas 0.90m.	101
Figura 78. Nave industrial con pendiente 5% correas 1.15m	102
Figura 79. Carga de servicio, pendiente 5% correas 1.15m.....	102
Figura 80. Sismo estático X, pendiente 5% correas 1.15m.	103
Figura 81. Sismo estático Y, pendiente 5% correas 1.15m.	103
Figura 82. Nave industrial con pendiente 5% correas 1.60m	104

Figura 83. Carga de servicio, pendiente 5% correas 1.60m.....	104
Figura 84. Sismo estático X, pendiente 5% correas 1.60m.	105
Figura 85. Sismo estático Y, pendiente 5% correas 1.60m.	105
Figura 86. Nave industrial con pendiente 15% correas 0.60m	106
Figura 87. Carga de servicio, pendiente 15% correas 0.60m.....	106
Figura 88. Sismo estático X, pendiente 15% correas 0.60m.	107
Figura 89. Sismo estático Y, pendiente 15% correas 0.60m.	107
Figura 90. Nave industrial con pendiente 15% correas 0.90m	108
Figura 91. Carga de servicio, pendiente 15% correas 0.90m.....	108
Figura 92. Sismo estático X, pendiente 15% correas 0.90m.	109
Figura 93. Sismo estático Y, pendiente 15% correas 0.90m.	109
Figura 94. Nave industrial con pendiente 15% correas 1.15m	110
Figura 95. Carga de servicio, pendiente 15% correas 1.15m.....	110
Figura 96. Sismo estático X, pendiente 15% correas 1.15m.	111
Figura 97. Sismo estático Y, pendiente 15% correas 1.15m.	111
Figura 98. Nave industrial con pendiente 15% correas 1.60m	112
Figura 99. Carga de servicio, pendiente 15% correas 1.60m.....	112
Figura 100. Sismo estático X, pendiente 15% correas 1.60m.	113
Figura 101. Sismo estático Y, pendiente 15% correas 1.60m.	113
Figura 102. Nave industrial con pendiente 30% correas 0.60m	114
Figura 103. Carga de servicio, pendiente 30% correas 0.60m.....	114
Figura 104. Sismo estático X, pendiente 30% correas 0.60m.	115

Figura 105. Sismo estático Y, pendiente 30% correas 0.60m.	115
Figura 106. Nave industrial con pendiente 30% correas 0.90m	116
Figura 107. Carga de servicio, pendiente 30% correas 0.90m.....	116
Figura 108. Sismo estático X, pendiente 30% correas 0.90m.	117
Figura 109. Sismo estático Y, pendiente 30% correas 0.90m.	117
Figura 110. Nave industrial con pendiente 30% correas 1.15m	118
Figura 111. Carga de servicio, pendiente 30% correas 1.15m.....	118
Figura 112. Sismo estático X, pendiente 30% correas 1.15m.	119
Figura 113. Sismo estático Y, pendiente 30% correas 1.15m.	119
Figura 114. Nave industrial con pendiente 30% correas 1.60m	120
Figura 115. Carga de servicio, pendiente 30% correas 1.60m.....	120
Figura 116. Sismo estático X, pendiente 30% correas 1.60m.	121
Figura 117. Sismo estático Y, pendiente 30% correas 1.60m.	121
Figura 118. Espectro elástico e inelástico del sismo de diseño.	124
Figura 119. Deformación gravitacional de naves industriales.....	126
Figura 120. Deformación Sísmica Eje X de naves industriales.....	127
Figura 121. Deformación Sísmica Eje Y de naves industriales.....	127
Figura 122. Peso total de naves industriales.	128
Figura 123. Deformación gravitacional de naves industriales S= 0.60 m	129
Figura 124. Deformación Sísmica Eje X; S= 0.60 m	129
Figura 125. Deformación Sísmica Eje Y; S= 0.60 m	130
Figura 126. Peso Total de las Estructuras S= 0.60 m	130

Figura 127. Deformación gravitacional de naves industriales S= 0.90 m	131
Figura 128. Deformación Sísmica Eje X; S= 0.90 m	132
Figura 129. Deformación Sísmica Eje Y; S= 0.90 m	132
Figura 130. Peso Total de las Estructuras S= 0.90 m	133
Figura 131. Deformación gravitacional de naves industriales S= 1.15 m	134
Figura 132. Deformación Sísmica Eje X; S= 1.15 m	134
Figura 133. Deformación Sísmica Eje Y; S= 1.15 m	135
Figura 134. Peso Total de las Estructuras S= 1.15 m	135
Figura 135. Deformación gravitacional de naves industriales S= 1.60 m	136
Figura 136. Deformación Sísmica Eje X; S= 1.60 m	137
Figura 137. Deformación Sísmica Eje Y; S= 1.60 m	137
Figura 138. Peso Total de las Estructuras S= 1.60 m	138
Figura 139. Comparativa Pendiente - Peso de la Estructura.....	139

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Carga viva en cubiertas de acuerdo NEC_SE_CG	27
Tabla 2. NEC_SE_DS.....	34
Tabla 3. Variables por considerar para el prediseño de las naves industriales	56
Tabla 4. Cálculo de carga muerta	57
Tabla 5. Cálculo de carga viva.....	58
Tabla 6. Valores del factor Z en función de la zona sísmica adoptada.....	58
Tabla 7. Coeficientes de sitio.....	59
Tabla 8. Coeficiente de corrección σ	61
Tabla 9. Determinación del factor de forma Cf.....	63
Tabla 10. Coeficientes de perfil de suelo.....	122
Tabla 11. Resumen de datos para el cálculo de los espectros de respuesta.....	123
Tabla 12. Resultados naves industriales pendiente 2%	125
Tabla 13. Resultados naves industriales pendiente 5%	125
Tabla 14. Resultados naves industriales pendiente 15%	125
Tabla 15. Resultados naves industriales pendiente 30%	126
Tabla 16. Resultados naves industriales correas S=0.60 m	128
Tabla 17. Resultados naves industriales correas S=0.90 m	131
Tabla 18. Resultados naves industriales correas S=1.15 m	133
Tabla 19. Resultados naves industriales correas S=1.60 m	136

1. Introducción

Las naves industriales son componentes esenciales en la economía ya que permiten, por medio de la manufacturación y producción, el almacenamiento de insumos y productos de diferentes rubros. Sin embargo, en lugares de alta sismicidad como Ecuador, su estructura no solo debe ofrecer propiedades que la vuelvan funcional y eficiente, sino también íntegra y segura ante eventos sísmicos. La inclinación de la cubierta y la geometría de la nave industrial inciden significativamente en su rendimiento sísmico y en la optimización de material.

Sin embargo, a pesar de la importancia de estos factores, la narrativa existente sobre el diseño de naves industriales ha dado poco enfoque a esta relación al centrarse en la resistencia de los materiales y los sistemas de conexión. La falta de estudios existentes en este sentido podría resultar en diseños contraproducentes que no maximicen el peso estructural y la respuesta de la estructura de la pendiente a sismos, lo que aumentaría los costos y los riesgos del diseño y la construcción.

En este contexto, la presente investigación tiene como objetivo evaluar comparativamente la influencia de la pendiente de la cubierta y la geometría estructural en el peso y el comportamiento sísmico de naves industriales. Para ello, se analizarán distintas configuraciones estructurales con el fin de identificar aquellas que maximicen la eficiencia de los materiales y mejoren la respuesta sísmica.

2. Planteamiento de problema

Las naves industriales son estructuras fundamentales para el crecimiento económico, ya que alojan procesos de producción y almacenaje. No obstante, su estructura, particularmente en zonas de alta sismicidad como Ecuador, plantea retos considerables. Hay una falta de investigaciones detalladas que examinen el impacto particular de la inclinación y la geometría estructural en la reacción ante sismos de naves industriales. Esta falta de datos puede conducir a la creación de diseños incorrectos, impactando su estabilidad y resistencia frente a sucesos sísmicos.

3. Objetivos

3.1. Objetivo General:

Evaluar de manera comparativa cómo la pendiente de una viga y la separación entre correas influyen en el peso y el comportamiento estructural de naves industriales durante un evento sísmico.

3.2. Objetivos Específicos:

Precisar la influencia entre diferentes ángulos de pendiente en la respuesta sísmica de naves industriales.

Calcular como la separación entre correas influye en el peso resultante y la respuesta sísmica de naves industriales.

Identificar los lineamientos de diseño que contribuyan a mejorar el desempeño sísmico y la optimización del peso de naves industriales.

4. Justificación

Los desafíos de diseño estructural en naves industriales en regiones de alta zonas sísmicas, como Ecuador, son múltiples; existen una serie de desafíos técnicos que deben resolverse para garantizar la seguridad y eficacia de esta situación. Uno de los más importantes es la selección de la geometría estructural más adecuada de las naves y más todavía cuando se habla de estructuras con luces superiores a 10 m.

Por tanto, las armaduras se presentan como una alternativa viable para dicho propósito. La armadura presenta la posibilidad de cubrir grandes claros con un menor uso de material en comparación con otros sistemas estructurales. Lo que esconde a la vez un tema a resolver, el cual es, optimizar su diseño en términos de qué tipo de geometría es la que permite resolver un diseño para disminuir el consumo de los materiales, pero sin comprometer la resistencia sísmica y el cumplimiento de las normativas estructurales vigentes.

Debido que actualmente no existen estudios específicos sobre la influencia de la pendiente y la geometría en la respuesta sísmica de las naves industriales, ha derivado en prácticas de diseño que probablemente no son las óptimas en términos de estabilidad y costos de construcción. Esta investigación trata de responder con una evaluación comparativa de las configuraciones estructurales, considerando la respuesta estructural a cargas sísmicas, así como su impacto en el peso total de la estructura.

5. Hipótesis de investigación

“ ¿La separación entre correas y la pendiente de una nave industrial pueden influir en la optimización estructural y económica? ”

Hipótesis Detallada 1:

El ajuste adecuado en la separación entre correas en una nave industrial permitirá reducir la cantidad de material estructural necesario, disminuyendo así los costos de construcción sin comprometer la seguridad estructural.

Hipótesis Detallada 2:

Una pendiente optimizada en la cubierta de una nave industrial mejorará el comportamiento estructural ante sus cargas vivas y muertas, lo que permitirá un diseño más eficiente y económico en comparación con pendientes convencionales.

6. Marco Teórico

6.1. Conceptos generales

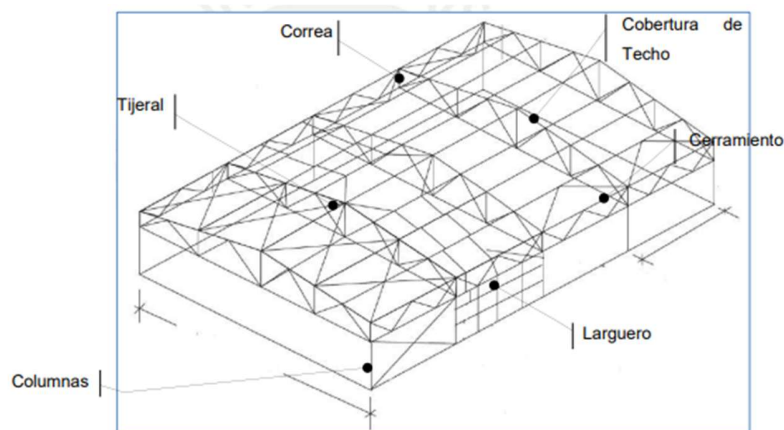
6.1.1. Nave industrial

Nave industrial o "galpón" es un proyecto de construcción, usualmente orientado a un uso industrial, que puede ser utilizado para almacenar, producir y desarrollar una amplia gama de productos. Las construcciones industriales se diseñan en función de su objetivo, como por ejemplo si son grandes depósitos, para alojar la mayor cantidad de producto, o una disposición de áreas de producción (J. Fernández Diezma, 2023).

Por lo general y dependiendo de los requerimientos técnicos de la planta industrial, estas naves deben tener una luz libre entre 20m y 30m, debido a las dimensiones de los equipos que se instalan al interior de la nave. Estos equipos son muy pesados (300 toneladas en promedio) y también influyen en la altura de la nave (Estévez, 2017).

Las naves industriales tienen por lo general, techos de estructura metálica. Esto debido que la estructura metálica tiene menor peso que la estructura de concreto armado y puede aceptar luces entre apoyos más largas en su diseño (J. Fernández Diezma, 2023).

Figura 1. Esquema estructural de naves industrial y sus componentes



Fuente: (Tomás Amateco Reyes, 2013)

6.1.2. Partes estructurales de una nave industrial metálica

Las naves industriales de estructura metálica están compuestas por un conjunto de elementos estructurales organizados jerárquicamente, cuyo diseño busca garantizar resistencia, funcionalidad y economía. A continuación, se describen de forma detallada cada uno de estos elementos fundamentales:

6.1.2.1. Estructura principal (Primary Framing)

La estructura principal constituye el esqueleto resistente de la nave, siendo responsable de absorber las cargas gravitacionales (peso propio, sobrecargas de uso, etc.) y las acciones horizontales como el viento y los sismos. Está conformada principalmente por pórticos metálicos, que incluyen columnas verticales y vigas inclinadas (también llamadas riostras) que forman una geometría de marco rígido. En América, estas secciones se fabrican típicamente con perfiles tipo

W (Wide Flange) o I-beams. Estos pórticos se distribuyen a lo largo de la nave en una dirección longitudinal, determinando la separación entre ejes estructurales (AISC, 2017).

Los pórticos pueden ser de alma llena o, en casos donde se busque optimización de material, de alma aligerada con cortes circulares u ondulados (castellated beams). En algunos diseños, se incorporan pendolones para controlar deformaciones excesivas en luces largas (AISC, 2017).

Figura 2. Estructura principal de una nave industrial.



Fuente: (TENSCO, 2025)

6.1.2.2. Estructura secundaria (Secondary Framing)

La estructura secundaria tiene la función de transmitir las cargas locales de la cubierta y los cerramientos hacia los pórticos principales, además de colaborar con la estabilidad lateral del sistema. Dentro de esta categoría se encuentran:

6.1.2.3. Correas

Elementos longitudinales apoyados sobre las vigas principales, sobre los cuales se fija el sistema de cubierta. Son usualmente perfiles en forma de "C" formados en frío. Se diseñan para resistir principalmente cargas gravitacionales.

Figura 3. Correas en nave industrial metálica.



Fuente: (SINASE, 2023)

6.2.1.4. Largueros

Similar a las correas, pero ubicados en sentido horizontal a lo largo de las fachadas. Soportan el cerramiento lateral de la nave y proporcionan rigidez adicional a las columnas ante fuerzas laterales.

Figura 4. Nave industrial en etapa de construcción.



Fuente: (SINASE, 2023)

6.2.1.5. Arriostramientos

Son miembros diagonales (usualmente tubos redondos, ángulos o varillas de acero) que proporcionan estabilidad frente a fuerzas horizontales, como viento y sismos. Se ubican en planos verticales y horizontales (arriostramiento de techo y de muro) y permiten controlar la deriva

estructural. Estos elementos trabajan predominantemente a tracción y compresión y son esenciales para garantizar un comportamiento sismo-resistente.

Figura 5. Arriostramiento de nave industrial.



Fuente: (LAMINAS Y ACEROS, 2019)

6.2.1.6. Cubierta y cerramientos

El sistema de cubierta y cerramiento está formado por paneles metálicos, generalmente de acero galvanizado, con o sin recubrimientos adicionales. La cubierta se fija sobre las correas, mientras que los paneles de fachada se fijan sobre los largueros.

En la parte superior de los muros laterales, se instalan elementos denominados canales de alero, que cumplen una doble función estructural: reciben los extremos de las correas y los largueros, y distribuyen las cargas hacia las columnas.

Figura 6. Cubierta metálica de nave industrial.



Fuente: (ETXEKIT, 2021)

6.2.1.7. Conexiones estructurales

Las conexiones son el punto de interacción entre todos los elementos estructurales y juegan un papel clave en el comportamiento global de la nave. Pueden ser soldadas, atornilladas o una combinación de ambas. Las conexiones atornilladas son más frecuentes en naves industriales por su rapidez de montaje, posibilidad de desmontaje y menor dependencia de condiciones climáticas.

Los elementos de unión incluyen placas de anclaje, placas nodales, pernos estructurales de alta resistencia, y ángulos de conexión. La correcta disposición y diseño de estas conexiones asegura la transferencia efectiva de esfuerzos entre los miembros estructurales.

Figura 7. Conexión estructural de nave industrial.



Fuente: (ETXEKIT, 2021)

6.2.1.8. Cimentación

La cimentación es el sistema que transfiere las cargas desde la estructura metálica hacia el suelo. Generalmente está compuesta por zapatas aisladas bajo columnas, vigas de amarre, y en algunos casos plateas de cimentación. Las columnas metálicas se anclan a la cimentación mediante pernos de anclaje embebidos en concreto, que aseguran la continuidad estructural y el adecuado traspaso de cargas axiales y momentos flectores.

El diseño de la cimentación se realiza con base en los estudios geotécnicos del sitio y debe considerar los empujes de viento, acciones sísmicas y asentamientos permisibles.

Figura 8. Cimentación de nave industrial.



Fuente: (DURHI, 2024)

6.2.2. Tipos de naves industriales

Existen distintos tipos de naves industriales, que pueden clasificarse teniendo en cuenta su estructura, su actividad o uso principal.

Esta clasificación se realiza teniendo en cuenta los diferentes materiales que se han utilizado para construir una nave industrial.

6.2.2.1. Naves de hormigón

Las naves de hormigón son las construcciones más habituales, que presentan una estructura resistente y firme. Esto permite que en su interior se construyan diferentes espacios, separados entre sí y destinados a diversas funciones.

Figura 9. Nave industrial con estructura completamente en hormigón armado.



Fuente: (ARQUESTIL, 2015)

6.2.2.2. Naves de estructura metálica

Estas naves son ideales para industrias que necesitan adaptarse constantemente, ya que permiten modificar su estructura y sus cerramientos con facilidad dependiendo de la demanda del proceso productivo. Esto la convierte en una solución flexible y eficiente para entornos industriales.

Figura 10. Edificación industrial conformada predominantemente por elementos estructurales metálicos (vigas, columnas, cerchas).



Fuente: (EADCIC, 2017)

6.2.2.3. Naves mixtas

Las naves industriales mixtas utilizan tanto hormigón como metal para su construcción, variando la proporción de cada uno de ellos en función de las características de la obra. La combinación de estos dos materiales dota a las naves mixtas de una estructura muy flexible, capaz de adaptarse a diferentes necesidades.

Figura 11. Nave industrial que combina elementos estructurales de acero (como cerchas y vigas) con elementos de hormigón armado (como columnas y cimentación).



Fuente: (Aceros Crea, 2021)

6.2.3. Sismos

Un sismo, también denominado terremoto, es una vibración súbita del terreno originada por la liberación de energía acumulada en la corteza terrestre, generalmente debido al movimiento relativo entre bloques de la litosfera a lo largo de una falla geológica. Esta liberación de energía se manifiesta en forma de ondas sísmicas, las cuales se propagan desde el hipocentro (punto interior donde se origina el sismo) hasta la superficie terrestre, generando movimientos horizontales y verticales que pueden causar daños a las estructuras, el suelo y las infraestructuras (IGEPN, 2021).

6.2.4. Movimientos tectónicos

Los movimientos tectónicos son fenómenos geológicos que ocurren en el interior del planeta y son responsables de la creación y transformación de importantes formas del relieve terrestre, como cordilleras, valles y fosas oceánicas (González, 2019).

Estos procesos se originan debido al desplazamiento de las placas tectónicas que conforman la litosfera, la cual flota sobre la astenosfera. Su principal causa radica en las corrientes de convección generadas en el manto terrestre, provocadas por variaciones de temperatura y densidad en las rocas. Estas corrientes funcionan como un mecanismo que impulsa el desplazamiento de las placas. Asimismo, la gravedad también interviene, especialmente en zonas de subducción, donde las placas se hunden hacia el interior del planeta (González, 2019).

6.3. Eventos sísmicos dentro del Ecuador (2005-2025)

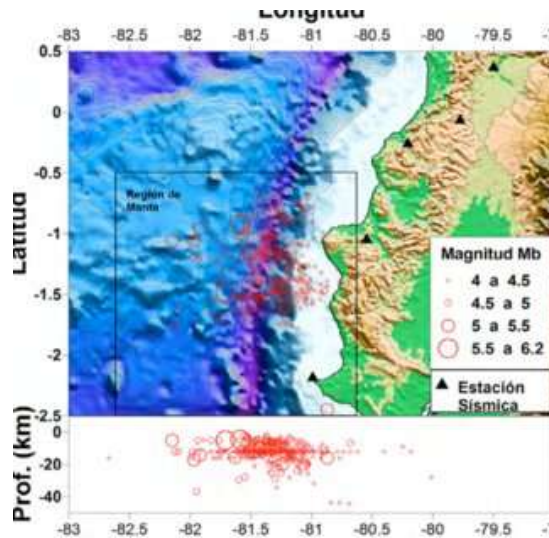
Ecuador se encuentra ubicado en el Cinturón de Fuego del Pacífico, una de las zonas tectónicamente más activas del planeta, debido a la convergencia de la placa de Nazca con la placa Sudamericana. Esta configuración geológica lo convierte en un país altamente expuesto a la actividad sísmica, registrando de forma recurrente eventos de magnitudes variables a lo largo de su territorio. La ocurrencia de estos sismos ha evidenciado la vulnerabilidad de las infraestructuras, especialmente en zonas urbanas y costeras.

A continuación, se presentarán los eventos sísmicos más relevantes ocurridos en Ecuador desde el año 2005, los cuales han tenido impactos significativos tanto en el ámbito social como en el estructural, y sirven como referencia clave para el análisis del comportamiento de edificaciones frente a cargas dinámicas.

6.3.1. Enjambre sísmico de Manta (2005)

En 2005, se registró un enjambre sísmico significativo frente a las costas de Manta, caracterizado por al menos cuatro sismos con magnitud superior a 6.0 Mw, junto con once eventos entre 5.0 y 5.9 Mw y cerca de 470 temblores entre 4.0 y 4.9 Mw. El epicentro de estos movimientos marinos reflejó una alta concentración de actividad tectónica en varias fallas costeras sudamericanas. Este enjambre puso en evidencia la complejidad del comportamiento sísmico en la zona costera, con rupturas superficiales múltiples e irregularmente distribuidas (Vaca, Régnier, Bethoux, Alvarez, & Pontoise, 2009).

Figura 12. Enjambre sísmico de Manta (2005)

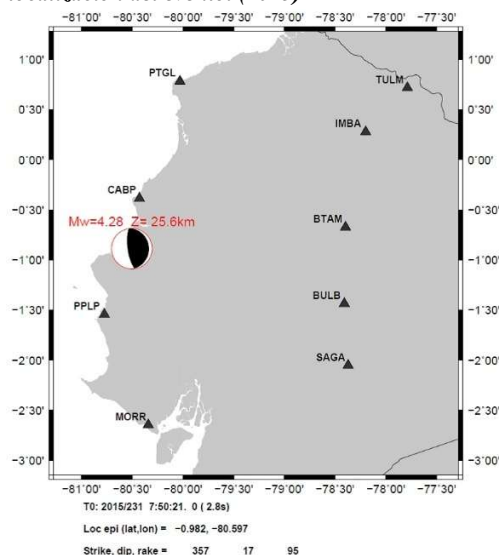


Fuente: (Vaca, Régnier, Bethoux, Alvarez, & Pontoise, 2009)

6.3.2. Enjambre sísmológico en Manta (2015)

Durante 2015, la región de Manta fue nuevamente escenario de actividad sísmica intensa, destacándose un enjambre cuyo evento más intenso alcanzó los 4.3 Mw. Aunque de magnitud moderada, este conjunto de sismos generó preocupación en la población local por su frecuencia y reiteración. No obstante, el organismo sísmológico confirmó que no se reportaron daños significativos ni pérdidas humanas, a pesar de la notable recurrencia de los temblores.

Figura 13. Enjambre sísmológico en Manta, mecanismo focal, magnitud momento y localización del evento. (2015)



Fuente: (Instituto Geofísico, Informe sísmico especial, 2015)

6.3.3. Terremoto de Pedernales (2016)

El sismo ocurrido el 16 de abril de 2016, con una magnitud momento de 7.8, se constituye como el evento telúrico de mayor impacto registrado en Ecuador en el transcurso del siglo XXI. Su epicentro se ubicó en las cercanías del cantón Pedernales, en la provincia de Manabí, generando colapsos masivos de edificaciones tanto en esta provincia como en Esmeraldas, y causando afectaciones estructurales incluso en urbes distantes como Guayaquil. Las consecuencias humanas

fueron significativas, con un número estimado de víctimas mortales entre 670 y 676, más de 27 000 personas heridas, y una gran cantidad de viviendas e infraestructuras destruidas o gravemente comprometidas. Frente a esta emergencia, el Estado ecuatoriano activó protocolos de emergencia nacional, movilizando a más de 13 500 miembros de las fuerzas armadas y cuerpos de seguridad para llevar a cabo labores de búsqueda, rescate y asistencia humanitaria (Lanning, y otros, 2016).

Figura 14. Terremoto de Pedernales (2016)

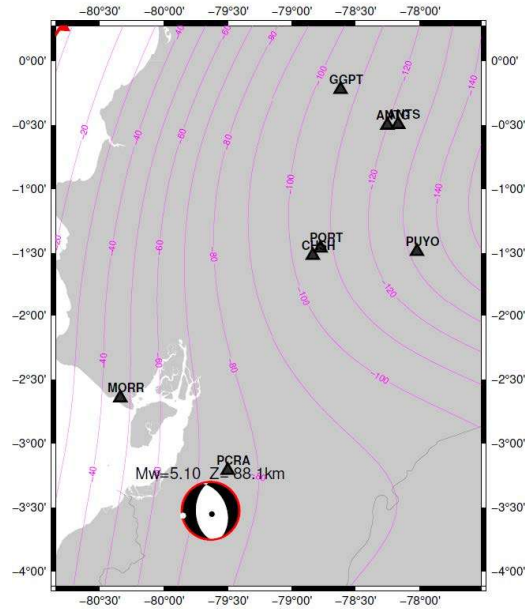


Fuente: (Revista: La República, 2016)

6.3.4. Sismo en El Oro, Piñas (2024)

El 20 de mayo de 2024, un sismo con magnitudes 5.5 MLv (5.1 Mw) tuvo su epicentro a tan solo 2.8 km de Piñas, provincia de El Oro, a una profundidad de 88 km. El choque fue percibido como moderado a fuerte en cantones cercanos, incluidos Piñas, Balsas y Zaruma, y se sintió con leve a moderado efecto en provincias como Loja, Guayas, Azuay, Cañar y Los Ríos. No se reportaron víctimas, pero sí alerta y monitoreo continuo por parte de las autoridades ante posibles réplicas.

Figura 15. Sismo en El Oro, Piñas; mecanismo focal con inversión de formas de onda, método MECAVEL.

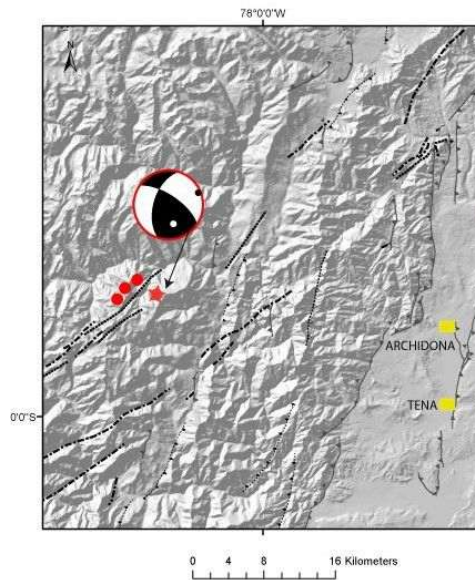


Fuente: (El Comercio, 2024)

6.3.5. Sismo en Napo (2025)

El 31 de enero de 2025, la provincia de Napo registró un sismo de 5.5 MLv a una profundidad de 11 km; su epicentro se ubicó cerca de Tena. Este evento fue acompañado por más de 25 réplicas, la mayor con magnitud 4.2 MLv, y fue sentido en 17 provincias andinas y amazónicas, entre ellas Pichincha, Cotopaxi y Tungurahua. Las autoridades alertaron sobre la continuación de réplicas y reforzaron el monitoreo sísmico regional.

Figura 16. Sismo en Napo, mapa de localización del sismo y sus primeras 3 réplicas.



Fuente: (Instituto Geofísico, Informe sísmico especial, 2025)

6.3.6. Sismo en Esmeraldas (2025)

Un fuerte temblor de magnitud 6.3 Mw se registró el 25 de abril de 2025 frente a la costa de Esmeraldas, a una profundidad de 35 km y con epicentro a unos 21 km al noreste de la ciudad. Las autoridades activaron un protocolo de alerta de tsunami que finalmente fue cancelada. Aunque no se reportaron víctimas fatales, sí se reportaron daños en fachadas de viviendas en Esmeraldas y movimientos percibidos en al menos diez provincias costeras y andinas.

Figura 17. Estructura colapsada por el sismo del 25 de abril de 2025 en Esmeraldas.



Fuente: (Los Angeles Time, 2025)

6.4. Ventajas de una nave industrial de acero

Las naves industriales de acero debido a su masa son más ligeras que las de concreto. Esta característica influye en su resistencia y en los requerimientos para su construcción, generando ventajas económicas. Hay varias ventajas del uso del acero que deben considerarse al usarlo, una de ellas es la adaptabilidad de perfiles laminados que pueden emplearse como vigas y columnas unidas mediante conexiones sencillas como soldadura o pernos. Además, su fabricación en taller permite un tiempo de construcción más corto en comparación con otros tipos de edificaciones industriales (Sumba, 2021).

Hay varias ventajas del uso del acero que deben considerarse al usarlo, una de ellas es la adaptabilidad de perfiles laminados que pueden emplearse como vigas y columnas unidas mediante conexiones sencillas como soldadura o pernos. Además, su fabricación en taller permite un tiempo de construcción más corto en comparación con otros tipos de edificaciones industriales.

En las siguientes secciones se detallará sobre las propiedades que deben poseer las naves industriales y sobre las naves industriales mixtas (Sumba, 2021).

Durabilidad. - La longevidad de una estructura estará sujeta al mantenimiento que se le proporcione. Según estudios, se puede afirmar que, bajo determinadas circunstancias, el acero no necesita ningún tipo de mantenimiento basado en pintura.

Uniformidad. - Las características físicas y mecánicas del concreto no varían con el paso del tiempo, lo que proporciona una ventaja evidente.

6.4.1. Optimización de espacio

Al utilizar una estructura de acero, no solamente se puede ahorrar en costos, también en espacio. Para el concreto, es necesario emplear mayor cantidad de secciones de peralte que las de acero. Con una estructura de acero no solo se logra terminar un proyecto en menor tiempo y costos a mediano o largo plazo, también se obtendrá una fachada con mayor espacio.

6.4.2. Calidad y control de los materiales

El acero se podría considerar como el mejor material en la construcción de una nave industrial. Dicha afirmación se respalda por la naturaleza del material y por su estricto control de calidad, debido a su cuidadosa prefabricación y con tiempos óptimos de elaboración.

6.5. Perfiles de acero

Los primeros dispositivos estructurales fabricados en Estados Unidos, en 1819, consistieron en ángulos de hierro laminado. En ese país, las primeras vigas de acero se laminaron en 1884 y en ese mismo año se estableció la primera estructura reticular (el edificio de la Compañía de Seguros de Casa de Chicago). Generalmente, se atribuye al ingeniero William LeBaron Jenney la responsabilidad de desarrollar el "rascacielos", quien propuso esta estructura, posiblemente durante una huelga de albañiles. Hasta aquel instante, las construcciones elevadas en Estados

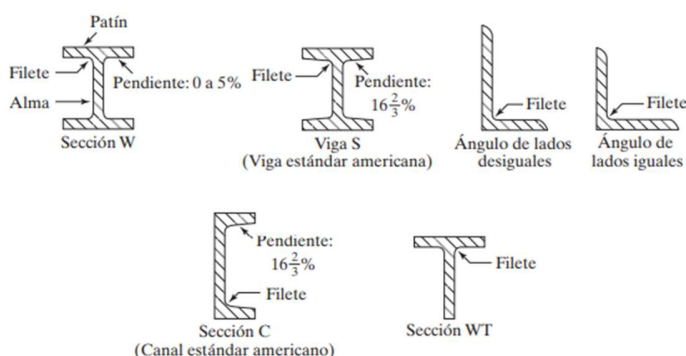
Unidos se llevaban a cabo con paredes de carga de ladrillos de múltiples pies de espesor (Jack C. McCormac, 2013).

En esos primeros años, varias laminadoras elaboraron sus propias secciones y divulgaron catálogos con las dimensiones, pesos y otras características de dichas secciones. En 1896, la Asociación de Fabricantes de Acero de Estados Unidos (hoy en día el American Iron and Steel Institute, también conocido como AISI) (Instituto Estadounidense del Hierro y el Acero) realizó los primeros intentos de estandarizar los perfiles. Hoy en día, la mayoría de los perfiles estructurales están normalizados, aunque sus dimensiones precisas pueden fluctuar ligeramente de una laminadora a otra. El acero estructural tiene la capacidad de laminarse de manera económica en una amplia gama de formas y tamaños, sin alteraciones significativas en sus características físicas. Usualmente, los componentes estructurales más adecuados son aquellos que han experimentado grandes periodos de inercia en comparación con sus respectivas áreas. Los elementos I, T y C, que son tan comunes en el uso, se ubican en esta categoría (Jack C. McCormac, 2013).

Los perfiles de acero suelen ser identificados por la forma de sus secciones transversales. Por ejemplo, se observan perfiles con formas angostas, tes, zetas y placas. No obstante, es imprescindible establecer una diferencia evidente entre las vigas estándar americanas (conocidas como vigas S) y las vigas de patín ancho (conocidas como vigas W), dado que ambas poseen la forma de I. La superficie interna del patín de una sección W se encuentra paralela a la superficie exterior o incluso paralela con una inclinación máxima de 1 a 20 en el interior, en función del productor. Las vigas S, pioneras en la fabricación de vigas laminadas en Estados Unidos, poseen una inclinación de 1 a 6 en la superficie interna de sus salientes. Es importante destacar que los

espesores constantes (o prácticamente constantes) de los patines de las vigas W, en contraste con los patines ahusados de las vigas S, simplifican las conexiones. Actualmente, las vigas de patín ancho constituyen casi el 50% de todos los elementos estructurales laminados (Jack C. McCormac, 2013).

Figura 18. Perfiles laminados de acero.



Fuente: (Spectra, 2019)

6.6. Perfiles utilizados para naves industriales

La construcción de naves industriales en Ecuador exige una integración adecuada entre la elección de perfiles de acero estructural y el cumplimiento de las normativas vigentes en materia de cargas y diseño sismo-resistente. Por un lado, la selección de perfiles tipo W (Wide Flange Beams), C (Channels), L (Angles), HSS (Hollow Steel Sections), T (Structural Tees) y rebars responde a su comportamiento mecánico frente a flexión, compresión, torsión y adherencia con el hormigón, garantizando eficiencia y economía constructiva (American Institute of Steel Construction, 2017).

Por otro lado, (NEC, 2015) (Norma Ecuatoriana de la Construcción) establece requisitos obligatorios para las cargas que actúan sobre las estructuras:

- En el capítulo NEC-SE-CG se definen las cargas no sísmicas (cargas muertas permanentes, variables como sobrecargas de uso, viento y granizo) sin incluir eventos accidentales, salvo las sísmicas manejadas por otros capítulos.
- El capítulo NEC-SE-DS regula el peligro sísmico y el diseño sismo-resistente, estableciendo que el sismo de diseño corresponde a un evento con un 10 % de probabilidad de excedencia en 50 años (periodo de retorno de 475 años). Este capítulo también detalla combinaciones de carga, efectos torsionales accidentales, y considera componentes de segundo orden (efectos P- Δ)
- Para las estructuras de acero, el capítulo NEC-SE-AC estipula el uso de sistemas resistentes como pórticos especiales, arriostramientos y conexiones soldadas con altos estándares de ductilidad y control de calidad, diferenciando elementos resistentes a cargas gravitacionales (pórticos gravitacionales) de los sísmicos (SRCS).

6.6.1. Perfil W (Wide Flange Beam)

El perfil W, conocido como viga de alma ancha, es el equivalente americano del perfil europeo tipo H o HEB. Se caracteriza por tener alas paralelas y un alma central que permite resistencias elevadas a flexión. Es ampliamente utilizado como viga principal o columna en estructuras de naves industriales, gracias a su comportamiento estructural uniforme y facilidad de conexión (American Institute of Steel Construction, 2017).

Figura 19. Perfil W



Fuente: (Construex, 2018)

6.6.2. Perfil C (Channel Section)

El perfil C, o canal estructural, presenta una sección en forma de “C” con un alma vertical y dos alas abiertas hacia el mismo lado. En América, este perfil es designado por el prefijo "C", seguido de su altura y peso. Su uso se extiende a correas de techos, largueros y estructuras secundarias en naves industriales. Es eficaz para resistir cargas unidireccionales y se emplea en marcos metálicos ligeros (American Institute of Steel Construction, 2017).

Figura 20. Perfil C



Fuente: (Acesco, 2021)

6.6.3. Perfil L (Angle)

El perfil angular tipo L está formado por dos alas que se interceptan en ángulo recto, y se utiliza comúnmente en uniones, refuerzos y estructuras secundarias. Se designa por su largo de alas y espesor. Aunque su resistencia estructural es limitada en comparación con vigas, cumple un rol fundamental en detalles constructivos y refuerzos de rigidez (American Institute of Steel Construction, 2017).

Figura 21. Perfil L



Fuente: (Import Aceros, 2021)

6.6.4. Perfil T (Structural Tee)

El perfil T se origina del corte de una viga W, generando un perfil con un alma y un ala. En América, se lo conoce como Structural Tee y se designa con la letra “WT”. Se emplea en estructuras metálicas donde se requiere resistencia unidireccional, como refuerzos intermedios o componentes de unión. Su forma le permite adaptarse fácilmente a distintos sistemas estructurales (American Institute of Steel Construction, 2017).

Figura 22. Perfil T.



Fuente: (MegaMetales, 2024)

6.7. Cargas

6.7.1. Carga muerta

Las cargas muertas son aquellas que permanecen inmóviles a lo largo del tiempo en la estructura, ya que corresponden al peso propio de todos los elementos permanentes que la componen, tales como vigas, columnas, losas, revestimientos, cubiertas, y cualquier otro componente fijo que no varíe durante la vida útil del edificio. Estas cargas actúan de manera constante y continua sobre la estructura, por lo que constituyen una parte fundamental dentro del análisis estructural y del dimensionamiento de los elementos portantes. Según la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-SE-CG, 2015), estas deben ser determinadas con precisión, considerando las propiedades físicas y geométricas reales de los materiales utilizados, ya que influyen directamente en la respuesta global de la edificación frente a diferentes solicitaciones, especialmente en condiciones sísmicas (NEC-SE-CG, 2015).

En el caso particular de las naves industriales, las cargas muertas adquieren una importancia relevante debido a las amplias dimensiones que suelen presentar este tipo de estructuras, así como por el uso de sistemas constructivos metálicos que requieren un cálculo

minucioso del peso propio de cada componente. Además, estas cargas sirven como base para las combinaciones de carga prescritas en la normativa, las cuales deben incluir también acciones vivas, térmicas, de viento y sísmicas para garantizar la seguridad y estabilidad estructural. Por tanto, la correcta evaluación de las cargas muertas es esencial para lograr un diseño estructural eficiente, seguro y conforme con la normativa ecuatoriana vigente, particularmente en contextos de alta amenaza sísmica como el que presenta el territorio nacional (López & Jiménez Bonilla, 2019).

6.7.2. Carga viva

La carga viva, también conocida como sobrecarga de uso, hace referencia a aquellas fuerzas que no permanecen de forma constante sobre la estructura, sino que pueden variar con el tiempo según el uso y la ocupación del edificio. Estas cargas están directamente relacionadas con la funcionalidad del espacio, el tipo de actividad que se desarrolla en su interior y el tránsito de personas, equipos o vehículos, dependiendo del propósito estructural de la edificación. De acuerdo con la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-SE-CG, 2015), la carga viva debe ser definida con base en criterios establecidos para cada tipo de edificación y su uso particular.

Tabla 1. Carga viva en cubiertas de acuerdo NEC_SE_CG

Ocupación o Uso	Carga uniforme (kN/m ²)	Carga concentrada (kN)
Cubiertas		
Cubiertas planas, inclinadas y curvas	0.70	
Cubiertas destinadas para áreas de paseo	3.00	
Cubiertas destinadas en jardinería o patios de reunión.	4.80	
Cubiertas destinadas para propósitos especiales		
Toldos y carpas	i	i
Construcción en lona apoyada sobre una estructura ligera	0.24 (no reduc.)	
Todas las demás	1.00	

Fuente: (NEC, 2015)

En el caso específico de las naves industriales, estas cargas pueden variar significativamente dependiendo del tipo de operación que allí se realice, como almacenamiento, producción, circulación de montacargas o maquinaria pesada. Por esta razón, es esencial determinar correctamente las magnitudes de las cargas vivas que podrían actuar sobre las estructuras horizontales, tales como losas o cubiertas metálicas. La (NEC-SE-CG, 2015), en su sección 3.2.3, contempla la posibilidad de realizar reducciones en las cargas vivas aplicadas sobre cubiertas, especialmente en situaciones donde las probabilidades de acumulación uniforme de carga sean bajas, como en cubiertas inclinadas o de acceso restringido.

Esta consideración permite optimizar el diseño estructural sin comprometer la seguridad, logrando estructuras más eficientes y económicas. En el contexto del diseño sismorresistente, aunque las cargas vivas no tienen un carácter permanente como las cargas muertas, su influencia en las combinaciones de carga prescritas por la normativa es fundamental, ya que pueden incrementar la demanda estructural en ciertos estados límite, especialmente cuando se consideran junto con las fuerzas sísmicas. Por ello, una correcta evaluación y aplicación de las cargas vivas es indispensable para garantizar la integridad y el buen desempeño de las naves industriales frente a acciones extremas (López & Jiménez Bonilla, 2019).

6.7.3. Carga de Viento

La carga de viento corresponde a una acción variable que se genera como resultado de la presión dinámica del viento sobre las superficies expuestas de una edificación. Este tipo de carga es especialmente relevante en estructuras de gran escala y baja altura, como las naves industriales, debido a sus extensas fachadas y cubiertas metálicas livianas, que pueden experimentar importantes esfuerzos por succión o presión durante eventos de viento fuerte. La magnitud de esta

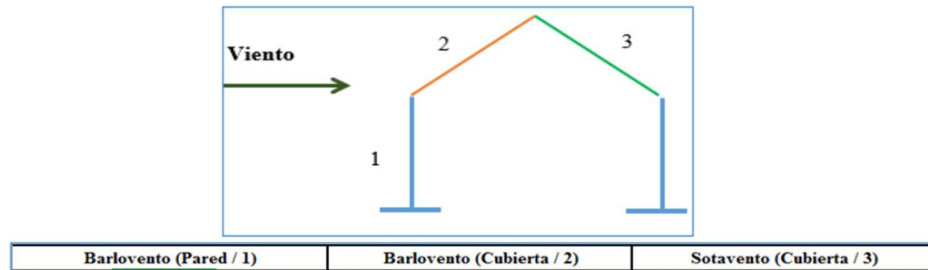
carga depende directamente de las condiciones climáticas específicas del sitio donde se emplaza la nave industrial, así como de factores topográficos, altitud, rugosidad del terreno y características geométricas de la estructura.

El procedimiento para determinar estas acciones está regulado por la Norma Ecuatoriana de la Construcción en su sección (NEC-SE-CG, 2015), la cual establece los criterios técnicos para calcular las presiones de diseño sobre muros, techos y elementos estructurales secundarios expuestos al viento. Esta normativa exige la consideración de distintas zonas de presión sobre la edificación, diferenciando entre áreas centrales, esquinas y bordes de techos, ya que cada una responde de manera diferente a las ráfagas de viento.

En el diseño estructural de naves industriales, la carga de viento cobra especial importancia no solo en la selección de perfiles de acero adecuados, sino también en la disposición de arriostramientos y en el diseño de conexiones que garanticen la estabilidad frente a cargas laterales. Además, es fundamental considerar estas cargas dentro de las combinaciones de carga contempladas por la (NEC, 2015), junto con las cargas muertas, vivas y sísmicas, para asegurar un comportamiento estructural seguro y conforme a las exigencias normativas.

En regiones del Ecuador con mayor exposición a vientos, como zonas costeras o de llanura abierta, las presiones ejercidas por el viento pueden llegar a representar una de las principales cargas horizontales actuantes sobre la estructura, por lo que su correcta evaluación es crucial para evitar fallas por vuelco, pandeo lateral o desprendimientos de elementos no estructurales (López & Jiménez Bonilla, 2019).

Figura 23. Incidencia del viento en un pórtico.



Fuente: (López & Jiménez Bonilla, 2019)

6.7.4. Carga sísmica

La carga sísmica constituye una de las principales acciones de diseño en estructuras ubicadas en regiones de alta sismicidad, como es el caso del Ecuador. Para estimar estas cargas, la Norma Ecuatoriana de la Construcción establece dos enfoques fundamentales: el método de fuerzas estáticas equivalentes y el método de análisis dinámico, siendo ambos válidos para diferentes tipos de estructuras, aunque con distintos niveles de exigencia y precisión (NEC, 2015).

El método estático se basa en la simplificación de la acción sísmica mediante la aplicación de fuerzas horizontales distribuidas a lo largo de la altura de la estructura, proporcionalmente a su masa y rigidez. Este procedimiento es considerado como el requisito mínimo aceptable en el análisis sísmico y resulta útil para estructuras regulares en planta y elevación. Sin embargo, su aplicación en naves industriales puede ser limitada si se presentan irregularidades geométricas o discontinuidades estructurales.

Por otro lado, el método dinámico, específicamente el análisis modal espectral, proporciona una evaluación más detallada y precisa de la respuesta sísmica, considerando los diferentes modos de vibración de la estructura y su distribución de masa. Este análisis es altamente

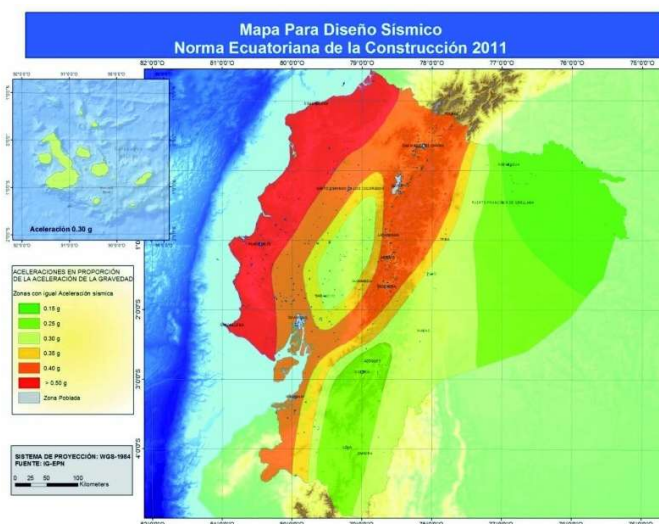
recomendado en el caso de naves industriales de gran luz, debido a que su comportamiento dinámico puede verse influenciado por efectos torsionales o modos superiores que no serían captados mediante métodos estáticos. La (NEC-SE-DS, 2015), en su capítulo 9, contempla directrices específicas para el análisis sísmico de estructuras no convencionales o distintas a edificaciones típicas, como es el caso de los galpones o naves industriales, exigiendo que estas resistan fuerzas laterales mínimas ajustadas a su categoría estructural y uso.

6.7.4.1. Factor de zona sísmica (Z)

Un parámetro clave en la determinación de la carga sísmica es el factor de zona sísmica (Z), el cual representa la aceleración pico en roca esperada para un sismo de diseño en una determinada ubicación geográfica. Este valor es definido por la zonificación sísmica nacional y se relaciona directamente con la severidad del evento sísmico considerado. A partir de este factor, y en conjunto con otros parámetros como el tipo de suelo, la categoría de importancia (I), los factores de comportamiento sísmico (R , Ω , C_d) y el espectro de respuesta elástica, se determina la acción sísmica de diseño que deberá ser aplicada sobre la nave industrial.

La correcta implementación de estos procedimientos, en conformidad con la NEC, garantizará un diseño estructural eficiente, seguro y capaz de proteger tanto a los ocupantes como a los activos industriales frente a sismos severos. Además, permite asegurar la continuidad operativa post-evento, un aspecto vital para edificaciones de uso industrial. (López & Jiménez Bonilla, 2019)

Figura 24. Zona sísmica del Ecuador.



Fuente: (NEC_SE_DS, 2015)

El mapa de zonificación sísmica utilizado para el diseño estructural se basa en los resultados del análisis de amenaza sísmica correspondiente a un nivel de excedencia del 10% en un período de 50 años, lo que equivale a un período de retorno de 475 años. Este estudio considera una aceleración sísmica máxima en roca de hasta 0.50 g en las regiones costeras del Ecuador, valor que define las condiciones sísmicas extremas de la zona VI, caracterizada por su alta peligrosidad sísmica.

6.7.4.2. Coeficiente de importancia (I)

El coeficiente de importancia sísmica, designado como I, es un parámetro fundamental en el diseño sismorresistente de estructuras, cuya función principal es modificar la demanda sísmica de diseño en función del uso, ocupación y relevancia de la edificación dentro de su entorno. Según lo establecido en la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC, 2015), este coeficiente permite que edificaciones de mayor trascendencia social, económica o estratégica sean diseñadas con un

nivel más alto de exigencia estructural, con el objetivo de que presenten menores niveles de daño estructural y funcional durante y después de un evento sísmico severo.

En el contexto de las naves industriales, el valor del coeficiente de importancia dependerá del tipo de actividad que se lleve a cabo en su interior. Por ejemplo, si se trata de un galpón destinado al almacenamiento o producción de materiales peligrosos, o que forma parte de una cadena productiva crítica para la comunidad, se clasificará en una categoría de importancia superior (categoría IV), lo cual implica un coeficiente I mayor a 1.0, usualmente de 1.25 o 1.5. Esto incrementa proporcionalmente las fuerzas sísmicas de diseño, garantizando un mejor desempeño estructural y reduciendo el riesgo de colapso o daño severo.

Aplicar correctamente el coeficiente de importancia en el diseño de galpones industriales no solo es un requisito normativo, sino una decisión clave en términos de continuidad operativa, seguridad del personal y protección de bienes e infraestructura estratégica. Esta consideración cobra aún más valor en regiones de alta amenaza sísmica, como muchas zonas del territorio ecuatoriano, donde el diseño adecuado puede marcar la diferencia entre la recuperación rápida post-sismo o una paralización prolongada de las actividades industriales (NEC, 2015).

Tabla 2. NEC_SE_DS

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

Fuente: (NEC_SE_DS, 2015)

6.7.4.3. Factor de reducción de respuesta (R)

Este factor tiene como finalidad reducir las fuerzas sísmicas consideradas en el diseño estructural, bajo la condición de que la estructura esté configurada con mecanismos de falla controlada que permitan un comportamiento inelástico sin comprometer su estabilidad global. En otras palabras, el factor R reconoce la capacidad de la estructura para disipar energía durante un evento sísmico a través de deformaciones plásticas localizadas, permitiendo así que las acciones sísmicas calculadas sean menores a las fuerzas elásticas puras (NEC-SE-DS, 2015).

En el caso específico de naves industriales, que usualmente presentan sistemas estructurales metálicos con geometrías abiertas y grandes luces, el diseño debe contemplar rutas de disipación energética bien definidas, como articulaciones plásticas en zonas no críticas y conexiones dúctiles, para que el sistema cumpla con los requisitos exigidos por este factor. La Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-SE-DS, 2015) establece valores específicos del factor R para estructuras distintas a edificaciones convencionales, como galpones industriales.

Estos valores permiten ajustar el diseño de manera realista, garantizando un nivel adecuado de seguridad estructural y evitando sobredimensionamientos innecesarios (NEC-SE-DS, 2015).

El uso apropiado del factor R implica también un compromiso con el cumplimiento de otros requisitos normativos, como la ductilidad, la sobrerresistencia y la correcta determinación de los modos de falla predominantes, asegurando que el comportamiento sísmico de la nave industrial sea eficiente y controlado. Esta metodología no solo optimiza el uso de materiales y recursos, sino que además garantiza que la estructura pueda absorber y disipar la energía sísmica sin llegar al colapso (Gaylord & Gaylord, 1990).

6.7.4.4. Cortante total en la base de la estructura (V)

Esta magnitud representa la suma de todas las fuerzas laterales inducidas por el sismo que actúan en la base de la estructura, siendo uno de los parámetros más relevantes dentro del diseño estructural sismorresistente. En el caso de estructuras rígidas —como muchas naves industriales que presentan sistemas metálicos con baja flexibilidad y periodos de vibración relativamente cortos (menores a 0.6 segundos)— el cálculo de esta cortante se realiza utilizando el método estático equivalente, conforme a los lineamientos establecidos en la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC, 2015).

Este procedimiento parte del concepto de que una porción significativa de la energía sísmica puede ser captada por el primer modo de vibración de la estructura, lo cual permite simplificar el análisis dinámico en un enfoque más directo y conservador. Para tales estructuras, la cortante sísmica total en la base, V_{VV} , se determina aplicando la siguiente fórmula:

Ecuación 1. Cortante basal

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

Donde:

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

$\phi_P \phi_E$ 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

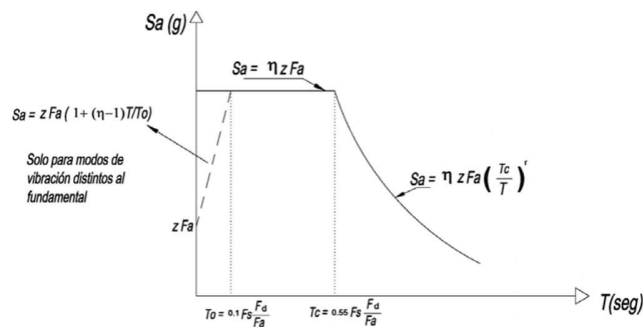
6.7.4.5. Período de Vibración

El periodo de vibración es un parámetro fundamental en el análisis sísmico, ya que representa el tiempo que tarda la estructura en completar un ciclo completo de oscilación libre ante una excitación. Se trata de una estimación inicial que permite caracterizar la respuesta dinámica de la edificación frente a movimientos sísmicos, y es especialmente relevante en el diseño de estructuras como las naves industriales, debido a su geometría particular y su sistema estructural predominantemente metálico (Gaylord & Gaylord, 1990).

Este espectro se construye en función de las características geológicas, tectónicas, sismológicas y del tipo de suelo en el que se emplaza la estructura. Su propósito es representar de manera dinámica la acción sísmica esperada, permitiendo estimar la respuesta estructural ante un sismo de diseño. De acuerdo con lo establecido por la (NEC, 2015), el espectro refleja cómo varía la aceleración del terreno con respecto al periodo de vibración de la edificación, siendo una

herramienta clave para el dimensionamiento sismorresistente de estructuras como las naves industriales, las cuales requieren una evaluación precisa de la demanda sísmica debido a sus características geométricas y funcionales.

Figura 25. Espectro elástico de diseño



Fuente: (NEC, 2015)

6.8. Diseño por capacidad de servicio en naves industriales sismorresistentes

La capacidad de servicio de una nave industrial se entiende, conforme a lo establecido en la norma ANSI/AISC 360-22 – Specification for Structural Steel Buildings, como el estado en el cual la estructura mantiene su funcionalidad, estética, durabilidad y condiciones de habitabilidad bajo condiciones normales de uso. Esta condición es fundamental en el diseño sismorresistente de naves industriales, ya que permite evaluar no solo el comportamiento ante eventos extremos, sino también su desempeño ante cargas frecuentes como el peso propio, cargas vivas, viento y sismos de baja intensidad (Benítez, 2022).

Dentro del marco del diseño estructural basado en estados límite, se distinguen dos categorías principales:

6.8.1. Estados Límite Últimos (ELU)

Los estados límite últimos (ELU) son aquellos que definen la resistencia máxima de una estructura o de sus elementos estructurales antes de llegar a un colapso total o parcial. Se centran en evitar fallas estructurales irreversibles, que pueden manifestarse como fractura, plastificación generalizada, inestabilidad global (como el vuelco o colapso lateral) o local (como el pandeo de elementos delgados). En el caso de naves industriales sismorresistentes, los ELU adquieren una importancia crítica, ya que deben garantizar que la estructura sea capaz de resistir las acciones sísmicas más severas sin comprometer su integridad estructural (Benítez, 2022).

Estos estados se evalúan considerando combinaciones de cargas extremas, tales como cargas muertas, cargas vivas, efectos térmicos, acciones del viento y solicitaciones sísmicas, aplicadas con factores de mayoración establecidos en normas como la ASCE 7-22, AISC 360-22 o el NEC-SE-DS en Ecuador.

6.8.2. Estados Límite de Servicio (ELS)

Por otro lado, los estados límite de servicio (ELS) se enfocan en garantizar que la estructura conserve condiciones aceptables de funcionalidad, confort, durabilidad y apariencia bajo condiciones normales de uso. A diferencia de los ELU, que se relacionan con la seguridad estructural extrema, los ELS evalúan el comportamiento cotidiano de la estructura, buscando que esta no experimente efectos que afecten su operación o generen molestias a los usuarios.

En el contexto de las naves industriales, estos criterios son esenciales para garantizar la continuidad de los procesos productivos, la protección de los bienes almacenados o fabricados y la seguridad del personal operativo (Benítez, 2022).

6.9. Aspectos fundamentales del diseño por capacidad de servicio en estructuras metálicas sismorresistentes

El diseño por capacidad de servicio constituye una parte esencial en el análisis estructural de edificaciones industriales, particularmente en aquellas ubicadas en zonas de alta sismicidad. Este enfoque no solo busca garantizar la seguridad ante eventos extremos, sino también asegurar que la estructura mantenga su funcionalidad, confort y durabilidad durante su vida útil bajo condiciones normales de uso. En el caso de las naves industriales metálicas, se deben considerar múltiples factores que afectan su desempeño cotidiano, tales como la expansión y contracción térmica, las vibraciones inducidas por equipos o cargas móviles, el deslizamiento en conexiones, la deformación por aplastamiento, y los efectos del viento o la corrosión. Cada uno de estos aspectos puede comprometer la eficiencia operativa, la estabilidad estructural o incluso la seguridad del personal, por lo que deben ser analizados cuidadosamente dentro de los criterios del diseño por servicio. A continuación, se presentan los principales fenómenos que influyen en este tipo de diseño y su importancia en el contexto de edificaciones sismorresistentes.

6.9.1. Expansión y contracción térmica

Las estructuras metálicas están sometidas a variaciones de temperatura durante el día y las estaciones del año, lo que genera expansión o contracción en los elementos estructurales. En el diseño por capacidad de servicio, es crucial prever estos fenómenos para evitar acumulación de esfuerzos adicionales que puedan generar deformaciones no deseadas o deteriorar las conexiones. En las naves industriales de gran longitud, estas deformaciones térmicas pueden generar movimientos longitudinales importantes, por lo que se deben diseñar juntas de dilatación adecuadas, y permitir cierto grado de desplazamiento en apoyos y conexiones. Según la norma

AISC 360-22, los elementos deben dimensionarse considerando estos efectos sin comprometer la estabilidad ni la funcionalidad de la estructura. Asimismo, los sistemas de cerramiento, como paneles metálicos o cubiertas, también deben adaptarse a estos movimientos, evitando fisuras o desconexiones.

6.9.2. Vibración

Las vibraciones en una nave industrial pueden ser originadas por diversas fuentes: equipos mecánicos, grúas viajeras, tráfico interno, cargas móviles, e incluso efectos sísmicos menores. Aunque no representen un colapso estructural, pueden afectar el confort, la precisión del funcionamiento de maquinaria o incluso la durabilidad de ciertos componentes. El diseño por capacidad de servicio debe garantizar que la frecuencia natural de la estructura esté alejada de las frecuencias excitadas por las cargas dinámicas comunes. Esto se logra mediante la evaluación de modos de vibración, rigidez global y la masa distribuida. Según AISC 360-22, se deben realizar análisis dinámicos cuando se prevea la presencia de cargas cíclicas. Además, en edificaciones sismorresistentes, las vibraciones inducidas por sismos de baja intensidad también deben considerarse para evitar resonancias o deterioro progresivo (ANSI/AISC 360-22, 2022).

6.9.3. Deslizamiento de conexión

En estructuras atornilladas, especialmente aquellas sometidas a cargas reversibles o sísmicas, el deslizamiento entre piezas conectadas puede generar pérdida de alineación estructural, vibraciones y daños acumulativos. El diseño de conexiones slip-critical (resistentes al deslizamiento) es fundamental para garantizar la estabilidad en condiciones de servicio. Se recomienda el uso de pernos pretensados de alta resistencia (A325 o A490), superficies de contacto preparadas con rugosidad específica (Clase B según la AISC) y control de la instalación. Este

deslizamiento es especialmente crítico en conexiones que transmiten fuerzas de corte o torsión, como en nudos de pórticos rígidos. Las conexiones deben diseñarse para evitar movimiento relativo que afecte la geometría de la estructura bajo cargas de operación (ANSI/AISC 360-22, 2022).

6.9.4. Unión tipo aplastamiento

El aplastamiento ocurre cuando una conexión, generalmente atornillada, transmite carga a través de la superficie del perno contra la placa o perfil, y la tensión generada excede la capacidad de resistencia local del acero, produciendo una deformación permanente. Aunque no necesariamente conduce al colapso, afecta directamente la capacidad de servicio, ya que genera holguras, reduce la rigidez de la conexión y provoca redistribución de cargas. La AISC 360-22 detalla, que se deben revisar los límites de capacidad por aplastamiento en placas delgadas, especialmente en zonas donde la carga se concentra, como uniones de diagonales o vigas secundarias (ANSI/AISC 360-22, 2022).

6.9.5. Deslizamiento crítico

El deslizamiento crítico se refiere al momento en que una conexión sometida a fuerzas horizontales pierde la adherencia entre las superficies en contacto, provocando una liberación súbita de deformación. En estructuras sismorresistentes, es esencial que las conexiones tengan un comportamiento antideslizante mediante elementos pretensados y superficies friccionadas. Este tipo de control es vital en diafragmas rígidos, sistemas de arriostramiento o conexiones columna-viga que deben mantener continuidad ante cargas cíclicas. Se recomienda verificar que el coeficiente de fricción supere los valores mínimos indicados por AISC y que no exista acumulación de suciedad o grasa que reduzca el contacto efectivo (AISC, 2017).

6.9.6. Movimiento inducido por el viento

Las cargas de viento actúan lateralmente sobre las estructuras y producen desplazamientos horizontales que deben mantenerse dentro de límites admisibles, tanto por razones estructurales como funcionales. En naves industriales con cerramiento metálico o paneles rígidos, un desplazamiento excesivo puede provocar daños en los cerramientos, roturas de juntas o pérdidas de estanqueidad. Según la ASCE/SEI 7-22, las cargas de viento deben evaluarse en función de la ubicación geográfica, altura, tipo de exposición y configuración del edificio. El diseño por capacidad de servicio se centra en limitar estos desplazamientos y garantizar que el comportamiento bajo viento no comprometa la operación interna ni la seguridad. También se deben considerar efectos aerodinámicos como succión local en cubiertas, y en algunos casos, utilizar elementos disipadores o refuerzos adicionales (ASCE/SEI 7-22, 2022).

6.9.7. Corrosión

La corrosión del acero es uno de los principales agentes de degradación en naves industriales, especialmente en ambientes costeros, industriales o húmedos. Afecta directamente la sección resistente de los perfiles, reduciendo su capacidad y, a largo plazo, comprometiendo la seguridad y la funcionalidad. Desde el punto de vista del diseño por capacidad de servicio, la corrosión debe preverse como una condición de deterioro que reduce la vida útil de la estructura. Para mitigarla, se recomienda el uso de protecciones anticorrosivas, como galvanizado, pinturas epóxicas o sistemas de mantenimiento periódico. También es esencial el diseño de detalles constructivos que eviten acumulación de agua, permitan ventilación y faciliten inspecciones. Según AISC y la norma ISO 12944, se deben seleccionar los sistemas de protección adecuados al nivel de exposición ambiental previsto.

6.10. Diseño sismorresistente según normativa

El diseño sismorresistente constituye uno de los pilares fundamentales en la planificación estructural de edificaciones industriales, especialmente en un país como Ecuador, cuyo territorio se encuentra en una zona de alta amenaza sísmica. En este contexto, garantizar la seguridad estructural de las naves industriales implica no solo cumplir con las exigencias básicas de resistencia, sino también asegurar un comportamiento controlado y eficiente frente a eventos sísmicos severos. Para ello, se recurre a la aplicación rigurosa de normativas técnicas especializadas, entre las cuales destacan la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC, 2015) en sus distintas secciones: NEC Cargas (no sísmicas), NEC Estructuras de Acero y NEC Peligro Sísmico - Diseño Sismo Resistente (NEC-SE-DS). Estas normas proporcionan los lineamientos necesarios para considerar de manera integral la acción sísmica, las cargas gravitacionales, las propiedades del suelo, la ductilidad de los materiales y la configuración estructural adecuada (NEC, 2015).

En esta sección se abordarán de forma detallada los principales aspectos técnicos que deben ser considerados al aplicar estas normativas en el diseño de naves industriales, tales como los factores de comportamiento sísmico (R , Ω , C_d), el uso del análisis modal espectral como herramienta de predicción dinámica, los requisitos de ductilidad y disipación de energía que permiten una respuesta estructural segura, y la correcta identificación de las categorías de importancia que condicionan el nivel de exigencia en el diseño. Además, se tomarán en cuenta referencias internacionales reconocidas como la ANSI/AISC 360-22 y la ASCE/SEI 7-22, que complementan la normativa nacional con criterios avanzados de diseño para estructuras metálicas sometidas a cargas sísmicas. Este enfoque integral permitirá desarrollar proyectos de naves

industriales seguros, funcionales y técnicamente sustentados, respondiendo a las necesidades de la industria nacional y al contexto sísmico ecuatoriano.

6.10.1. NEC-SE-CG: Cargas (no sísmicas)

La sección NEC-SE-CG aborda todos los aspectos relacionados con las cargas que no están directamente asociadas a la acción sísmica, pero que son fundamentales para el diseño estructural integral de una nave industrial. Este capítulo establece las definiciones y unidades para cargas permanentes (muertas), cargas variables (incluyendo cargas vivas, de nieve, granizo y viento) y las combinaciones autorizadas para fines de análisis de resistencia y servicio. El diseño de una estructura eficiente requiere la correcta cuantificación de estas cargas para evitar deformaciones excesivas o fallas prematuras. Además, las combinaciones especificadas en NEC-SE-CG permiten simular estrategias de diseño realistas (NEC-SE-CG, 2015).

Figura 26. NEC-SE-CG: Cargas (no sísmicas)



Fuente: (NEC-SE-CG, 2015)

6.10.2. NEC-SE-DS: Peligro Sísmico y Diseño Sismorresistente

Esta norma regula el entorno sísmico en el Ecuador y proporciona herramientas para su análisis y diseño. Incluye un mapa de zonificación sísmica que divide el país según el riesgo sísmico, definiendo valores de aceleración (Z) que permiten generar espectros elásticos y centrar ejercicios de modelado sísmico. Además, prescriben métodos híbridos de cálculo, como el análisis elástico equivalente y el método modal espectral, que son esenciales para comprender la respuesta estructural de grandes naves industriales. Establece también metas de desempeño (p.ej., capacidad de colapso, funcionalidad) y límites de deriva, garantizando que la estructura mantenga su integridad funcional tras un sismo (NEC-SE-DS, 2015).

Figura 27. NEC SE DS: Peligro Sísmico y Diseño Sismorresistente



Fuente: (NECSE-DS, 2015)

6.10.3. NEC-SE-AC: Estructuras de Acero

La norma NEC-SE-AC establece requisitos para el diseño, construcción y control de calidad de estructuras metálicas, permitiendo aplicar métodos de diseño por resistencia (LRFD). Adaptada a la realidad ecuatoriana, esta norma exige el desarrollo de sistemas dúctiles, con conexiones capaces de transmitir esfuerzos incluso después de lograr deformaciones plásticas. Específicamente, regula detalles como pandeo, aplastamiento, flexibilidad de conexiones y capacidad de rotación en estructuras con comportamiento inelástico. Los sistemas que utilicen un factor de reducción sísmica $R > 3$ deben cumplir requisitos adicionales de redundancia y control de soldaduras (NEC-SE-AC, 2015).

*Figura 28. NEC SE AC:
Estructuras de Acero*



Fuente: (NEC-SE-AC, 2015)

6.10.4. Factores de comportamiento sísmico (R , Ω , C_d)

En el diseño sismorresistente de naves industriales, una etapa crítica es la aplicación adecuada de los factores de comportamiento sísmico, los cuales permiten modelar de forma más realista la respuesta estructural ante un evento telúrico. El primero de estos factores es el R (factor de reducción de respuesta sísmica), que refleja la capacidad de la estructura para disipar energía mediante deformaciones inelásticas. En naves industriales con sistemas estructurales metálicos, como pórticos arriostrados o pórticos momentáneos, el valor de R puede oscilar entre 3 y 8 según la configuración, nivel de ductilidad y redundancia del sistema (NEC-SE-CG, 2015).

El segundo factor, Ω (sobrerresistencia), permite asegurar que componentes críticos, como conexiones viga-columna, bases de columnas o diafragmas rígidos, posean una resistencia adicional frente a cargas sísmicas, minimizando el riesgo de fallas frágiles o colapsos progresivos. Esto se vuelve especialmente importante en naves que contienen grúas viajeras o maquinaria pesada, donde las cargas inducidas pueden ser altamente variables.

Por último, el C_d (factor de desplazamiento inelástico) es utilizado para estimar los desplazamientos reales que experimentará la nave durante un evento sísmico severo, partiendo de resultados obtenidos en análisis elásticos lineales. Este factor cobra especial relevancia en el diseño de cerramientos, sistemas de fachada o instalaciones internas sensibles, que deben permitir tales desplazamientos sin comprometer su integridad. La correcta aplicación de R , Ω y C_d según lo dispuesto en la (NEC-SE-CG, 2015) garantiza que la nave industrial pueda absorber y disipar energía sísmica de manera eficaz, sin poner en riesgo su funcionalidad estructural ni la seguridad de los usuarios (NEC-SE-CG, 2015).

6.10.5. Revisión del análisis modal espectral

En naves industriales, el análisis modal espectral representa una herramienta indispensable para captar de forma adecuada los efectos dinámicos derivados de la acción sísmica. Este tipo de análisis, recomendado por (NEC-SE-DS, 2015), es particularmente eficaz en estructuras con irregularidades en planta o elevación, geometrías alargadas, grandes luces libres o sistemas metálicos con alta flexibilidad lateral, características frecuentes en edificaciones industriales (NEC-SE-DS, 2015).

El proceso inicia con la construcción de un modelo tridimensional completo, en el que se definen adecuadamente los grados de rigidez, distribución de masa y las condiciones de frontera de la estructura. Luego, se identifican los modos naturales de vibración, considerando al menos aquellos cuya participación modal acumulada supere el 90 % de la masa total. A cada uno de estos modos se les aplica un espectro de respuesta generado según la zonificación sísmica nacional, tipo de suelo local y categoría de importancia del proyecto industrial (NEC-SE-DS, 2015).

El uso de métodos estadísticos como la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados (SRSS) o la combinación cuadrática completa (CQC) permite combinar los efectos modales de manera precisa, generando resultados confiables sobre desplazamientos, fuerzas internas y aceleraciones. Estos resultados son indispensables para el correcto dimensionamiento de perfiles, conexiones, sistemas de arriostramiento y anclajes de maquinaria. Dada la sensibilidad operativa de las naves industriales, una mala estimación de estos efectos puede derivar en vibraciones excesivas, fallas funcionales o deformaciones permanentes en equipos o cerramientos. Por tanto, el análisis modal espectral se constituye en un pilar técnico que asegura el desempeño adecuado ante cargas sísmicas en edificaciones de este tipo (NEC-SE-DS, 2015).

6.10.6. Requisitos de ductilidad y disipación de energía

La capacidad de una nave industrial para enfrentar un sismo no se basa únicamente en su resistencia estructural, sino en su ductilidad, es decir, su habilidad para deformarse significativamente sin colapsar, permitiendo disipar la energía sísmica a través de mecanismos estructurales previamente previstos (NEC-SE-AC, 2015).

Para lograr una disipación eficiente de energía, se debe permitir el desarrollo de zonas plásticas en puntos estratégicos, tales como las conexiones viga-columna o los extremos de los arriostres. Estas zonas deben ser capaces de soportar grandes rotaciones sin sufrir fracturas ni pandeos locales. Esto se consigue limitando la esbeltez de los perfiles, utilizando aceros de calidad con adecuada elongación y detallando conexiones dúctiles con capacidad de rotación inelástica. Además, es indispensable evitar concentraciones de esfuerzos y garantizar rutas claras de transmisión de cargas (NEC-SE-DS, 2015).

Este enfoque garantiza que, durante un sismo severo, la estructura no colapse de forma repentina, sino que absorba y redistribuya la energía sísmica sin comprometer la vida humana ni las operaciones industriales. Así, la incorporación de criterios de ductilidad y disipación energética no solo mejora la seguridad estructural, sino que extiende la vida útil y la resiliencia operativa de las naves industriales (NEC-SE-AC, 2015).

6.10.7. Categorías de importancia de las edificaciones industriales

Dentro del marco normativo ecuatoriano, la clasificación por categorías de importancia tiene una influencia directa en el diseño sismorresistente de naves industriales, ya que define los niveles de exigencia estructural según el uso y el riesgo asociado a la falla del edificio. De acuerdo con la (NEC-SE-DS, 2015) las edificaciones se agrupan en cuatro categorías (I a IV), siendo la

categoría III asignada a la mayoría de las naves industriales destinadas a manufactura, almacenamiento o distribución sin productos peligrosos, mientras que la categoría IV corresponde a instalaciones críticas, como plantas de tratamiento, fábricas con materiales inflamables o espacios que garantizan continuidad de servicios esenciales.

En el diseño de naves industriales, esta clasificación debe realizarse desde las primeras etapas del proyecto, considerando la función que cumplirá la nave, el contenido almacenado, los riesgos operativos y el impacto social o económico en caso de falla. Solo así se podrá garantizar que la estructura cumpla con su nivel de desempeño esperado, incluso en condiciones sísmicas severas, preservando tanto la seguridad humana como la operatividad de la industria (NEC-SE-DS, 2015).

6.11. Normas internacionales aplicadas en este proyecto al diseño de naves industriales

Además de seguir la normativa ecuatoriana vigente, el diseño sismorresistente de las naves industriales también se fundamenta en estándares internacionales reconocidos por su rigurosidad técnica y amplia aplicación en proyectos estructurales de acero. Particularmente, se han tomado como referencia la (ANSI/AISC 360-22, 2022) y la (ASCE/SEI 7-22, 2022), las cuales permiten complementar y reforzar los criterios nacionales, especialmente en lo referente al comportamiento dinámico, la ductilidad, y el desempeño bajo cargas extremas.

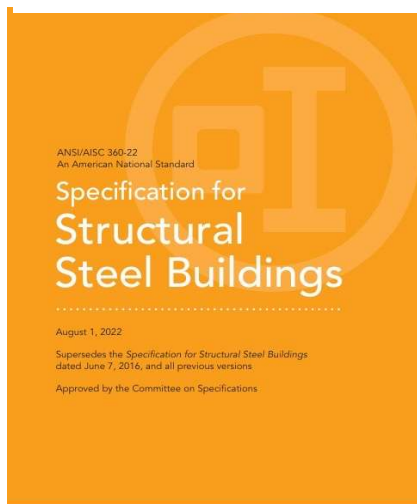
6.11.1. ANSI/AISC 360-22 – Specification for Structural Steel Buildings

La norma ANSI/AISC 360-22, publicada por el American Institute of Steel Construction, establece los requisitos de diseño, fabricación, montaje y control de calidad para estructuras metálicas. Esta especificación incluye tanto el método de diseño por estados límite (LRFD) como por resistencia admisible (ASD), permitiendo una evaluación completa de la capacidad estructural

de los perfiles, conexiones, uniones soldadas y atornilladas, considerando condiciones críticas como el pandeo, la torsión, el aplastamiento y el deslizamiento (ANSI/AISC 360-22, 2022).

En el contexto del diseño por capacidad de servicio, esta norma también proporciona criterios precisos sobre deflexiones máximas, vibraciones, detallado sísmico y diseño de conexiones resistentes al deslizamiento (slip-critical), todos esenciales en estructuras industriales sometidas a cargas dinámicas como grúas viajeras, sismos o variaciones térmicas. Asimismo, AISC 360-22 ofrece una base sólida para verificar la estabilidad global y local de los elementos de acero, siendo especialmente útil para validar el comportamiento estructural cuando se emplean perfiles delgados, estructuras ligeras y soluciones constructivas modernas (ANSI/AISC 360-22, 2022).

**Figura 29. ANSI/AISC 360-22 –
Specification for Structural Steel Buildings**



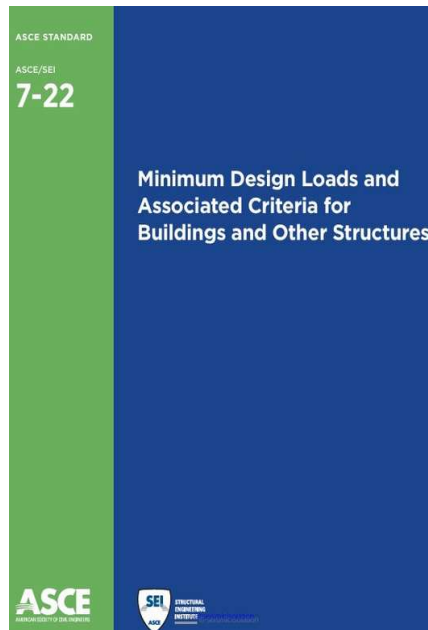
Fuente: (ANSI/AISC 360-22, 2022)

6.11.2. ASCE/SEI 7-22 – Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures

La norma ASCE/SEI 7-22, elaborada por la American Society of Civil Engineers, especifica las cargas mínimas que deben considerarse en el diseño estructural, incluyendo cargas sísmicas, de viento, nieve, lluvia, térmicas y accidentales. Esta norma resulta de gran utilidad para complementar los parámetros de carga definidos en la (NEC, 2015), particularmente en lo relacionado con el análisis modal espectral, ya que brinda metodologías avanzadas para la evaluación de espectros de respuesta, torsión accidental, participación modal y efectos de segundo orden (P-Delta).

Para las naves industriales, ASCE 7-22 permite definir de forma más detallada el impacto de las cargas de viento sobre superficies amplias y ligeras, como cubiertas metálicas o fachadas, incluyendo los efectos de succión local, presión diferencial y vibraciones inducidas. Además, establece criterios para la clasificación de las edificaciones según su importancia funcional (Risk Category), aspecto que se alinea con las disposiciones de la NEC para garantizar la continuidad operativa de instalaciones estratégicas (ASCE/SEI 7-22, 2022).

Figura 30. ASCE/SEI 7-22 – Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures



Fuente: (ANSI/AISC 360-22, 2022)

6.12. Modelado estructural en software de análisis sísmico

6.12.1. Introducción al software ETABS

ETABS (Extended Three-Dimensional Analysis of Building Systems) es un software desarrollado por Computers and Structures Inc. (CSI) y ampliamente reconocido en la ingeniería estructural por su capacidad de modelar, analizar y diseñar edificaciones, especialmente aquellas compuestas por sistemas estructurales complejos. Su enfoque orientado a edificios lo convierte en una herramienta ideal para modelar naves industriales metálicas, permitiendo integrar parámetros de cargas estáticas y dinámicas, condiciones de soporte, rigidez, y comportamiento no lineal. En esta tesis, ETABS será el programa base para evaluar el desempeño estructural sísmico de

diferentes modelos de naves con geometrías variables, permitiendo una interpretación detallada del comportamiento estructural ante diversas solicitaciones.

6.12.2. Modelado de naves con variación de geometría

Las naves industriales presentan una gran diversidad de formas geométricas, desde estructuras simétricas de una sola crujía hasta configuraciones con múltiples módulos, diferentes pendientes de cubierta o cambios de altura en secciones específicas. En ETABS, el modelado se inicia mediante la definición de materiales y secciones transversales conforme a la NEC-SE-A (Norma Ecuatoriana de Construcción - Estructuras de Acero), seguido de la creación de una malla estructural tridimensional con elementos tipo marco y placa. Se incorporarán variaciones geométricas como cambios en la altura libre, longitud de crujías. Estas variaciones permiten comparar la influencia de la geometría en el comportamiento sísmico, identificando zonas críticas y patrones de respuesta estructural.

6.12.3. Tipos de análisis (estático, modal)

Dentro de ETABS se realizarán diversos tipos de análisis para obtener una caracterización completa del comportamiento estructural. En primer lugar, el análisis estático lineal permitirá evaluar las respuestas ante cargas gravitatorias y combinaciones de carga según NEC Cargas (no sísmicas). Posteriormente, se empleará el análisis modal espectral, conforme a la NEC-SE-DS, para captar la respuesta dinámica mediante la superposición de modos de vibración. Este análisis es fundamental para estructuras como las naves industriales que pueden experimentar amplificación dinámica. Finalmente, se realizará un análisis en el dominio del tiempo, utilizando registros sísmicos compatibles con la zonificación sísmica definida por la NEC Peligro Sísmico.

6.12.4. Consideraciones prácticas para modelado preciso

Para lograr resultados confiables y coherentes, el modelado en ETABS deberá considerar aspectos como la correcta asignación de masas tributarias, rigidez de los diafragmas, condiciones reales de apoyo (empotrado). También se incorporarán los efectos de segunda orden (P-Delta) para evaluar la estabilidad global, especialmente en estructuras altas o esbeltas. Las conexiones serán representadas con rigidez rotacional adecuada. Para garantizar un modelado realista, se validará cada modelo con controles de consistencia estructural, revisión de cargas y pruebas de convergencia en el análisis.

6.12.5. Comparación de resultados con variaciones geométricas

Una vez obtenidos los resultados de análisis para los distintos modelos de naves con geometrías variables, se procederá a comparar parámetros fundamentales como derivas laterales, fuerzas internas en columnas y vigas principales, deformaciones máximas, esfuerzos axiales y momentos flectores. Esta comparación permitirá evaluar el impacto de las decisiones geométricas sobre el desempeño sísmico y la eficiencia estructural, brindando criterios técnicos que respalden el diseño óptimo.

7. Marco Metodológico

7.1. Diseño de la investigación:

7.1.1. Prediseño de naves industriales

El prediseño estructural constituye una fase preliminar clave en el diseño de edificaciones industriales, ya que permite establecer criterios técnicos que guían la selección de perfiles estructurales adecuados de forma eficiente. En esta investigación, se desarrolló el prediseño de dieciséis naves industriales, las cuales se diferenciaron por dos variables fundamentales:

Tabla 3. Variables por considerar para el prediseño de las naves industriales

Pendiente cubierta	Separación entre correas
2%	0.60 m
5%	0.90 m
15%	1.15 m
30%	1.60 m

Fuente: Elaborado por los autores

Cabe recalcar que, para cada una de las pendientes consideradas (2%, 5%, 15% y 30%), se trabajó de forma sistemática con todas las combinaciones posibles de separación entre correas (0.60 m, 0.90 m, 1.15 m y 1.60 m). Este enfoque permitió analizar de manera integral el impacto que tiene la variación conjunta de estos dos parámetros geométricos sobre el comportamiento estructural de la nave.

7.1.2. Cuantificación de cargas

Para el diseño estructural de los diferentes tipos de sistemas de cubierta, se ha realizado la cuantificación de cargas considerando tanto las cargas muertas como las cargas vivas, de acuerdo con la normativa ecuatoriana vigente.

- Carga Muerta

Las cargas muertas comprenden todos los elementos permanentes que forman parte de la estructura, tales como materiales de cubierta, instalaciones y peso propio de los perfiles estructurales. En este caso, se detallan los valores por metro cuadrado (Kgf/m²) de los elementos que componen la cubierta:

Tabla 4. Cálculo de carga muerta

Descripción	Peso($\frac{\text{Kgf}}{\text{m}^2}$)
Cubierta (Novacero AR 2000 – 0.40 mm)	3.58
Instalaciones eléctricas	10
Instalaciones contra incendios	5
Peso propio del perfil	12
Total carga muerta	30.58

Fuente: Elaborado por los autores

- Carga viva, NEC 15-CG CARGA NO SISMICAS

La carga viva corresponde a aquellas sollicitaciones variables que pueden actuar sobre la estructura durante su uso. En este caso, al tratarse de un techo inaccesible, se ha considerado la carga viva establecida en la Norma Ecuatoriana de la Construcción:

Tabla 5. Cálculo de carga viva

Descripción	Peso($\frac{Kgf}{m^2}$)
Techo inaccesible	70
Total carga viva	70

Fuente: Elaborado por los autores

7.1.3. Cortante basal

Para el desarrollo de esta investigación, se ha considerado que las estructuras por modelar se ubicaran en la provincia del Guayas, cantón Guayaquil, una zona perteneciente a la región costa del Ecuador. Según la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-SE-DS, esta región se clasifica dentro de la zona sísmica 3. Correspondiendo a los siguientes valores de la siguiente tabla:

Tabla 6. Valores del factor Z en función de la zona sísmica adoptada.

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

Determinando los valores de:

$$Z = 0.40$$

$$n = 1.8$$

- Determinación de coeficientes de sitio

Con base en la tabla de clasificación de suelos propuesta por la NEC y considerando que el tipo de suelo planteado en la investigación es suelo arcilloso blando (Clase E), se adoptan los siguientes valores para los coeficientes de sitio:

Tabla 7. Coeficientes de sitio.

Fa	1.00
Fd	1.60
Fd	1.90
r	1.50

Fuente: Elaborado por los autores

Estos coeficientes modifican la forma del espectro sísmico de diseño para adaptarse a las condiciones locales del terreno.

- Determinación de períodos de control

Con los coeficientes de sitio determinados, se procedió al cálculo de los períodos de control T_o , T_c , que definen los tramos del espectro de respuesta elástica:

Períodos de control

$$T_o = \frac{0.10 * F_s * F_d}{F_a}$$

$$T_o = \frac{0.10 * 1.90 * 1.60}{1.00}$$

$$T_o = 0.304 \text{ s}$$

$$T_c = \frac{0.55 * F_s * F_d}{F_a}$$

$$T_c = \frac{0.55 * 1.90 * 1.60}{1.00}$$

$$T_c = 1.672 \text{ s}$$

- Cortante basal de diseño

El cortante sísmico basal representa la fuerza horizontal total que debe ser considerada en la base de la estructura producto de la acción sísmica. Se determina a partir de la Ecuación 1.

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

Donde:

$$I = 1.0$$

$$S_a = 0.720$$

$$R = 3.0$$

$$\phi_P = 1.0$$

$$\phi_E = 1.0$$

$$V = \frac{1 * 0.720}{3 * 1 * 1} * W$$

$$V = 0.24 W$$

7.1.4. Carga de viento

7.1.4.1. Velocidad instantánea máxima del viento

Según la normativa ecuatoriana de la construcción, para edificaciones ubicadas hasta una altura de 10 m, la velocidad instantánea máxima del viento debe corresponder a la velocidad de diseño establecida para la zona. En esta investigación, el proyecto se localiza en la provincia del Guayas, cantón Guayaquil, donde la velocidad de diseño mínima es de:

$$V = 21 \text{ m/s}$$

7.1.4.2. Velocidad corregida del viento

Para obtener la velocidad corregida del viento (V_b), se considera el efecto del entorno y la altura mediante un coeficiente de corrección σ , el cual se determina en función de la altura del edificio y la categoría topográfica correspondiente y lo podemos verificar en la siguiente tabla:

Tabla 8. Coeficiente de corrección σ

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

Fuente: NEC_SE_DS

En este caso, se selecciona una altura de 10 m y la categoría B (*obstrucción baja*) según la tabla 8, dando como resultado:

$$\sigma = 0.90$$

Por lo tanto, la velocidad corregida del viento será:

$$V_b = V * \sigma$$

$$V_b = 21 * 0.90 = 18.9 \text{ m/s}$$

7.1.4.3. Cálculo de la presión del viento

La presión del viento se calcula utilizando la siguiente fórmula:

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

Donde:

P = Presión del viento expresada en Pa (N/m²)

ρ = Densidad de aire expresada en Kg/m³ (en general se puede adoptar en 1.25 Kg/m³)

C_e = Coeficiente de entorno/altura

C_f = Coeficiente de forma

De acuerdo con la tabla 9 determinaremos el valor del coeficiente de forma:

Tabla 9. Determinación del factor de forma C_f

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

Fuente: NEC_SE_DS

Según la tabla 9, y dado que la estructura cuenta con superficies inclinadas entre 15° y 60°, se consideran los siguientes coeficientes de forma:

Barlovento: $C_f = 0.3$

Sotavento: $C_f = 0.6$

- Cálculo para barlovento

$$P_{barlo} = \frac{1}{2} * 1.25 * (18.9^2) * 1.04 * 0.3$$

$$P_{barlo} = 69.50 Pa * \frac{0.10197 \frac{kgf}{m^2}}{1 Pa} = 7.087 \frac{kgf}{m^2}$$

- Cálculo para sotavento

$$P_{sota} = \frac{1}{2} * 1.25 * (18.9^2) * 1.04 * 0.6$$

$$P_{sota} = 139.00 Pa * \frac{0.10197 \frac{kgf}{m^2}}{1 Pa} = 14.17 \frac{kgf}{m^2}$$

7.1.4.4. Carga de viento aplicada por ancho tributario

Se consideran anchos tributarios de 3 m y 6 m, que representan la distancia entre correas de la estructura.

Barlovento:

$$7.087 * 3 = 21.3 \frac{kgf}{m}$$

$$7.087 * 6 = 42.522 \frac{kgf}{m}$$

Sotavento:

$$14.17 * 3 = 42.51 \frac{kgf}{m}$$

$$14.17 * 6 = 85.02 \frac{kgf}{m}$$

7.1.5. Grado de inclinación de la cubierta

El grado de inclinación es un parámetro geométrico fundamental que influye directamente en el comportamiento estructural, la evacuación de aguas pluviales y el peso propio de la estructura.

Para poder calcular el grado de inclinación detallamos los siguientes datos:

$$L = 25 \text{ m}$$

$$L/2 = 12.5 \text{ m}$$

$$H = 6 \text{ m}$$

$$\text{Pendiente (m)} = \%$$

Donde:

L = Longitud total de la nave industrial

L/2 = Longitud intermedia de nave industrial

H = Altura de las columnas de nave industrial

A partir de estos datos, es posible determinar el grado de inclinación de la cubierta. Para ello, se calcula inicialmente la diferencia de altura entre la cumbrera central y el extremo de la viga apoyada sobre la columna, es decir, la altura desde la columna hasta el punto medio del ancho de la nave industrial, el cual será denominado H_2 .

Grados de inclinación

- Pendiente 2%

$$H_2 = 2\% * 12.5$$

$$H_2 = 0.3 \text{ m}$$

- Pendiente 5%

$$H_2 = 5\% * 12.5$$

$$H_2 = 0.6 \text{ m}$$

- Pendiente 15%

$$H_2 = 15\% * 12.5$$

$$H_2 = 1.90 \text{ m}$$

- Pendiente 30%

$$H_2 = 30\% * 12.5$$

$$H_2 = 3.8 \text{ m}$$

7.1.6. Deflexión máxima

En el diseño estructural de vigas principales del galpón, es esencial verificar que la deflexión bajo carga no exceda los límites normativos, asegurando así la funcionalidad y seguridad de la estructura. De acuerdo con normativas internacionales aplicables a edificaciones industriales, la deflexión máxima permitida para vigas simplemente apoyadas se define como:

$$\delta_{max} = L/360$$

En el caso de este proyecto, la luz total de la nave es de 25 metros, por lo que al aplicar la fórmula se obtiene:

$$\delta_{max} = \frac{25}{360} = 0.0694 \text{ m}$$

7.1.7. Distribución de correas

La distribución de correas sobre la cubierta se realizó considerando la geometría de la nave industrial y las separaciones previamente establecidas. La longitud total del galpón es de 25 metros, por lo que la distancia desde el eje central hasta uno de los extremos (mitad de la nave) es de 12.5 metros.

Para determinar el número de correas necesarias por faldón, se dividió esta distancia para cada uno de los valores de separación entre correas planteados en el diseño:

- Separación de 0.60 m

$$\frac{12.5}{0.60} = 20.83 \approx 21 \text{ correas}$$

- Separación de 0.90 m

$$\frac{12.5}{0.90} = 13.88 \approx 14 \text{ correas}$$

- Separación de 1.15 m

$$\frac{12.5}{1.15} = 10.87 \approx 11 \text{ correas}$$

- Separación de 1.60 m

$$\frac{12.5}{1.60} = 7.81 \approx 8 \text{ correas}$$

7.1.8. Prediseño de correas

El prediseño de las correas de cubierta se realizó considerando:

Distancia entre pórticos = 6 m

Fy Acero A36 = 2530 Kg/m²

φ Flexión = 0.9

Carga última por metro cuadrado aplicando los factores de carga según combinaciones de carga de la normativa:

$$Q_u = 1.2 (CM) + 1.6(CV)$$

$$Q_u = 1.2 (30.58) + 1.6(70)$$

$$Q_u = 148.70 \text{ Kg/m}^2$$

- **Prediseño correas 0.60 m**

Carga lineal distribuida teniendo en cuenta el ancho tributario correspondiente a la separación entre correas.

$$\text{Carga Muerta} = 30.58 * 0.60 = 18.348 \text{ Kg/m}$$

$$\text{Carga Viva} = 70 * 0.60 = 42 \text{ Kg/m}$$

Carga Última Linealmente Distribuida

$$W_u = Q_u * A \text{ trib}$$

$$W_u = 148.70 * 0.6$$

$$W_u = 89.22 \text{ Kg/m}$$

Con esta carga lineal, se procede a calcular el momento último de demanda para una viga simplemente apoyada:

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

$$Mu = \frac{89.22 * 600^2}{8}$$

$$Mu = 40147.92 \text{ Kgf} * \text{cm}$$

Valor mínimo requerido del módulo plástico de sección para seleccionar el perfil adecuado (en este caso, tubo cuadrado) desde el catálogo del fabricante:

$$S_x = \frac{Mu}{\phi * Fy}$$

$$S_x = \frac{40147.92}{0.9 * 2530}$$

$$S_x = 17.63 \text{ cm}^3$$

- **Prediseño correas 0.90 m**

Carga lineal distribuida teniendo en cuenta el ancho tributario correspondiente a la separación entre correas.

$$Carga Muerta = 30.58 * 0.90 = 27.522 \text{Kgf/m}$$

$$Carga Viva = 70 * 0.90 = 63 \text{ Kgf/m}$$

Carga Última Linealmente Distribuida

$$Wu = Qu * A \text{ trib}$$

$$Wu = 148.70 * 0.9$$

$$Wu = 133.83 \text{ Kgf/m}$$

Con esta carga lineal, se procede a calcular el momento último de demanda para una viga simplemente apoyada:

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

$$Mu = \frac{133.83 * 600^2}{8}$$

$$Mu = 60221.88 \text{ Kgf} * \text{cm}$$

Valor mínimo requerido del módulo plástico de sección para seleccionar el perfil adecuado (en este caso, tubo cuadrado) desde el catálogo del fabricante:

$$S_x = \frac{Mu}{\phi * Fy}$$

$$S_x = \frac{60221.88}{0.9 * 2530}$$

$$S_x = 26.45 \text{ cm}^3$$

- **Prediseño correas 1.15 m**

Carga lineal distribuida teniendo en cuenta el ancho tributario correspondiente a la separación entre correas.

$$Carga Muerta = 30.58 * 1.15 = 35.167 \text{ Kgf/m}$$

$$Carga Viva = 70 * 1.15 = 80.5 \text{ Kgf/m}$$

Carga Última Linealmente Distribuida

$$Wu = Qu * A trib$$

$$Wu = 148.70 * 1.15$$

$$Wu = 178.44 \text{ Kgf/m}$$

Con esta carga lineal, se procede a calcular el momento último de demanda para una viga simplemente apoyada:

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

$$Mu = \frac{178.44 * 600^2}{8}$$

$$Mu = 80295.84 \text{ Kgf} * \text{cm}$$

Valor mínimo requerido del módulo plástico de sección para seleccionar el perfil adecuado (en este caso, tubo cuadrado) desde el catálogo del fabricante:

$$S_x = \frac{Mu}{\phi * Fy}$$

$$S_x = \frac{80295.84}{0.9 * 2530}$$

$$S_x = 35.26 \text{ cm}^3$$

- **Prediseño correas 1.60 m**

Carga lineal distribuida teniendo en cuenta el ancho tributario correspondiente a la separación entre correas.

$$Carga Muerta = 30.58 * 1.60 = 48.928 \text{ Kgf/m}$$

$$Carga Viva = 70 * 1.60 = 112 \text{ Kgf/m}$$

Carga Última Linealmente Distribuida

$$Wu = Qu * A trib$$

$$Wu = 148.70 * 1.60$$

$$Wu = 237.91 \text{ Kgf/m}$$

Con esta carga lineal, se procede a calcular el momento último de demanda para una viga simplemente apoyada:

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

$$Mu = \frac{237.91 * 600^2}{8}$$

$$Mu = 107061.12 \text{ Kgf} * \text{cm}$$

Valor mínimo requerido del módulo plástico de sección para seleccionar el perfil adecuado (en este caso, tubo cuadrado) desde el catálogo del fabricante:

$$S_x = \frac{Mu}{\phi * Fy}$$

$$S_x = \frac{107061.12}{0.9 * 2530}$$

$$S_x = 47.02 \text{ cm}^3$$

7.1.9. Prediseño de vigas

El prediseño de vigas de cubierta se realizó considerando:

Luz total = 25 m

Fy Acero A36 = 2530 Kg/m²

φ Flexión = 0.9

Carga última por metro cuadrado aplicando los factores de carga según combinaciones de carga de la normativa:

$$Q_u = 1.2 (CM) + 1.6(CV)$$

$$Q_u = 1.2 (30.58) + 1.6(70)$$

$$Q_u = 148.70 \text{ Kgf/m}^2$$

Carga Última Linealmente Distribuida

$$Wu = Qu * A \text{ trib}$$

$$Wu = 148.70 * 0.60$$

$$Wu = 892.18 \text{ Kgf/m}$$

Con esta carga lineal, se procede a calcular el momento último de demanda para una viga simplemente apoyada:

$$Mu = \frac{Wu * L^2}{10}$$

$$Mu = \frac{892.18 * 600^2}{10}$$

$$Mu = 5578330.44 \text{ Kgf} * \text{cm}$$

Valor mínimo requerido del módulo elástico de sección:

$$Z_x = \frac{Mu}{\phi * Fy}$$

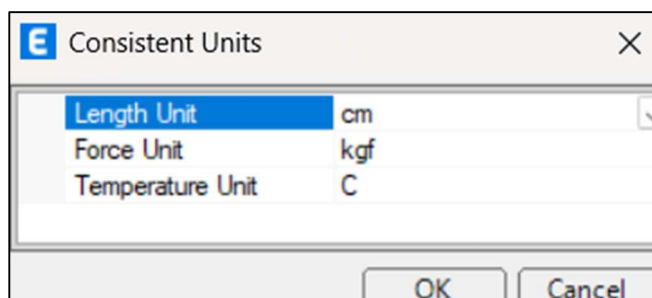
$$Z_x = \frac{5578330.44}{0.9 * 2530}$$

$$Z_x = 2449.86 \text{ cm}^3$$

7.2. Modelado en ETABS

Podemos dar inicio indicando las preferencias del proyecto en las cuales colocaremos las unidades que vamos a desarrollar cada uno de nuestros galpones, la cual será kgf^*cm .

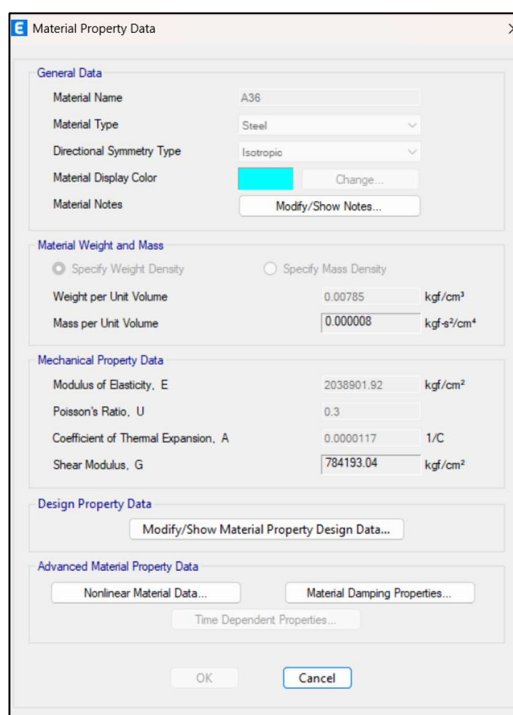
Figura 31. Preferencias del proyecto.



Fuente: Se obtuvo este resultado del programa utilizado, ETABS

Se indican el tipo de acero utilizado dentro de esta investigación siendo un Acero A36.

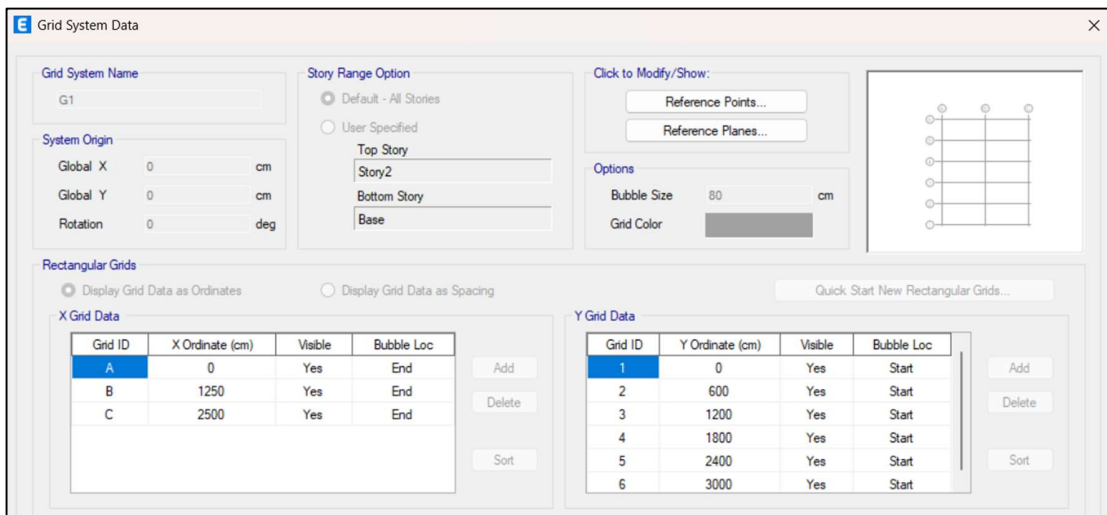
Figura 32. Tipo de acero.



Fuente: Se obtuvo este resultado del programa utilizado, ETABS

Para el dimensionamiento del modelo estructural de los distintos tipos de galpones, establecimos un sistema de ejes ortogonales que facilita la disposición y análisis de elementos estructurales principales. El sistema de grillas fue definido en un plano rectangular, con coordenadas específicas tanto en dirección X como en dirección Y, lo cual permite un control preciso sobre la geometría de la estructura.

Figura 33. Dimensionamiento de la estructura.



Fuente: Elaborado por los autores

La altura de las columnas principales de las naves industriales es de 600 cm (6.00 m), medida tomada desde la cota del nivel de piso terminado hasta el arranque inferior de la viga de cubierta. A partir de esta altura, se ha considerado una viga inclinada con una sección de 25 cm de peralte, la cual se eleva progresivamente hasta alcanzar la altura máxima en la cumbre central del galpón.

Cabe destacar que esta pendiente varía para cada tipología de galpón, según los cálculos realizados en capítulos anteriores, donde se evaluaron alternativas de diseño estructural y funcional.

Figura 34. Dimensionamiento de la estructura.

Story	Height cm	Elevation cm	Master Story	Similar To	Splice Story	Splice Height cm	Story Color
Story2	25	625	Yes	None	No	0	Red
Story1	600	600	No	Story2	No	0	Pink
Base		0					

Note: Right Click on Grid for Options

Refresh View

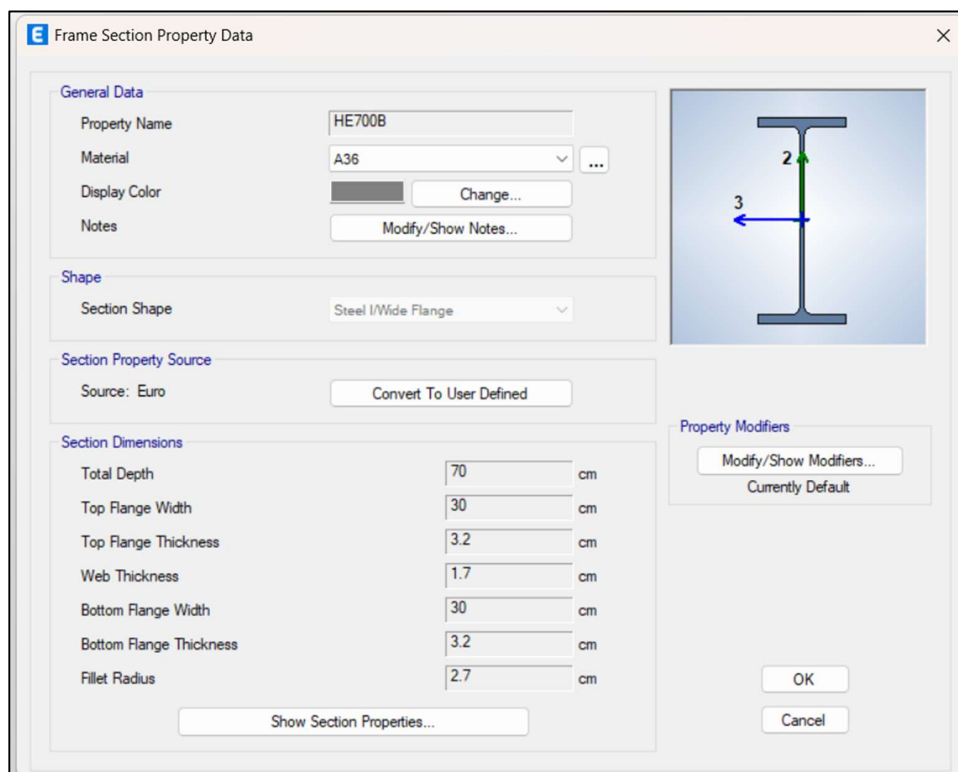
OK Cancel

Fuente: Elaborado por los autores

Para el diseño de las columnas que soportan la estructura con una pendiente de 2%, se seleccionó el perfil HEB 700 de acero A36. Esta elección se fundamenta en la necesidad de garantizar una elevada capacidad portante, tanto en términos de carga axial como de resistencia a momentos flectores generados por la inclinación de la cubierta y las cargas de servicio.

Cabe señalar que la selección de las secciones transversales de las columnas está sujeta a variación según la pendiente de cubierta analizada. En este proyecto se consideran cuatro pendientes distintas, por lo que para cada una se evaluará el comportamiento estructural mediante análisis con el fin de seleccionar perfiles que optimicen la relación peso/resistencia, asegurando el cumplimiento normativo y la eficiencia del diseño.

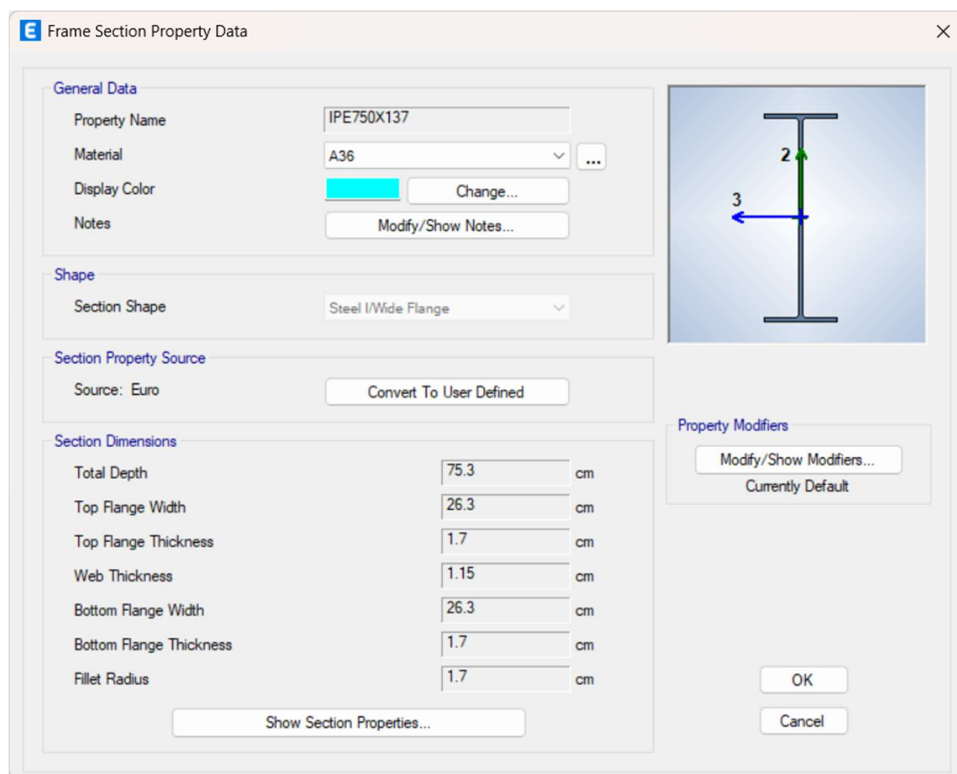
Figura 35. Elección de perfil en columnas



Fuente: Elaborado por los autores

Para las vigas correspondientes a la pendiente del 2% se ha seleccionado la sección IPE 750x137, un perfil laminado tipo I según norma Euro, fabricado en acero A36, cuyas propiedades geométricas y mecánicas se encuentran definidas en el software de modelado estructural.

Figura 36. Elección de perfil en vigas

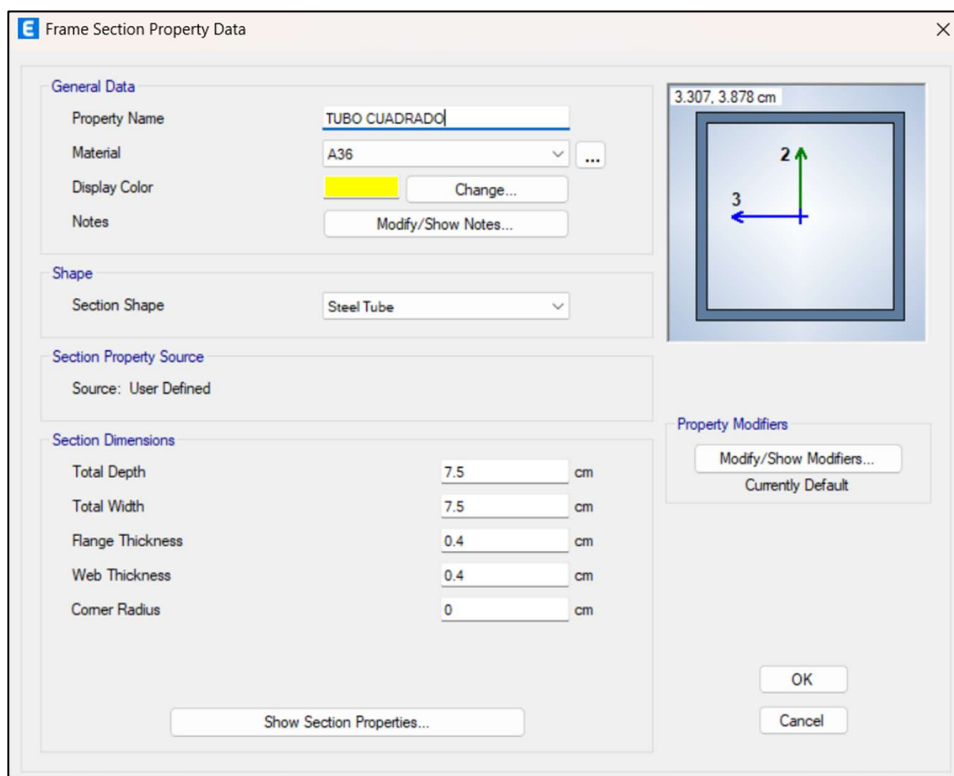


Fuente: Elaborado por los autores

La elección de la sección tubular cuadrada para las correas se basó en el análisis realizado durante el prediseño estructural. En esta etapa, se determinó el módulo de sección elástica requerido (S_x) en función de los esfuerzos a flexión generados por las cargas distribuidas actuantes sobre la cubierta.

Con el valor de S_x calculado, se procedió a consultar catálogos de perfiles tubulares cuadrados normalizados, seleccionando una sección que cumpliera con el criterio de resistencia, es decir, que su módulo de sección fuera igual o superior al requerido. Una vez identificada una sección que satisficiera esta condición, se procedió a ingresarla en el software de análisis estructural para su implementación en el modelo.

Figura 37. Elección de tubo cuadrado para las correas de cubierta.

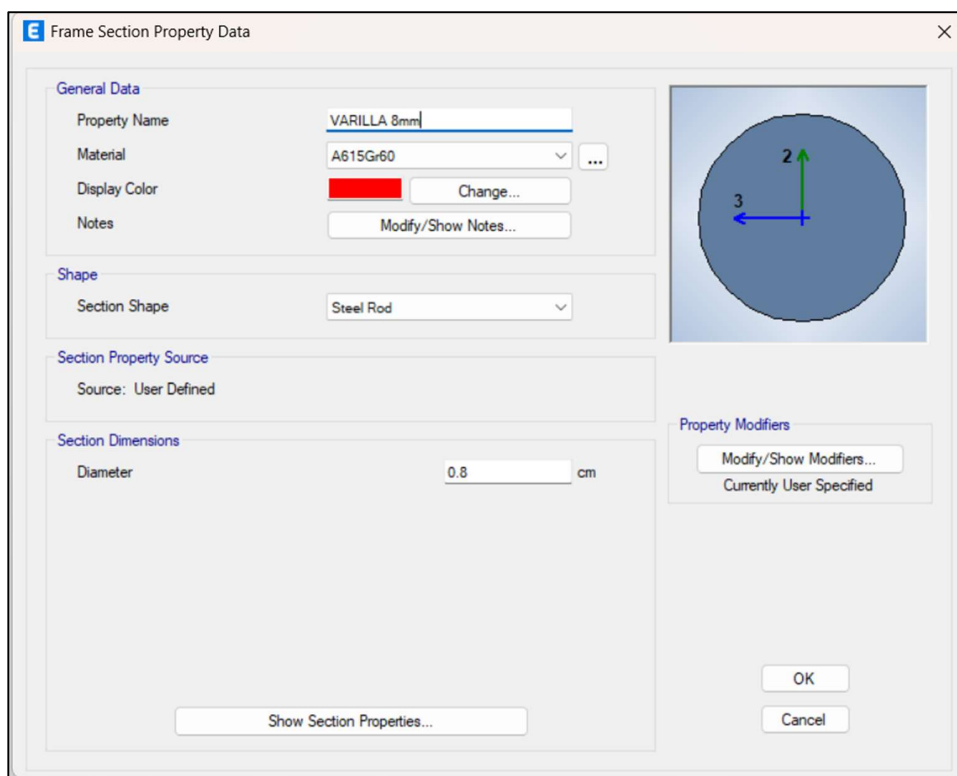


Fuente: Elaborado por los autores

Durante el proceso de diseño se elaboraron elementos tipo tensores utilizando varillas de acero laminado, los cuales fueron ubicados en la parte superior de la estructura, específicamente sobre la cubierta. Estos tensores tienen como función principal mejorar el comportamiento estructural frente a desplazamientos entre pórticos, aportando mayor rigidez al sistema.

La colocación de estos elementos permite distribuir mejor los esfuerzos transversales y limitar deformaciones no deseadas causadas por cargas laterales o acciones dinámicas.

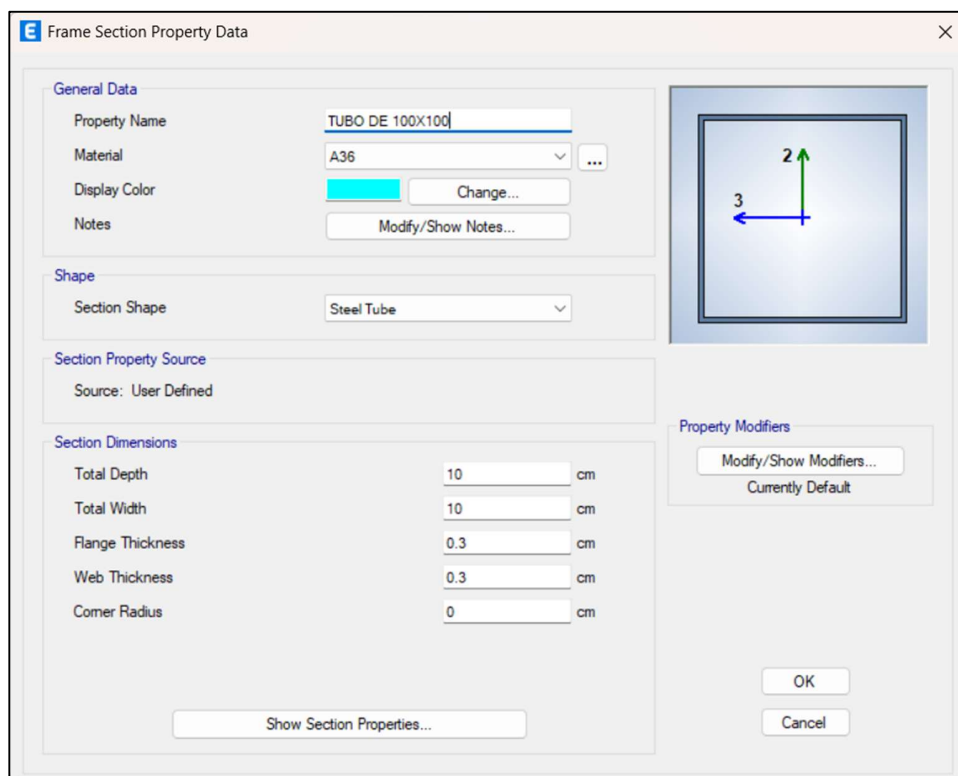
Figura 38. Elaboración de tensor



Fuente: Elaborado por los autores

Como parte del refuerzo de las naves industriales, se incorporó un tubo cuadrado de 100X100cm a manera de arriostramiento, cuya ubicación y dimensiones se detallan **figura 39**. Este perfil fue seleccionado por su eficiencia estructural al resistir tanto fuerzas de tracción como de compresión, lo cual permite reducir desplazamientos laterales entre los pórticos

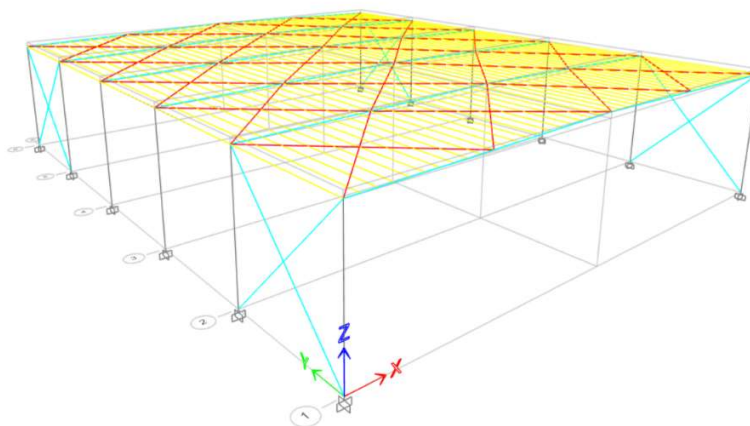
Figura 39. Elaboración de arriostramiento.



Fuente: Elaborado por los autores

Una vez creada todas estas secciones podemos dibujar nuestra nave industrial dentro del software ETABS, el cual se lo puede evidenciar en la **Figura 40**.

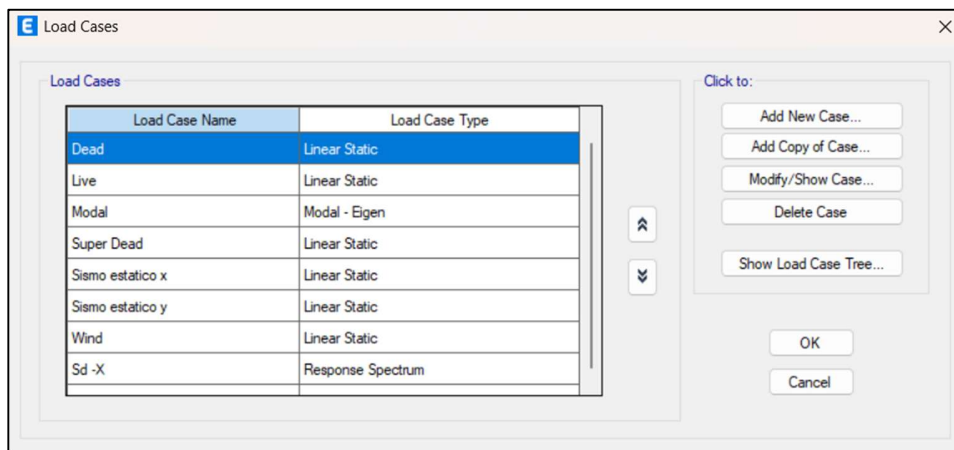
Figura 40. Diseño de nave industrial.



Fuente: Elaborado por los autores

Se definieron los casos de carga tales como se muestra en la **Figura 41**.

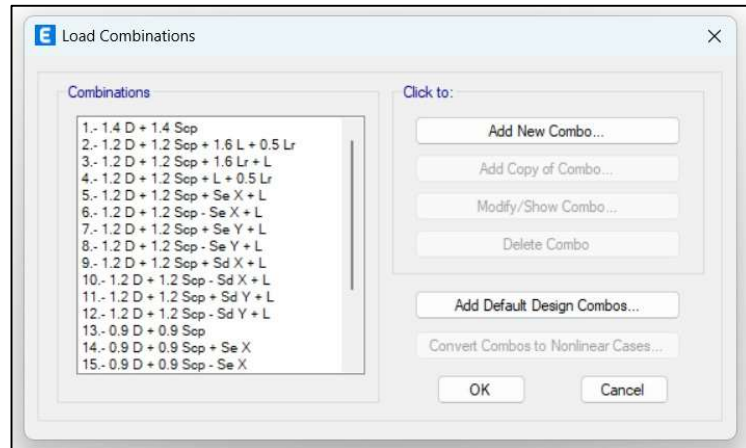
Figura 41. Casos de carga.



Fuente: Elaborado por los autores

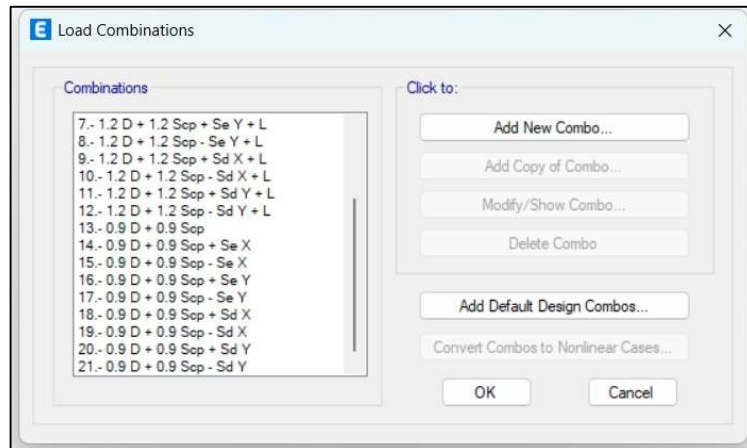
De igual manera se definieron las combinaciones de carga, que se identifican en la **Figura 42 y Figura 43.**

Figura 42. Combinaciones de carga.



Fuente: Elaborado por los autores

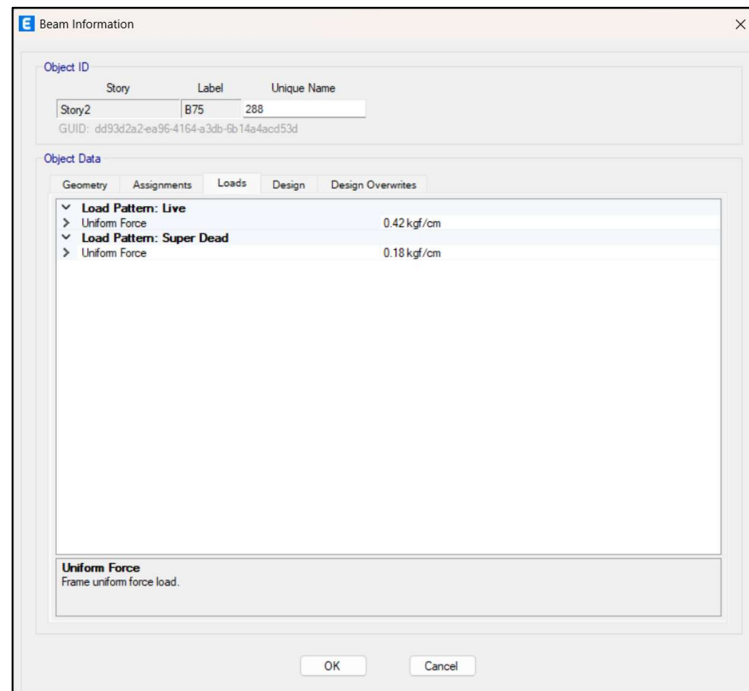
Figura 43. Combinaciones de carga.



Fuente: Elaborado por los autores

Por último, asignamos las cargas, tanto carga muerta como carga viva, a cada una de las correas de la nave industrial.

Figura 44. Asignación de cargas.



Fuente: Elaborado por los autores

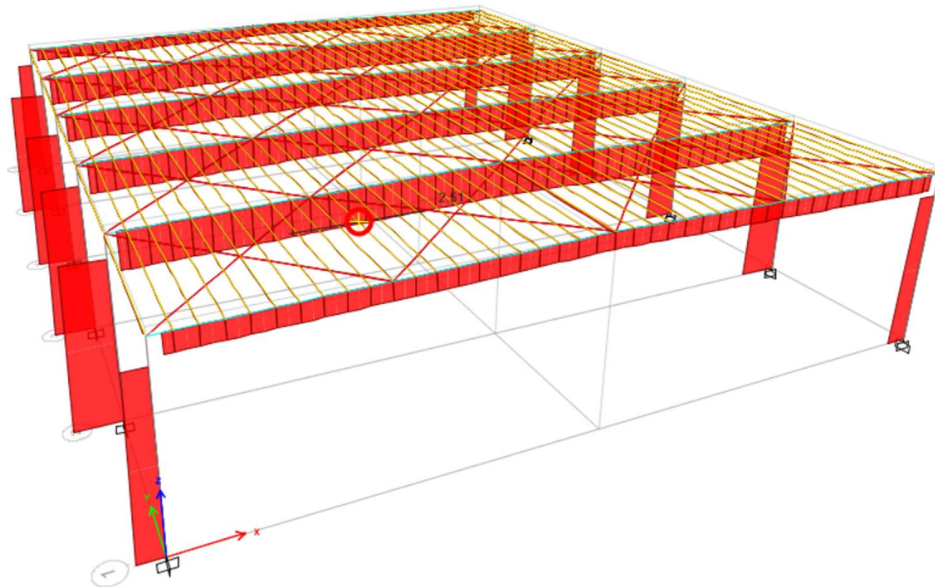
7.3. Fuerzas internas en elementos estructurales

Se recalca que dentro de este punto solo se mostraran las fuerzas internas del galpón con una pendiente de 2% con correas a 0.60m, ya que los diagramas serían muy parecidos, luego dentro del apartado de análisis se mostraran todos los resultados mediante tablas.

- Pendiente 2%, Correas 0.60 m

Diagrama de fuerza axial para combinación de carga (1.2D+1.6L)

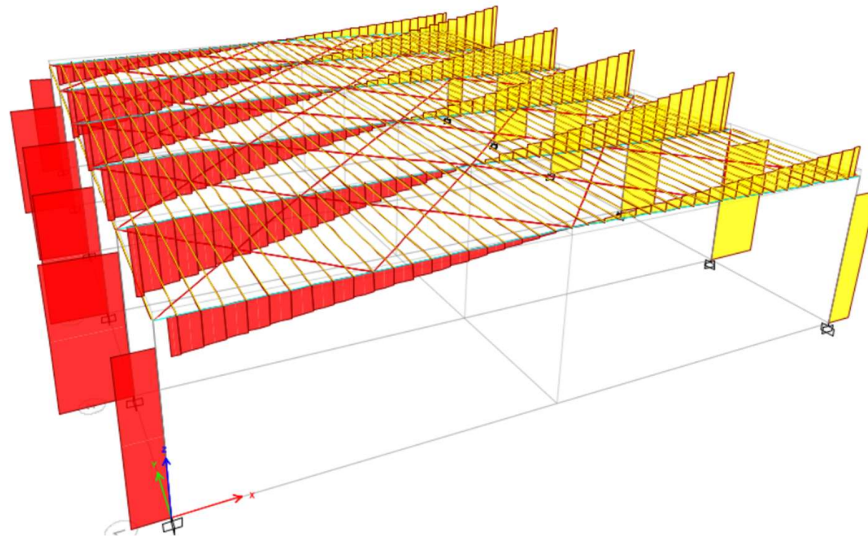
Figura 45. Fuerza axial pendiente 2%, correas 0.60m.



Fuente: Elaborado por los autores

Diagrama de fuerza cortante para combinación de carga (1.2D+1.6L)

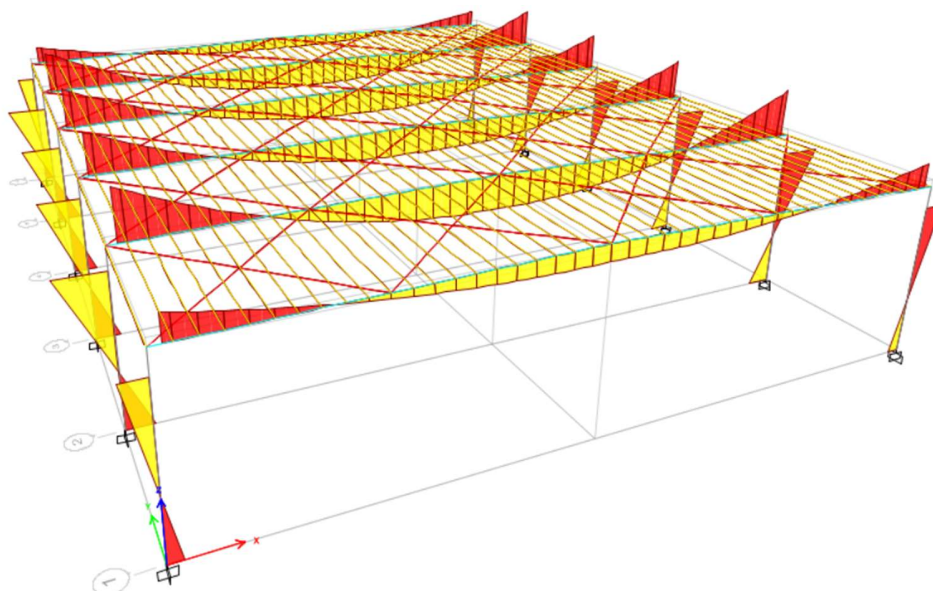
Figura 46. Fuerza cortante pendiente 2%, correas 0.60m.



Fuente: Elaborado por los autores

Diagrama de momento para combinación de carga (1.2D+1.6L)

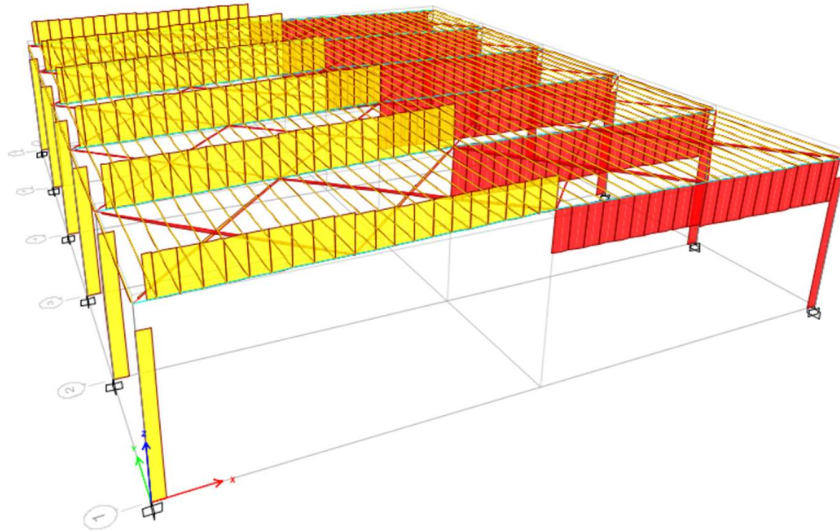
Figura 47. Momento pendiente 2%, correas 0.60m.



Fuente: Elaborado por los autores

Diagrama de fuerza axial para sismo estático en X

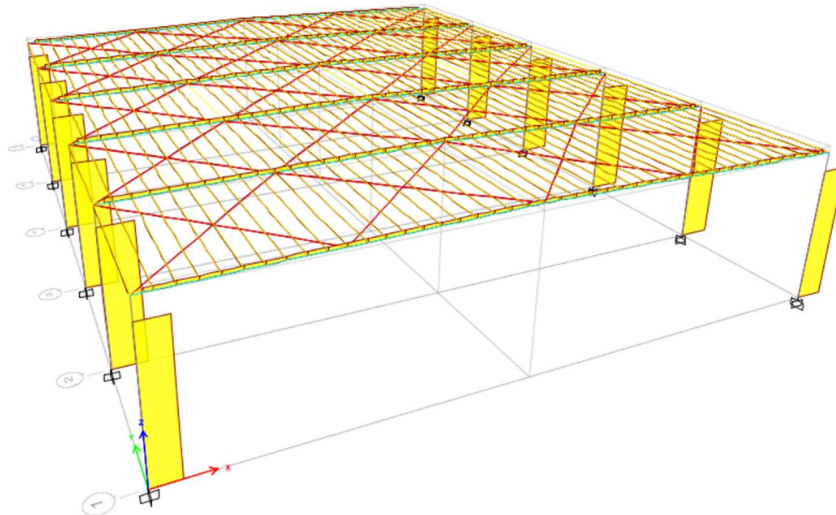
Figura 48. Fuerza axial sismo estático X, pendiente 2%, correas 0.60m.



Fuente: Elaborado por los autores

Diagrama de fuerza cortante para sismo estático en X

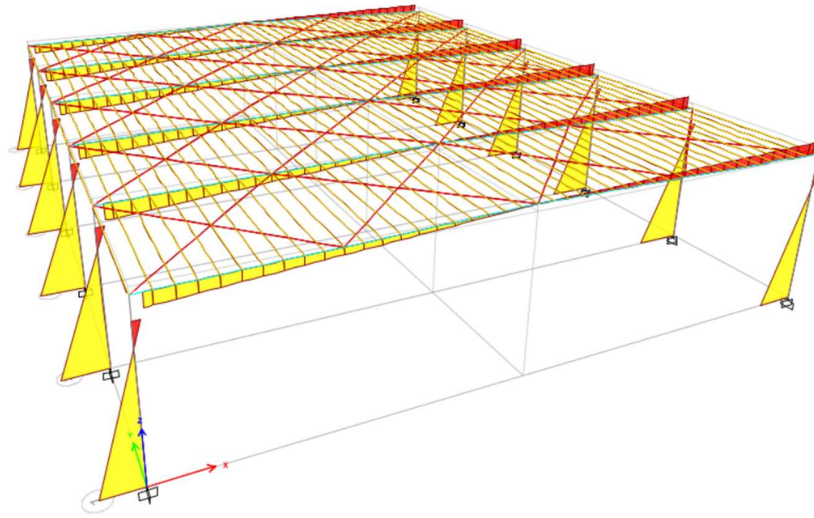
Figura 49. Fuerza cortante sismo estático X, pendiente 2%, correas 0.60m.



Fuente: Elaborado por los autores

Diagrama de momento para sismo estático en X

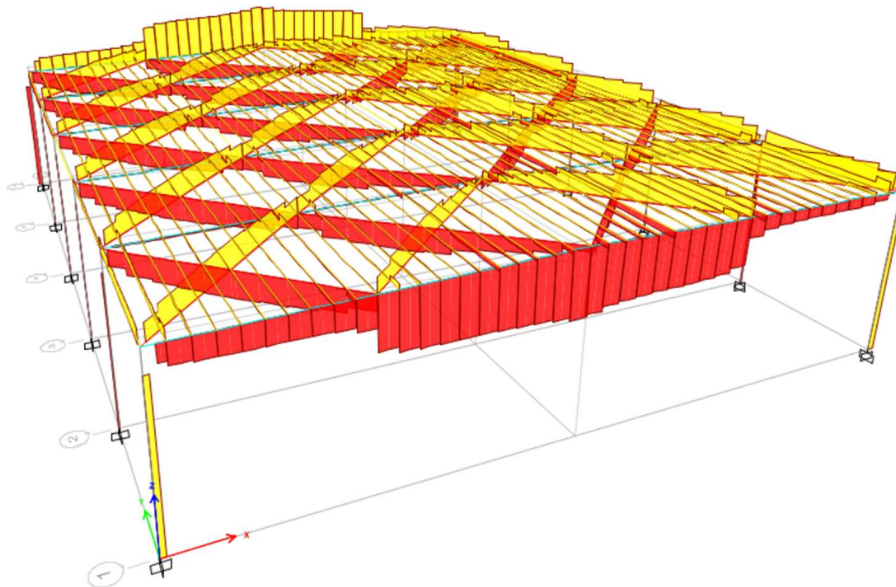
Figura 50. Momento en sismo estático X, pendiente 2%, correas 0.60m.



Fuente: Elaborado por los autores

Diagrama de fuerza axial para sismo estático en Y

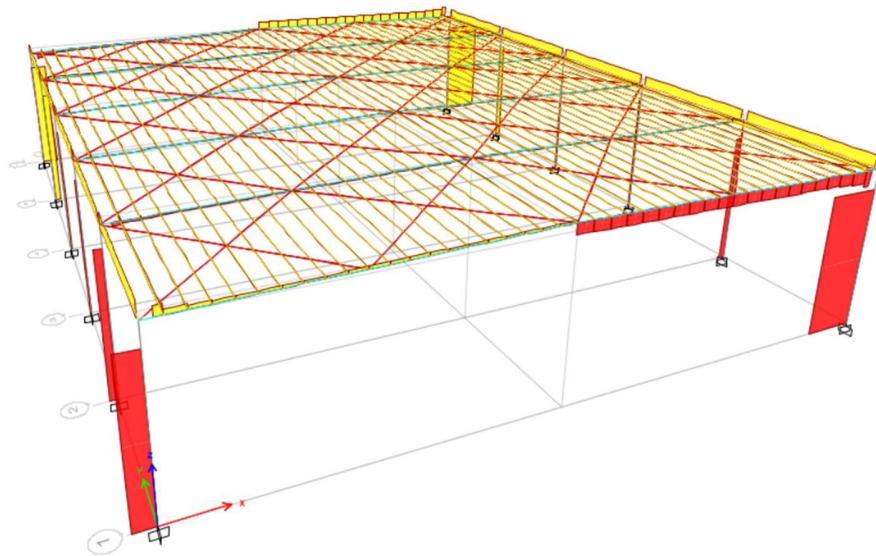
Figura 51. Fuerza axial sismo estático Y, pendiente 2%, correas 0.60m.



Fuente: Elaborado por los autores

Diagrama de fuerza cortante para sismo estático en Y

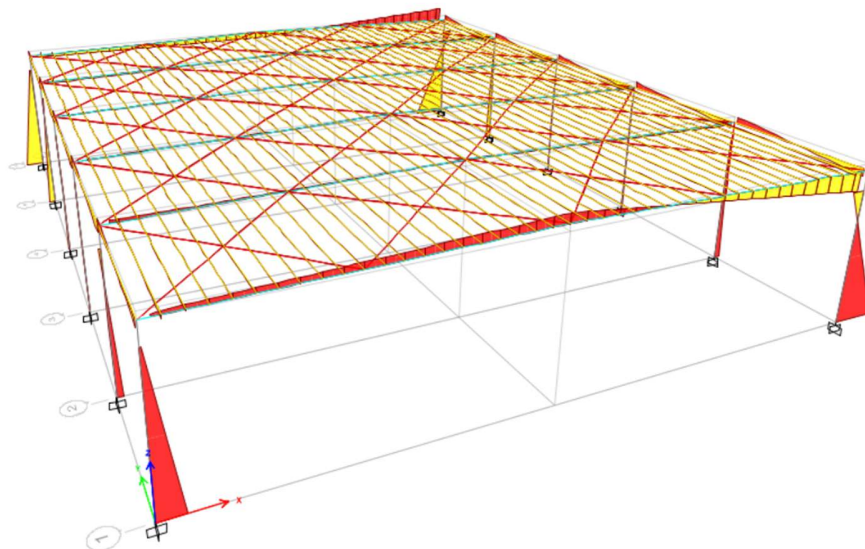
Figura 52. Fuerza cortante sismo estático Y, pendiente 2%, correas 0.60m.



Fuente: Elaborado por los autores

Diagrama de momento para sismo estático Y

Figura 53. Momento en sismo estático Y, pendiente 2%, correas 0.60m.



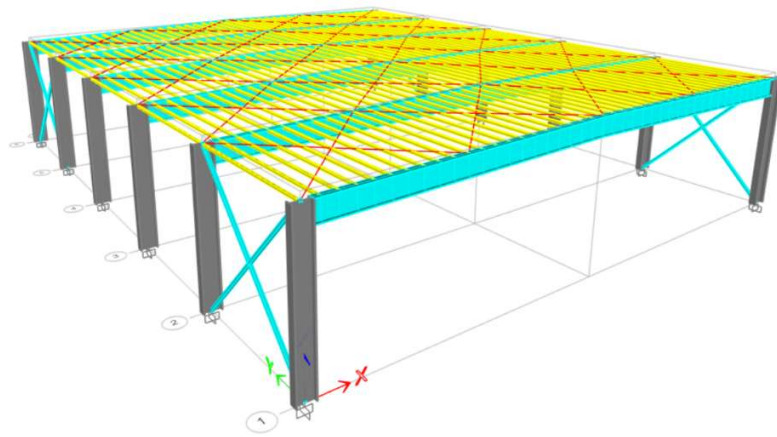
Fuente: Elaborado por los autores

7.4. Deformaciones carga de servicio, sismo estático X, sismo estático Y

- Pendiente 2%

Correas 0.60

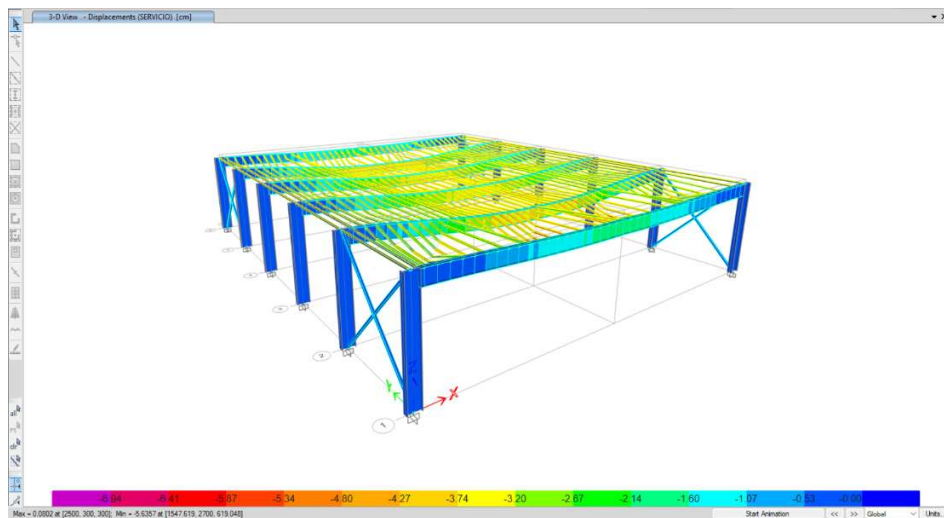
Figura 54. Nave industrial con pendiente 2% correas 0.60m.



Fuente: Elaborado por los autores

Deformación de galpón para el caso de carga de servicio

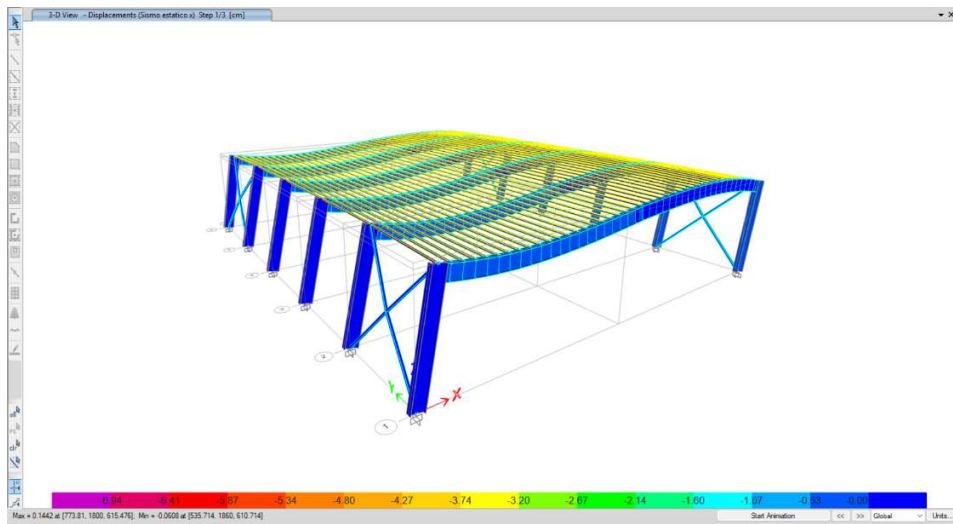
Figura 55. Carga de servicio, pendiente 2% correas 0.60m.



Fuente: Elaborado por los autores

Deformación de galpón para el caso de sismo estático X

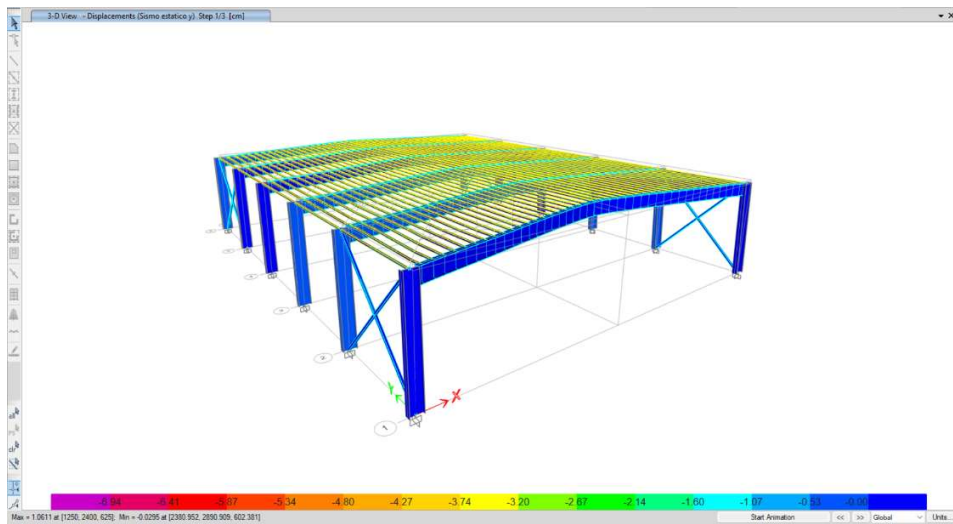
Figura 56. Sismo estático X, pendiente 2% correas 0.60m.



Fuente: Elaborado por los autores

Deformación de galpón para el caso de sismo estático Y

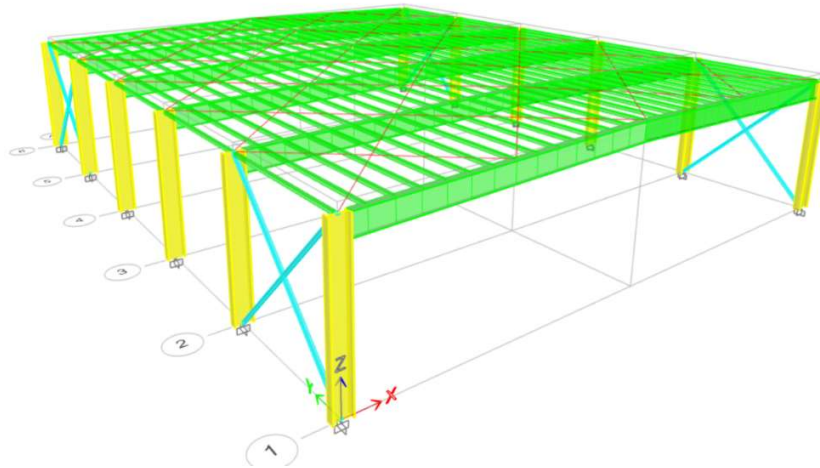
Figura 57. Sismo estático Y, pendiente 2% correas 0.60m.



Fuente: Elaborado por los autores

Correas 0.90

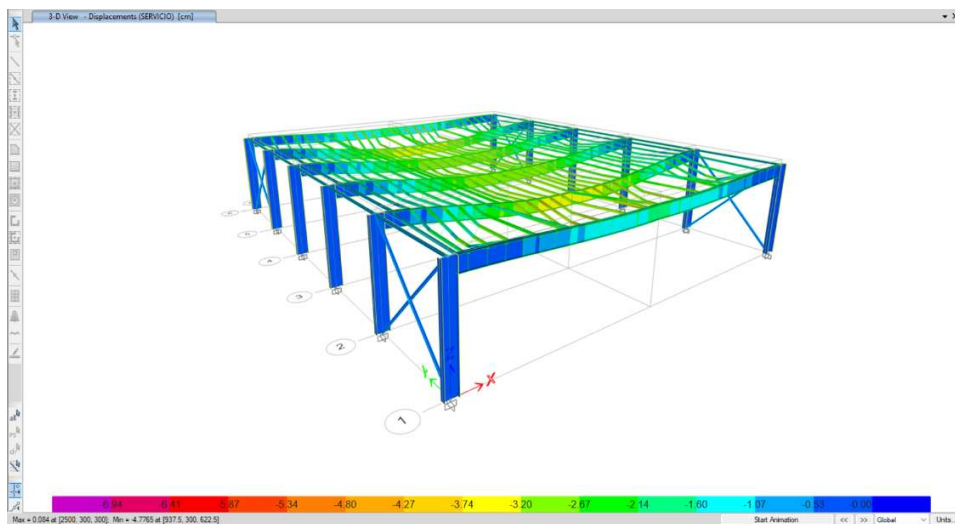
Figura 58. Nave industrial con pendiente 2% correas 0.90m



Fuente: Elaborado por los autores

Deformación de galpón para el caso de carga de servicio

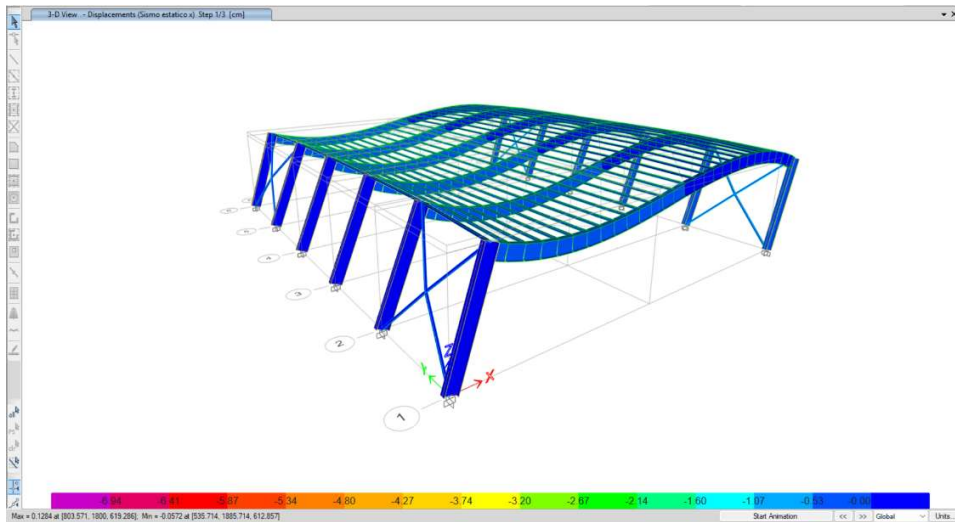
Figura 59. Carga de servicio, pendiente 2% correas 0.90m.



Fuente: Elaborado por los autores

Deformación de galpón para el caso de sismo estático X

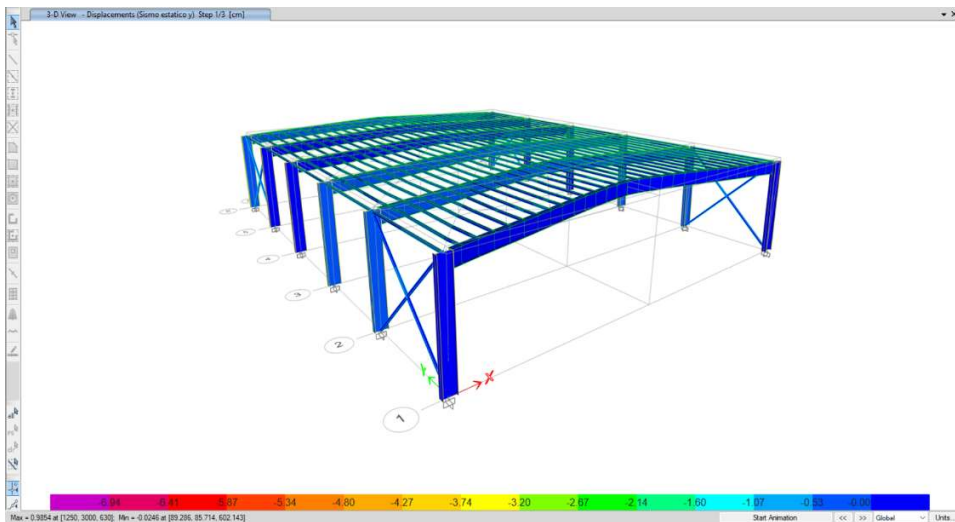
Figura 60. Sismo estático X, pendiente 2% correas 0.90m.



Fuente: Elaborado por los autores

Deformación de galpón para el caso de sismo estático Y

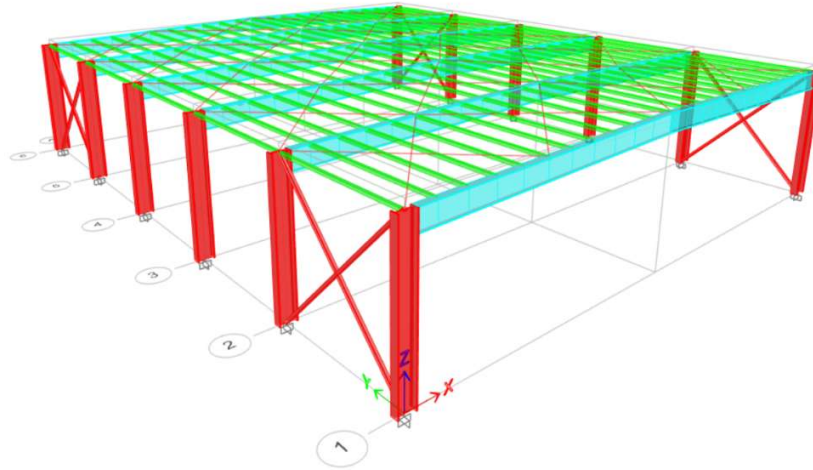
Figura 61. Sismo estático Y, pendiente 2% correas 0.90m.



Fuente: Elaborado por los autores

Correas 1.15

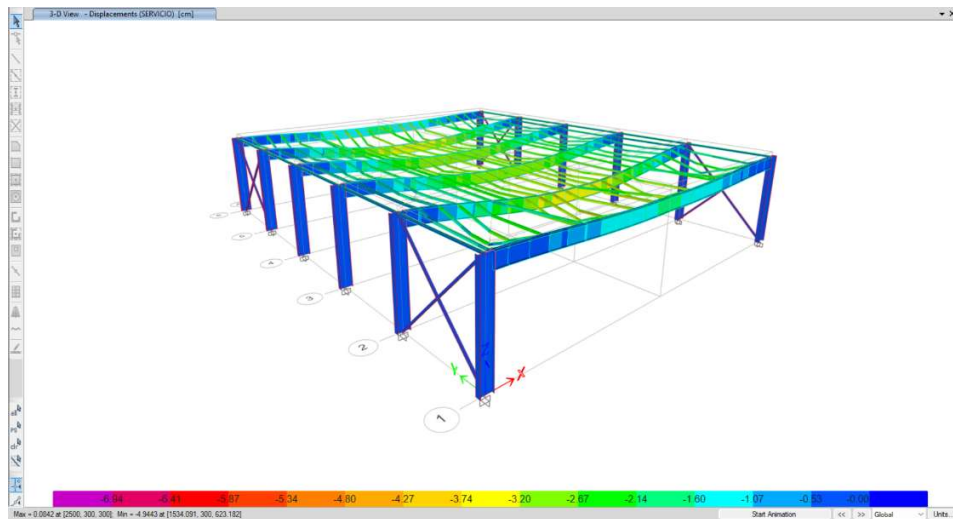
Figura 62. Nave industrial con pendiente 2% correas 1.15m



Fuente: Elaborado por los autores

Deformación de galpón para el caso de carga de servicio

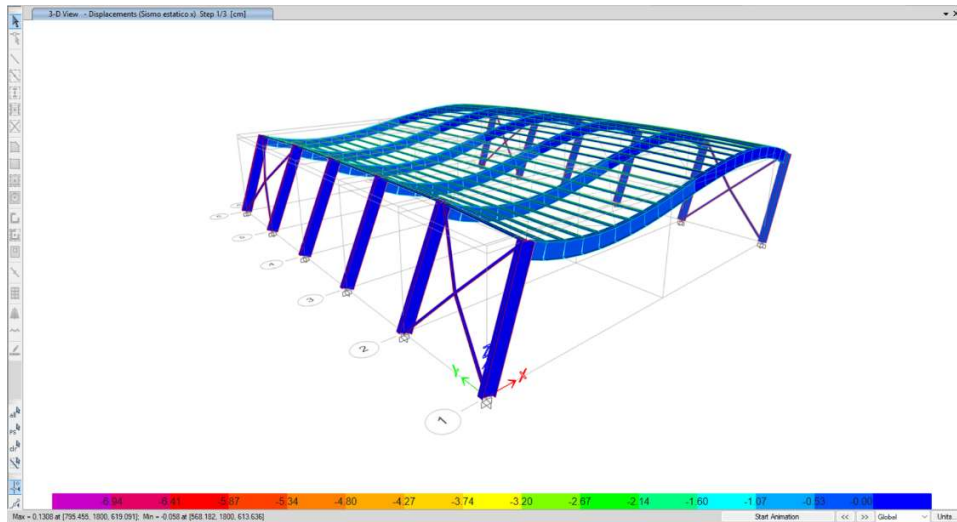
Figura 63. Carga de servicio, pendiente 2% correas 1.15m.



Fuente: Elaborado por los autores

Deformación de galpón para el caso de sismo estático X

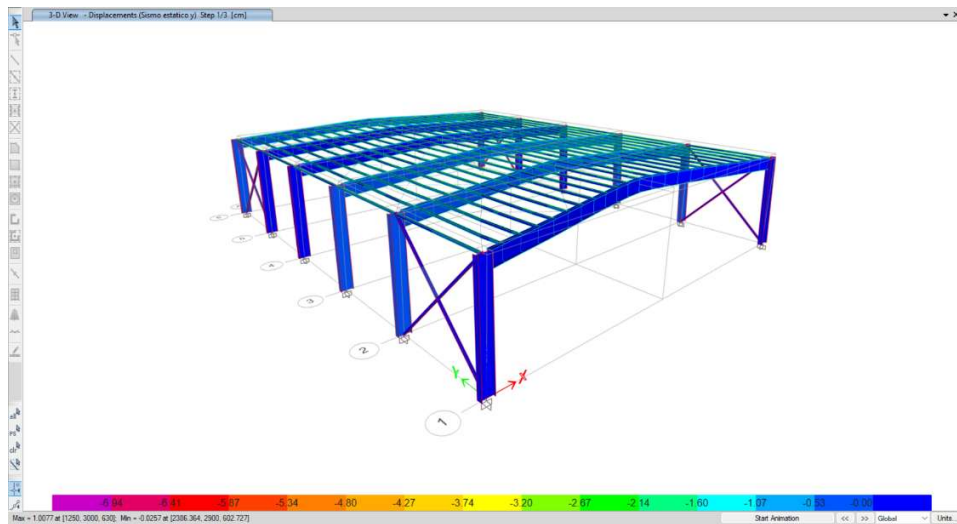
Figura 64. Sismo estático X, pendiente 2% correas 1.15m.



Fuente: Elaborado por los autores

Deformación de galpón para el caso de sismo estático Y

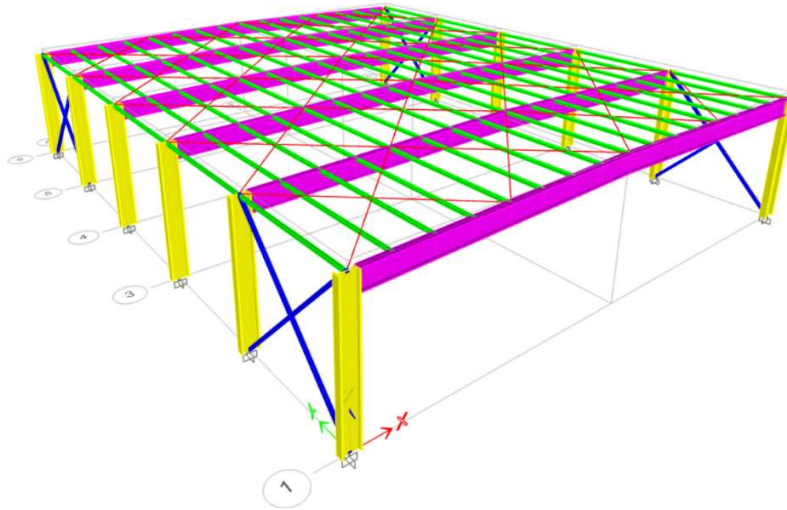
Figura 65. Sismo estático Y, pendiente 2% correas 1.15m.



Fuente: Elaborado por los autores

Correas 1.60

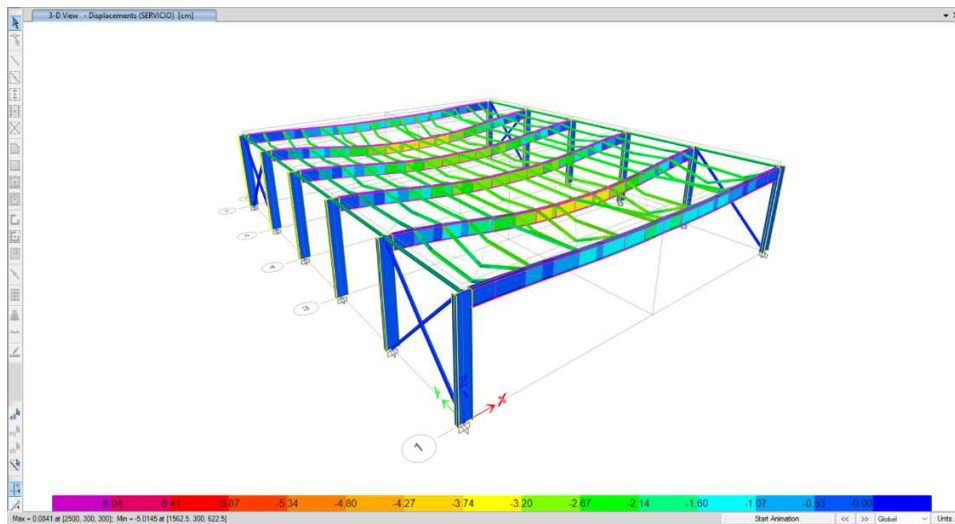
Figura 66. Nave industrial con pendiente 2% correas 1.60m



Fuente: Elaborado por los autores

Deformación de galpón para el caso de carga de servicio

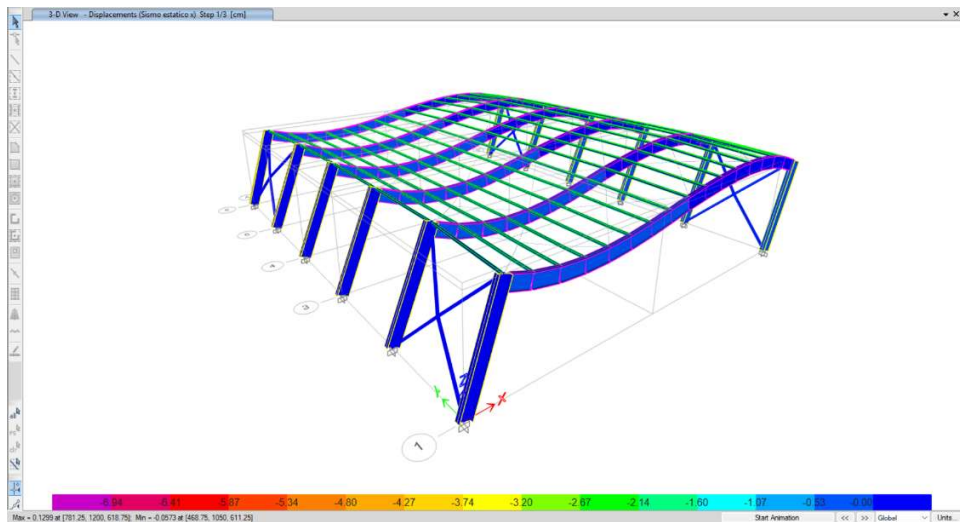
Figura 67. Carga de servicio, pendiente 2% correas 1.60m.



Fuente: Elaborado por los autores

Deformación de galpón para el caso de sismo estático X

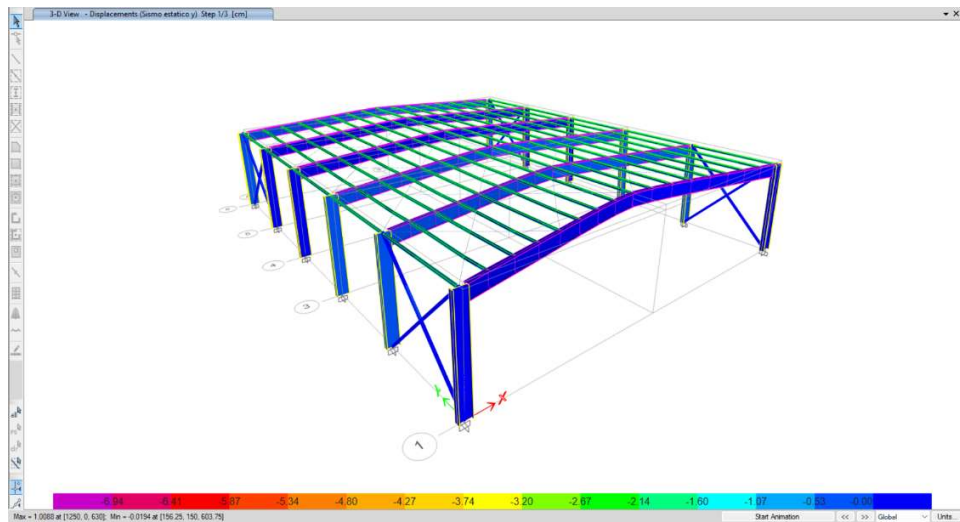
Figura 68. Sismo estático X, pendiente 2% correas 1.60m.



Fuente: Elaborado por los autores

Deformación de galpón para el caso de sismo estático Y

Figura 69. Sismo estático Y, pendiente 2% correas 1.60m.

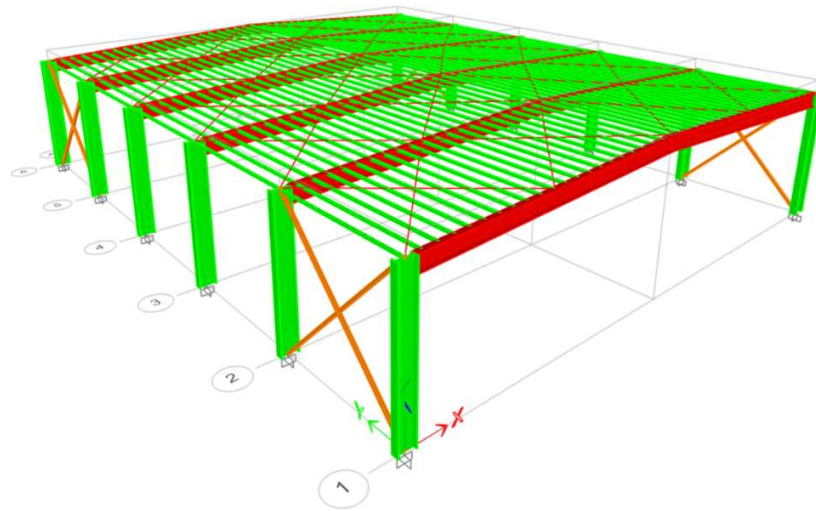


Fuente: Elaborado por los autores

- Pendiente 5%

Correas 0.60

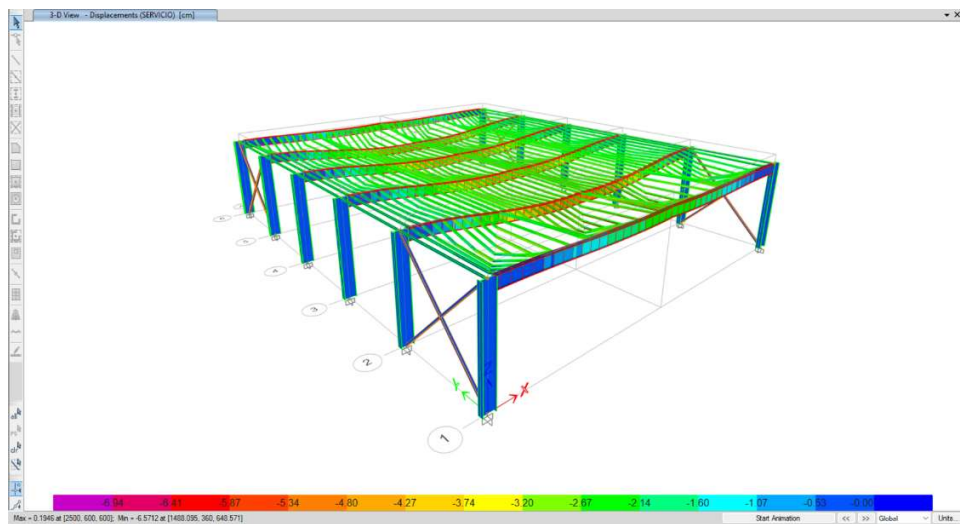
Figura 70. Nave industrial con pendiente 5% correas 0.60m



Fuente: Elaborado por los autores

Deformación de galpón para el caso de carga de servicio

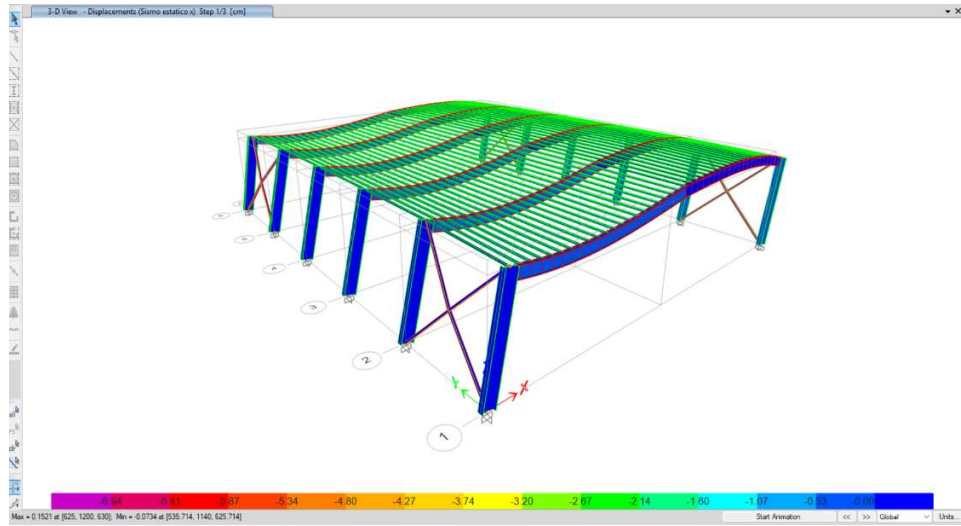
Figura 71. Carga de servicio, pendiente 5% correas 0.60m.



Fuente: Elaborado por los autores

Deformación de galpón para el caso de sismo estático X

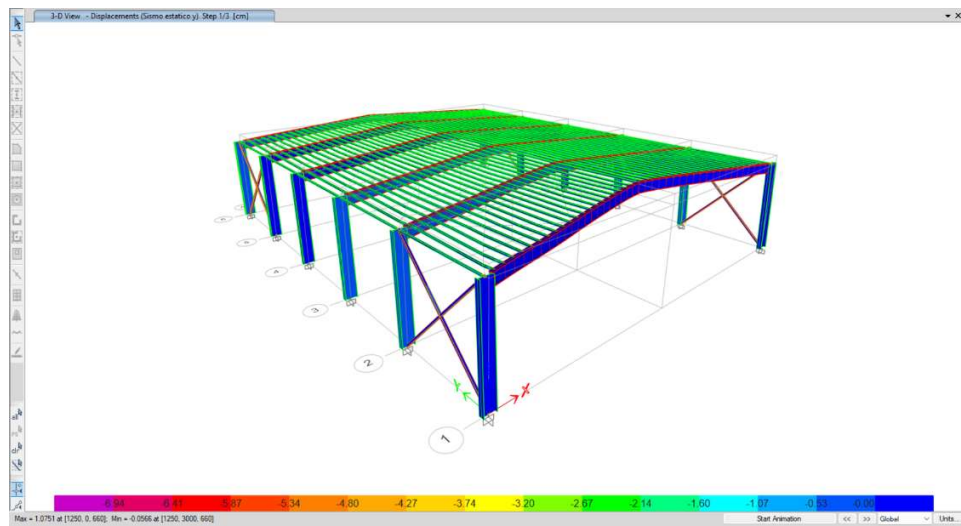
Figura 72. Sismo estático X, pendiente 5% correas 0.60m.



Fuente: Elaborado por los autores

Deformación de galpón para el caso de sismo estático Y

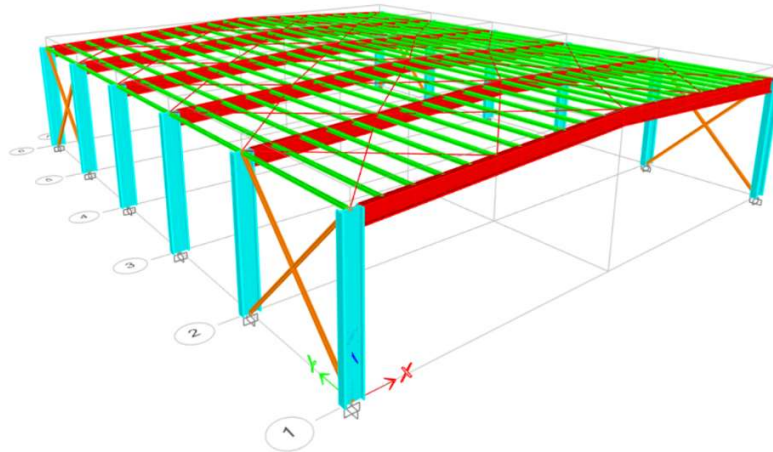
Figura 73. Sismo estático Y, pendiente 5% correas 0.60m.



Fuente: Elaborado por los autores

Correas 0.90

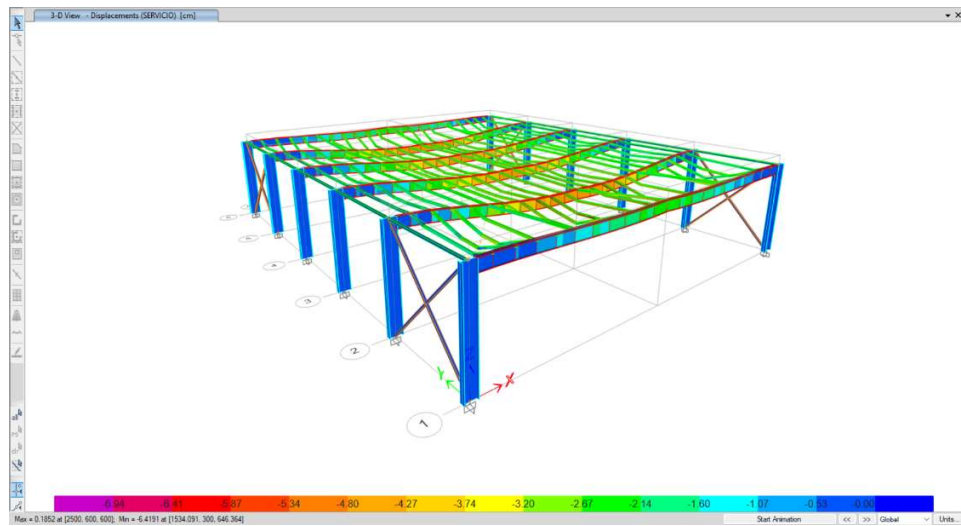
Figura 74. Nave industrial con pendiente 5% correas 0.90m



Fuente: Elaborado por los autores

Deformación de galpón para el caso de carga de servicio

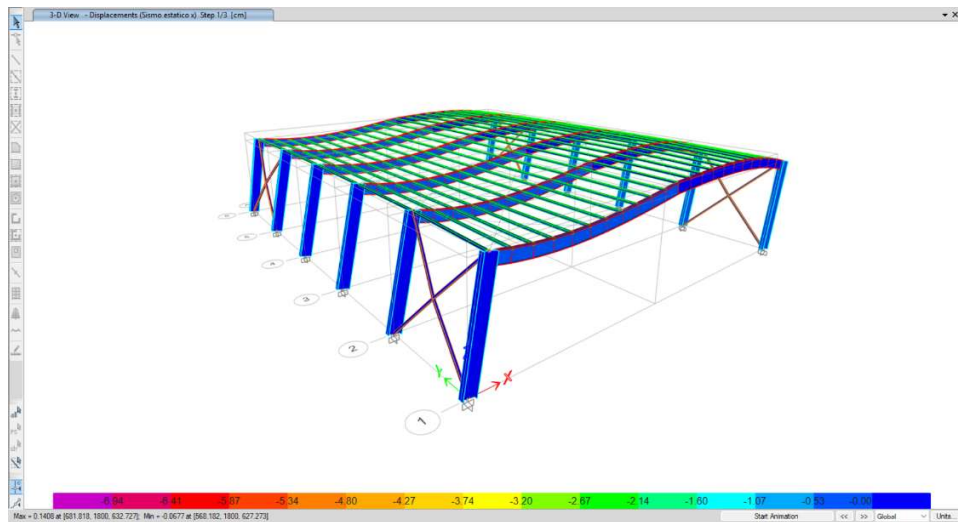
Figura 75. Carga de servicio, pendiente 5% correas 0.90m.



Fuente: Elaborado por los autores

Deformación de galpón para el caso sismo estático X

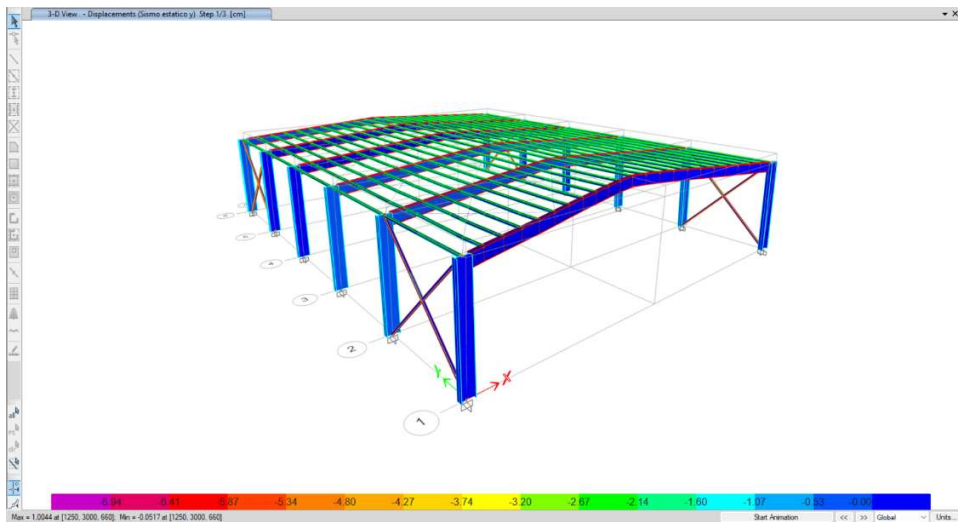
Figura 76. Sismo estático X, pendiente 5% correas 0.90m.



Fuente: Elaborado por los autores

Deformación de galpón para el caso sismo estático Y

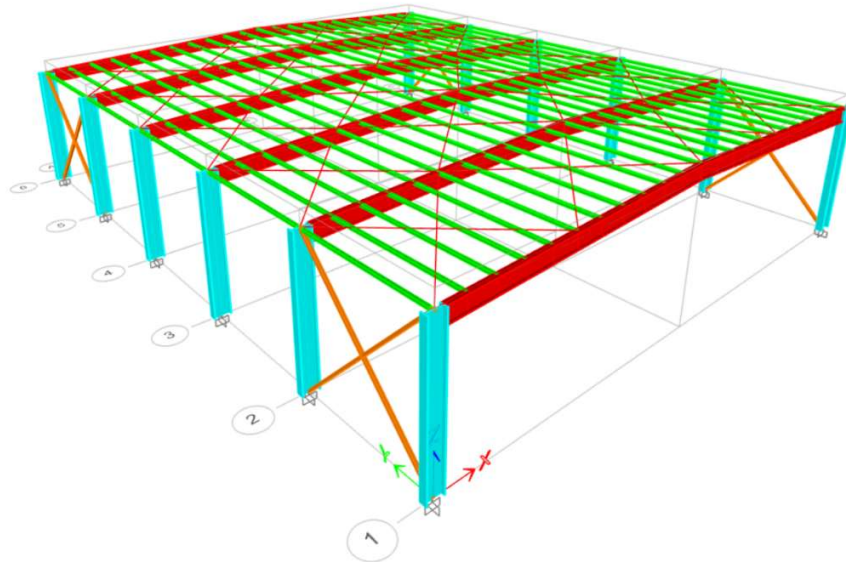
Figura 77. Sismo estático Y, pendiente 5% correas 0.90m.



Fuente: Elaborado por los autores

Correas 1.15

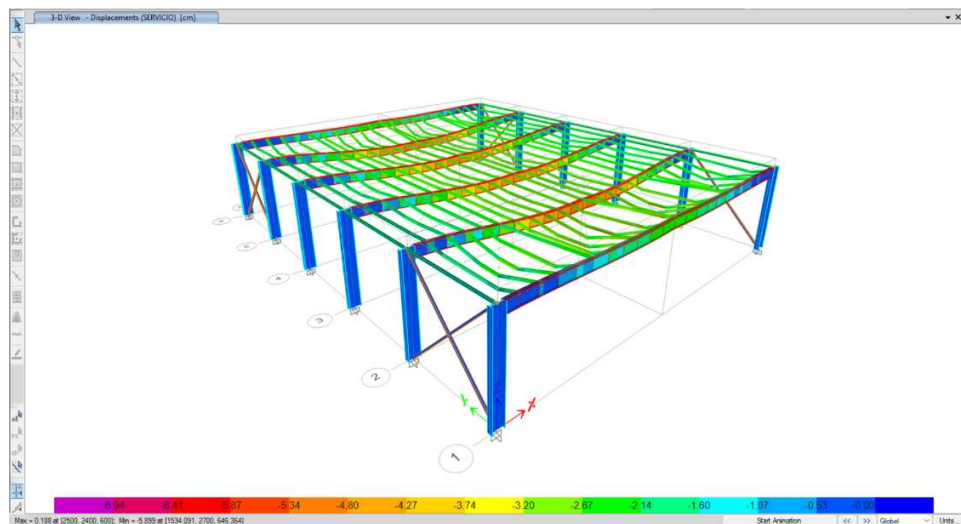
Figura 78. Nave industrial con pendiente 5% correas 1.15m



Fuente: Elaborado por los autores

Deformación de galpón para el caso carga de servicio

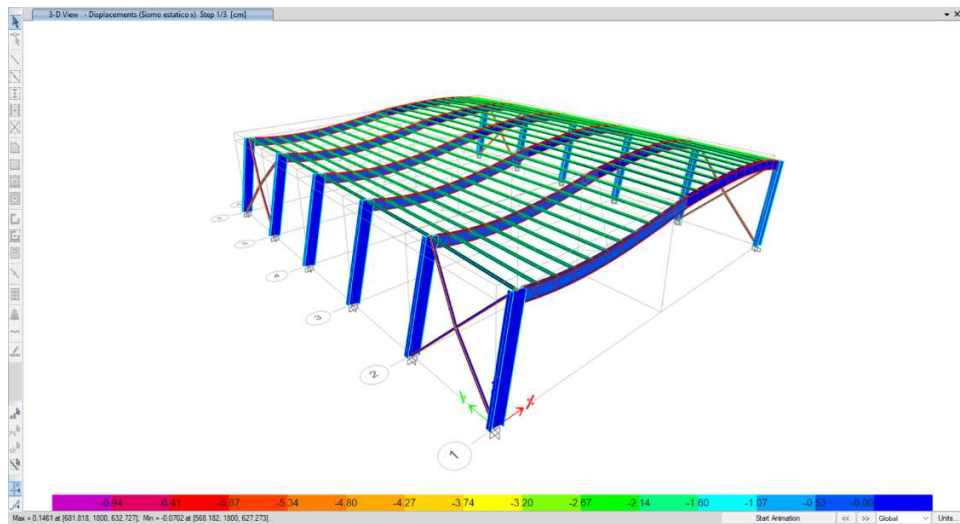
Figura 79. Carga de servicio, pendiente 5% correas 1.15m.



Fuente: Elaborado por los autores

Deformación de galpón para el caso de carga sismo estático X

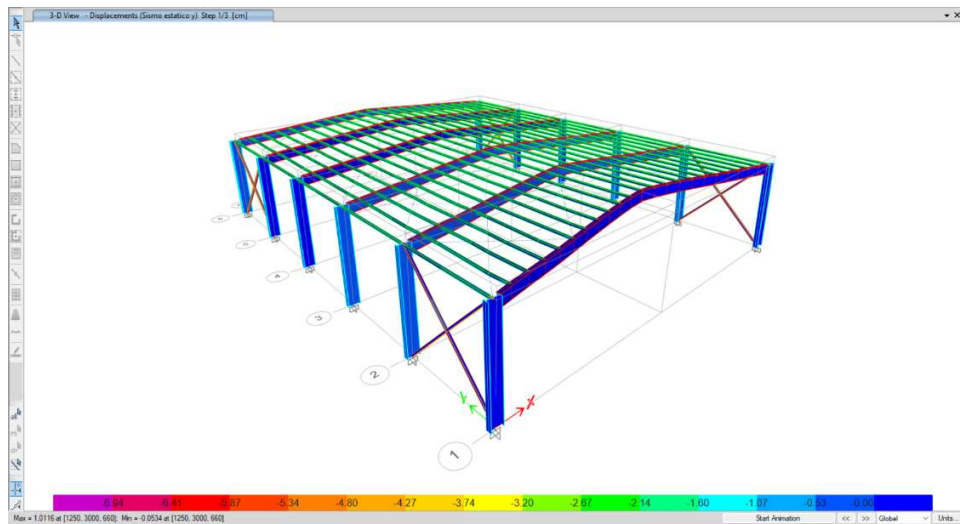
Figura 80. Sismo estático X, pendiente 5% correas 1.15m.



Fuente: Elaborado por los autores

Deformación de galpón para el caso de carga sismo estático Y

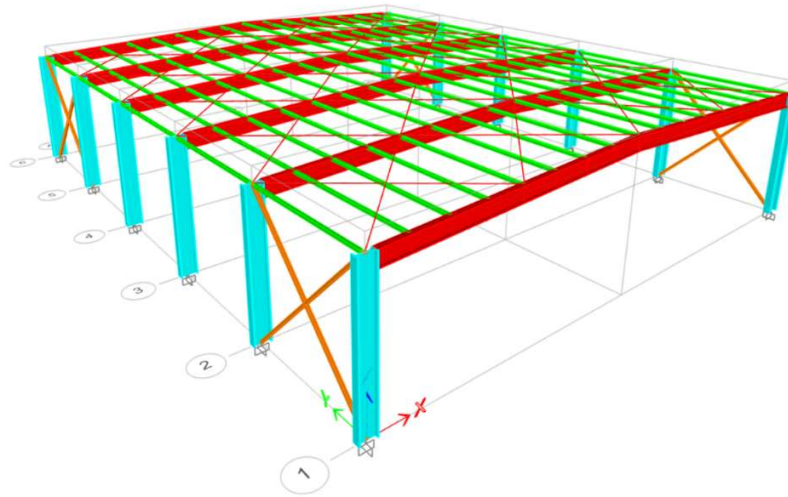
Figura 81. Sismo estático Y, pendiente 5% correas 1.15m.



Fuente: Elaborado por los autores

Correas 1.60

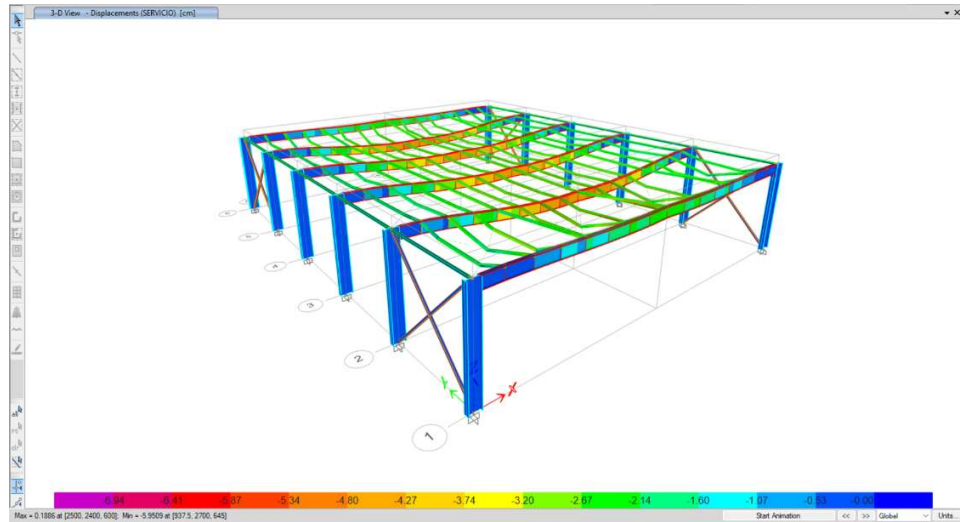
Figura 82. Nave industrial con pendiente 5% correas 1.60m



Fuente: Elaborado por los autores

Deformación de galpón para el caso de carga de servicio

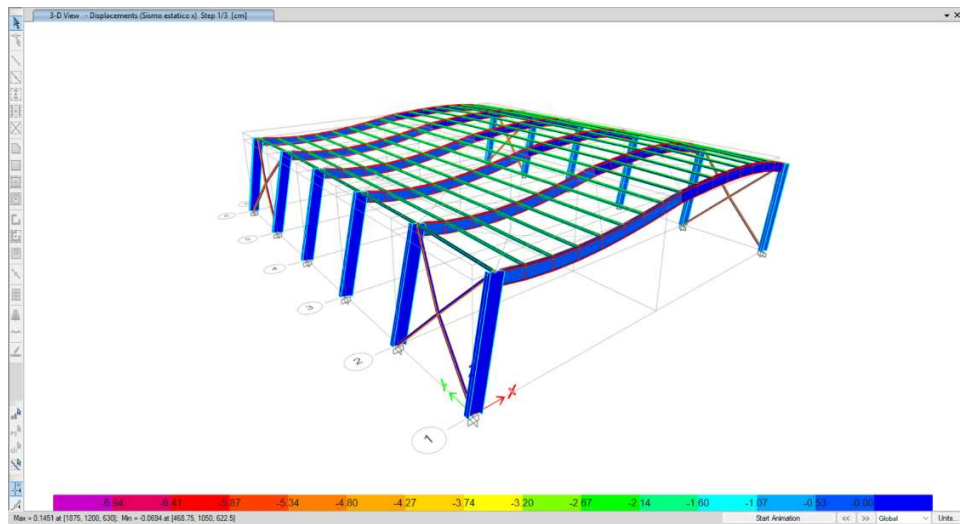
Figura 83. Carga de servicio, pendiente 5% correas 1.60m.



Fuente: Elaborado por los autores

Deformación de galpón para el caso de sismo estático X

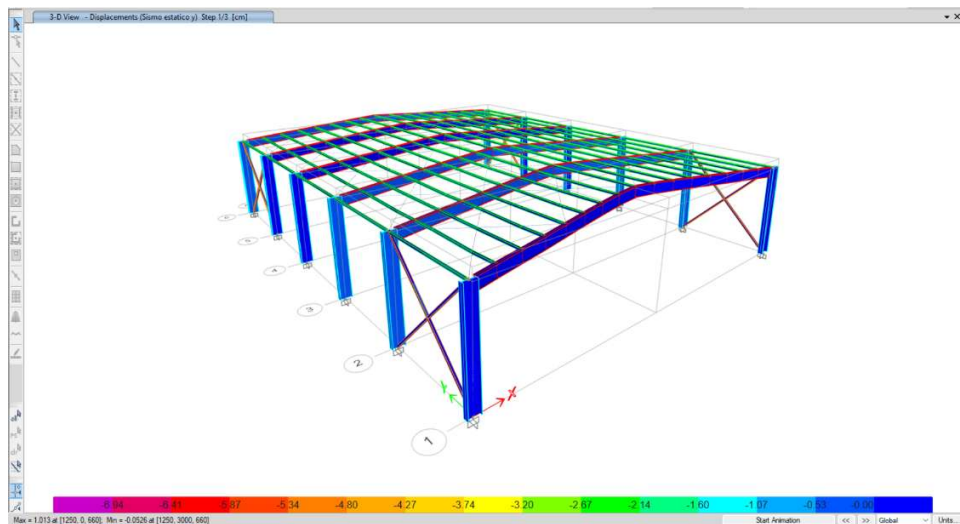
Figura 84. Sismo estático X, pendiente 5% correas 1.60m.



Fuente: Elaborado por los autores

Deformación de galpón para el caso de sismo estático Y

Figura 85. Sismo estático Y, pendiente 5% correas 1.60m.

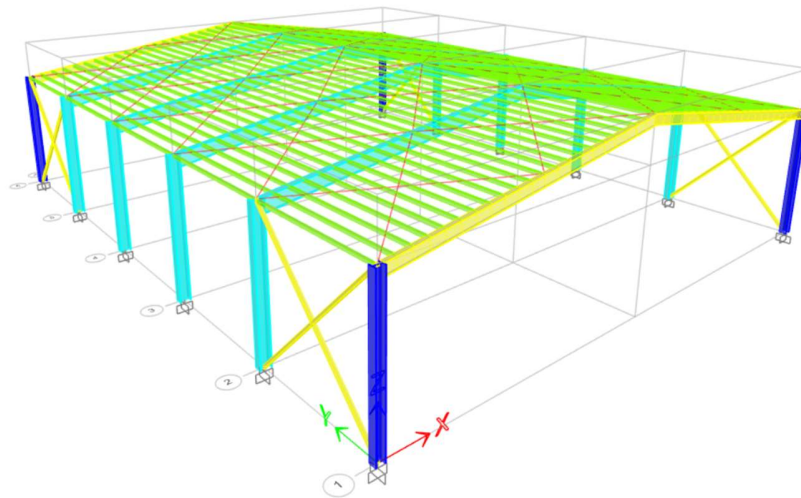


Fuente: Elaborado por los autores

- Pendiente 15%

Correas 0.60

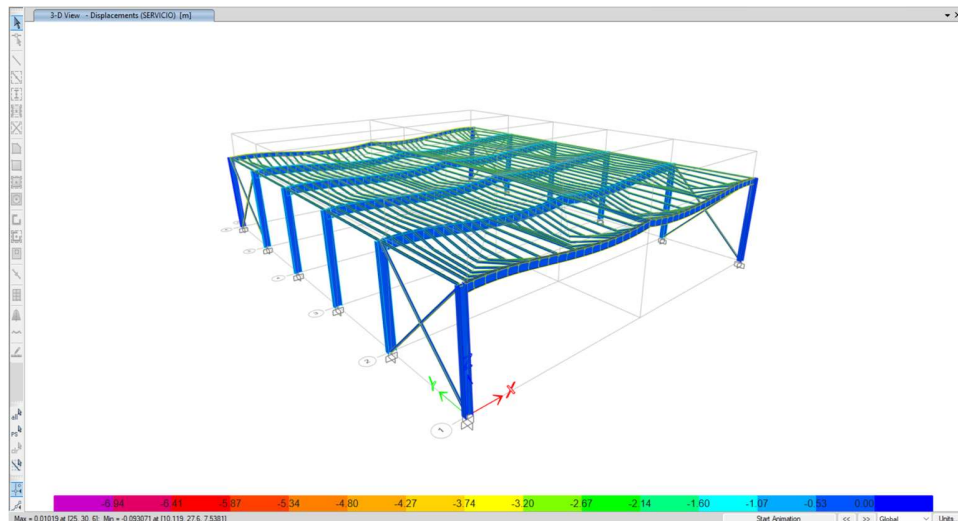
Figura 86. Nave industrial con pendiente 15% correas 0.60m



Fuente: Elaborado por los autores

Deformación de galpón para el caso de carga de servicio

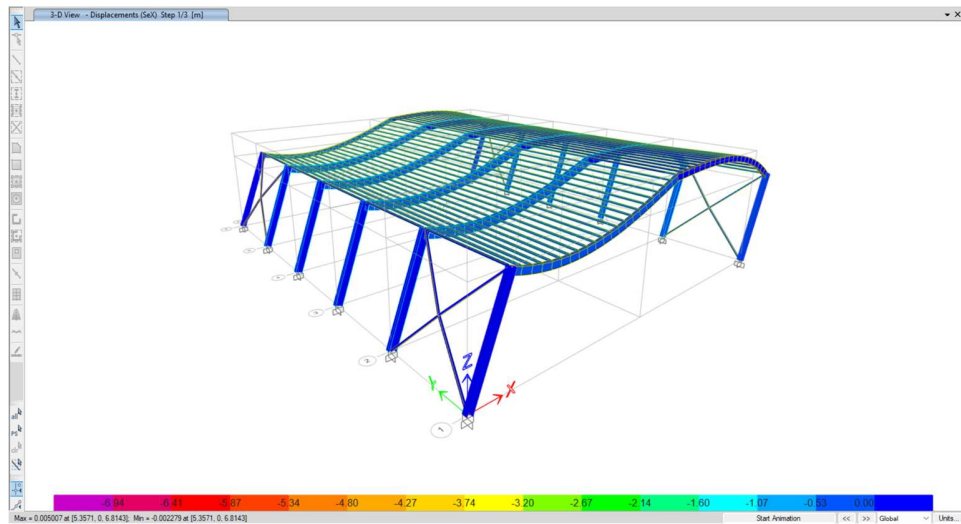
Figura 87. Carga de servicio, pendiente 15% correas 0.60m.



Fuente: Elaborado por los autores

Deformación de galpón para el caso de sismo estático X

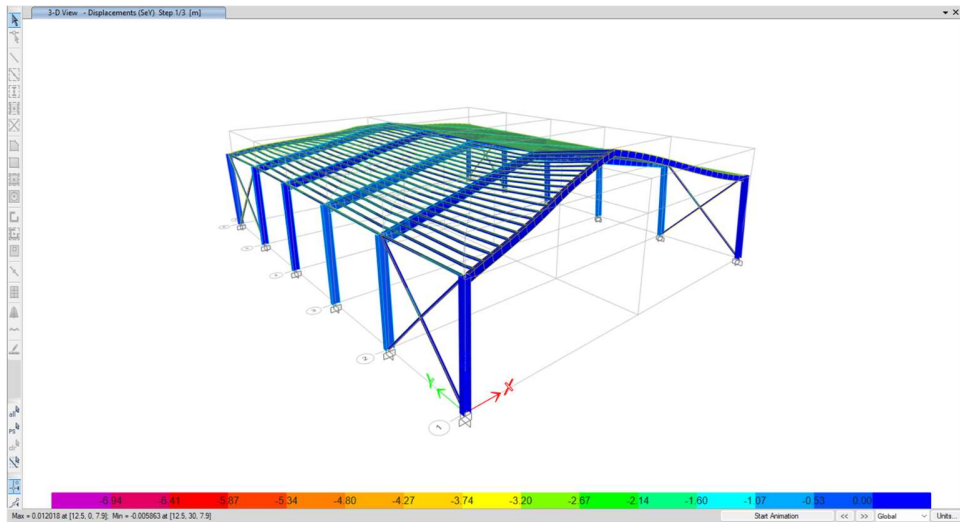
Figura 88. Sismo estático X, pendiente 15% correas 0.60m.



Fuente: Elaborado por los autores

Deformación de galpón para el caso de sismo estático Y

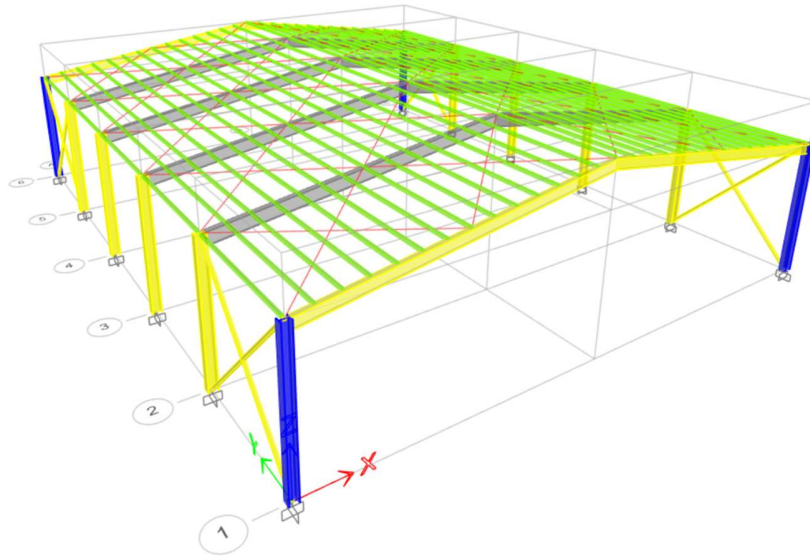
Figura 89. Sismo estático Y, pendiente 15% correas 0.60m.



Fuente: Elaborado por los autores

Correas 0.90m

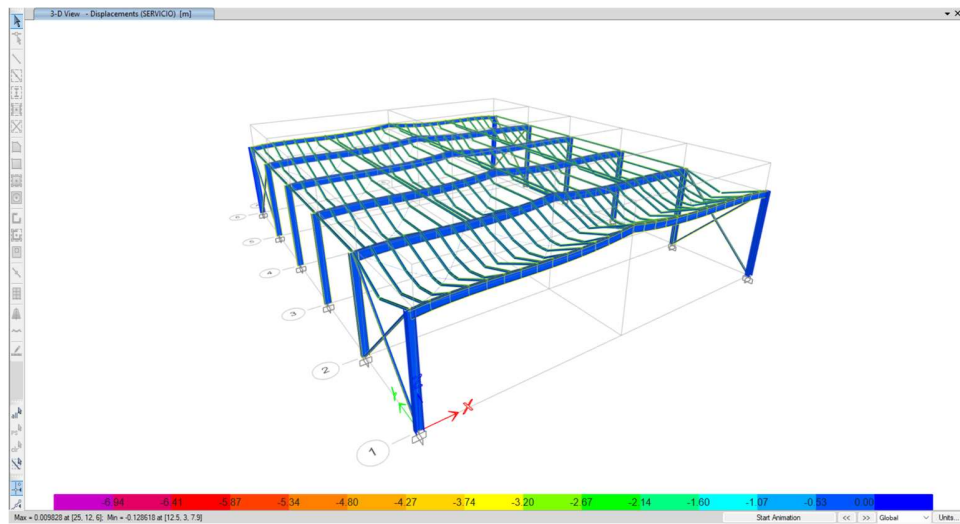
Figura 90. Nave industrial con pendiente 15% correas 0.90m



Fuente: Elaborado por los autores

Deformación de galpón para el caso de carga de servicio

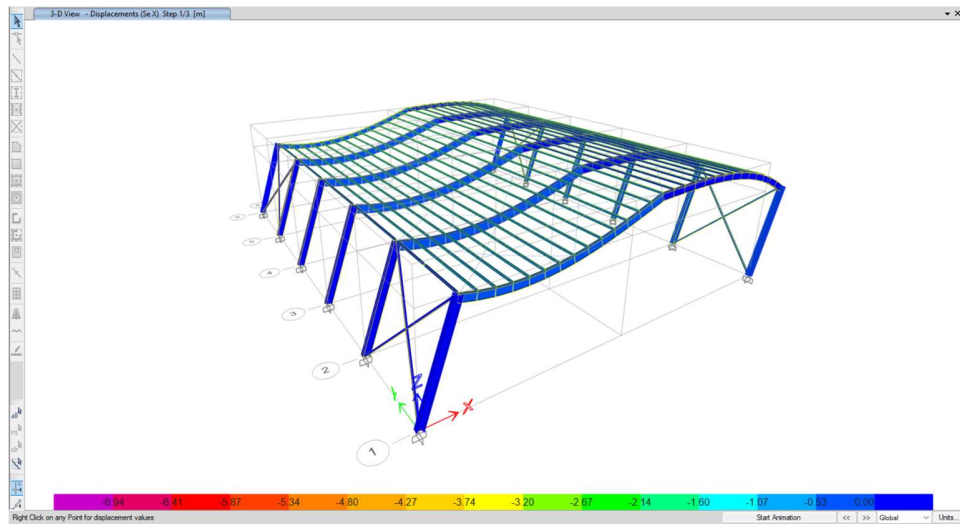
Figura 91. Carga de servicio, pendiente 15% correas 0.90m.



Fuente: Elaborado por los autores

Deformación de galpón para el caso de sismo estático X

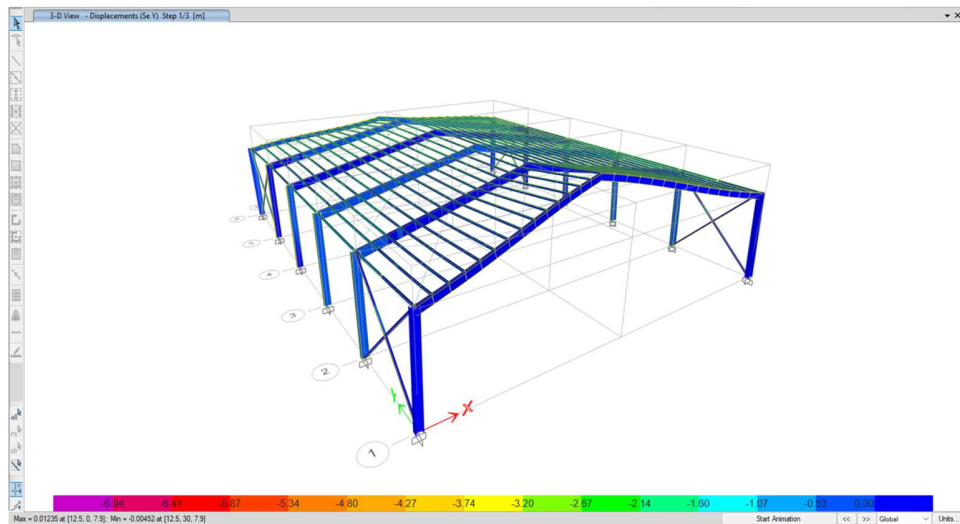
Figura 92. Sismo estático X, pendiente 15% correas 0.90m.



Fuente: Elaborado por los autores

Deformación de galpón para el caso de sismo estático Y

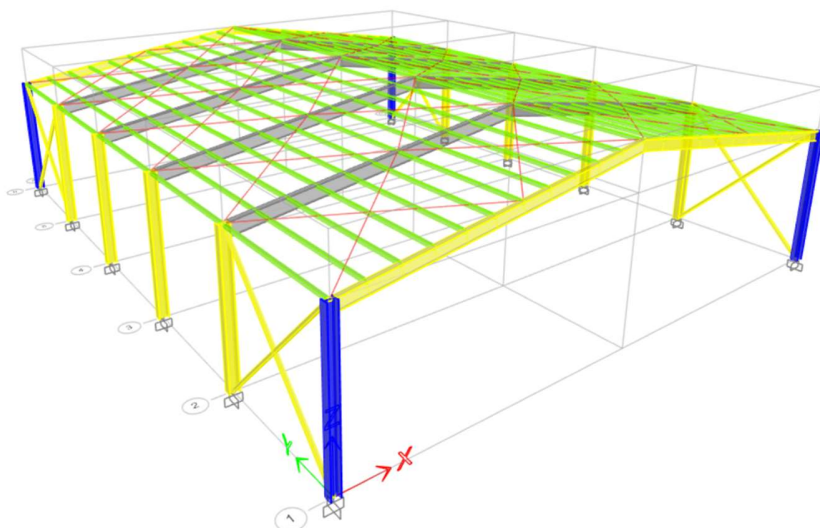
Figura 93. Sismo estático Y, pendiente 15% correas 0.90m.



Fuente: Elaborado por los autores

Correas 1.15

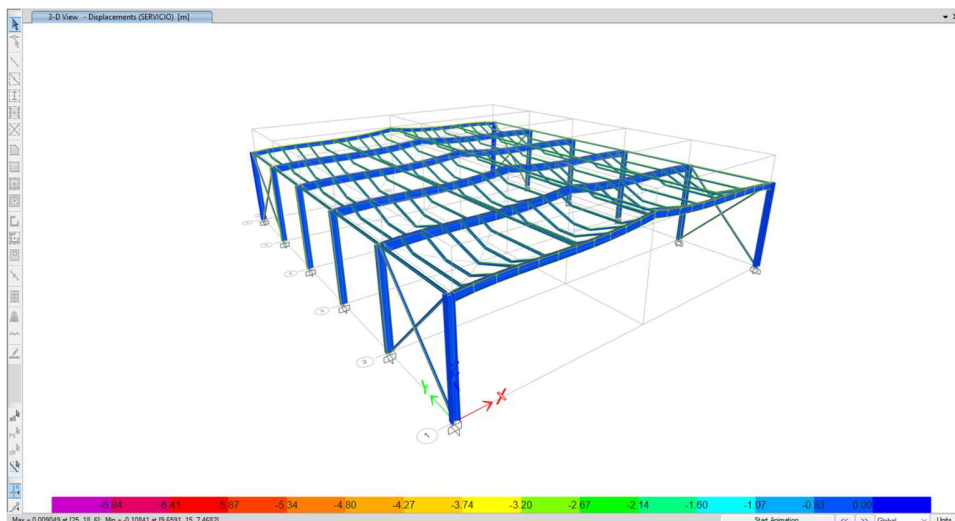
Figura 94. Nave industrial con pendiente 15% correas 1.15m



Fuente: Elaborado por los autores

Deformación de galpón para el caso de carga de servicio

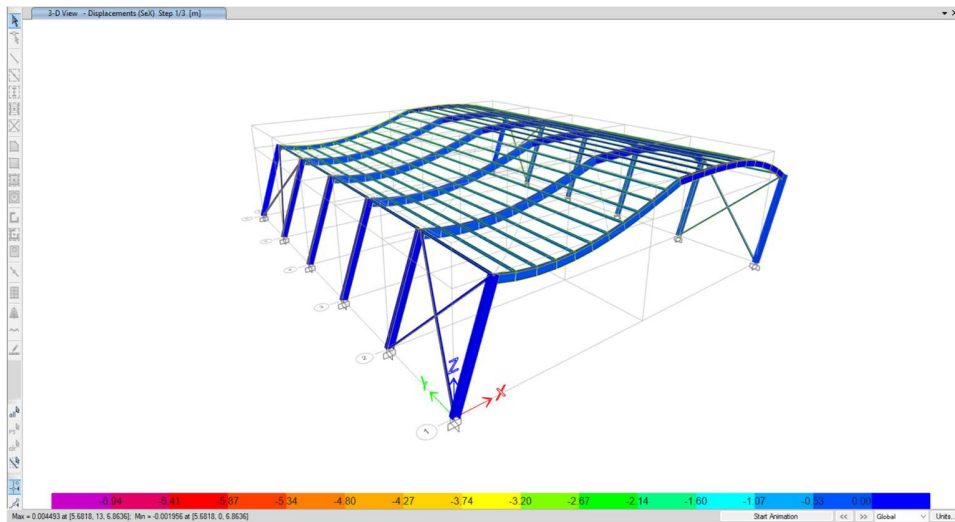
Figura 95. Carga de servicio, pendiente 15% correas 1.15m.



Fuente: Elaborado por los autores

Deformación de galpón para el caso de sismo estático X

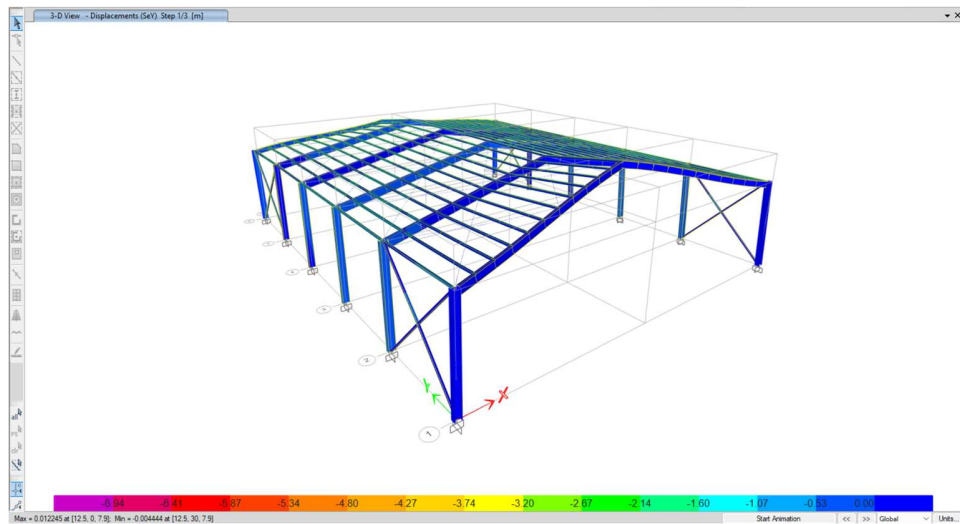
Figura 96. Sismo estático X, pendiente 15% correas 1.15m.



Fuente: Elaborado por los autores

Deformación de galpón para el caso de sismo estático Y

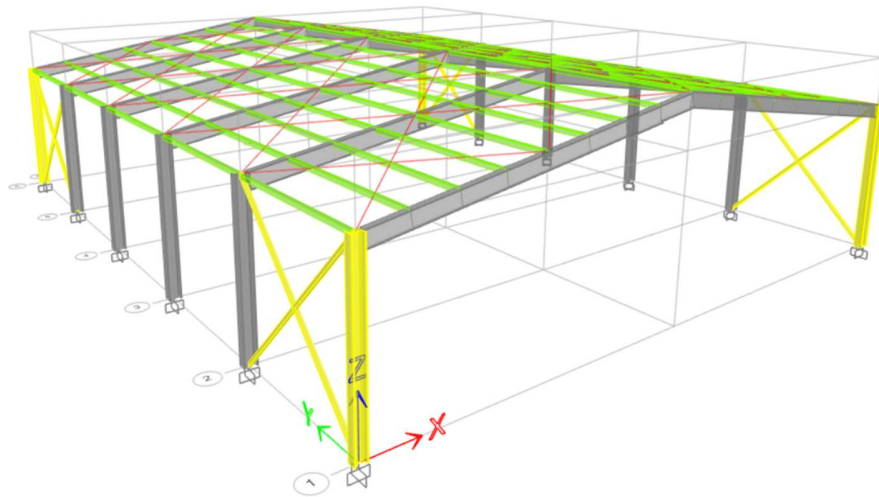
Figura 97. Sismo estático Y, pendiente 15% correas 1.15m.



Fuente: Elaborado por los autores

Correas 1.60

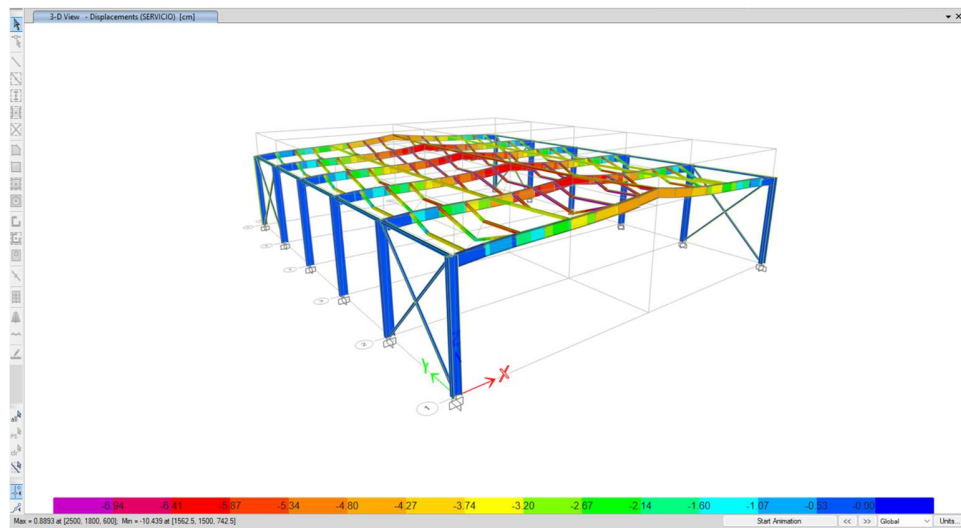
Figura 98. Nave industrial con pendiente 15% correas 1.60m



Fuente: Elaborado por los autores

Deformación de galpón para el caso de carga de servicio

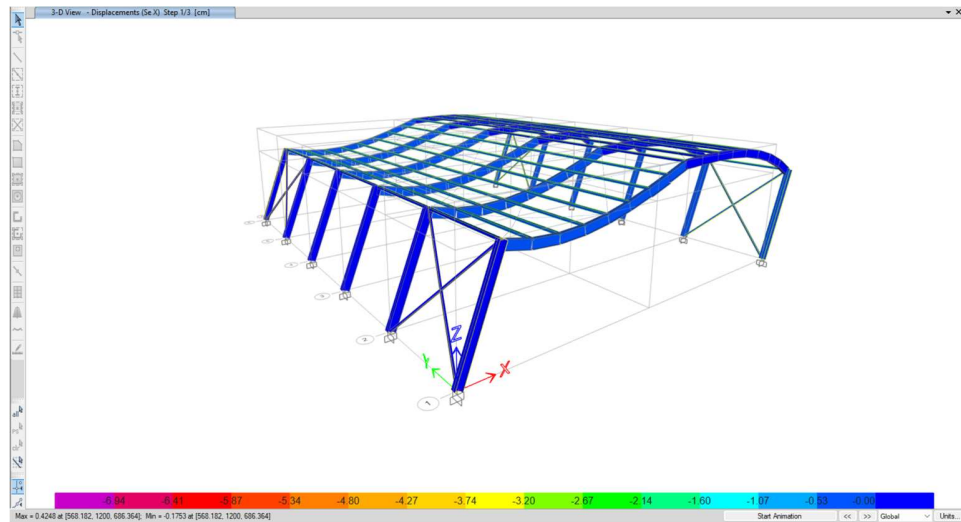
Figura 99. Carga de servicio, pendiente 15% correas 1.60m.



Fuente: Elaborado por los autores

Deformación de galpón para el caso de sismo estático X

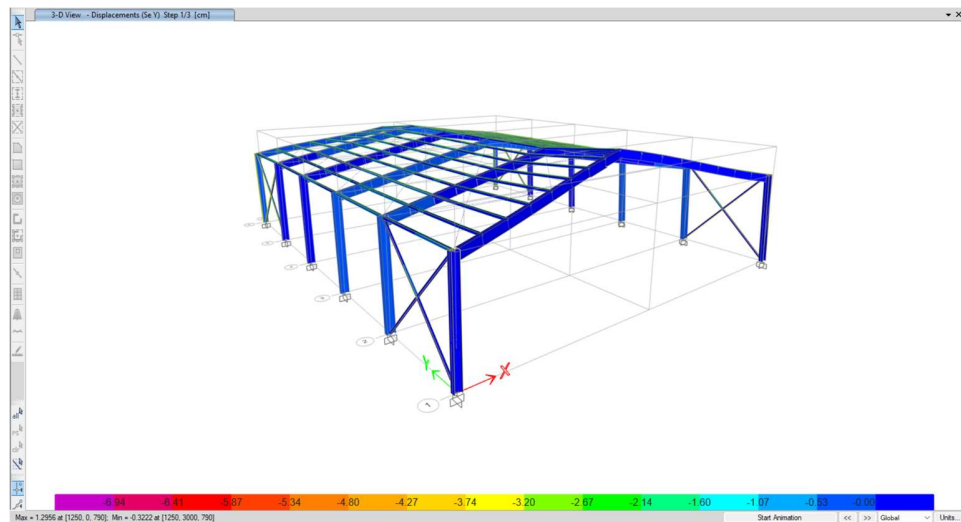
Figura 100. Sismo estático X, pendiente 15% correas 1.60m.



Fuente: Elaborado por los autores

Deformación de galpón para el caso de sismo estático Y

Figura 101. Sismo estático Y, pendiente 15% correas 1.60m.

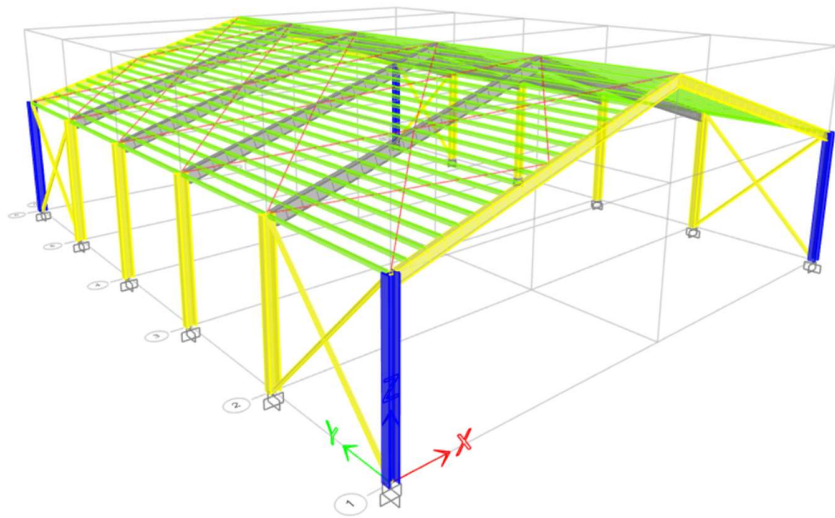


Fuente: Elaborado por los autores

- Pendiente 30%

Correas 0.60

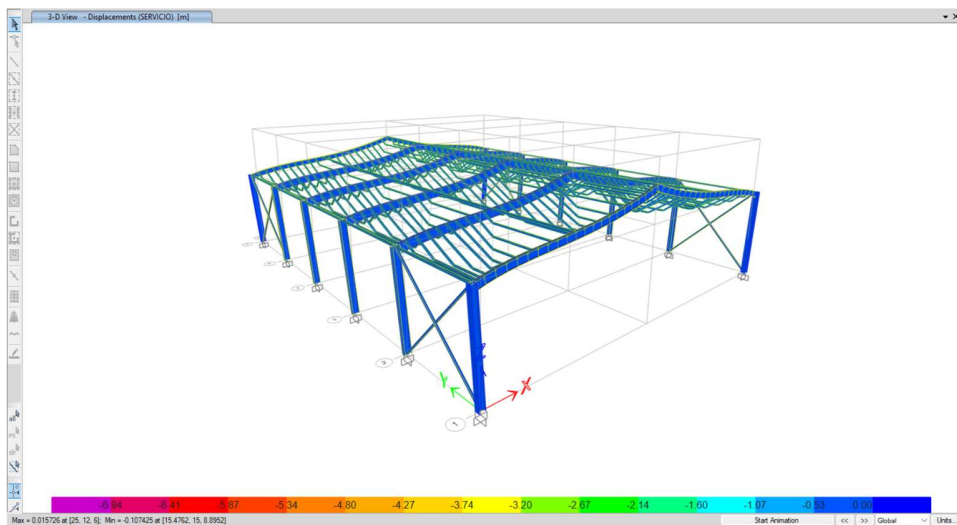
Figura 102. Nave industrial con pendiente 30% correas 0.60m



Fuente: Elaborado por los autores

Deformación de galpón para el caso de carga de servicio

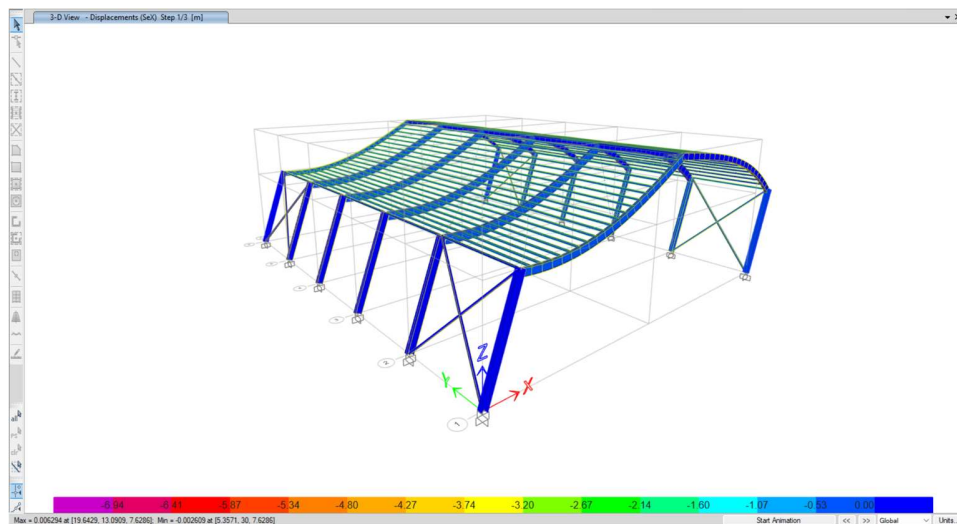
Figura 103. Carga de servicio, pendiente 30% correas 0.60m.



Fuente: Elaborado por los autores

Deformación de galpón para el caso de sismo estático X

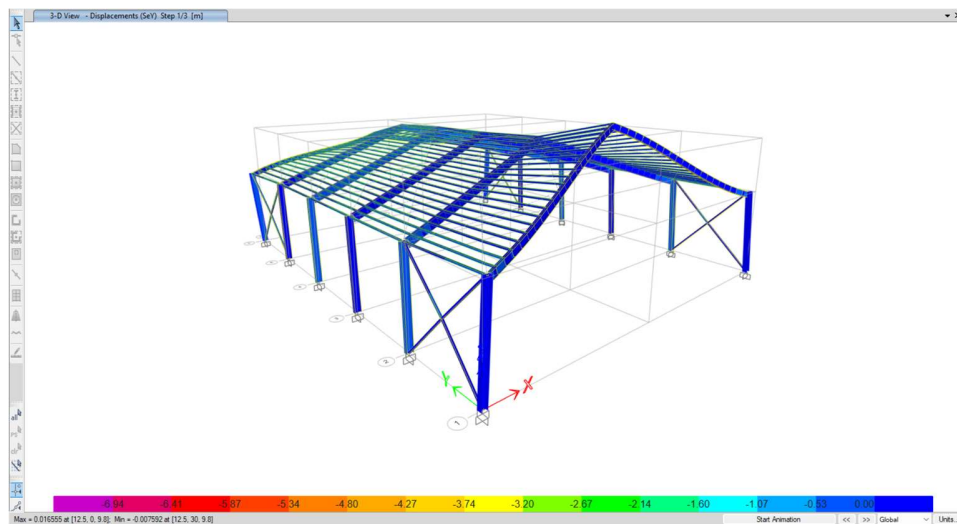
Figura 104. Sismo estático X, pendiente 30% correas 0.60m.



Fuente: Elaborado por los autores

Deformación de galpón para el caso de sismo estático Y

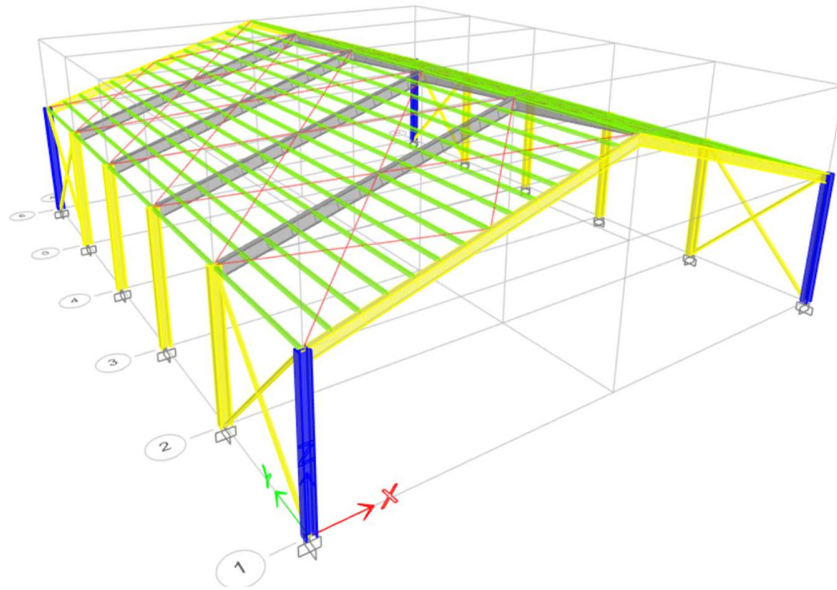
Figura 105. Sismo estático Y, pendiente 30% correas 0.60m.



Fuente: Elaborado por los autores

Correas 0.90m

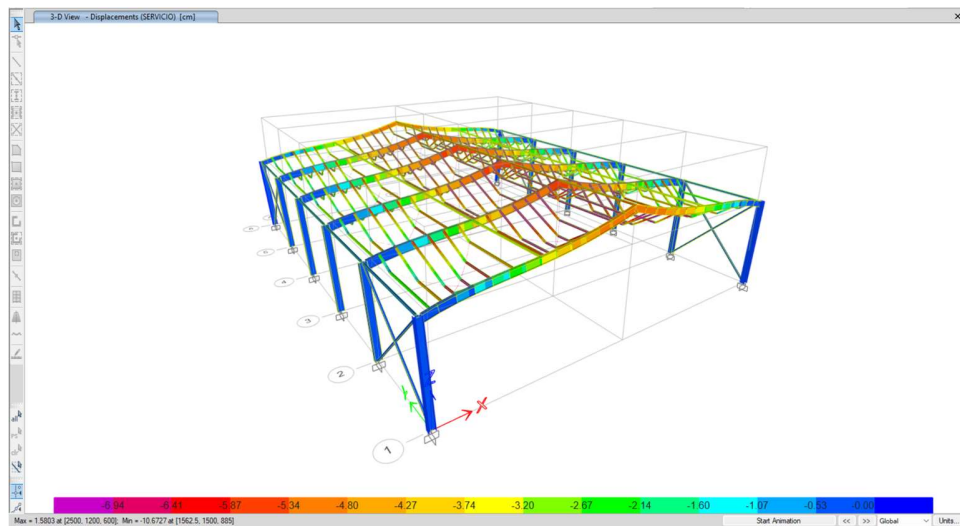
Figura 106. Nave industrial con pendiente 30% correas 0.90m



Fuente: Elaborado por los autores

Deformación de galpón para el caso de carga de servicio

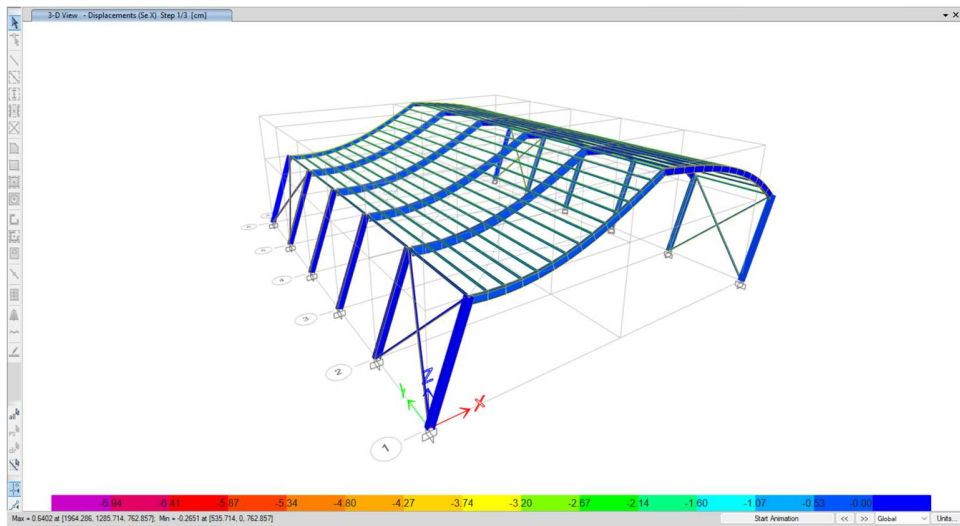
Figura 107. Carga de servicio, pendiente 30% correas 0.90m.



Fuente: Elaborado por los autores

Deformación de galpón para el caso de sismo estático X

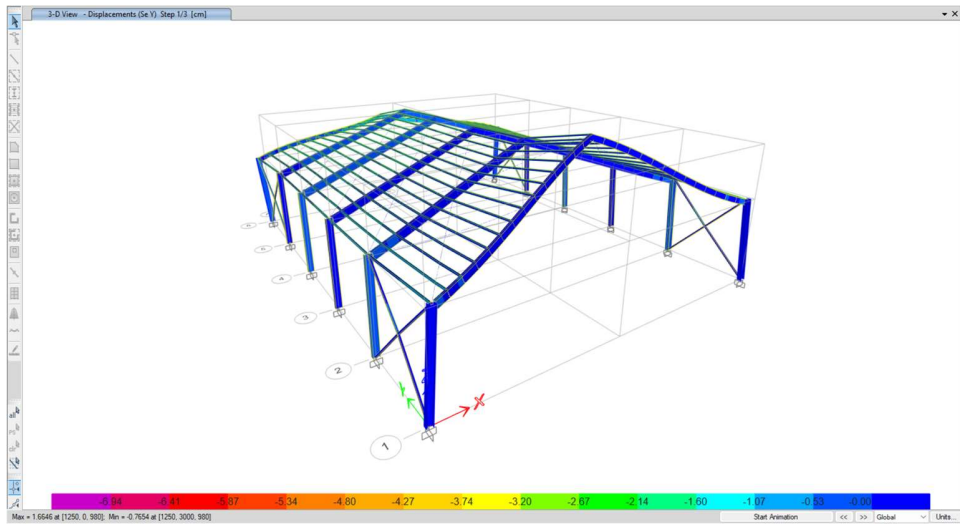
Figura 108. Sismo estático X, pendiente 30% correas 0.90m.



Fuente: Elaborado por los autores

Deformación de galpón para el caso de sismo estático Y

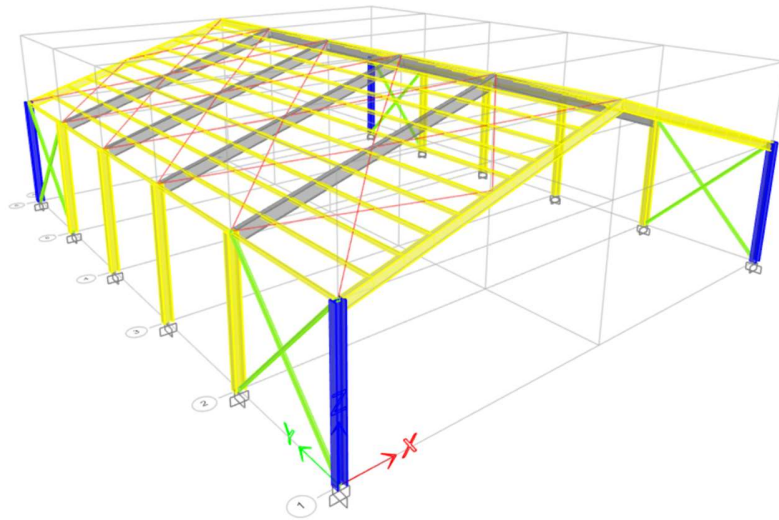
Figura 109. Sismo estático Y, pendiente 30% correas 0.90m.



Fuente: Elaborado por los autores

Correas 1.15m

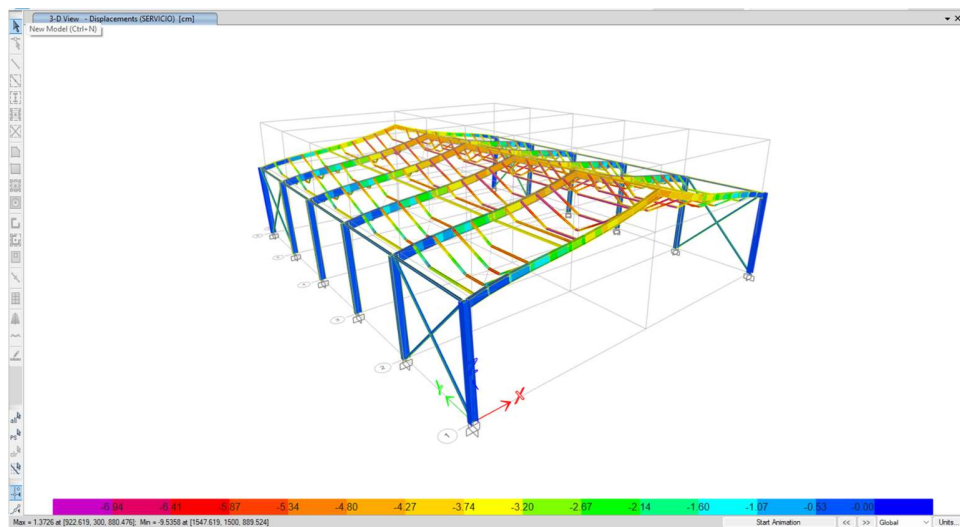
Figura 110. Nave industrial con pendiente 30% correas 1.15m



Fuente: Elaborado por los autores

Deformación de galpón para el caso de carga de servicio

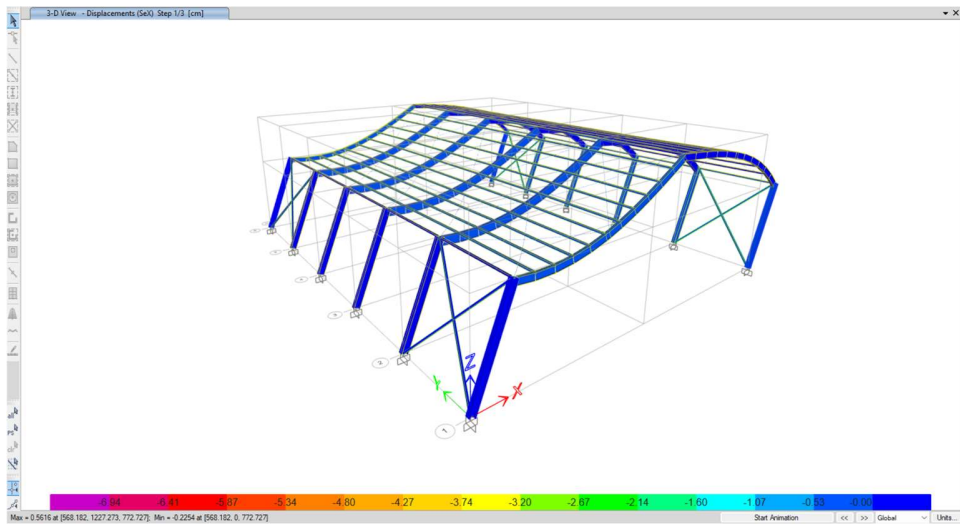
Figura 111. Carga de servicio, pendiente 30% correas 1.15m.



Fuente: Elaborado por los autores

Deformación de galpón para el caso de sismo estático X

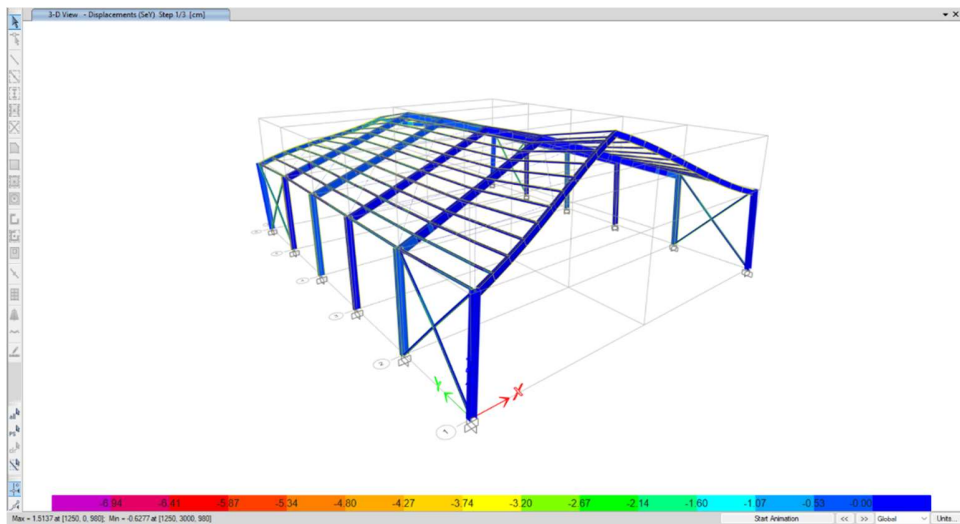
Figura 112. Sismo estático X, pendiente 30% correas 1.15m.



Fuente: Elaborado por los autores

Deformación de galpón para el caso de sismo estático Y

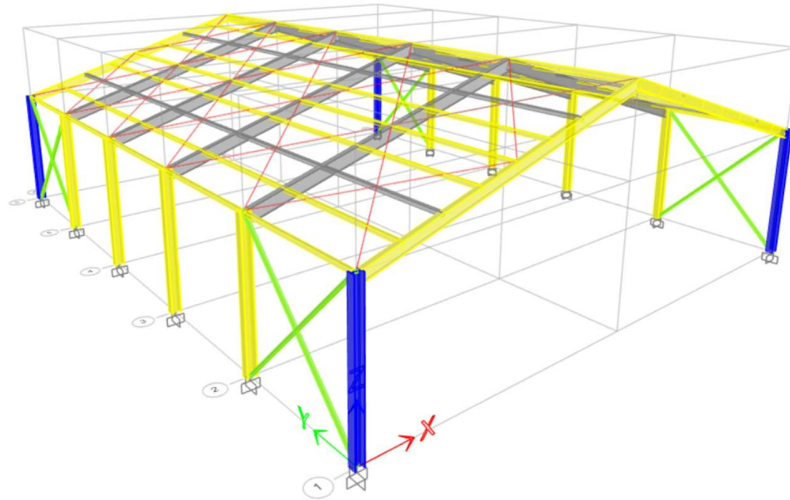
Figura 113. Sismo estático Y, pendiente 30% correas 1.15m.



Fuente: Elaborado por los autores

Correas 1.60m

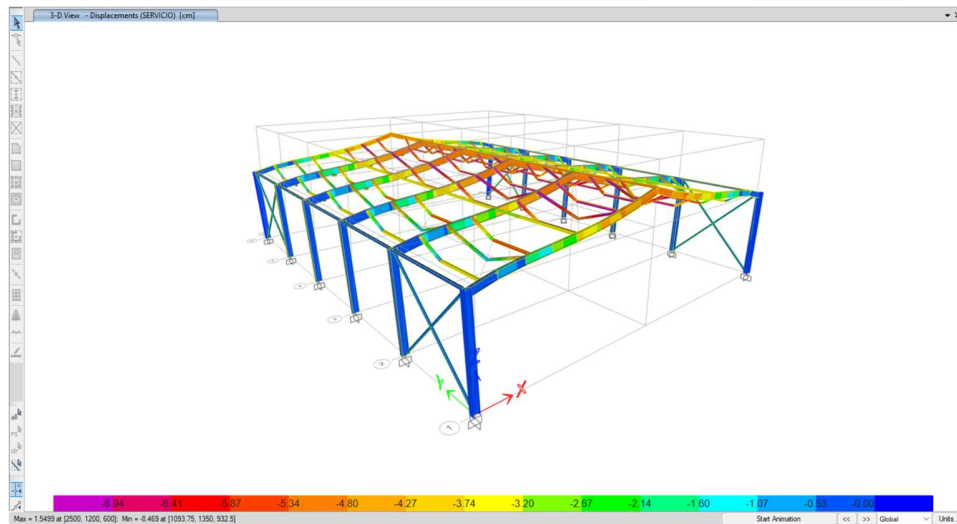
Figura 114. Nave industrial con pendiente 30% correas 1.60m



Fuente: Elaborado por los autores

Deformación de galpón para el caso de carga de servicio

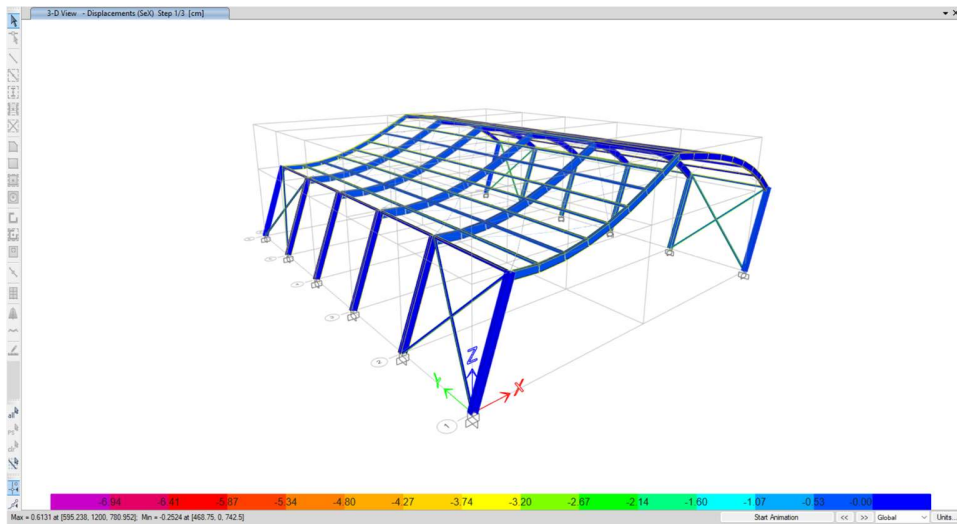
Figura 115. Carga de servicio, pendiente 30% correas 1.60m.



Fuente: Elaborado por los autores

Deformación de galpón para el caso de sismo estático X

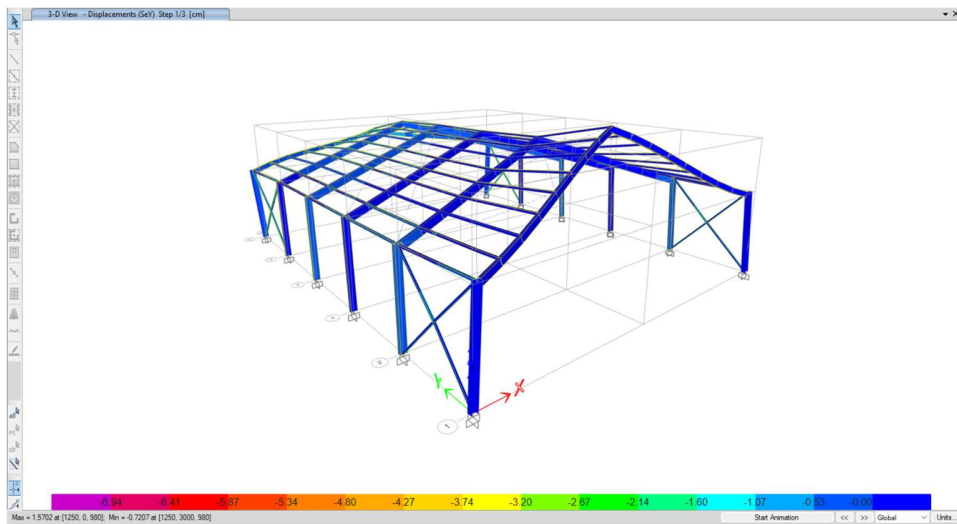
Figura 116. Sismo estático X, pendiente 30% correas 1.60m.



Fuente: Elaborado por los autores

Deformación de galpón para el caso de sismo estático Y

Figura 117. Sismo estático Y, pendiente 30% correas 1.60m.



Fuente: Elaborado por los autores

8. Análisis de resultados

La zona de estudio se estableció en la ciudad de Guayaquil; donde el factor de zona sísmica V con un valor de Z igual 0.4. Los factores de sitio F_a , F_d y F_s , según el tipo de suelo se muestran en la tabla a continuación.

Tabla 10. Coeficientes de perfil de suelo

Tipo de Suelo	E
	F_a
	1.00
Factor de sitio	F_d
	1.60
	F_s
	1.90

Fuente: Elaborado por los autores

El coeficiente de amplificación espectral η , correspondiente a la razón entre la aceleración espectral S_a ($T=0.1s$) y el PGA para el período de retorno seleccionado, tendremos un valor de 1.8.

El coeficiente R tiene un valor de 3 para, naves industriales con perfiles de acero, tal como las estructuras en análisis de la presente investigación.

El factor r utilizado en el espectro de diseño elástico, cuyo valor depende de la ubicación geográfica de la zona de estudio, el cual tiene un valor de 1.5 para un perfil de suelo tipo E.

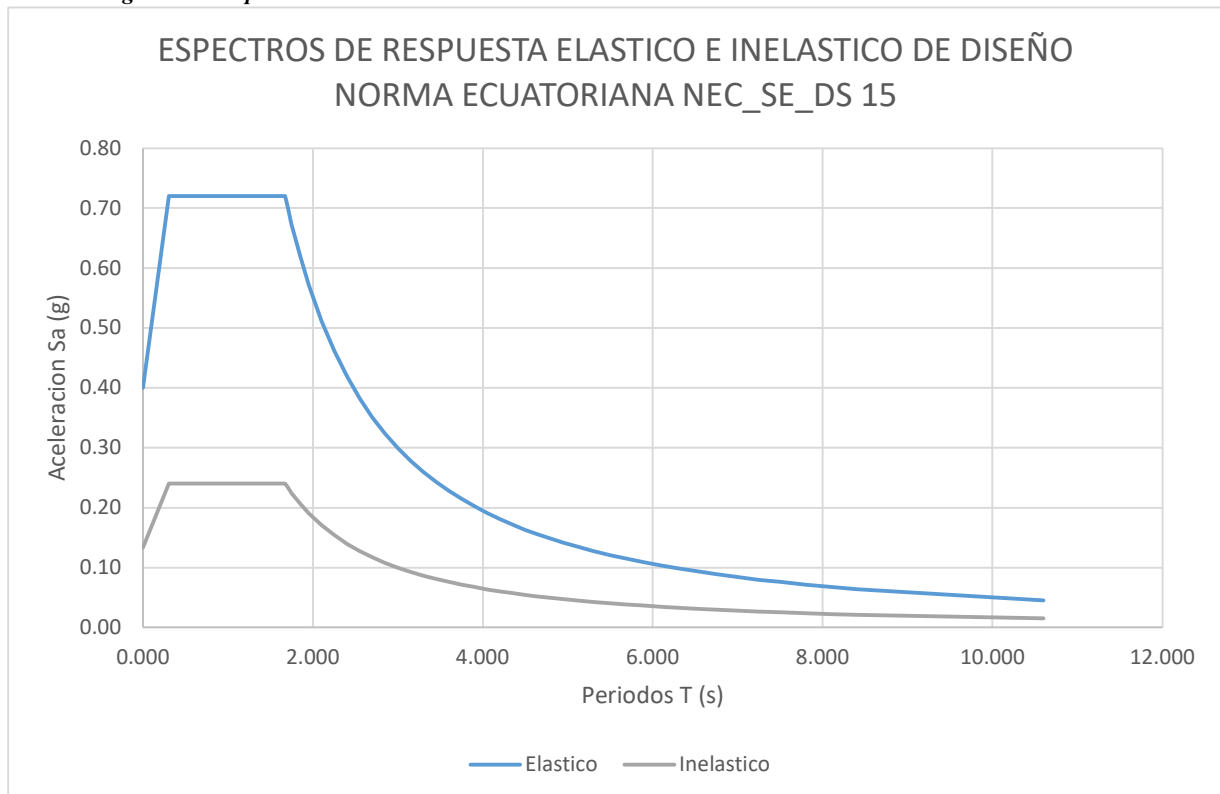
Tabla 11. Resumen de datos para el cálculo de los espectros de respuesta

DATOS		
PARÁMETRO	SÍMBOLO	VALOR
Coeficiente de importancia	I	1
Coeficiente estructural en planta	ϕ_p	1
Coeficiente estructural en elevación	ϕ_e	1
Coeficiente de reducción	R	3
Tipo de Suelo		E
Coeficiente de amplificación espectral	n	1.8
Valor de zonificación	Z	0.4
Factor de sitio Fa	Fa	1.00
Factor de sitio Fd	Fd	1.60
Factor de sitio Fs	Fs	1.90
Factor r	r	1.50
Período límite de vibración	Tc	1.672
Cortante basal V	V	0.240
Período de vibración T	T	0.276

Fuente: Elaborado por los autores

Una vez obtenidos todos los datos anteriores, procedemos a calcular el espectro de respuesta elástica e inelástica del sismo de diseño a utilizarse para la presente investigación.

Figura 118. Espectro elástico e inelástico del sismo de diseño.



Fuente: Elaborado por los autores

Después de completar los diversos modelos de naves industriales propuestos para una pendiente del 2%, 5%, 15% y 30%, se presentan los resultados que muestra la variación del peso total de las estructuras en análisis en función de la separación entre correas y sus distintos tipos de pendiente.

Tabla 12. Resultados naves industriales pendiente 2%

m (%)	S Correas (m)	Ɛ Servicio (cm)	Ɛ Sismo X (cm)	Drift SX (%)	Δm X (%)	Ɛ Sismo Y (cm)	Drift SY (%)	Δm Y (%)	Peso (Tonf)
2	0.6	5.636	0.144	0.000229	0.0515%	1.061	0.00168	0.38%	48.470
2	0.9	4.776	0.128	0.000204	0.0459%	0.985	0.00156	0.35%	46.002
2	1.15	4.944	0.130	0.000206	0.0464%	1.007	0.00160	0.36%	46.363
2	1.6	5.015	0.129	0.000205	0.0461%	1.008	0.00160	0.36%	45.642

Fuente: Elaborado por los autores

Tabla 13. Resultados naves industriales pendiente 5%

m (%)	S Correas (m)	Ɛ Servicio (cm)	Ɛ Sismo X (cm)	Drift SX (%)	Δm X (%)	Ɛ Sismo Y (cm)	Drift SY (%)	Δm Y (%)	Peso (Tonf)
5	0.6	6.571	0.151	0.000229	0.05%	1.075	0.00163	0.37%	47.399
5	0.9	6.419	0.140	0.000212	0.05%	1.004	0.00152	0.34%	42.200
5	1.15	5.899	0.145	0.000220	0.05%	1.011	0.00153	0.34%	44.206
5	1.6	5.951	0.144	0.000218	0.05%	1.013	0.00153	0.35%	43.184

Fuente: Elaborado por los autores

Tabla 14. Resultados naves industriales pendiente 15%

m (%)	S Correas (m)	Ɛ Servicio (cm)	Ɛ Sismo X (cm)	Drift SX (%)	Δm X (%)	Ɛ Sismo Y (cm)	Drift SY (%)	Δm Y (%)	Peso (Tonf)
15	0.6	6.464	0.4056	0.0005	0.12%	1.1216	0.0014	0.32%	36.692
15	0.9	6.815	0.4541	0.0006	0.13%	1.2350	0.0016	0.35%	31.109
15	1.15	6.275	0.4493	0.0006	0.13%	1.2245	0.0016	0.35%	30.282
15	1.6	6.236	0.4248	0.0005	0.12%	1.2956	0.0016	0.37%	33.540

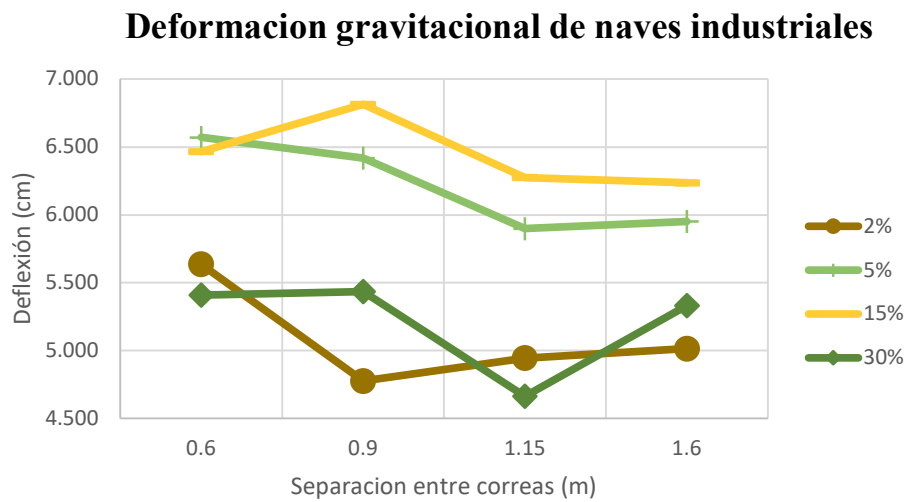
Fuente: Elaborado por los autores

Tabla 15. Resultados naves industriales pendiente 30%

m (%)	S Correas (m)	ε Servicio (cm)	ε Sismo X (cm)	Drift SX (%)	Δm X (%)	ε Sismo Y (cm)	Drift SY (%)	Δm Y (%)	Peso (Tonf)
30	0.6	5.408	0.6294	0.0642%	0.14%	1.656	0.0026	0.5913%	33.290
30	0.9	5.435	0.6205	0.0633%	0.14%	1.479	0.0023	0.5283%	32.448
30	1.15	4.664	0.5616	0.0573%	0.13%	1.514	0.0024	0.5406%	30.725
30	1.6	5.330	0.6131	0.0626%	0.14%	1.570	0.0025	0.5608%	30.719

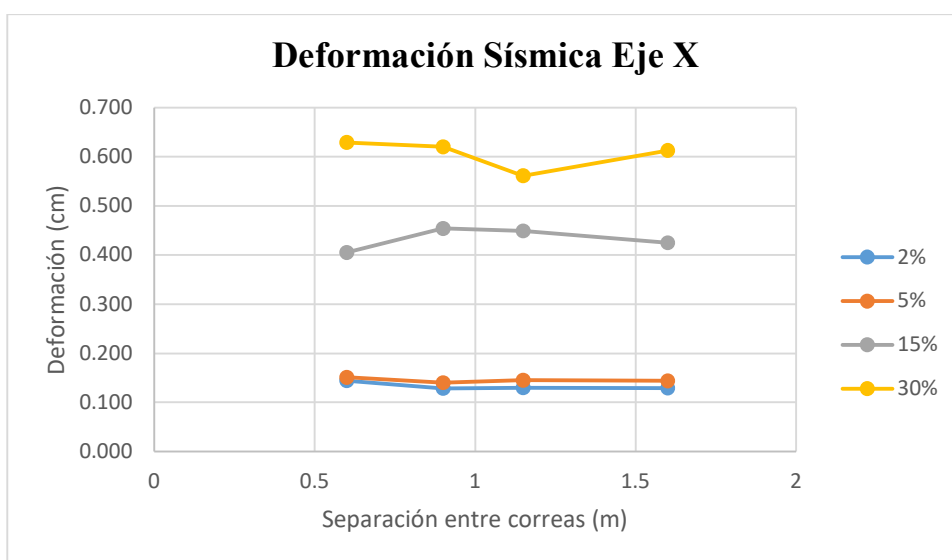
Fuente: Elaborado por los autores

Figura 119. Deformación gravitacional de naves industriales.



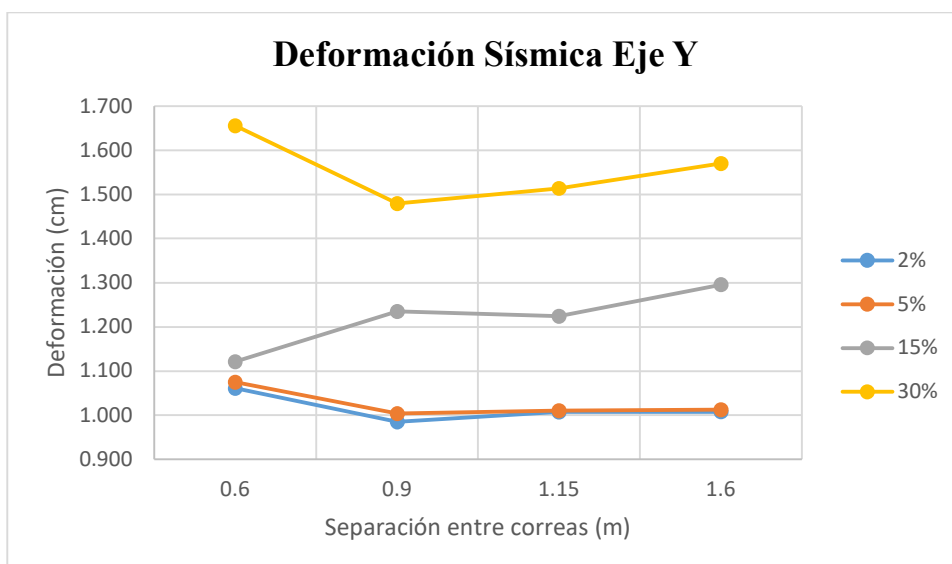
Fuente: Elaborado por los autores

Figura 120. Deformación Sísmica Eje X de naves industriales.



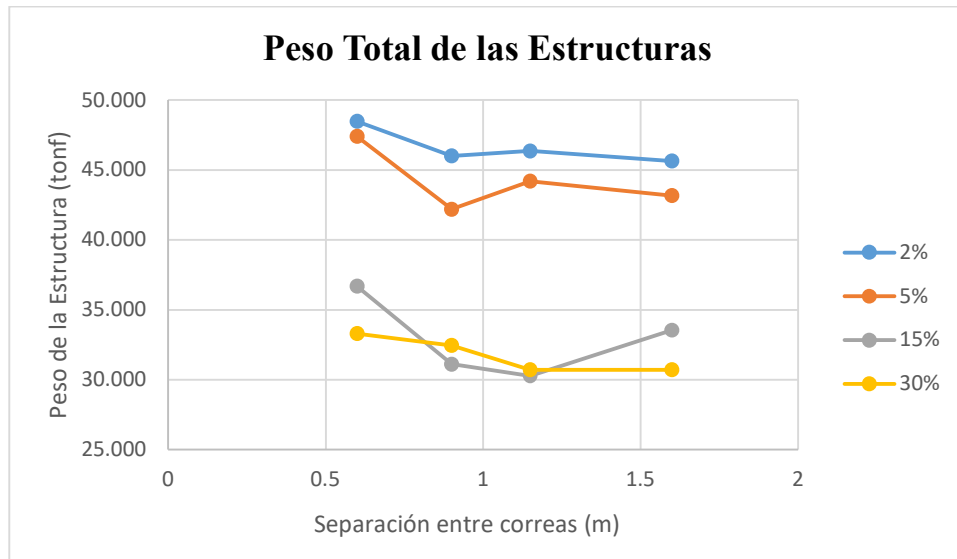
Fuente: Elaborado por los autores

Figura 121. Deformación Sísmica Eje Y de naves industriales.



Fuente: Elaborado por los autores

Figura 122. Peso total de naves industriales.



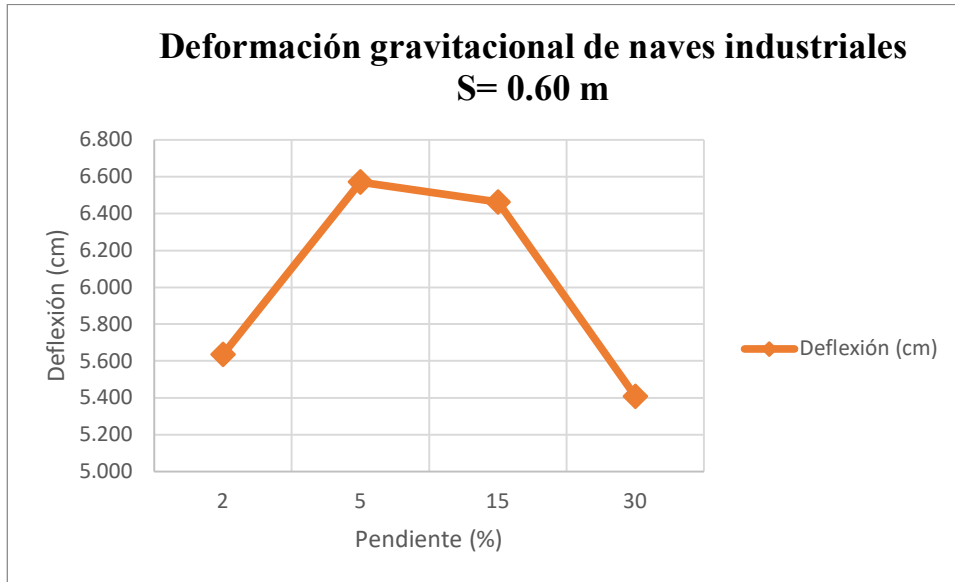
Fuente: Elaborado por los autores

Tabla 16. Resultados naves industriales correas $S=0.60$ m

m (%)	S Correas (m)	ϵ Servicio (cm)	ϵ Sismo X (cm)	Drift SX (%)	Δm X (%)	ϵ Sismo Y (cm)	Drift SY (%)	Δm Y (%)	Peso (Tonf)
2	0.6	5.636	0.144	0.00023	0.05%	1.061	0.00168	0.38%	48.470
5	0.6	6.571	0.151	0.00023	0.05%	1.075	0.00163	0.37%	47.399
15	0.6	6.464	0.4056	0.00051	0.12%	1.1216	0.00142	0.32%	36.692
30	0.6	5.408	0.6294	0.00064	0.14%	1.656	0.00263	0.59%	33.290

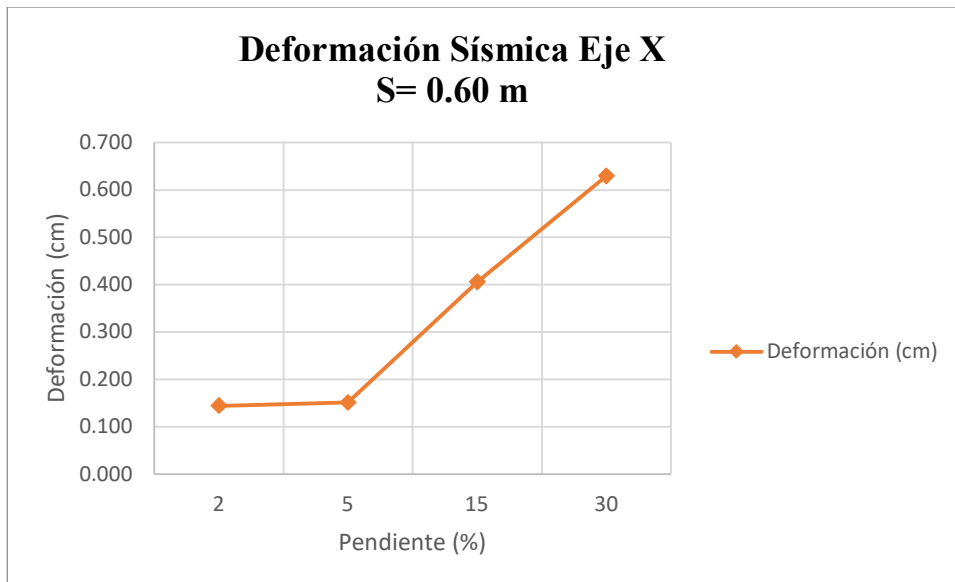
Fuente: Elaborado por los autores

Figura 123. Deformación gravitacional de naves industriales $S= 0.60 m$



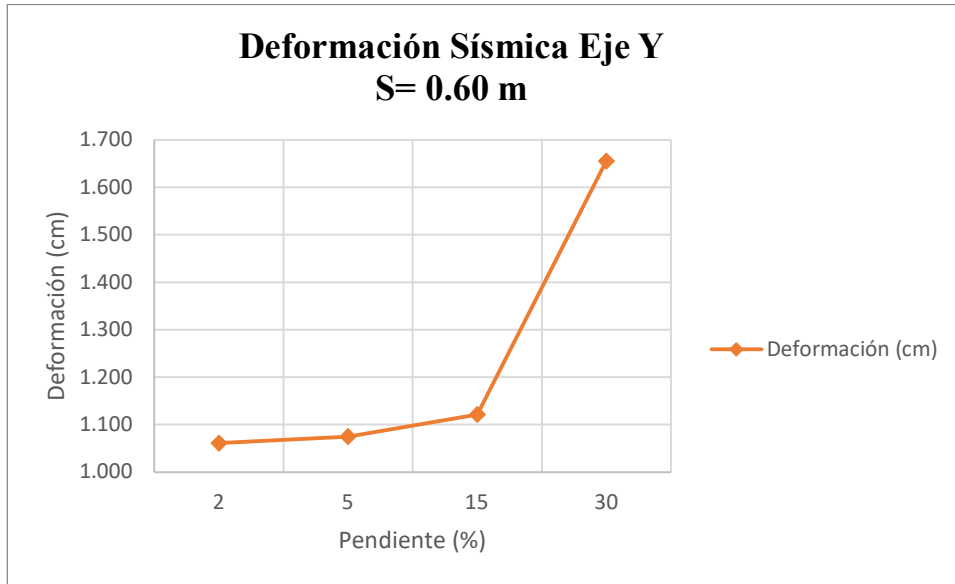
Fuente: Elaborado por los autores

Figura 124. Deformación Sísmica Eje X; $S= 0.60 m$



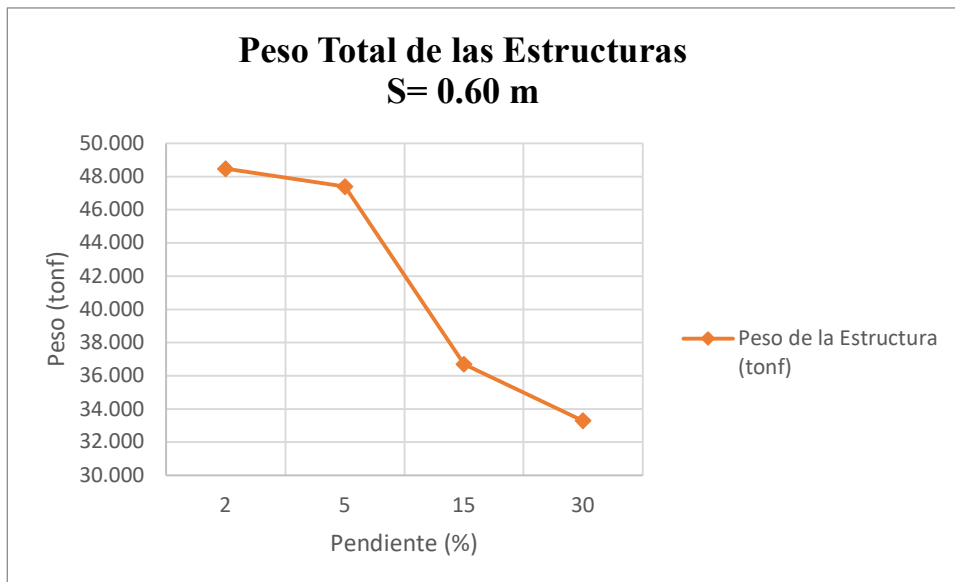
Fuente: Elaborado por los autores

Figura 125. Deformación Sísmica Eje Y; S= 0.60 m



Fuente: Elaborado por los autores

Figura 126. Peso Total de las Estructuras S= 0.60 m



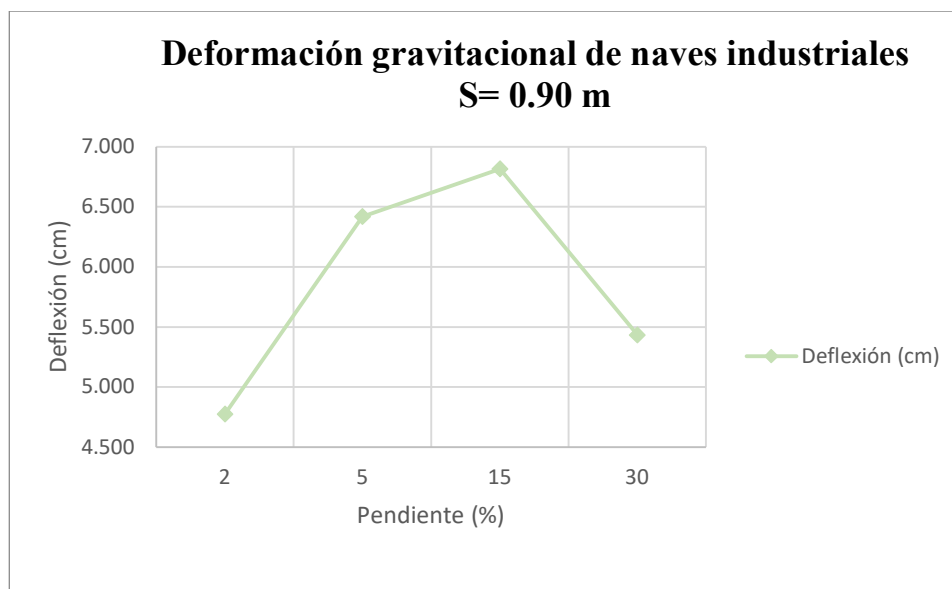
Fuente: Elaborado por los autores

Tabla 17. Resultados naves industriales correas S=0.90 m

m (%)	S Correas (m)	ε Servicio (cm)	ε SISMO X (cm)	DRIFT SX (%)	Δm X (%)	ε SISMO Y (cm)	DRIFT SY (%)	Δm Y (%)	PESO (Tonf)
2	0.9	4.776	0.128	0.000204	0.05%	0.985	0.002	0.35%	46.002
5	0.9	6.419	0.140	0.000212	0.05%	1.004	0.00152	0.34%	42.200
15	0.9	6.815	0.4541	0.0006	0.13%	1.2350	0.0016	0.35%	31.109
30	0.9	5.435	0.6205	0.001	0.14%	1.479	0.002	0.53%	32.448

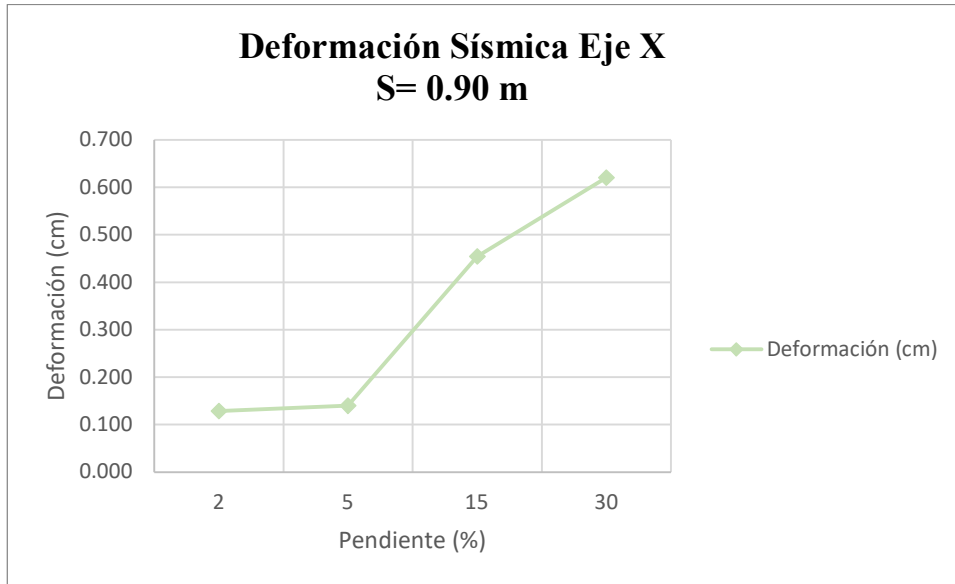
Fuente: Elaborado por los autores

Figura 127. Deformación gravitacional de naves industriales S= 0.90 m



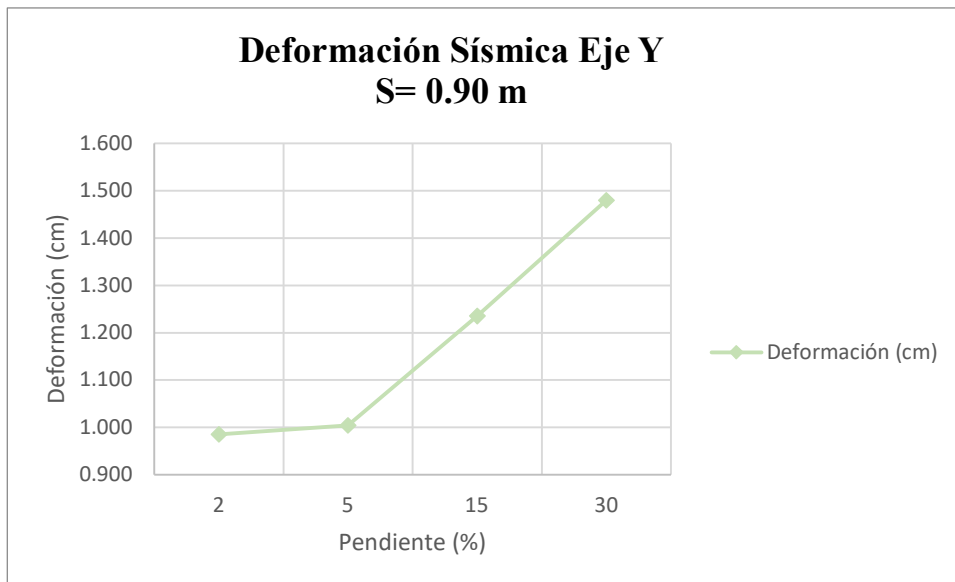
Fuente: Elaborado por los autores

Figura 128. Deformación Sísmica Eje X; S= 0.90 m



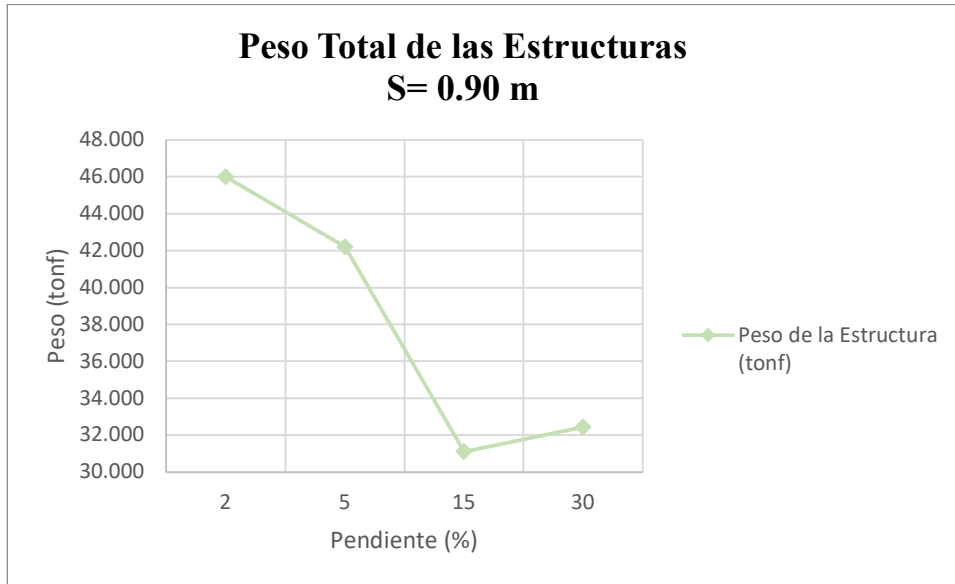
Fuente: Elaborado por los autores

Figura 129. Deformación Sísmica Eje Y; S= 0.90 m



Fuente: Elaborado por los autores

Figura 130. Peso Total de las Estructuras S= 0.90 m



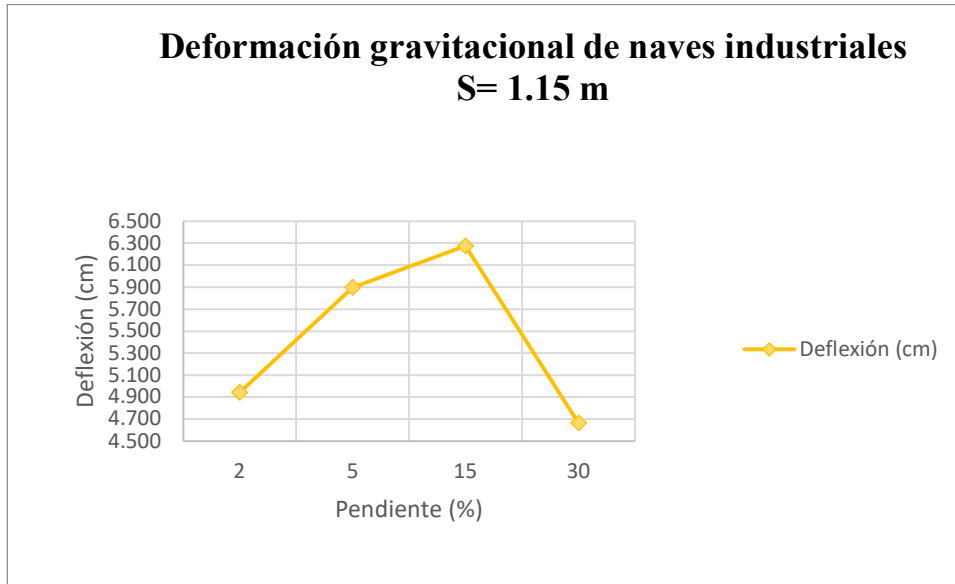
Fuente: Elaborado por los autores

Tabla 18. Resultados naves industriales correas S=1.15 m

m (%)	S Correas (m)	ε Servicio (cm)	ε SISMO X (cm)	DRIFT SX (%)	Δm X (%)	ε SISMO Y (cm)	DRIFT SY (%)	Δm Y (%)	PESO (Tonf)
2	1.15	4.944	0.130	0.000206	0.05%	1.007	0.002	0.36%	46.363
5	1.15	5.899	0.145	0.000220	0.05%	1.011	0.00153	0.34%	44.206
15	1.15	6.275	0.4493	0.0006	0.13%	1.2245	0.0016	0.35%	30.282
30	1.15	4.664	0.5616	0.001	0.13%	1.514	0.002	0.54%	30.725

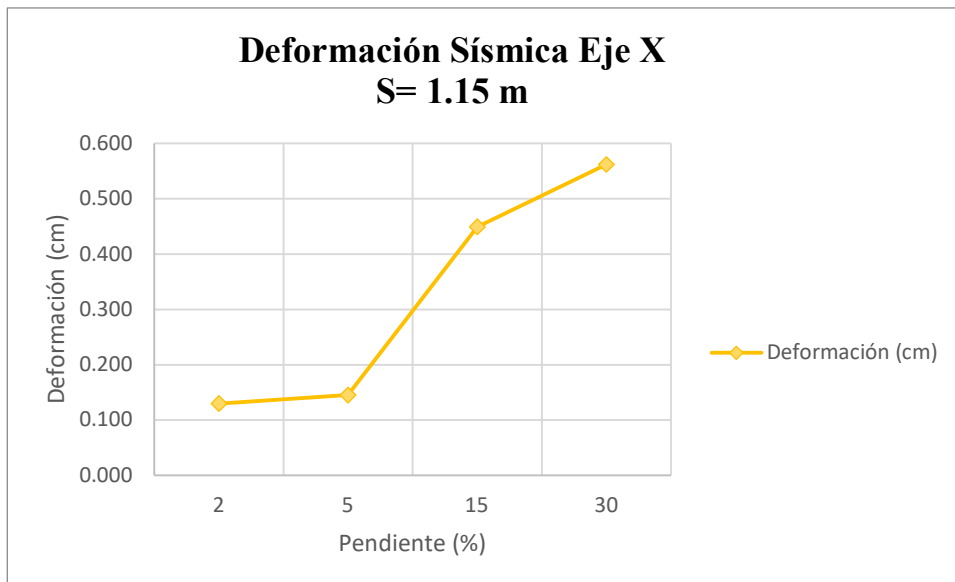
Fuente: Elaborado por los autores

Figura 131. Deformación gravitacional de naves industriales S= 1.15 m



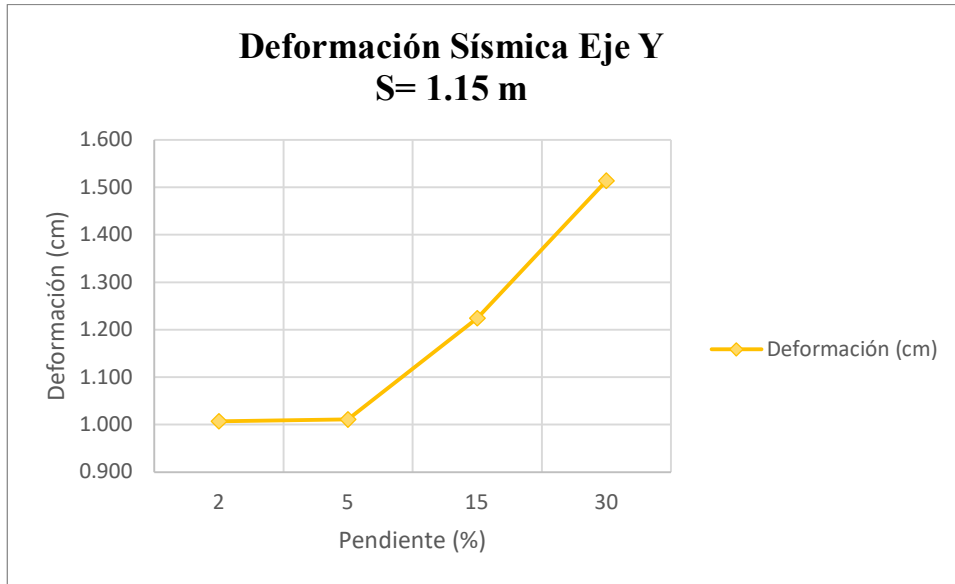
Fuente: Elaborado por los autores

Figura 132. Deformación Sísmica Eje X; S= 1.15 m



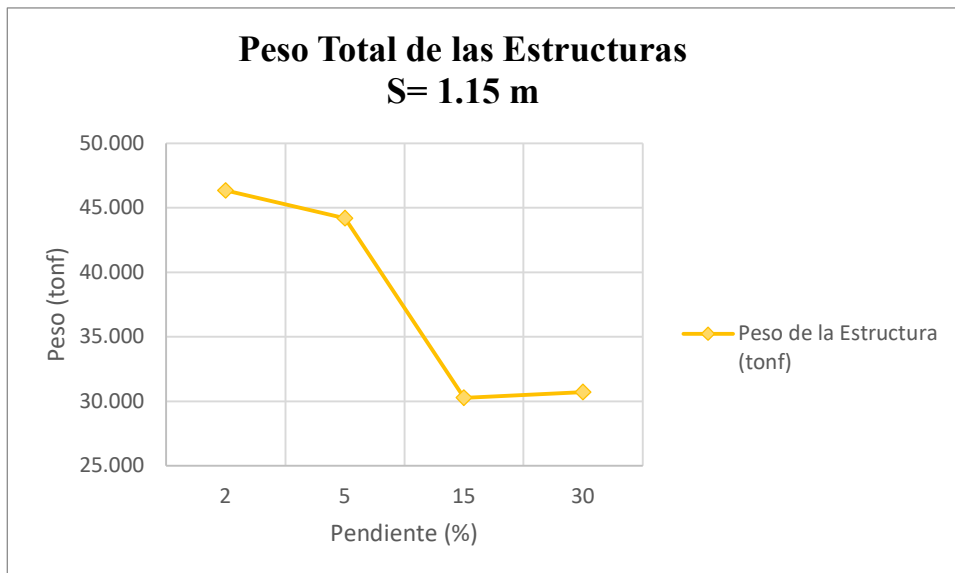
Fuente: Elaborado por los autores

Figura 133. Deformación Sísmica Eje Y; S= 1.15 m



Fuente: Elaborado por los autores

Figura 134. Peso Total de las Estructuras S= 1.15 m



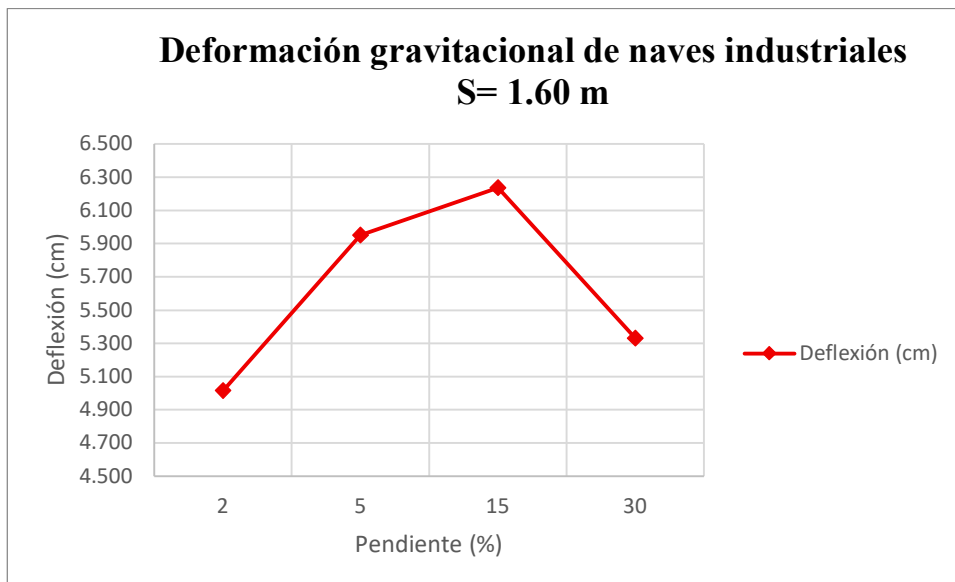
Fuente: Elaborado por los autores

Tabla 19. Resultados naves industriales correas S=1.60 m

m (%)	S Correas (m)	ε Servicio (cm)	ε SISMO X (cm)	DRIFT SX (%)	Δm X (%)	ε SISMO Y (cm)	DRIFT SY (%)	Δm Y (%)	PESO (Tonf)
2	1.6	5.015	0.129	0.000205	0.05%	1.008	0.002	0.36%	45.642
5	1.6	5.951	0.144	0.000218	0.05%	1.013	0.00153	0.35%	43.184
15	1.6	6.236	0.4248	0.0005	0.12%	1.2956	0.0016	0.37%	33.540
30	1.6	5.330	0.6131	0.001	0.14%	1.570	0.002	0.56%	30.719

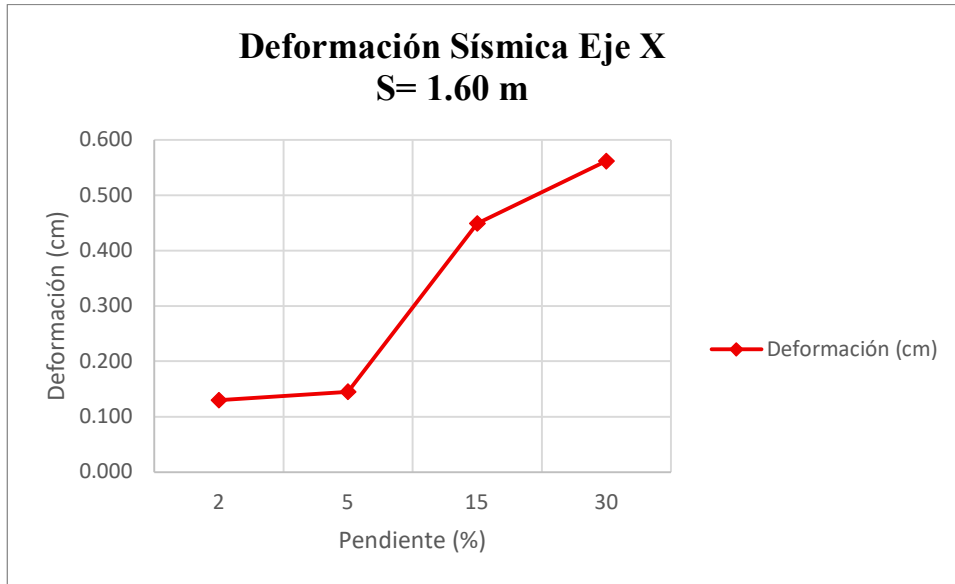
Fuente: Elaborado por los autores

Figura 135. Deformación gravitacional de naves industriales S= 1.60 m



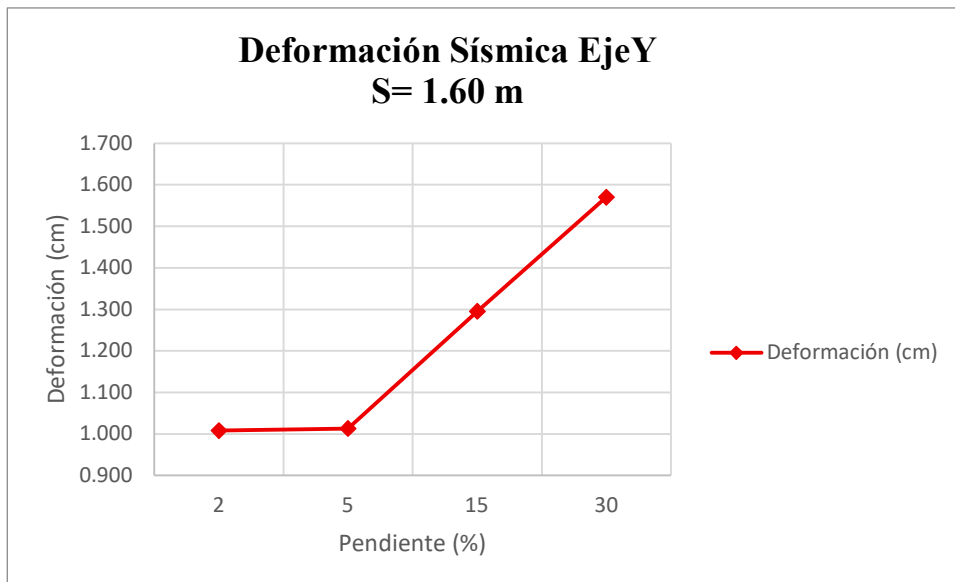
Fuente: Elaborado por los autores

Figura 136. Deformación Sísmica Eje X; S= 1.60 m



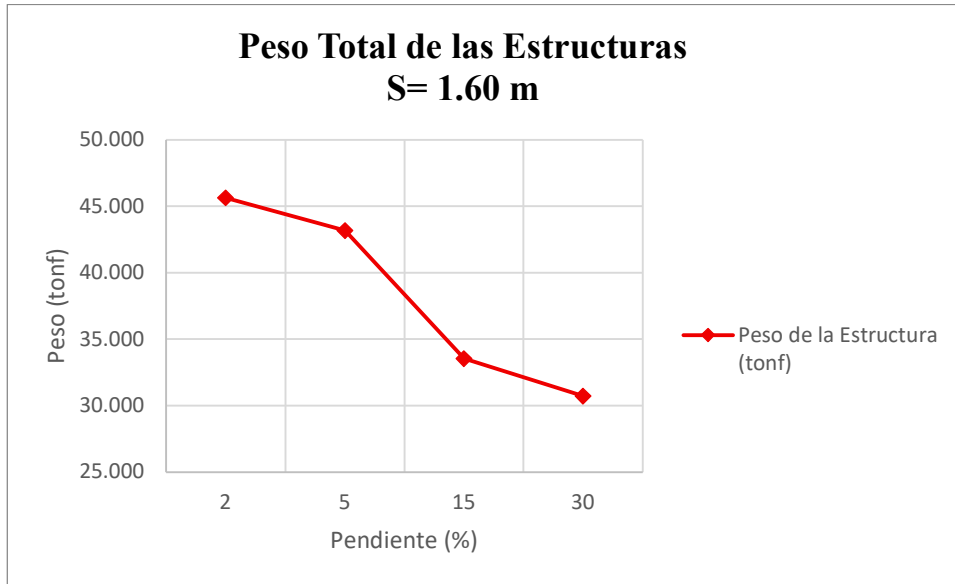
Fuente: Elaborado por los autores

Figura 137. Deformación Sísmica Eje Y; S= 1.60 m



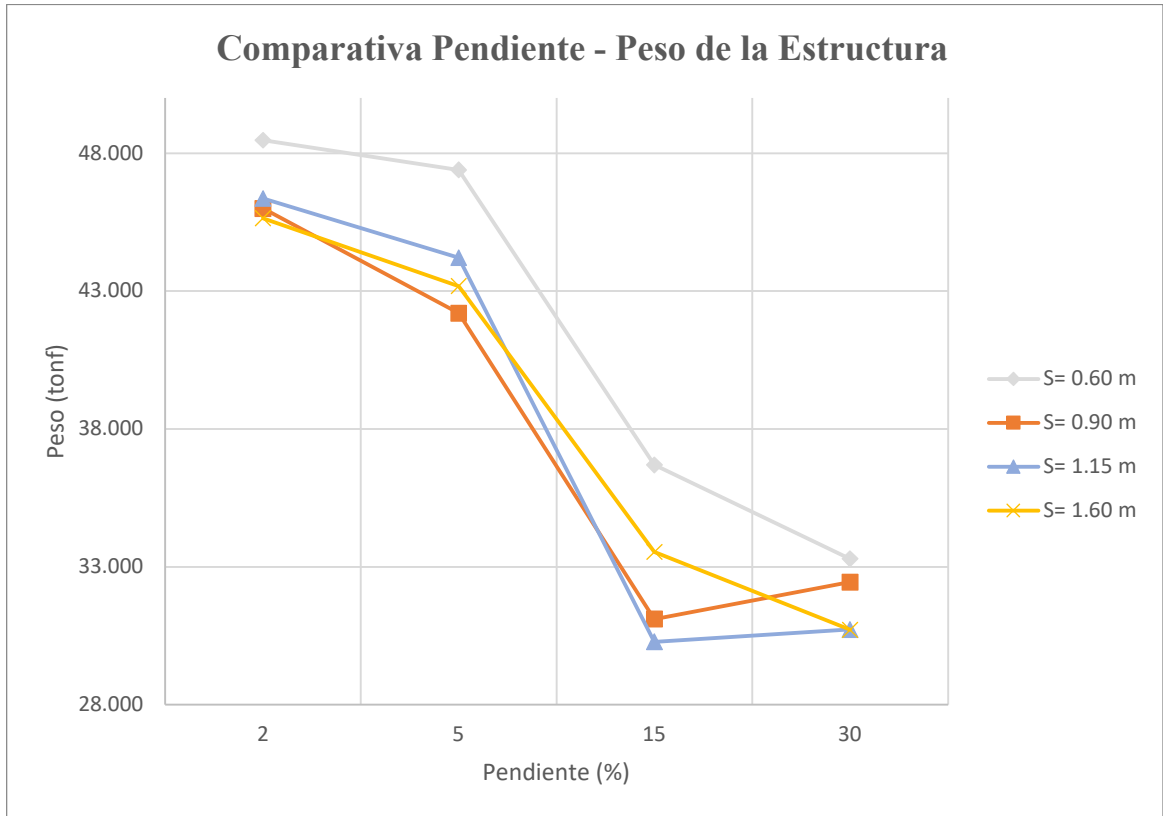
Fuente: Elaborado por los autores

Figura 138. Peso Total de las Estructuras S= 1.60 m



Fuente: Elaborado por los autores

Figura 139. Comparativa Pendiente - Peso de la Estructura



Fuente: Elaborado por los autores

9. Conclusiones

En base a los resultados presentados en las Tablas 12, 13, 14, 15 se logra divisar que las naves industriales con una pendiente del 2% poseen el valor promedio de 0,145 (cm) por concepto de deformación sísmica en el Eje X y de 1,026 (cm) en el Eje Y; siendo estos los más bajos de los modelos analizados. En contraste, se observa un incremento significativo en el peso total de la estructura llegando hasta las 48.47 (Tonf) de peso.

De los 16 modelos analizados en esta investigación se logró determinar que el diseño óptimo en cuanto al porcentaje de pendiente y la separación entre correas refiere es el modelo de 15% de pendiente con una separación entre correas de 1.15 m, el mismo que tiene un peso de 30.282 (Tonf).

Respecto al diseño de las naves industriales en estudio, la combinación de pórticos de acero junto con tensores y riostras colocados a 45° de inclinación logran un desempeño óptimo ante un sismo pues nos permite reducir secciones de vigas y columnas sin restarle rigidez a la estructura; para de esta manera no incrementar el peso de la misma.

10. Recomendaciones

Se recomienda que, al diseñar futuras naves industriales, se preste especial atención a la pendiente de la cubierta y al espaciamiento entre correas. Aunque a simple vista puedan parecer detalles menores, ambos elementos influyen directamente en la eficiencia estructural, el aprovechamiento de materiales y la reducción de costos. Una pendiente bien calculada facilita el drenaje del agua y evita deterioros prematuros, mientras que un adecuado espaciamiento entre correas contribuye a la estabilidad de la estructura sin incurrir en gastos innecesarios.

En zonas con alta actividad sísmica, como Ecuador, estos aspectos adquieren aún mayor relevancia. Un diseño estructural que no contemple adecuadamente las cargas dinámicas puede comprometer seriamente la seguridad de la edificación y de quienes la utilizan. Por ello, más allá de una buena práctica técnica, considerar estos elementos desde la fase de planificación representa un compromiso con la seguridad, la durabilidad de la obra y la responsabilidad profesional en el ejercicio de la ingeniería.

11. Bibliografía

AISC. (2017). *American Institute of Steel Construction*.

ANSI/AISC 360-22. (2022). *Specification for Structural Steel Buildings*.

ASCE/SEI 7-22. (2022). *Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures*.

Benítez, K. D. (2022). *Diseño de una Nave Industrial de Acero para el Cantón Pastaza*.

Caicedo Cárdenas, K. R. (2021). *Diseño paramétrico de la estructura de una nave industrial*.

Cuichán Velasco, A. S. (2016). *Análisis y diseño de una Nave Industrial y sus respectivas Fosas dentro del taller “Chiriyacu” para Ferrocarriles del Ecuador Empresa Pública F.E.E.P.*

ERIK, V. C. (2021). *ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL DE UNA NAVE INDUSTRIAL PARA LA CANCHA DE USO MÚLTIPLE DE LA UNIVERSIDAD ESTATAL DEL SUR DE MANABÍ UTILIZANDO EL SOFTWARE SAP2000*.

Estévez, A. C. (2017). *Diseño y selección de una planta de compostaje comarcal para residuos orgánicos recogidos selectivamente*.

Flores, F. G. (2009). *Análisis y diseño estructural de una nave industrial para una planta de reciclaje de desechos sólidos*.

Gamón Torres, R. (2017). *Cálculo y diseño estructural de una nave industrial de acero para la cubierta de una cancha polideportiva ubicada en la parroquia Simón Bolívar del cantón Gualaceo*.

- Gamón Torres, R. C. (2023). *Diseño estructural de una nave industrial en acero y contrapiso de hormigón para una cancha deportiva en el cantón Biblián provincia del Cañar con el software SAP2000.*
- Garzón Campos, X. M. (2007). *Diseño de una nave industrial de 24 mts de luz con armadura.*
- Gaylord, E. H., & Gaylord, C. (1990). *Structural Engineering Handbook.*
- González, M. (2019). *Geodinámica interna: procesos tectónicos y volcánicos.*
- IGEPN. (2021). *Sismos y tectónica en el Ecuador.*
- J. Fernández Diezma, R. A. (2023). *Estructuras de Acero. Tomo 5 - Naves Industriales .*
- Jack C. McCormac, S. F. (2013). *Diseño de estructuras de acero.*
- Lanning, F., Haro, A., Kuen Liu, M., Monzón, A., Monzón-Despang, H., Schultz, A., & Tola, A. (2016). EERI Earthquake Reconnaissance Team Report: M7.8 Muisne, Ecuador Earthquake on April 16, 2016.
- López, E. E., & Jiménez Bonilla, A. (2019). *Diseño de nave industrial con dos puentes grúas de 10 Ton.*
- Mayorga Sosa, J. F. (2023). *Diseño de una nave industrial con puente grúa modular de 10 toneladas y vano de 18 metros fabricada en acero estructural aplicando la normativa AISC.*
- Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (2015). *Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-SE-DS: Peligro sísmico - Diseño sismorresistente. Quito, Ecuador: MIDUVI.*
- MIRANDA, D. J. (2021). *ANÁLISIS Y DISEÑO DE NAVE INDUSTRIAL DE CONCRETO ARMADO CON PUENTE GRÚA .*

- Montenegro Merchán, F. R. (2007). *Diseño de una nave industrial con perfiles conformados en frío*.
- MTOP. (2013). NEVI-12. Quito.
- Narváez, J. (2023). *Cáculo y diseño de la estructura de acero para la cubierta de la cancha de uso múltiple*.
- NEC-SE-AC. (2015). *Normativa Ecuatoriana de la Construcción*.
- Peña, A. A. (2016). *NAVES INDUSTRIALES CON ACERO*.
- Rebolledo, R. J. (2010). Deterioros en pavimentos flexibles y rígidos. Valdivia, Chile.
- Sumba, W. (2021). *Diseño de nave industrial para la empresa carrocerías Wilson en el cantón Machala-Provincia de el Oro*.
- Vaca, S., Régnier, M., Bethoux, N., Alvarez, V., & Pontoise, B. (2009). Sismicidad de la región de Manta: Enjambre sísmico de Manta-2005.
- Velasco Medina, D. J. (2019). *Diseño de una nave industrial para los talleres de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería en la finca experimental la María*.