

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE MECÁNICA

PROYECTO TÈCNICO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

TEMA:

"DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA CUBIERTA EN ESTRUCTURA METÁLICA PARA SER USADA EN ESTACIONAMIENTOS VEHICULARES EN BASE A LA NORMATIVA NTE INEN 2248"

AUTOR: Justin Leonardo Dueñas Beltrán

TUTOR: Ing. José Luis Yunapanta Velastegui, MSc.

AMBATO – ECUADOR

Febrero - 2025

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de tutor del Proyecto Técnico, previo a la obtención del Título de Ingeniero Mecánico, con el tema: **"DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA CUBIERTA EN ESTRUCTURA METÁLICA PARA SER USADA EN ESTACIONAMIENTOS VEHICULARES EN BASE A LA NORMATIVA NTE INEN 2248"**, elaborado por el estudiante Justin Leonardo Dueñas Beltrán, portador de la cédula de ciudadanía C.I. 1805464599, estudiante de la Carrera de Mecánica de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

- Que el presente Proyecto Técnico es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Está concluido en su totalidad.

Ambato, febrero 2025

.....

Ing. José Luis Yunapanta Velastegui, MSc.

TUTOR

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Justin Leonardo Dueñas Beltrán, con C.I. 1805464599, declaro que todas las actividades y contenidos expuestos en el desarrollo del presente proyecto técnico con el tema: **"DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA CUBIERTA EN ESTRUCTURA METÁLICA PARA SER USADA EN ESTACIONAMIENTOS VEHICULARES EN BASE A LA NORMATIVA NTE INEN 2248"**, así como también las ideas de diseño, análisis, gráficas, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autor del trabajo, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, febrero 2025



.....

Justin Leonardo Dueñas Beltrán

C.I. 1805464599

AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Proyecto Técnico o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta, y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Autorizo los derechos en línea patrimoniales de mi Proyecto Técnico, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, febrero 2025



.....

Justin Leonardo Dueñas Beltrán

C.I. 1805464599

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del tribunal de grado aprueban el informe de proyecto técnico, realizado por el estudiante Justin Leonardo Dueñas Beltrán, de la Carrera de Ingeniería Civil bajo el tema "DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA CUBIERTA EN ESTRUCTURA METÁLICA PARA SER USADA EN ESTACIONAMIENTOS VEHICULARES EN BASE A LA NORMATIVA NTE INEN 2248",

Ambato, febrero 2025

Para constancia firman:

.....	.....
Ing. Gonzalo Eduardo López Villacis, Mg. Msc.	Ing. Diego Fernando Núñez Núñez,
MIEMBRO CALIFICADOR	**MIEMBRO CALIFICADOR**

DEDICATORIA

En el umbral de este significativo logro, mi corazón rebosa gratitud hacia aquellos que han sido faros en mi travesía, iluminando mis días oscuros y celebrando conmigo cada pequeño triunfo. A ustedes, que, con amor, sacrificio y fe inquebrantable, han sido mi refugio y mi fuerza, dedico este esfuerzo que no habría sido posible sin su presencia constante.

A mi padre Carlos Dueñas, ejemplo de dedicación y perseverancia, cuya guía ha sido el cimiento de mis decisiones y mis sueños. A mi madre Fabiola Beltrán, por su amor infinito y su sabiduría, que han nutrido mi espíritu y me han impulsado a siempre buscar lo mejor en mí. A mi hermano Dereck Dueñas, compañero de vida, cuya complicidad y apoyo me ha sostenido en los momentos más desafiantes.

A cada uno de ustedes, les ofrezco este logro como un testimonio de cuánto valoro su presencia en mi vida. Vuestro amor ha sido el motor que me ha llevado a superar mis propios límites y alcanzar esta meta. Con la certeza de que sus voces seguirán resonando en mi corazón, les entrego estas palabras con gratitud eterna, porque sin ustedes, este momento no tendría el mismo significado.

AGRADECIMIENTO

A través de estas líneas, deseo expresar mi más profundo agradecimiento al culminar esta etapa tan significativa de mi vida académica. Este logro es el reflejo del esfuerzo, la dedicación y el apoyo invaluable de muchas personas que han sido pilares fundamentales en este recorrido.

En primer lugar, agradezco a Dios, por ser mi guía constante, por fortalecerme en los momentos de dificultad y por brindarme la salud y las oportunidades necesarias para alcanzar este objetivo. Su presencia ha sido mi luz en los momentos más oscuros y mi fortaleza en cada desafío.

A mi familia, mi mayor inspiración y apoyo incondicional, les debo todo lo que soy. A mis padres, cuya sabiduría, amor y valores han sido la brújula que ha orientado cada una de mis decisiones. A mi hermano, compañero de vida y ejemplo constante de esfuerzo, gracias por su confianza y motivación en cada paso de este camino.

A mis amigas y compañeras de estudio Diana Cáceres e Ivette Echeverría, con quienes compartí innumerables momentos de aprendizaje y superación. Sus palabras de aliento y su colaboración desinteresada han sido fundamentales para mi crecimiento personal y profesional.

A mi pareja Georgina Cárdenas, quien ha sido mi refugio y mi fortaleza, sus palabras de motivación, su paciencia infinita y su amor incondicional han sido el motor que me impulsó a seguir adelante, incluso en los momentos más difíciles.

A mi tutor Ing. José Luis Yunapanta, MSc. por su dedicación, su paciencia, sus consejos y constante orientación a lo largo de este proceso. Su apoyo no solo ha sido fundamental para la culminación de este trabajo, sino también una fuente invaluable de aprendizaje y conocimiento.

Quiero expresar también mi gratitud a la Universidad Técnica de Ambato, por abrirme sus puertas y permitirme ser parte de una comunidad académica que fomenta el conocimiento, la excelencia y el compromiso. A sus docentes, les agradezco por su dedicación, paciencia y por haber sido una fuente constante de aprendizaje e inspiración.

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO

APROBACIÓN DEL TUTOR ii

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN iii

DERECHOS DE AUTOR iv

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO v

DEDICATORIA vi

AGRADECIMIENTO vii

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDO viii

ÍNDICE DE TABLAS xi

ÍNDICE DE FIGURAS xii

RESUMEN EJECUTIVO xv

ABSTRACT xvi

CAPÍTULO I 1

MARCO TEÓRICO 1

1.1 Antecedentes investigativos 1

1.1.1 Tema del proyecto técnico 1

1.1.2 Justificación 1

1.1.3 Fundamentación Teórica 2

1.1.3.1 Acero estructural 2

1.1.3.2 Introducción a estructuras metálicas 4

1.1.3.3 Tipos de estructuras metálicas 6

1.1.3.5 Introducción a la normativa NTE INEN 2248 10

1.1.3.6 Diseño de estructuras metálicas 13

1.1.3.7 Estados de carga 13

1.1.3.8 Sismicidad en Ecuador 15

1.1.3.9 Simulación estructural 16

1.1.3.10 Análisis comparativo de diseños 16

1.1.3.11 Aplicación de la normativa NEC en el diseño y simulación 17

1.1.3.12 Estudios de casos y ejemplos prácticos 17

1.1.3.13 Conexiones entre elementos 17
1.1.4 Objetivos 18
1.1.4.1 Objetivo General 18
1.1.4.2 Objetivos Específicos 18
CAPITULO II 19
METODOLOGÍA 19
2.1 Materiales y equipos 19
2.1.1 Materiales 19
2.1.2 Equipos 20
2.1.3 Programas de diseño 20
2.2 Métodos 21
2.2.1 Investigación bibliográfica 21
2.2.2 Selección de la ubicación 21
2.2.3 Selección del material 21
2.2.4 Calculo estructural 22
2.2.5 Diseño y simulación 23
2.2.6 Diagrama de flujo 23
CAPITULO III 25
RESULTADOS Y DISCUSIÓN 25
3.1 Análisis y discusión de resultados 25
3.1.1 Análisis de diseño 25
3.1.1.1 Selección de alternativa 26
3.1.2 Cálculo de estados de cargas 27
3.1.2.1 Carga viva (Lr) 27
3.1.2.2 Carga Muerta (D) 27
3.1.2.3 Carga de viento (W) 28
3.1.2.4 Carga sísmica (E) 31
3.1.3 Elaboración del prediseño, diseño final y la simulación mediante softwares especializados 37
3.1.3.1 Prediseño en AutoCAD 37
3.1.3.2 Prediseño y diseño final en ETABS 38
3.1.3.3 Diseño 3 para optimización de recursos. 60
3.1.3.4 Análisis de soldadura en viga columna mediante Solidworks 64

3.1.3.5 Análisis de soldadura en columna-placa base. 70

CAPITULO IV 75

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 75

4.1 Conclusiones 75

4.2 Recomendaciones 75

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 76

Anexos 79

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Dimensiones mínimas para plazas de estacionamiento vehicular [1]. 13
Tabla 2. Materiales utilizados para el desarrollo del proyecto. 19
Tabla 3. Equipos utilizados para el desarrollo del proyecto. 20
Tabla 4. Programas de diseño utilizados para el desarrollo del proyecto. 20
Tabla 5. Sobrecargas mínimas para cubiertas [18]. 27
Tabla 6. Características técnicas de los materiales de la cubierta. 28
Tabla 7. Coeficiente de corrección σ [18]. 29
Tabla 8. Determinación del factor de forma cf [18]. 30
Tabla 9. Coeficiente de entorno/altura [19]. 30
Tabla 10. Valores del factor Z [20]. 32
Tabla 11. Coeficiente de amplificación de suelo en la zona de periodo corto [20]. 33
Tabla 12. Coeficiente de importancia [20]. 33
Tabla 13. Factor de reducción de respuesta R para estructuras diferentes a las de edificación. 35
Tabla 14. Peso corregido de la estructura final. 47
Tabla 15. Comparación de peso entre diseños. 64

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura metálica para Parking [5] 5
Figura 2. Estructura metálica abovedada [7]. 7
Figura 3. Estructuras metálicas entramadas [8]. 7
Figura 4. Estructuras metálicas trianguladas [9]. 8
Figura 5. Estructura metálica colgante [9]. 8
Figura 6. Estructura metálica laminada [11]. 9
Figura 7. Perfiles laminados de acero [11]. 9
Figura 8. Perfiles doblados en frio [12]. 10
Figura 9. Plazas de estacionamiento a 30° [1]. 10
Figura 10. Plazas de estacionamiento a 45° [1]. 11
Figura 11. Plazas de estacionamiento a 60° [1]. 11
Figura 12. Plazas de estacionamiento a 90° [1]. 12
Figura 13. Plazas de estacionamiento en paralelo [1]. 12
Figura 14. Tabla de tipos de vehículos [1]. 12
Figura 15. Evaluación de intensidades [14]. 16
Figura 16. Ficha técnica del acero ASTM A-36 [16]. 22
Figura 17. Alternativa 1 de estructura metálica laminada para cubierta de estacionamiento [17]. 25
Figura 18. Alternativa 2 de estructura metálica laminada para cubierta de estacionamiento 26
Figura 19. Ecuador, zonas sísmicas para propósitos de diseñó y valor del factor de zona Z [20]. 32
Figura 20. Vista isométrica del prediseño en AutoCAD 37
Figura 21. Vista lateral del prediseño en AutoCAD 37
Figura 22. Vista posterior del prediseño en AutoCAD 38
Figura 23. Vista superior del prediseño en AutoCAD 38
Figura 24. Aplicación de cargas sobre el techo del pórtico 39
Figura 25. Consecuencias de no hacer un buen proceso de fabricación del dado 39
Figura 26. Conexión articulada de la base. 40
Figura 27. Modelo en Etabs Pórtico 43
Figura 28. Liberación de nodos. 44
Figura 29. Sección calculada. 44

Figura 30. Asignación de sección a cada elemento. 45
Figura 31. Vista superior con asignación de secciones. 45
Figura 32. Aplicación de carga viva 46
Figura 33. Pórtico trabajando de manera correcta. 46
Figura 34. Rediseño de la cubierta. 48
Figura 35. Aplicación de carga. 48
Figura 36. Resultados primer análisis. 49
Figura 37. Carga de sismo con factor de cortante basal calculado. 49
Figura 38. Sismo en x. 50
Figura 39. Definición de la masa. 50
Figura 40. Parámetros para analizar OMF. 50
Figura 41. Demanda/Capacidad. 51
Figura 42. Caso de carga. 51
Figura 43. Chequeamos Demanda/capacidad. 52
Figura 44. Resultados. 52
Figura 45. Peso Total diseño 1. 53
Figura 46. Deflexiones máximas permitidas [21]. 53
Figura 47. Valores de deflexión en el punto más crítico. 54
Figura 48. Valor de desplazamiento. 55
Figura 49. Análisis estático diseño 3. 56
Figura 50. Masa propia de la estructura. 56
Figura 51. Creación de tensores. 57
Figura 52. Valor de deflexión. 57
Figura 53. Desplazamiento en x. 58
Figura 54. Desplazamiento en y. 58
Figura 55. Pórticos centrales. 59
Figura 56. Pórticos extremos. 59
Figura 57. Diseño 3 final. 60
Figura 58. Peso de la estructura. 60
Figura 59. Rediseño de la cubierta. 61
Figura 60. Valor de deflexión más crítico. 61
Figura 61. Desplazamiento en x. 62
Figura 62. Desplazamiento en y. 62

Figura 63. Diseño final..... 63
Figura 64. Peso de la estructura. 63
Figura 65. Columna en superficie. 64
Figura 66. Viga en superficie. 65
Figura 67. Ensamble viga-columna. 65
Figura 68. Selección de material A36. 66
Figura 69. Espesor del material. 66
Figura 70. Aplicación del cordón de soldadura. 67
Figura 71. Sujeción de geometría fija. 67
Figura 72. Aplicación de carga. 68
Figura 73. Creación de malla y ejecutar el estudio de análisis estático. 68
Figura 74. Resultados del cordón de soldadura. 69
Figura 75. Tamaño de soldadura modificado. 69
Figura 76. Resultados de comprobación de soldadura. 70
Figura 77. Placa base en superficie. 70
Figura 78. Ensamble viga columna-placa base. 71
Figura 79. Material placa base. 71
Figura 80. Espesor placa base. 72
Figura 81. Asignación parámetros de soldadura. 72
Figura 82. Sujeción geometría fija. 72
Figura 83. Valor de la carga. 73
Figura 84. Mallado y ejecución de estudio. 73
Figura 85. Comprobación de soldadura. 73

RESUMEN EJECUTIVO

Para obtener información normalizada de la cubierta en voladizo el presente proyecto técnico tiene como objetivo principal diseñar y simular una cubierta metálica destinada a estacionamientos vehiculares, en cumplimiento con la normativa ecuatoriana NTE INEN 2248, que estipula las dimensiones mínimas requeridas para espacios de estacionamiento vehicular y con la normativa ecuatoriana para la construcción se determinó los tipos de carga que afectaran a la cubierta.

Para ello, se realizó un análisis de distintas alternativas de cubiertas metálicas, seleccionando aquella que ofrezca el diseño más eficiente en términos de estabilidad, resistencia y costo. El diseño se realizó en base a análisis de prediseños con diferentes elementos estructurales y cambios en el análisis de cargas. El análisis incluyó una evaluación detallada de los diferentes estados de carga que actúan sobre la estructura, tales como cargas muertas, cargas vivas, cargas sísmicas y cargas de viento, conforme a las especificaciones de la norma ecuatoriana para la construcción. Los valores correspondientes a estas cargas se determinaron mediante cálculos precisos, asegurando que la estructura mantenga una adecuada estabilidad y seguridad. Para la estructura se seleccionaron perfiles de acero A36, debido a su amplia disponibilidad en el mercado y sus excelentes propiedades mecánicas.

La modelación y simulación del diseño se llevó a cabo utilizando software especializado en diseño estructural, lo que permitió evaluar el comportamiento de la cubierta ante diversas condiciones de carga. Este análisis aseguró que los esfuerzos y deformaciones permanezcan dentro de los rangos permitidos por la normativa, minimizando el riesgo de fallos estructurales. Este enfoque integral garantizó un diseño seguro, eficiente y completamente ajustado a los estándares técnicos vigentes en el Ecuador.

Palabras clave: Estructuras metálicas, voladizo, acero, cubierta metálica, diseño de estructuras.

ABSTRACT

To obtain normalized information about the cantilevered roof, the main objective of this technical project is to design and simulate a metal roof intended for vehicle parking, in compliance with the Ecuadorian standard NTE INEN 2248, which establishes the minimum dimensions required for vehicle parking spaces. Additionally, the types of loads affecting the roof were determined based on Ecuadorian construction regulations.

To achieve this, an analysis of different metal roof alternatives was carried out, selecting the one that offers the most efficient design in terms of stability, strength, and cost. The design was based on preliminary analyses with different structural elements and variations in load analysis. The evaluation included a detailed assessment of the various load conditions acting on the structure, such as dead loads, live loads, seismic loads, and wind loads, according to the specifications of Ecuadorian construction standards. The values corresponding to these loads were determined through precise calculations, ensuring the structure maintains adequate stability and safety. For the structure, A36 steel profiles were selected due to their wide availability in the market and excellent mechanical properties.

The modeling and simulation of the design were conducted using specialized structural design software, which made it possible to evaluate the roof's behavior under various load conditions. This analysis ensured that stresses and deformations remain within the ranges allowed by the standards, minimizing the risk of structural failures. This comprehensive approach ensured a safe, efficient design fully aligned with the current technical standards in Ecuador.

Keywords: Metal structures, cantilever, steel, metal roof, structural design.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1.1 Antecedentes investigativos

1.1.1 Tema del proyecto técnico

Diseño y simulación de una cubierta en estructura metálica para ser usada en estacionamientos vehiculares en base a la normativa NTE INEN 2248.

1.1.2 Justificación

El continuo aumento vehicular a nivel mundial ha generado una demanda creciente de áreas de estacionamiento. Esta demanda plantea un dilema en la optimización del espacio disponible y la protección de los vehículos, generando impactos negativos en el entorno urbano y el medio ambiente. El desafío radica en encontrar soluciones que permitan abordar esta demanda creciente sin comprometer la funcionalidad y sostenibilidad del entorno urbano, buscando equilibrar la necesidad de espacio para vehículos con la conservación y uso eficiente del entorno.

En América Latina, las ciudades enfrentan un desafío debido a su rápido crecimiento demográfico y la consiguiente limitación del espacio disponible. El aumento de estacionamientos al aire libre ha exacerbado las complejidades del entorno urbano y ha contribuido significativamente a la congestión del tráfico. Este crecimiento descontrolado de áreas de estacionamientos ha impactado negativamente en la estética urbana y en la movilidad, planteando desafíos adicionales en la planificación y el desarrollo sostenible de las ciudades. Por consiguiente, la búsqueda de soluciones que permitan mitigar estos impactos se vuelve fundamental para abordar la presión sobre el uso del suelo y mejorar la calidad de vida en entornos urbanos.

En el caso de Ecuador, la carencia de espacios seguros para estacionar adquiere una relevancia notable. Ciudades como Quito o Guayaquil se enfrentan a desafíos significativos en lo que respecta a la planificación del espacio urbano y la infraestructura vial. Las cubiertas metálicas en estacionamientos de vehículos, cumpliendo con los estándares de la normativa NTE INEN 2248 [1], se vuelve fundamental para afrontar estos retos y fomentar un crecimiento urbano sostenible.

La Norma Técnica Ecuatoriana (NTE) INEN 2248 [1] establece los requisitos que deben tener las plazas de estacionamiento vehicular en Ecuador, priorizando la seguridad y la accesibilidad peatonal. Su aplicación en el diseño de cubiertas metálicas para estacionamientos garantiza que estas estructuras sean seguras y cumplan con los estándares establecidos. Por lo tanto, la elección de esta norma como base para el presente estudio asegura que el diseño y simulación de cubiertas metálicas para estacionamientos cumpla con los más altos estándares de calidad y seguridad, contribuyendo a la mejora de la infraestructura urbana en Ecuador.

1.1.3 Fundamentación Teórica

1.1.3.1 Acero estructural

El acero estructural se define como un tipo de acero con un contenido de carbono reducido (inferior al 0,3%) y con características de alta resistencia mecánica. Este material se obtiene mediante un proceso de laminación en caliente, donde el acero es calentado a temperaturas que superan su punto de fusión y posteriormente se deforma a través de rodillos para alcanzar la geometría requerida. El acero estructural se encuentra disponible en diversas configuraciones, incluyendo secciones, varillas, placas, tubos y perfiles angulares, entre otros [2].

El acero se clasifica en dos categorías principales: aceros al carbono y aceros de baja aleación. Los aceros al carbono son los más comunes y económicos, compuestos principalmente de hierro y carbono, y contienen cantidades mínimas de otros elementos como manganeso, silicio, fósforo y azufre. En contraste, los aceros de baja aleación incluyen elementos aleantes adicionales, como níquel, cromo, molibdeno y vanadio. Estos elementos confieren al acero propiedades especiales, tales como una mayor resistencia al desgaste, a la fatiga y a la corrosión [2].

Tipos de acero estructural

Algunos tipos más comunes son:

- Perfiles: son elementos alargados y de sección transversal constante, como vigas, columnas, puntuales, etc. Los perfiles se pueden dividir en perfiles laminados, perfiles curvados en frío, perfiles soldados y perfiles especiales [2].

- Barras: Son elementos alargados con sección transversal circular, como varillas, ejes, etc. Las barras de acero se pueden dividir en barras de acero lisas, corrugadas y especiales [2].
- Placas: Son elementos planos de igual espesor, como losas, paredes, etc. La placa se puede dividir en placa delgada, gruesa y especiales según su espesor.
- Tubos: Son elementos huecos de sección circular, como canales, tuberías, etc. Los tubos se pueden dividir en tubos sin costura, soldados y con formas especiales según su diámetro [2].
- Ángulos: Son elementos planos con dos aristas verticales, como por ejemplo ménsulas, refuerzos, etc. Los ángulos se pueden dividir en ángulos equiláteros, impares y especiales según su forma [2].

Características

Las propiedades mecánicas son la principal fortaleza del acero frente a otros materiales estructurales, como el hormigón armado, la mampostería o la madera, principalmente debido a sus superiores propiedades mecánicas. No obstante, también exhibe desventajas en relación con materiales similares.

Ventajas

Sus propiedades mecánicas son su mayor ventaja frente a otros materiales estructurales:

- Alta resistencia: Ofrece una notable resistencia por unidad de peso, lo que se traduce en un peso total reducido de la estructura, aspecto crucial en edificaciones con limitaciones en la cimentación [3].
- Tenacidad: Presenta alta resistencia y ductilidad, permitiendo la continuidad en el soporte de cargas aun cuando está severamente deformado y absorbiendo una considerable cantidad de energía [3].
- Uniformidad: A diferencia de las estructuras de hormigón, las estructuras de acero muestran poca variación a lo largo del tiempo [3].
- Durabilidad: Con un plan de mantenimiento adecuado, estas estructuras pueden tener una durabilidad significativa en el tiempo [3].

- Elasticidad: Este material se comporta elásticamente a valores de tensión relativamente altos y se adapta al contenido de la ley de Hooke según los supuestos de diseño estructural [3].
- Ductilidad: Con un adecuado programa de mantenimiento, estas estructuras pueden conservar su integridad durante un período prolongado [3].
- Elasticidad: El acero se comporta de manera elástica bajo tensiones relativamente altas y sigue la ley de Hooke en los supuestos de diseño estructural [3].
- Ductilidad: Es capaz de soportar deformaciones significativas ante altas cargas sin fallos repentinos, aunque puede fallar de manera predecible [3].

Desventajas

- Corrosión: Requiere mantenimiento regular, ya que puede deteriorarse fácilmente por el contacto con agua y aire [3].
- Fractura frágil: En regiones de alta concentración de esfuerzos, puede romperse fácilmente bajo temperaturas bajas y cargas que generan fatiga [3].
- Fuego: Su resistencia disminuye con el calor producido por un incendio, lo que hace necesario aislarlo adecuadamente con materiales protectores [3].
- Fatiga: El acero puede debilitarse al ser sometido a múltiples ciclos de carga que generan tensiones acumulativas [3].
- Pandeo: Las estructuras de acero delgadas que soportan cargas elevadas pueden experimentar una gran deformación, lo que requiere un mayor uso de acero para mejorar su resistencia, incrementando así los costos [3].

1.1.3.2 Introducción a estructuras metálicas

Una estructura metálica es cualquier estructura donde la mayoría de las partes que la forman son materiales metálicos, normalmente acero.

Las estructuras metálicas se utilizan por norma general en el sector industrial porque tienen excelentes características para la construcción, son muy funcionales y su coste de producción suele ser más barato que otro tipo de estructuras [4].



Figura 1. Estructura metálica para Parking [5]

Ventajas y desventajas del acero en la construcción de estructuras:

En base a la tesis [6], se puede analizar las principales ventajas y desventajas del acero estructural las cuales son:

Ventajas

- Uniformidad: Las propiedades del acero no se ven afectadas notablemente con el transcurrir del tiempo [6].
- Durabilidad: Estas estructuras permanecerán de forma definitiva siempre y cuando el mantenimiento sea el adecuado [6].
- Ductilidad: Gracias a su naturaleza dúctil, los aceros pueden soportar grandes deformaciones sin fallar ante altos esfuerzos de tensión [6].
- Tenacidad: Estos materiales poseen la capacidad de absorber energía en grandes cantidades [6].
- Elasticidad: En comparación con la mayoría de materiales el acero se acerca más a las hipótesis de diseño, debido a que sigue la Ley de Hooke hasta esfuerzos bastante altos, por tanto, los momentos de inercia de una estructura de acero, pueden determinarse en forma exacta, contrario a los valores obtenidos para una estructura de concreto en donde son relativamente imprecisos [6].

Desventajas

- Costo de Mantenimiento: Debido a exposiciones al agua y al aire, estos materiales deben pintarse periódicamente [6].

- Corrosión: Ya que el acero está expuesto al medioambiente sufre la acción de agentes corrosivos, por los cuales se debe recubrir con esmaltes anticorrosivos [6].
- Fatiga: La resistencia del acero puede verse afectada si se somete a un gran número de acciones cíclicas. En estos casos, existen inversiones en la dirección de los esfuerzos o cambios en la magnitud del esfuerzo de tensión. En la práctica, se pueden reducir las resistencias estimadas de estos miembros si se sabe que estarán sometidos a un número de ciclos de esfuerzos variables mayor a cierto límite [6].
- Susceptibilidad al pandeo: Cuanto más largos y esbeltos sean los miembros a compresión, mayor será el peligro de pandeo. Como se indicó previamente, el acero tiene una alta resistencia por unidad de peso, pero al utilizarse como columnas no resulta muy económico, ya que se requiere una cantidad considerable de material únicamente para hacer más rígidas las columnas y evitar el posible pandeo [6].
- Fractura Frágil: El acero puede perder su ductilidad bajo ciertas condiciones, y la falla frágil puede ocurrir en zonas de concentración de esfuerzos. Las cargas generan fatiga, y las bajas temperaturas contribuyen a agravar la situación [6].

1.1.3.3 Tipos de estructuras metálicas

Estructuras abovedadas.

Son estructuras formadas por arcos, cúpulas y bóvedas que permiten cubrir espacios mayores, aumentar los huecos en las estructuras y equilibrar el peso de la construcción. Su forma permite cubrir espacios mayores y dejar huecos para que respire la edificación. Los arcos y bóvedas están formados por piezas llamadas dovelas y estas se encargan de resistir las fuerzas que reciben y transmiten [7].



Figura 2. Estructura metálica abovedada [7].

Estructuras entramadas

Son estructuras constituidas por barras de madera, concreto o acero unidas de manera rígida formando un emparrillado. Los edificios son ejemplo de este tipo de estructura, y se compone principalmente por vigas, columnas y cimentación [8].

El suelo sobre el que se colocan las baldosas se conoce como forjado, el forjado transmite la carga a las viguetas y estas a las vigas. Estas a su vez la transmiten a los pilares que por último llevan el peso a los cimientos [8].



Figura 3. Estructuras metálicas entramadas [8].

Estructuras trianguladas

Son estructuras formadas por elementos lineales de poca sección denominadas barras que crean superficies estructurales planas o tridimensionales mediante la repetición de

formas triangulares. Se caracterizan por la posición de las barras formando triángulos. Una de las ventajas de este tipo de estructuras, es que resultan ser muy resistentes y ligeras a la vez. Este tipo de estructuras suelen utilizarse para la construcción de puentes y torres industriales [9].



Figura 4. Estructuras metálicas trianguladas [9].

Estructuras colgantes

Son aquellas estructuras que se basan en la utilización de cables o tirantes unidos a soportes muy resistentes, funcionando como tracción para aguantar el peso de otros elementos. Los tirantes estabilizan la estructura y son mayormente empleados para la construcción de diferentes tipos de puentes [9].



Figura 5. Estructura metálica colgante [9].

Estructuras laminadas

La estructura laminar suele ser delgada y curva. A pesar de dar la impresión de no ser un tipo de material resistente, cuando se conectan las láminas entre sí se forma una capa resistente que aguanta sin problemas cargas exteriores por medio de la compresión. Incluso la característica de ser delgadas evita tensiones de flexión *y* cortes en su anatomía. Por ello, este tipo de estructuras son empleadas para el armado de automóviles y aviones [10].



Figura 6. Estructura metálica laminada [11].

1.1.3.4 Perfiles de acero utilizados en estructuras metálicas

Perfiles laminados en caliente

Según [12], los perfiles laminados en calientes son elaborados a altas temperaturas, sin notar cambios apreciables en sus propiedades. Para este tipo de perfiles se utiliza la norma AISC (American Institute of Steel Construction), estos tipos de perfiles los podemos observar en la figura 7.

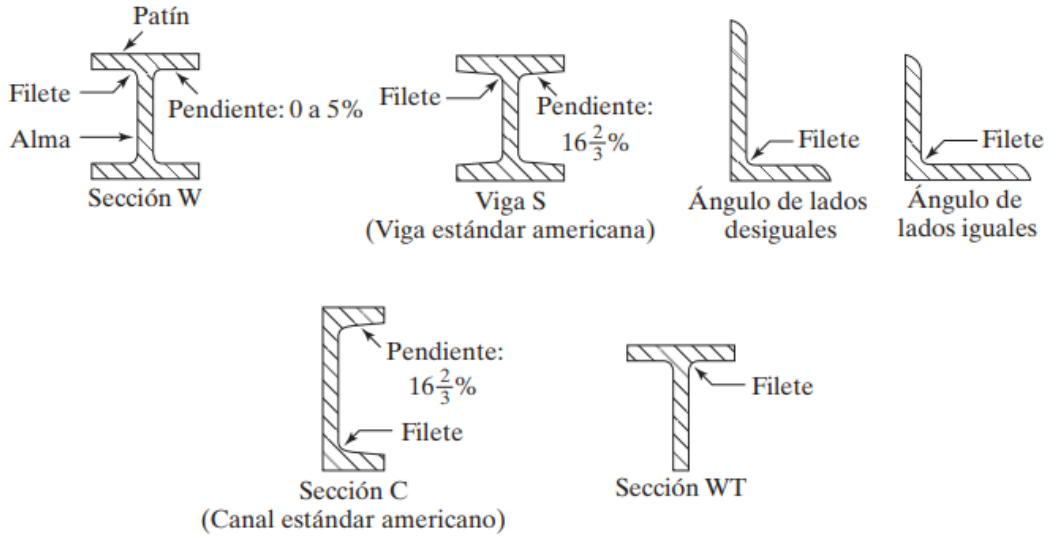


Figura 7. Perfiles laminados de acero [11].

Perfiles laminados en frio

De acuerdo con [12], los perfiles doblados en frío son fabricados doblando láminas de acero delgadas (Acero de bajo carbono o baja aleación) en cualquier sección transversal deseada. Para este tipo de perfiles se utiliza la norma AISI (American Iron and Steel Institute), estos tipos de perfiles los podemos observar en la fig.

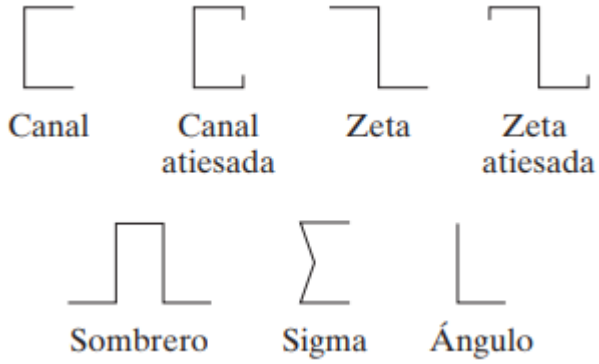


Figura 8. Perfiles doblados en frio [12].

1.1.3.5 Introducción a la normativa NTE INEN 2248

La normativa NTE INEN 2248 establece los requisitos técnicos que deben tener las plazas de estacionamiento vehicular en Ecuador. Clasificándose de acuerdo con su disposición respecto al eje de la vía en:

- Plazas de estacionamiento a 30°

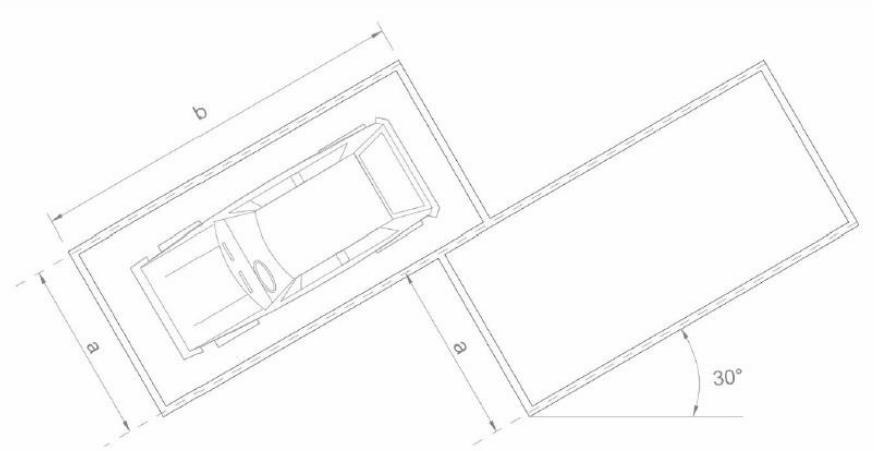


Figura 9. Plazas de estacionamiento a 30° [1].

- Plazas de estacionamiento a 45°

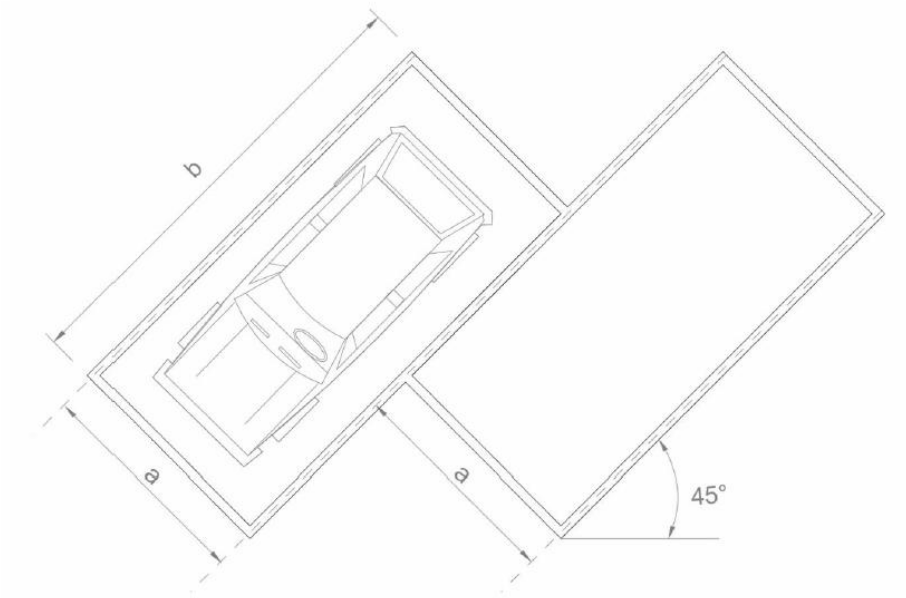


Figura 10. Plazas de estacionamiento a 45° [1].

- Plazas de estacionamiento a 60°

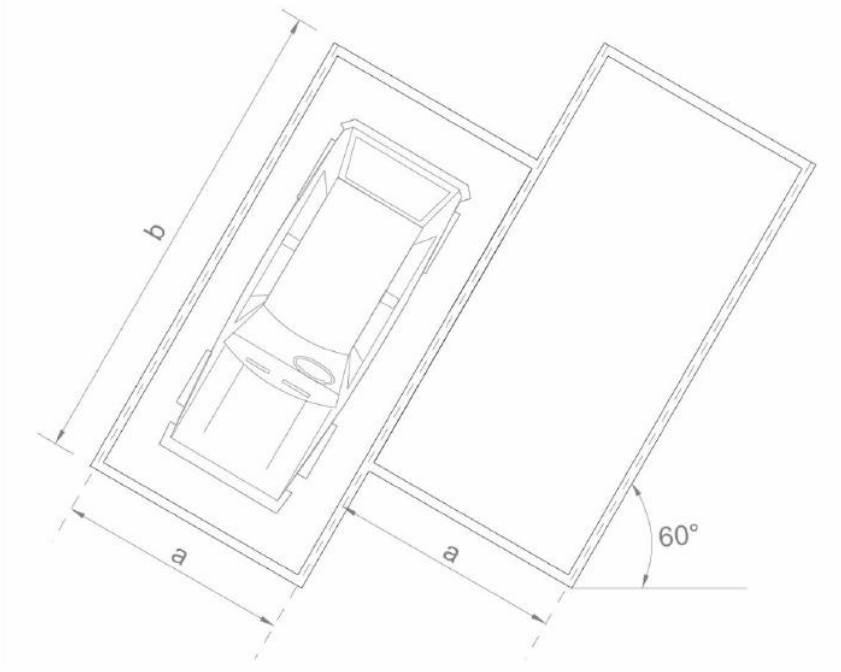


Figura 11. Plazas de estacionamiento a 60° [1].

- Plazas de estacionamiento a 90°

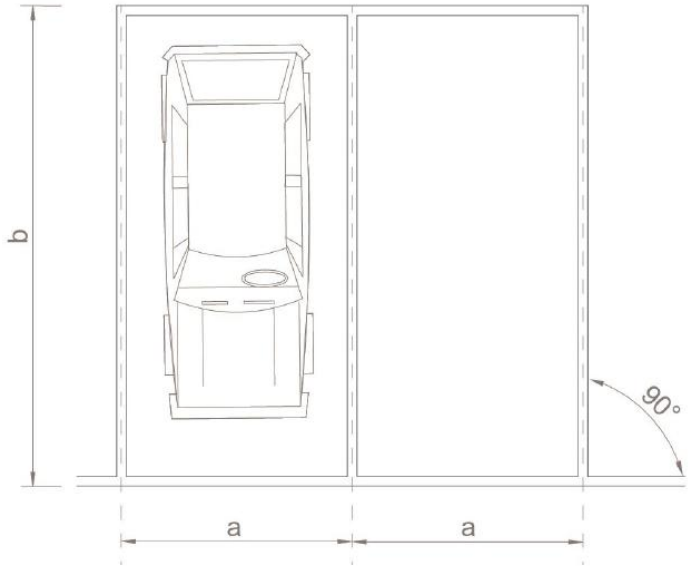


Figura 12. Plazas de estacionamiento a 90° [1].

- Plazas de estacionamiento en paralelo

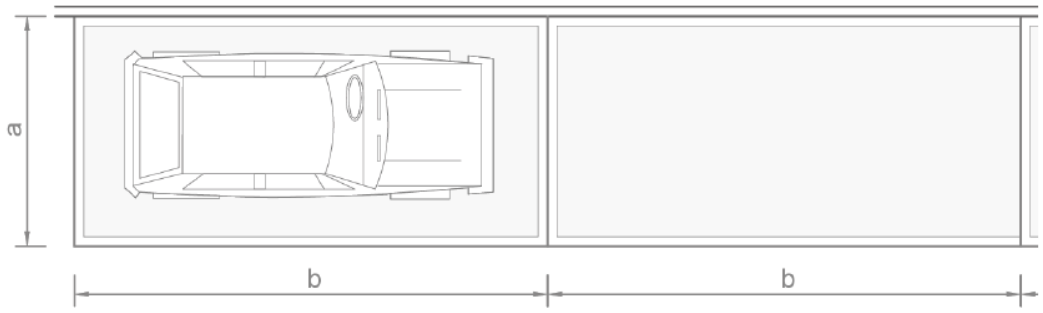


Figura 13. Plazas de estacionamiento en paralelo [1].

Esta norma es aplicable para los siguientes tipos de vehículos:

SUBCLASE	DESCRIPCIÓN
L	Vehículos motorizados con dos, tres o cuatro ruedas.
M1	Vehículos con capacidad no mayor a ocho plazas, sin contar el asiento del conductor y sin espacio para viajeros de pie.
M2	Vehículos con capacidad mayor a ocho plazas, sin contar el asiento del conductor, y cuyo Peso Bruto Vehicular no supere los 5 000 kg.
N1	Vehículos automotores cuyo Peso Bruto Vehicular no exceda de 3 500 kg.
SC	Vehículo automotor diseñado y accionado para trasladar o dar primeros auxilios a heridos o enfermos, y para cuidados en emergencias médicas.

Figura 14. Tabla de tipos de vehículos [1].

Las plazas de estacionamiento deben tener las siguientes dimensiones mínimas:

Tabla 1. Dimensiones mínimas para plazas de estacionamiento vehicular [1].

Tipo de vehículo	Dimensiones mínimas (mm)			Ver figura
	a	b	h	
L	2400	2400	2200	6
N1 y M1	2400	5000	2200	7
M2	2400	5400	2600	8
SC	3500	5400	2600	9

1.1.3.6 Diseño de estructuras metálicas

El diseño de estructuras metálicas para estacionamientos vehiculares implica la aplicación de principios fundamentales de ingeniería estructural, adaptados a las necesidades específicas de este tipo de instalaciones. Esto incluye consideraciones sobre las cargas estáticas y dinámicas a las que estará sometida la estructura, así como los factores de seguridad y resistencia requeridos para garantizar su funcionamiento óptimo. Los métodos de diseño estructural, como el Método de los Estados Límites, se aplican para calcular la resistencia de los elementos estructurales frente a las cargas previstas, asegurando así que la cubierta metálica pueda soportar de manera segura tanto el peso de los vehículos como las fuerzas ambientales externas [13].

1.1.3.7 Estados de carga

Los estados de carga se refieren a las diferentes fuerzas y momentos que influyen en la estructura, impactando su funcionamiento y estabilidad. Estas cargas pueden clasificarse en estáticas, que incluyen el peso de los componentes estructurales y las cargas permanentes (como techados, muros y equipos), o dinámicas, que abarcan cargas temporales como las provocadas por el viento, terremotos y el tránsito vehicular. La adecuada determinación de estas cargas es esencial para la ingeniería estructural, dado que establece la habilidad de la estructura para soportar las tensiones sin colapsar [14].

Cargas vivas (Lr)

La carga viva, también conocida como carga variable o carga transitoria, se refiere a los pesos temporales y dinámicos que actúan sobre una estructura, tales como personas, muebles, vehículos, equipos y otras influencias que no forman parte integral de la construcción misma. A diferencia de la carga muerta, que incluye el peso de los componentes permanentes de la edificación, la carga viva varía con el tiempo y puede cambiar su distribución y magnitud. Este tipo de carga es crucial en el diseño estructural porque afecta directamente la seguridad y la funcionalidad de la edificación, requiriendo un análisis detallado para garantizar que las estructuras puedan soportar adecuadamente estas cargas sin comprometer su integridad. Las normativas y códigos de construcción proporcionan directrices específicas para estimar y aplicar estas cargas, basándose en el uso previsto del edificio y otros factores relevantes, asegurando así que los ingenieros puedan diseñar estructuras que sean seguras y duraderas bajo condiciones de carga realistas [14].

Cargas muertas (D)

La carga muerta, también conocida como carga permanente, se refiere al peso constante e invariable de todos los componentes estructurales y no estructurales permanentes de una edificación. Esto incluye elementos como paredes, techos, pisos, vigas, columnas, acabados, y sistemas mecánicos y eléctricos que están integrados de forma fija en la construcción. A diferencia de la carga viva, la carga muerta no cambia con el tiempo y puede ser calculada con mayor precisión durante la fase de diseño. La correcta estimación de la carga muerta es fundamental en el diseño estructural, ya que representa una parte significativa de las fuerzas que la estructura debe soportar de manera continua. Un cálculo preciso de la carga muerta asegura que los materiales y componentes seleccionados sean adecuados para soportar las tensiones y deformaciones a lo largo de la vida útil del edificio, contribuyendo así a la seguridad, estabilidad y durabilidad de la estructura. Las normativas y códigos de construcción proporcionan métodos y parámetros específicos para determinar estas cargas, garantizando que los ingenieros puedan diseñar con un alto grado de certeza y seguridad [14].

Cargas por viento (W)

La carga por viento es la fuerza ejercida sobre una estructura debido a la acción del viento. Esta carga puede generar fuerzas significativas que afectan la estabilidad y seguridad de la edificación a lo largo de su vida útil. Para calcular la carga por viento se consideran diversos factores, incluyendo la velocidad local del viento, la geometría y altura de la estructura, la rugosidad del terreno circundante, y otros parámetros climáticos. Estos cálculos se realizan de acuerdo con estándares y códigos de construcción que varían según la ubicación geográfica y las normativas locales [14].

Carga por ceniza

La carga por ceniza se refiere a la acumulación de ceniza volcánica en una estructura y su impacto en la carga adicional que esta puede ejercer. Esta consideración es especialmente relevante en regiones cercanas a volcanes activos o áreas propensas a erupciones. Cuando un volcán erupciona, puede expulsar cenizas y otros materiales que, transportados por el viento, se depositan sobre edificaciones, puentes y torres. La acumulación de ceniza puede implicar una carga considerable, ya que este material puede ser denso, especialmente si se encuentra saturada de agua. Por lo tanto, los ingenieros que diseñan estructuras en estas regiones deben evaluar la posible carga por ceniza al desarrollar sus cálculos de diseño, asegurando que la estructura pueda soportar estas cargas adicionales de manera segura [14].

Carga por granizo (S)

La carga por granizo se refiere a las fuerzas que se generan en una estructura debido al impacto del granizo. Este tipo de carga se toma en consideración durante el diseño de edificaciones situadas en regiones donde las tormentas de granizo son frecuentes o pueden surgir ocasionalmente. Además, se debe contemplar el peso adicional que puede resultar de la acumulación de granizo sobre la superficie de la estructura, lo que podría afectar su integridad estructural [14].

1.1.3.8 Sismicidad en Ecuador

El Ecuador está compuesto por una región continental que se divide en cuatro áreas principales: Costa, Sierra, Oriente y Región Insular. Dentro de estas, la región Sierra es la que ha experimentado una mayor frecuencia de fallas geológicas, atribuible a los pliegues generados por los procesos geodinámicos de la zona. Una parte del territorio ecuatoriano se sitúa en el bloque andino, el cual corresponde a la placa sudamericana,

y también interactúa con las placas de Nazca, Cocos y Caribe. Además, en la parte sur del Ecuador se produce una interacción significativa entre la placa Sudamericana y la placa de Nazca [14].

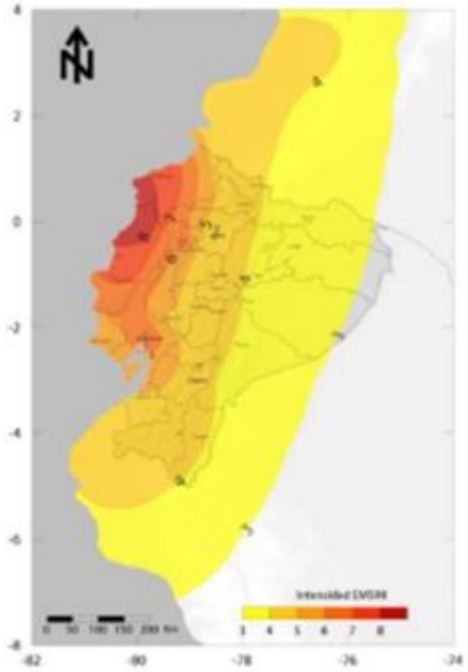


Figura 15. Evaluación de intensidades [14].

1.1.3.9 Simulación estructural

La simulación estructural es una herramienta fundamental en el diseño y análisis de estructuras metálicas para estacionamientos vehiculares, permitiendo evaluar el comportamiento de la cubierta frente a diferentes escenarios de carga y condiciones ambientales. Mediante el uso de software especializado, como SAP2000 o ETABS, se pueden modelar con precisión las características geométricas y materiales de la estructura, así como aplicar las cargas relevantes según la normativa vigente. La simulación estructural proporciona resultados detallados sobre la deformación, esfuerzos y desplazamientos de la estructura, lo que permite optimizar el diseño y garantizar su seguridad y durabilidad bajo diversas condiciones de carga [2].

1.1.3.10 Análisis comparativo de diseños

La evaluación comparativa de diferentes diseños de cubiertas en estructuras metálicas para estacionamientos vehiculares es esencial para identificar la solución más adecuada en términos de rendimiento estructural, costos y cumplimiento de la

normativa aplicable. Mediante el análisis de los resultados de simulación estructural y la comparación de aspectos como la capacidad de carga, la resistencia a las cargas dinámicas y la eficiencia constructiva es posible determinar cuál diseño ofrece la mejor relación entre seguridad, funcionalidad y viabilidad económica. Este enfoque permite a los ingenieros tomar decisiones informadas durante el proceso de diseño, optimizando así el rendimiento y la calidad de la estructura final.

1.1.3.11 Aplicación de la normativa NEC en el diseño y simulación

La aplicación práctica de la normativa NEC en el diseño y simulación de cubiertas en estructuras metálicas para estacionamientos vehiculares implica asegurar el cumplimiento de todos los requisitos técnicos y de seguridad establecidos por esta normativa específica. Esto incluye la verificación de los materiales utilizados, el dimensionamiento de los elementos estructurales y la evaluación de las cargas de diseño según los métodos prescritos por la normativa. La simulación estructural se convierte en una herramienta invaluable para verificar el cumplimiento de la normativa, permitiendo identificar posibles áreas de mejora y garantizar que la estructura cumpla con los estándares de calidad y seguridad exigidos por la regulación [13].

1.1.3.12 Estudios de casos y ejemplos prácticos

Los estudios de casos y ejemplos prácticos proporcionan una visión detallada de la aplicación de los principios de diseño y simulación en proyectos reales de cubiertas en estructuras metálicas para estacionamientos vehiculares. A través del análisis de proyectos específicos, se pueden identificar los desafíos enfrentados durante el proceso de diseño, así como las soluciones implementadas para superarlos. Estos casos de estudio ofrecen lecciones valiosas sobre las mejores prácticas en el diseño y simulación de estructuras metálicas para estacionamientos vehiculares, contribuyendo así al avance del conocimiento y la experiencia en este campo de la ingeniería estructural.

1.1.3.13 Conexiones entre elementos

- Soldadura: La principal ventaja de unir cosas con soldadura es que es simple y usa menos materiales y piezas. Pero las soldaduras a veces se encogen, por lo que esto debe ser considerado al momento de diseñar algo. Una de las principales desventajas es que es complicado y costoso inspeccionar las soldaduras, lo que

dificulta mantenerlas en buen estado. Hay muchos tipos de soldaduras, como la de filete, la de ranura, la de cordón y la de enchufe [15].

- Empernado: Los pernos son más utilizados que los remaches porque son más baratos de instalar, más fáciles de instalar y mantener. En la construcción de acero se usan dos tipos de pernos: pernos de acero resistente y pernos comunes A307.Pero los pernos tienen un problema: se sueltan debido a vibraciones, lo que reduce su resistencia [15].
- Remachado: Los remaches han sido usados por mucho tiempo para unir piezas de acero. Están formados por una cabeza y un vástago dúctil. Para instalar el remache, primero tuvimos que calentarlo y luego aplicar presión con aire comprimido. Esto causa varios problemas, como tener que calentar antes, mucho ruido al instalarlo, y dificultad para reemplazar los remaches cuando se necesita mantenimiento [15].

1.1.4 Objetivos

1.1.4.1 Objetivo General

Diseñar y simular una cubierta en estructura metálica para ser usada en estacionamientos vehiculares en base a la normativa NTE INEN 2248.

1.1.4.2 Objetivos Específicos

- Analizar alternativas de diseño y seleccionar la más adecuada.
- Determinar las cargas en el diseño para garantizar la estabilidad de la estructura.
- Simular mediante software y verificar que el diseño cumpla la norma NTE INEN 2248.

CAPITULO II

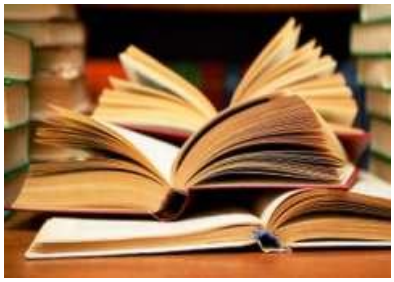
METODOLOGÍA

2.1 Materiales y equipos

2.1.1 Materiales

Los materiales utilizados para el proyecto se definen como los insumos y elementos fundamentales que se emplearon para el desarrollo del proyecto, estos materiales son los siguientes:

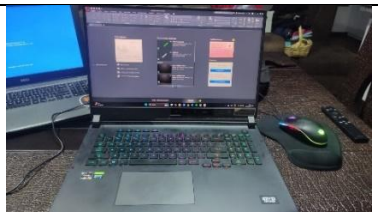
Tabla 2. Materiales utilizados para el desarrollo del proyecto.

Nombre	Descripción	Imagen
Materiales de oficina	Los materiales utilizados para cálculos y el diseño fueron: • Hojas • Lapiza • Regla • Calculadora • Etc.	
Materiales bibliográficos	Los materiales utilizados para la investigación de la forma y características del diseño son: • Libros • Revistas • Artículos • Apuntes • Etc.	

2.1.2 Equipos

La utilización de equipos adecuados para el desarrollo del proyecto asegura resultados más confiables. A continuación, se detalla el equipo empleado en esta ocasión:

Tabla 3. Equipos utilizados para el desarrollo del proyecto.

Nombre	Descripción	Imagen
Laptop	Equipo utilizado para realizar el diseño	

2.1.3 Programas de diseño

Tabla 4. Programas de diseño utilizados para el desarrollo del proyecto.

Nombre	Descripción	Imagen
ETABS	Software de diseño estructural ampliamente utilizado para simular el comportamiento estructural de edificios, puentes y otras estructuras bajo diversas condiciones de carga.	ETABS®
AutoCAD	Software de diseño utilizado para la realización del prediseño.	
SolidWorks	Software de modelado 3D orientado a la ingeniería y diseño de productos, utilizado para el análisis de las conexiones soldadas de la estructura.	SOLIDWORKS

2.2 Métodos

2.2.1 Investigación bibliográfica

La investigación bibliográfica es un proceso fundamental, ya que permitirá recopilar y analizar trabajos previos relacionados con el tema de estudio. En este caso, se revisarán publicaciones académicas, normativas y otras fuentes relevantes que aborden el diseño y las especificaciones de cubiertas en estructuras metálicas, así como la normativa NTE INEN. A través de esta revisión, se pueden identificar tendencias, metodologías y estudios de caso que servirán como base teórica para el diseño propuesto y, al mismo tiempo, se puede detectar la necesidad de nuevas investigaciones en esta área.

2.2.2 Selección de la ubicación

La selección de la ubicación para la instalación de la cubierta en la estructura metálica del estacionamiento es un aspecto crítico que influye en el rendimiento y la durabilidad del proyecto. Factores como el clima, el tipo de suelo, la normativa local y el acceso a servicios públicos deben ser considerados cuidadosamente. En este caso se considera la ubicación de la estructura en la provincia de Tungurahua.

2.2.3 Selección del material

Para la selección del material se consideró el acero A36 debido a la facilidad de obtención y sus características técnicas. Este tipo de acero, conocido por su buena soldabilidad y resistencia a la tracción, es ideal para aplicaciones estructurales. Además, su bajo costo y disponibilidad en el mercado lo convierten en una opción viable para proyectos que requieren tanto eficiencia económica como rendimiento. Su capacidad para soportar diversas cargas y su flexibilidad en el diseño estructural lo hacen una elección preferida en la construcción y en la fabricación de componentes estructurales.

La ASTM A36 cubre los requerimientos químicos y mecánicos para formas de acero al carbono, placas y barras de calidad estructural para uso en construcción remachada, atornillada o soldada de puentes, edificios y propósitos estructurales generales. Los pernos fabricados en acero A36 incluyen las especificaciones ASTM A307 y F1554 de grado 36 , así como SAE J429 grado 2 .

A36 Requisitos mecánicos

Tensión, ksi	58 - 80
Rendimiento, min ksi	36
Elongación, min% en 2 "	20
Elongación, min% en 8 "	23

Esta tabla abreviada muestra solamente los requerimientos mecánicos para barras. La tabla completa se puede encontrar en la norma ASTM en www.astm.org

A36 Requisitos Químicos

Espesor, pulgadas	Hasta 3/4 "	Más de 3/4 "a 1-1 / 2"	Más de 1-1 / 2 "a 4"	Más de 4 "
Carbono,% máx.	0,26	0,27	0,28	0,29
Manganeso		0,60 - 0,90	0,60 - 0,90	0,60 - 0,90
Fósforo,% máx.	0,04	0,04	0,04	0,04
Azufre, máximo%	0,05	0,05	0,05	0,05
Silicio,% máx.	0,40	0,40	0,40	0,40
Cobre, min% cuando se especifica cobre	0,20	0,20	0,20	0,20

Esta tabla abreviada muestra solamente los requisitos químicos para las barras. La tabla completa incluyendo formas y placas se puede encontrar en la norma ASTM en www.astm.org

Figura 16. Ficha técnica del acero ASTM A-36 [16].

2.2.4 Calculo estructural

Para realizar los cálculos estructurales de debe utilizar los principios de la ingeniería para determinar las dimensiones y la integridad de la estructura metálica. Utilizando métodos analíticos donde se analizan las cargas estáticas y dinámicas que la cubierta deberá soportar a lo largo de su vida útil, incluyendo diferentes factores de carga sobre los componentes estructurales. Este análisis asegura que el diseño sea seguro y cumpla con la normativa NTE INEN, minimizando el riesgo de fallos estructurales.

Combinaciones de carga

Las combinaciones de carga utilizadas se encuentran pre establecidas en la norma NEC-SE-CG 2015, AISC 360 Y ACI 318 en donde se deberá considerar todos los factores que se encontraran afectando directamente a la estructura [14].

Combinación 1 $U = 1.4\,D$

Combinación 2 $U = 1.2\,D + 1.6\,L + 0.5 \max [Lr; S; R]$

Combinación 3 $U = 1.2\ D + 1.6\ \max[Lr; S; R]\ \max\ [Lr; 0.5\ W]$

Combinación 4 $U = 1.2\ D + 1.0\ W + L + 0.5\ \max\ [Lr; S; R]$

Combinación 5 $U = 1.2\ D + 1.0\ E + L + 0.2\ S$

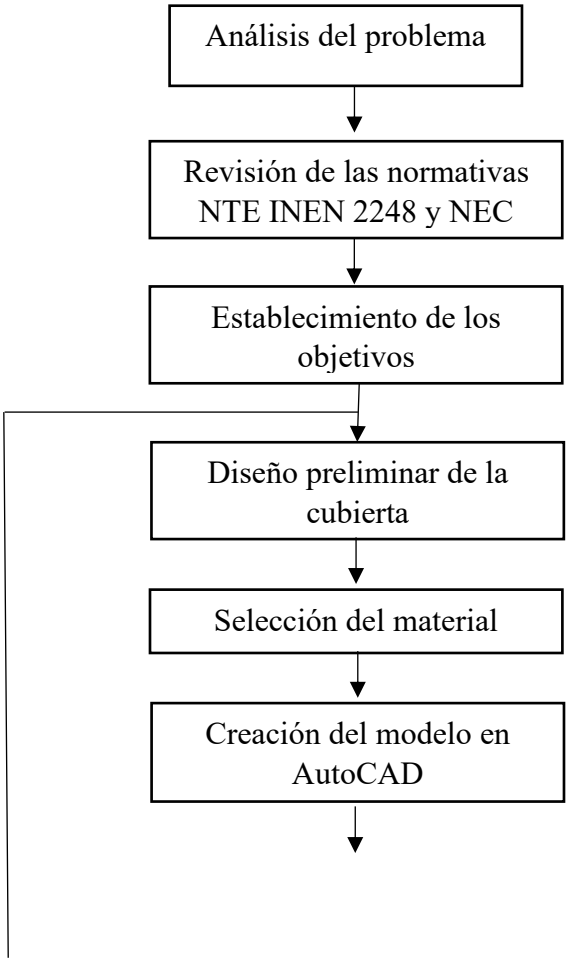
Combinación 6 $U = 0.9\ D + 1.0\ W$

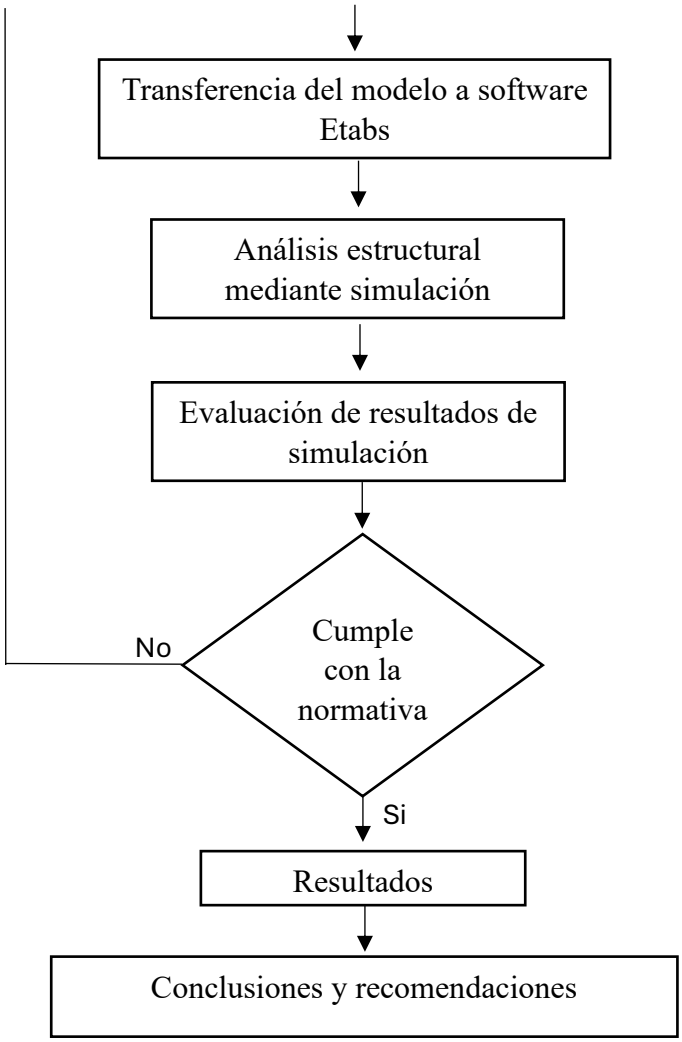
Combinación 7 $U = 0.9\ D + 1.0\ E$

2.2.5 Diseño y simulación

El diseño se realiza utilizando software especializado que permite la creación de modelos tridimensionales y la evaluación de su comportamiento bajo diversas condiciones. La simulación, a través de herramientas como SolidWorks o SAP2000, permite prever cómo reaccionará la estructura a diferentes cargas y factores ambientales, facilitando la identificación de posibles puntos débiles y optimizando el diseño.

2.2.6 Diagrama de flujo




Transferencia del modelo a software Etabs
Análisis estructural mediante simulación
Evaluación de resultados de simulación
Cumple con la normativa
No
Si
Resultados
Conclusiones y recomendaciones

CAPITULO III

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Análisis y discusión de resultados

3.1.1 Análisis de diseño

El análisis de selección de diseño de una estructura metálica se llevó a cabo mediante la evaluación exhaustiva de diversas características inherentes a cada opción estructural. Se consideraron factores críticos como las propiedades mecánicas del material utilizado, que influyen en la resistencia y durabilidad de la estructura. Además, se realizaron comparaciones de costos, incluyendo no solo el precio de los materiales, sino también los gastos asociados a la fabricación, transporte e instalación. Este enfoque integral permitió identificar el diseño que ofrece el equilibrio óptimo entre desempeño estructural y viabilidad económica, asegurando así la eficacia y sostenibilidad de la solución seleccionada.

Para el desarrollo del diseño se evaluaron dos alternativas distintas, las cuales presentan variaciones en su geometría y dimensiones. Las opciones consideradas son las siguientes:

Alternativa de diseño 1

El diseño propuesto consiste en una estructura metálica laminada, la cual, debido a su geometría, optimiza el uso del espacio y minimiza la cantidad de materiales requeridos en su construcción.



Figura 17. Alternativa 1 de estructura metálica laminada para cubierta de estacionamiento [17].

Alternativa de diseño 2



Figura 18. Alternativa 2 de estructura metálica laminada para cubierta de estacionamiento

La alternativa de diseño 2 corresponde a una estructura de configuración más sencilla; sin embargo, requiere el uso de apoyos de mayor tamaño, lo que disminuye el espacio disponible para el estacionamiento de vehículos.

3.1.1.1 Selección de alternativa

Tras analizar las alternativas presentadas, se seleccionó la alternativa 1, ya que su configuración permite maximizar el acceso para un mayor número de automóviles. Además, su diseño optimiza el uso de materiales, reduciendo la cantidad necesaria para su construcción.

Según la norma [1], en base a las figura 12 y 14 seleccionamos el tipo de plaza de estacionamiento a 90° y el tipo de vehículo para el cual estará destinada la cubierta, teniendo en cuenta que el tipo de vehículo entra la subclase M1 y N1. Con la tabla 1 determinamos las dimensiones mínimas para plazas de estacionamiento vehicular, las cuales tenemos que:

a: 2400 mm
b: 5000 mm
h: 2200 mm

Para el diseño de la cubierta en estructura metálica del presente proyecto, se toma a consideración un estacionamiento vehicular de 10 plazas con dimensiones de 25000 mm de largo por 5100.88 mm de ancho por 2200 mm de altura, teniendo en cuenta que está ubicada en la provincia de Tungurahua.

3.1.2 Cálculo de estados de cargas

3.1.2.1 Carga viva (Lr)

También llamada sobrecarga de uso se utilizará en el cálculo dependiendo a que este destinada la edificación y está conformada por los pesos de personas, maquinaria, muebles, equipos y accesorios móviles o temporales, entre otras [18].

Para la cubierta en voladizo, tenemos que basarnos en la tabla. Que la encontramos en la norma NEC-SE-CG (Apéndice A), la que nos proporciona el valor de sobrecargas mínimas para diferentes ocupaciones. Al ser una cubierta inclinada, seleccionamos el primer valor de la tabla 5.

Tabla 5. Sobrecargas mínimas para cubiertas [18].

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 Cubiertas destinadas para propósitos especiales	4.80	
En la región andina y sus estribaciones, desde una cota de 1000 m sobre el nivel del mar, no se permite la reducción de carga viva en cubiertas para prevenir caídas de granizo o ceniza		

$$\mathrm{Lr} = 0.70 \left(\frac{\mathrm{kN}}{\mathrm{m}^2}\right)$$

3.1.2.2 Carga Muerta (D)

En base a la norma NEC-SE-CG, está carga está definida por los pesos de todos los elementos estructurales que actúan permanentemente sobre la estructura. Tales como las correas, columnas vigas, techos, entre otros [18].

En base a la tabla 6 obtenemos la carga muerta total que es la suma total de los componentes de la estructura.

Tabla 6. Características técnicas de los materiales de la cubierta.

Componente	Tipo de perfil	Peso (Kg/m)	Cantidad	Long. (m)	Peso unitario (Kgf)	Peso total (Kgf)
Columna	TC150x100x3	11.31	6	2	22.62	135.72
Viga	TC150x100x3	11.31	6	5.10	57.681	346.086
Correas	CU100*50*3	4.48	25	4.85	21.728	543.2
Diagonales	TC150x100x3	11.31	5	1.35	15.2685	76.3425
Diagonales	TC150x100x3	11.31	5	1	11.31	56.55
Dipanel DP5 Galvalume	1m x 5.1m x 0.25mm	2.40	25	5.10	12.24	306
TOTAL					210.9695	1738.166

Para la carga muerta en la cubierta en voladizo solo necesitaremos el peso total de las vigas, las correas y el dipanel DP5, teniendo como valor:

$$\mathrm{D} = 346.086 + 543.2 + 306$$

$$\mathrm{D} = 1195.286\ \mathrm{Kgf}$$

$$\mathrm{D} = \frac{1195.286\ \mathrm{Kg}}{127.5\ \mathrm{m^2}} * \frac{9.81\ \left(\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s^2}}\right)}{1000}$$

$$\mathrm{D} = 0.09197\ \left(\frac{\mathrm{kN}}{\mathrm{m^2}}\right)$$

3.1.2.3 Carga de viento (W)

En base a la norma NEC para estructuras que no sobrepasan los 10 m de altura la velocidad máxima será de 21 m/s o 75 km/h.

Velocidad corregida del viento

La velocidad máxima del viento debe multiplicarse por el coeficiente de corrección que dependerá de su altura y características topográficas del entorno. Esta ecuación se la conoce como velocidad corregida del viento [18].

$$\mathrm{V_b} = \mathrm{V}x\sigma$$

Donde:

V_b Velocidad corregida del viento en m/s;

V Velocidad instántanea máxima del viento en m/s

σ Coeficiente de corrección, encontrado en la tabla 7

Tabla 7. Coeficiente de corrección σ [18].

Altura (m)	Categoría A (Sin obstrucción)	Categoría B (Obstrucción baja)	Categoría C (Zona edificada)
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

Debido a que este proyecto tiene una altura máxima de 2200 mm, y considerando que la estructura se realizará en zonas con edificaciones de baja altura donde la obstrucción es baja, el valor del coeficiente de corrección es de 0.86, y reemplazando en la ecuación de la velocidad corregida del viento tenemos el siguiente valor.

$$V_b = 21\ \frac{m}{s} * 0.86$$

$$V_b = 18.06\ \frac{m}{s}$$

Cálculo de la presión del viento

Se considera que la acción del viento ejerce una fuerza sobre los componentes de la fachada. Con el fin de evaluar la fortaleza del componente ante la fuerza del viento, se define una presión de cálculo P, cuyo valor se obtendrá mediante la siguiente fórmula:

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

Donde:

P Presión de cálculo expresada en Pa (N/m^2)

ρ Densidad del aire expresada en Kg/ m^3 (En general, se puede adoptar 1.25 Kg/ m^3)

ce Coeficiente de entorno/altura

cf Coeficiente de forma

Tabla 8. Determinación del factor de forma cf [18].

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

Tabla 9. Coeficiente de entorno/altura [19].

Entorno del edificio	Altura elemento sobre el nivel de suelo exterior (m)					
	3	5	10	20	30	50
Centro de grandes ciudades	1.63	1.63	1.63	1.63	1.68	2.15
Zonas urbanas	1.63	1.63	1.63	1.96	2.32	2.82
Zonas rurales	1.63	1.63	1.89	2.42	2.75	3.20

Terreno abierto con obstáculos	1.64	1.93	2.35	2.81	3.09	3.47

$$P = \frac{1}{2} * 1.25 * 18.06^2 * 1.63 * 0.3$$

$$P = 99.68 \frac{N}{m^2}$$

$$P = 0.0997 \frac{kN}{m^2}$$

3.1.2.4 Carga sísmica (E)

Las cargas sísmicas son movimientos horizontales que inciden mayormente en las columnas de una construcción. En la norma NEC se detallan las consideraciones que se requieren para estimar esta carga de forma aproximada, para estructuras diferentes a las de las edificaciones empleamos la ecuación conocida como cortante total en la base de la estructura para el DBF [20].

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

Donde:

V: Cortante total en la base de la estructura para el DBF.

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

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

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

I: Coeficiente de importancia

W: Carga sísmica reactiva

Zonificación sísmica y factor de zona (Z)

Para este proyecto la cubierta se ubicará en la provincia de Tungurahua, en la figura 19 se identifica el rango de la zona sísmica del ecuador, y en la tabla 10 se obtiene el valor del factor Z.

η: Provincias de la costa (excepto Esmeraldas) = 1.80 [20].

η: Provincias de la Sierra, Esmeraldas y Galápagos = 2.48 [20].

η: Provincias del Oriente = 2.60 [20].

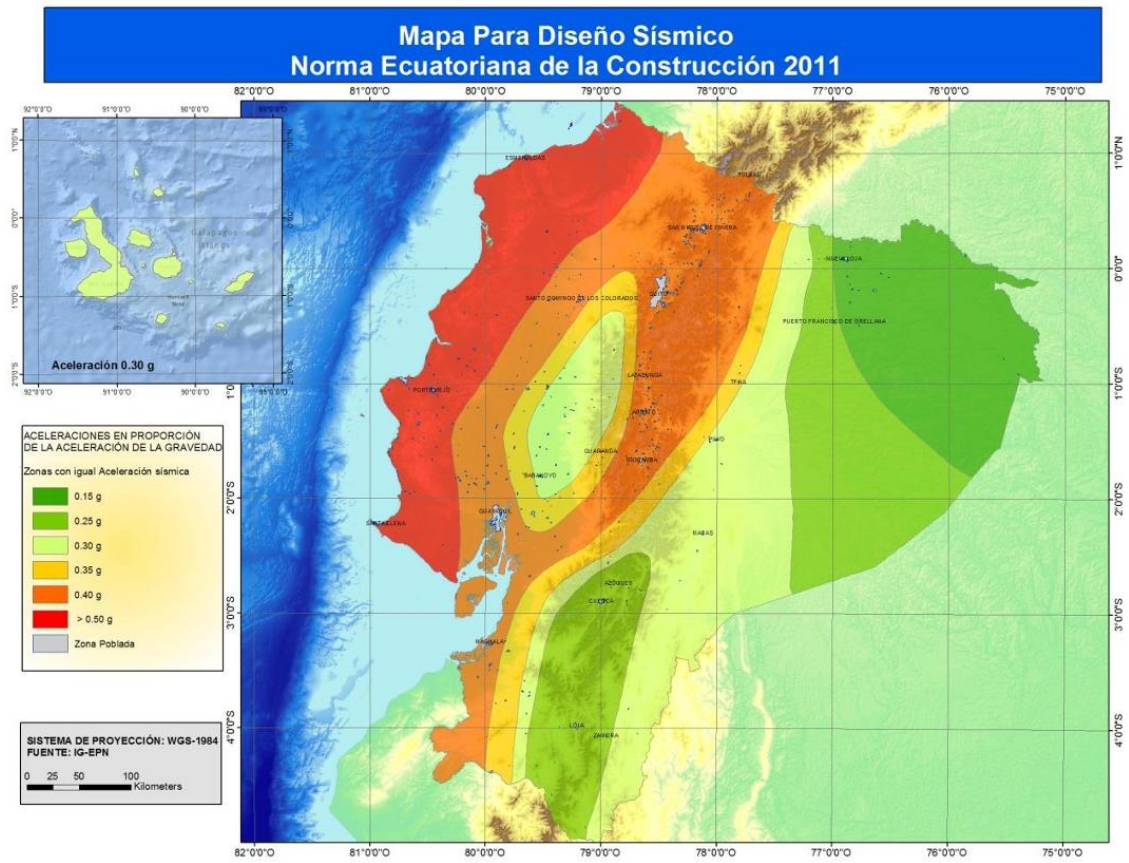


Figura 19. Ecuador, zonas sísmicas para propósitos de diseñó y valor del factor de zona Z [20].

Tabla 10. Valores del factor Z [20].

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

El rango de zona sísmica para Tungurahua es V, con una caracterización del peligro sísmico alta y un valor del factor Z de 0.40.

El tipo de perfil de suelos para el diseño sísmico de una estructura en voladizo es de tipo E, el cual se ajusta a las especificaciones de la norma que establece que Vs<180 m/s. Además, para establecer el valor de la relación de ampliación espectral η, en función de la región del Ecuador donde se planea instalar la estructura, contamos con los siguientes valores:

Coeficiente de amplificación de suelo en la zona de periodo corto (Fa)

Según lo establecido anteriormente el tipo de perfil del subsuelo y el valor del factor Z determinamos que Fa=1.14

Tabla 11. Coeficiente de amplificación de suelo en la zona de periodo corto [20].

Tipo de perfil del subsuelo	I	II	III	IV	V	VI
Valor del factor Z	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	≥0.50
A	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B	1	1	1	1	1	1
C	1.4	1.3	1.25	1.23	1.2	1.18
D	1.6	1.4	1.3	1.25	1.2	1.12
E	1.8	1.5	1.39	1.26	1.14	0.97

Coeficiente de importancia (I)

En base a la tabla 12 sabemos que el coeficiente de importancia es igual a 1 ya que esta estructura está considerada como otras estructuras

Tabla 12. Coeficiente de importancia [20].

Categoría	Tipo de uso, destino e importancia	Coeficiente (I)
Edificaciones esenciales	Hospitales, clínicas, Centros de salud o de emergencia sanitaria. Instalaciones militares, de policía, bomberos, defensa civil. Garajes o estacionamientos para vehículos y aviones que atienden emergencias. Torres de control aéreo.	1.5

	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 substancias anti-incendio. Estructuras que albergan depósitos tóxicos, explosivos, químicos u otras substancias peligrosas.	
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

Carga sísmica reactiva (W)

Se toma el valor de la carga muerta total de la estructura, en esta tomamos el valor de todos los elementos estructurales de la estructura:

$$W = \frac{1738.166\ \text{kg}}{127.5\ \text{m}^2} * \frac{9.81\ \frac{\text{m}}{\text{s}^2}}{1000}$$

$$W = 0.13374\ \left(\frac{\text{kN}}{\text{m}^2}\right)$$

En base a todos los valores determinados se reemplaza en la ecuación cortante basal de diseño

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

$$V = 2.48 * 0.40 * 1 * W$$

$$V = 0.992 * W = E$$

Con este valor en base a la norma podemos utilizar el factor de reducción de respuesta.

Tabla 13. Factor de reducción de respuesta R para estructuras diferentes a las de edificación.

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

En base a la tabla 13, nuestra estructura entra en la categoría de estructuras tipo cantiléver tales como chimeneas, silos y depósitos apoyados en sus bordes, obteniendo un valor de R igual a 3.

Procedemos a recalcular el cortante basal con el factor de reducción R:

$$V = \frac{0.992}{R}$$

$$V = \frac{0.992}{3}$$

$$V = 0.3$$

3.1.3 Calculo de combinación de cargas

El cálculo de combinación de cargas se lo realizo mediante el método LRFD tomando en consideración los datos ya calculados de los estados de carga.

1. $\mathbf{U = 1.4D}$

$$U = 1.4\left(0.13374\ \frac{kN}{m^2}\right)$$

$$U = 0.187236\ \frac{kN}{m^2}$$

2. $\mathbf{U = 1.2D + 1.6L + 0.5(L_r\ o\ S\ o\ R)}$

$$U = 1.2\left(0.13374\ \frac{kN}{m^2}\right) + 1.6(0) + 0.5\left(0.7\ \frac{kN}{m^2}\right)$$

$$U = 0.510488\ \frac{kN}{m^2}$$

3. $\mathbf{U = 1.2D + 1.6(L_r\ o\ S\ o\ R) + (L\ o\ 0.5W)}$

$$U = 1.2\left(0.13374\ \frac{kN}{m^2}\right) + 1.6\left(0.7\ \frac{kN}{m^2}\right) + 0.5\left(0.0997\ \frac{kN}{m^2}\right)$$

$$U = 1.33\ \frac{kN}{m^2}$$

4. $\mathbf{U = 1.2D + 1.0W + L + 0.5(L_r\ o\ S\ o\ R)}$

$$U = 1.2\left(0.13374\ \frac{kN}{m^2}\right) + 1.0\left(0.0997\ \frac{kN}{m^2}\right) + 0 + 0.5\left(0.7\ \frac{kN}{m^2}\right)$$

$$U = 0.61\ \frac{kN}{m^2}$$

5. $\mathbf{U = 1.2D + 1.0E + L + 0.2S}$

$$U = 1.2\left(0.13374\ \frac{kN}{m^2}\right) + 1.0\left(0.13267\ \frac{kN}{m^2}\right) + 0.7\ \frac{kN}{m^2} + 0.2(0)$$

$$U = 0.993158\ \frac{kN}{m^2}$$

6. $\mathbf{U = 0.9D + 1.0W}$

$$U = 0.9\left(0.13374\ \frac{kN}{m^2}\right) + 1.0\left(0.0997\ \frac{kN}{m^2}\right)$$

$$U = 0.22\ \frac{kN}{m^2}$$

7. $\mathbf{U = 0.9D + 1.0E}$

$$U = 0.9\left(0.13374\ \frac{kN}{m^2}\right) + 1.0\left(0.13267\ \frac{kN}{m^2}\right)$$

$$U = 0.253\ \frac{kN}{m^2}$$

3.1.3 Elaboración del prediseño, diseño final y la simulación mediante softwares especializados

3.1.3.1 Prediseño en AutoCAD

El prediseño fue elaborado en el programa AutoCAD con el fin de dar forma a la estructura para posteriormente transferir el documento a otro programa en donde nos ayudara para la realización de la simulación estructural.

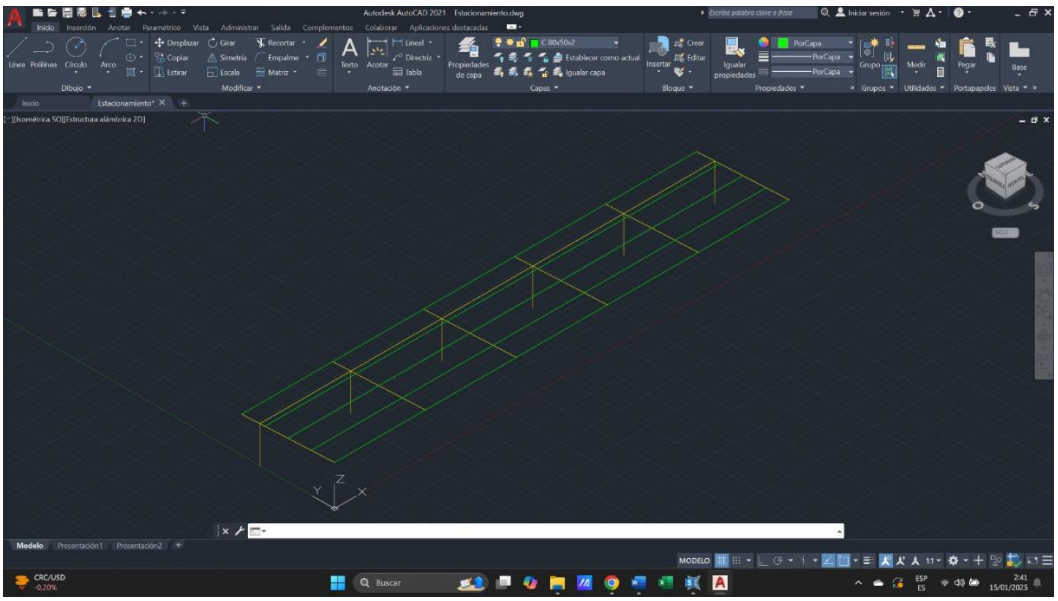


Figura 20. Vista isométrica del prediseño en AutoCAD

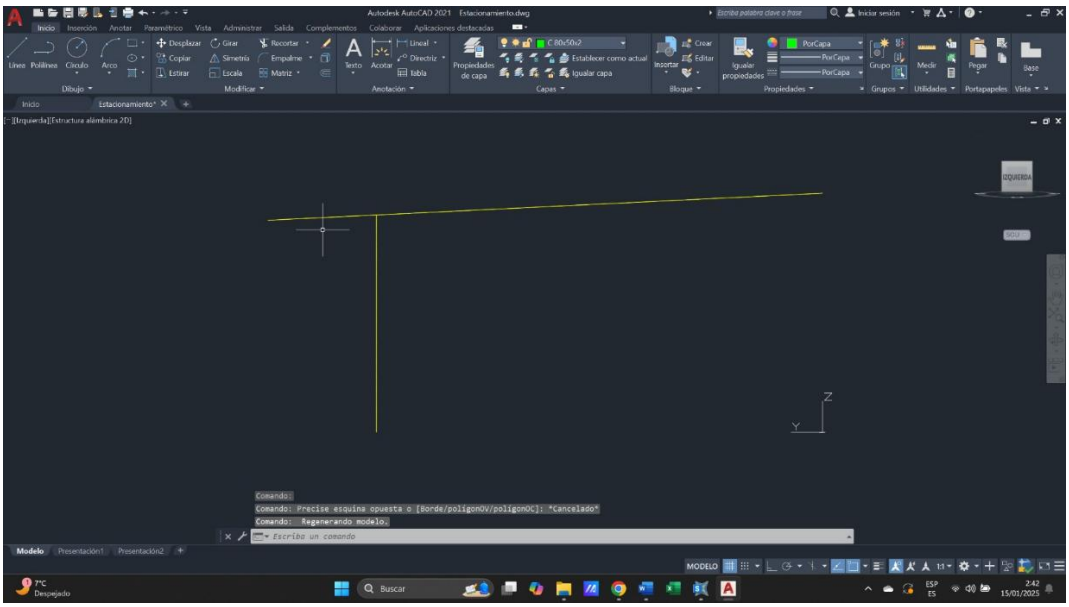


Figura 21. Vista lateral del prediseño en AutoCAD

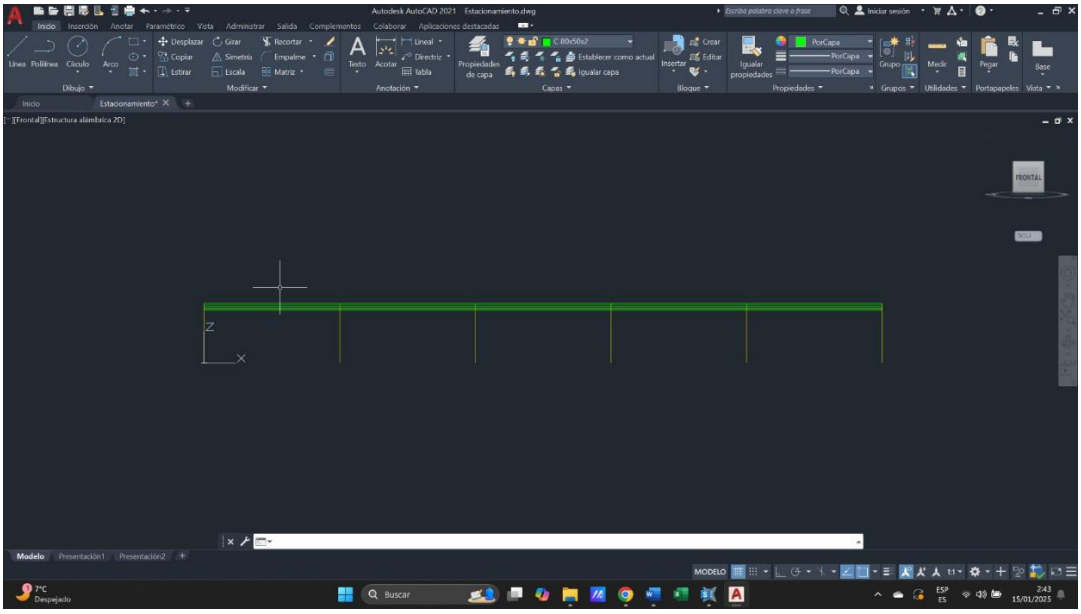


Figura 22. Vista posterior del prediseño en AutoCAD

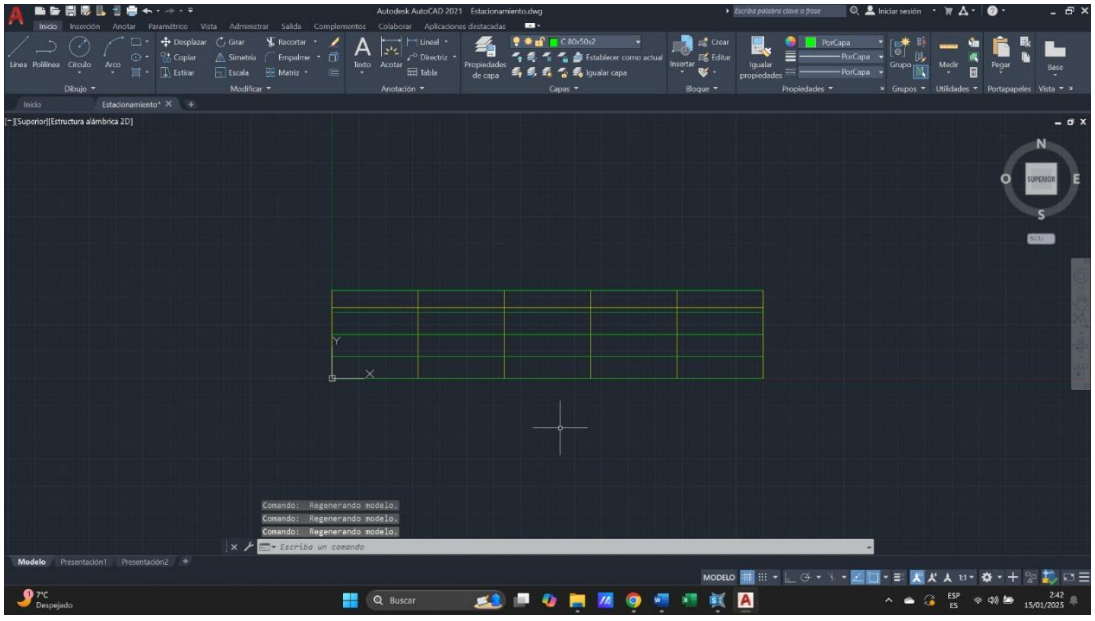


Figura 23. Vista superior del prediseño en AutoCAD

3.1.3.2 Prediseño y diseño final en ETABS

- **Diseño 1**

En el programa de diseño ETABS se procede a colocar la carga muerta y carga viva en una resultante distribuida sobre el techo del pórtico.

Caso 1, si se está seguro de que la conexión y la cimentación del pórtico estará hecho bajo estándares de calidad altos, como hormigón premezclado-Hormigonera, mantener el nodo de la base empotrada.

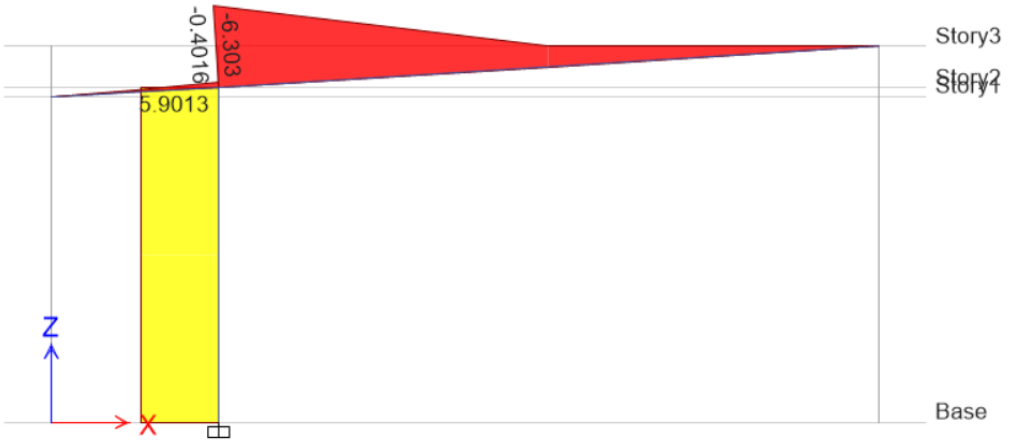


Figura 24. Aplicación de cargas sobre el techo del pórtico

Consecuencias de hacer un diseño con nodo empotrado y no hacer un buen proceso de fabricación del dado.



Figura 25. Consecuencias de no hacer un buen proceso de fabricación del dado

Caso 2, como este tipo de trabajos por lo general se hace con mezcla manual, se recomienda liberar el nodo es decir asignar una conexión articula de la base para calcular a un momento más alto y así garantizar que si falla el dado no se destruya total mente la estructura.

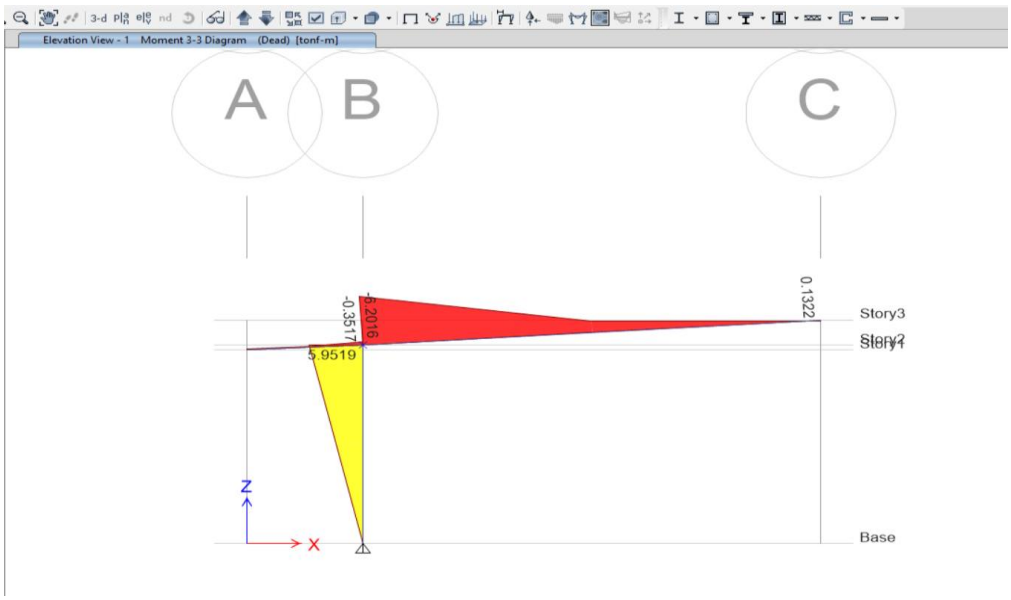


Figura 26. Conexión articulada de la base.

Con el prediseño realizado, procedemos a realizar el prediseño de vigas, columnas y correas.

- **Prediseño de vigas y columnas**

Calculamos un valor de Mu en ETABS de 6.4 Tn-m y calculando el momento resistente del perfil en base a su inercia del perfil elegido TC150x100x3, tenemos los siguientes resultados:

Inercia en x: $253\ \text{cm}^4$

Inercia en y: $473\ \text{cm}^4$

Sabemos qué Momento/Esfuerzo = I

$$\text{Momento} = I * F_y$$

Donde:

F_y del acero A36 es igual a $2529.87\ \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$

Reemplazando valores en la ecuación, tenemos el siguiente resultado:

$$\text{Momento} = \text{I} * \text{F}_\text{y}$$

$$\text{Momento} = 253 * \left(\frac{2523.87}{100000}\right)$$

$$\text{Momento} = 6.41\ \text{Tn} - \text{m}$$

Como sabemos que Mr ≥ Mu o Demanda/Capacidad, tenemos un resultado de:

$$\frac{\text{D}}{\text{C}} = \frac{6.4}{6.41}$$

$$\frac{\text{D}}{\text{C}} = 0.99$$

Es decir que D/C ≤ 1 es correcto el prediseño y los elementos seleccionados para columna y viga TC150x100x3 no fallaran bajo la interacción de dichas cargas.

- **Prediseño de correas**

Procedemos a calcular el ancho tributario en base a la longitud de la viga y el número de correas que existirá, asumiendo un número de correas de 3 cada 0.83 m con una longitud de 5m, obteniendo una demanda de:

$$\text{Carga viva} = 70\ \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Carga muerta} = 0$$

$$\text{Carga última} = 1.2\text{CM} + 1.6\text{CV}$$

$$\text{Cu} = 1.2(0) + 1.6(70)$$

$$\text{Cu} = 112\ \frac{\text{Kg}}{\text{m}^2}$$

Para la carga puntual utilizamos la siguiente ecuación:

$$\text{W} = \text{longuitud de la correa} * \text{ancho tributario} * \text{carga última}$$

$$\text{W} = 5 * 0.83 * 112$$

$$\text{W} = 467$$

Asumimos una correa TC100x50x3 con las siguientes características:

$$\text{Área} = 864\ \text{mm}^2$$

$$\text{Peso específico del acero} = 0.00000785\ \frac{\text{Kg}}{\text{mm}^3}$$

Con estos valores, reemplazamos en la ecuación del peso propio de la correa:

$$W_p = \text{Área} * \text{peso específico del acero}$$

$$W_p = 864\text{mm}^2 * 0.00000785\ \frac{\text{Kg}}{\text{mm}^3}$$

$$W_p = 0.00678\ \frac{\text{Kg}}{\text{mm}} = 6.78\ \frac{\text{Kg}}{\text{m}}$$

Con estos resultados el peso propio de la correa seria:

$$W_p = 6.78 * 5 * 1.2$$

$$W_p = 40.69$$

Procedemos a calcular el peso total:

$$W_{\text{total}} = W + W_p$$

$$W_{\text{total}} = 467 + 40.69$$

$$W_{\text{total}} = 507.69$$

Ahora calculamos la carga repartida en el elemento:

$$W_r = \frac{W_{\text{total}}}{\text{longuitud de las correas}}$$

$$W_r = \frac{507.69\frac{\text{Kg}}{\text{m}}}{5\text{m}}$$

$$W_r = 101.47$$

Tenemos que:

$$M_u = W_r * \frac{\text{longuitud}^2}{8}$$

$$M_u = 101.47 * \left(\frac{5^2}{8}\right)$$

$$M_u = 317.1\text{Kg} - \text{m} = 0.32\ \text{T} - \text{m}$$

Este valor es el momento resistente que recibiría cada correa.

A continuación, calculamos la capacidad del perfil seleccionado, al ser un perfil laminado en caliente seria:

$$M_s = 0.9 * F_y * S_x$$

$$M_s = 0.9 * 2529.87 \frac{Kg}{cm^2} * 14.98 cm^3$$

$$M_s = 34097.82\ Kg - cm = 0.34\ Tn - m$$

Como sabemos que $M_s \geq M_u$ o Demanda/Capacidad, tenemos un resultado de:

$$\frac{D}{C} = \frac{0.32}{0.34}$$

$$\frac{D}{C} = 0.94$$

$$\frac{D}{C} = 0.99$$

Es decir que D/C ≤ 1 es correcto el prediseño y los elementos seleccionados para las correas CU100x50x3 no fallaran bajo la interacción de dichas cargas.

Con estos valores realizamos el modelo en ETABS para poder verificar que nuestro pórtico trabaja de manera correcta, en este caso ya colocamos los nodos empotrados en la base ya que tendrá su respectiva placa base anclada a un dado de hormigón.

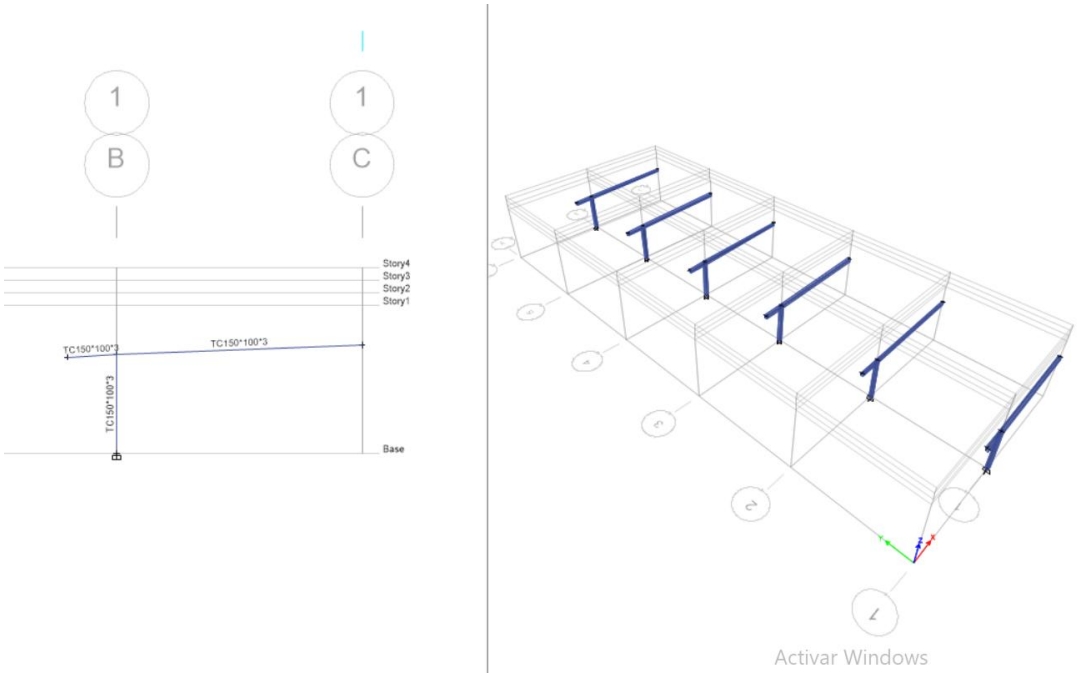


Figura 27. Modelo en Etabs Pórtico

A continuación, liberamos todos los nodos de momento e ingresamos la sección calculada:

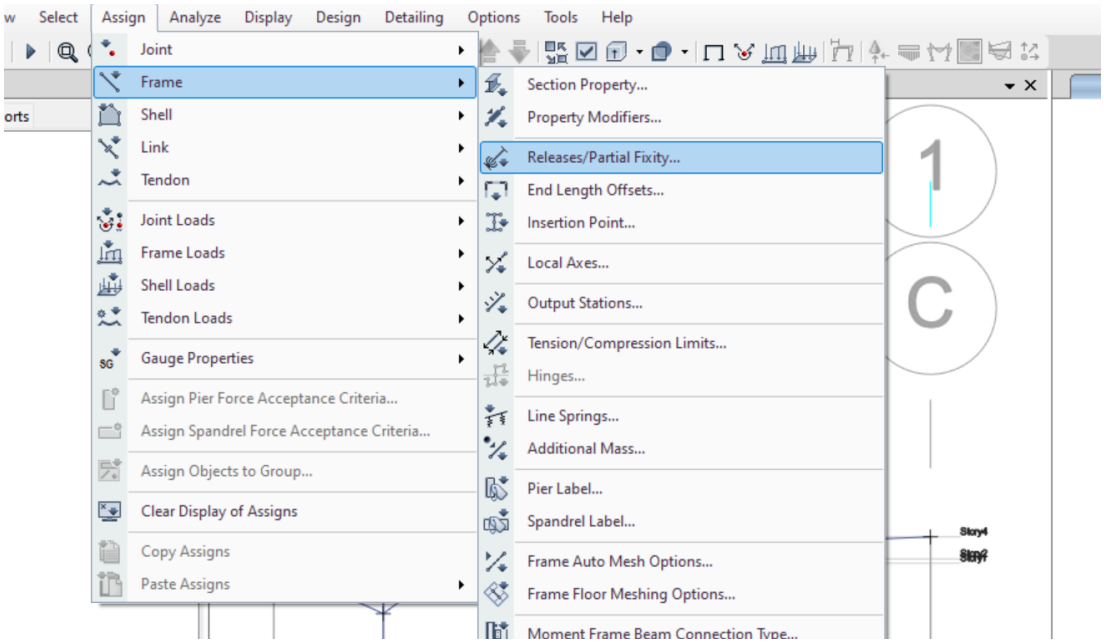


Figura 28. Liberación de nodos.

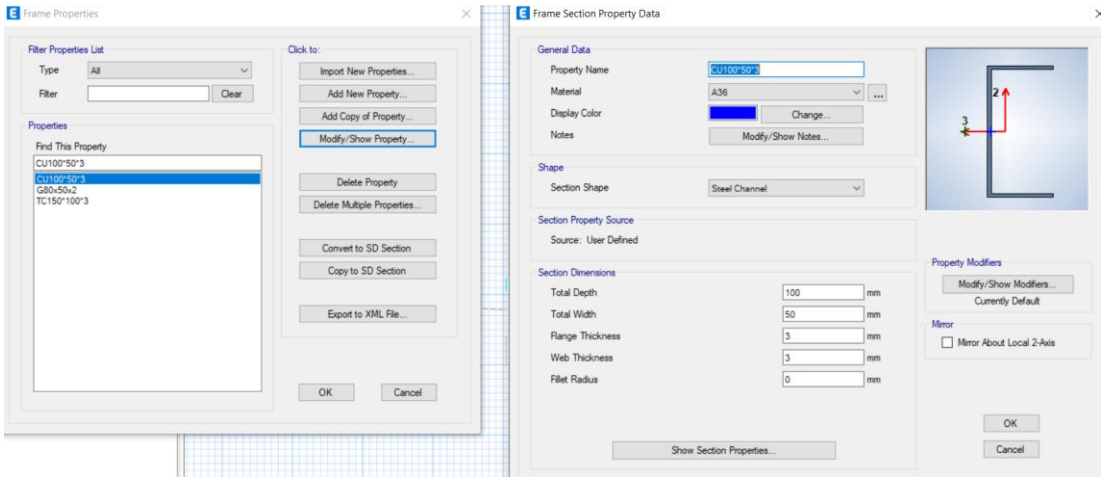


Figura 29. Sección calculada.

Después de ingresar las secciones, colocamos la sección a cada elemento:

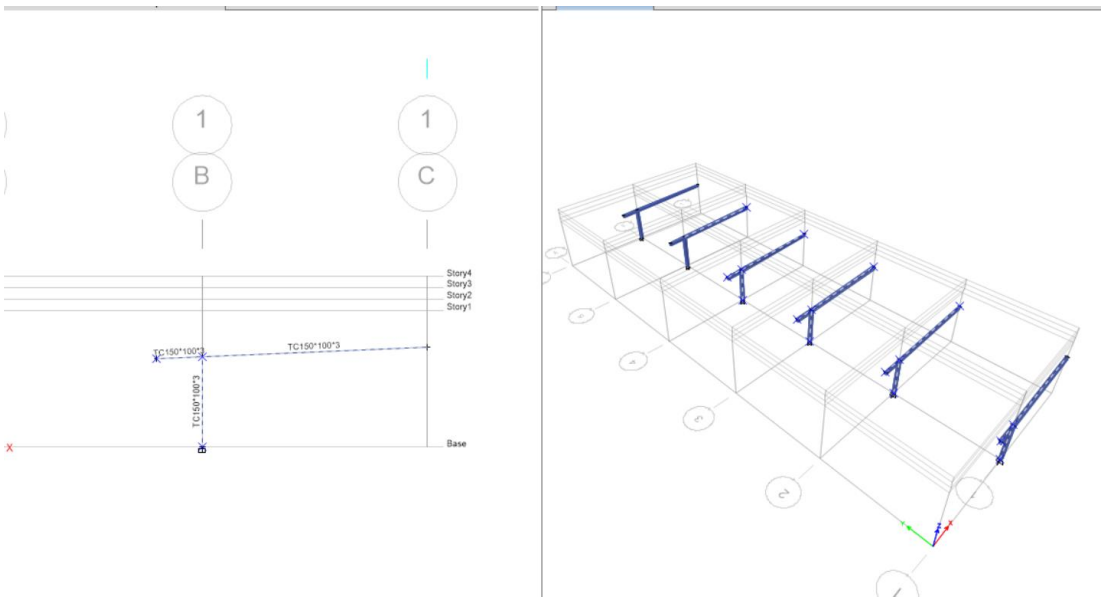


Figura 30. Asignación de sección a cada elemento.

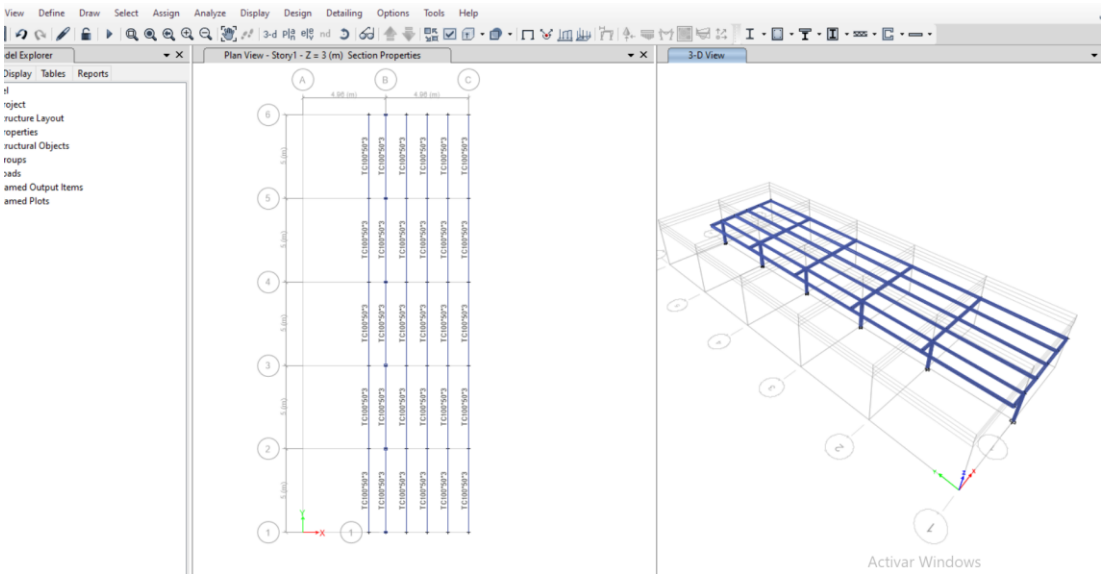


Figura 31. Vista superior con asignación de secciones.

Aplicamos la carga viva en techo y corremos sin aplicar sismo, esto es para ver cómo reacciona el prediseño:

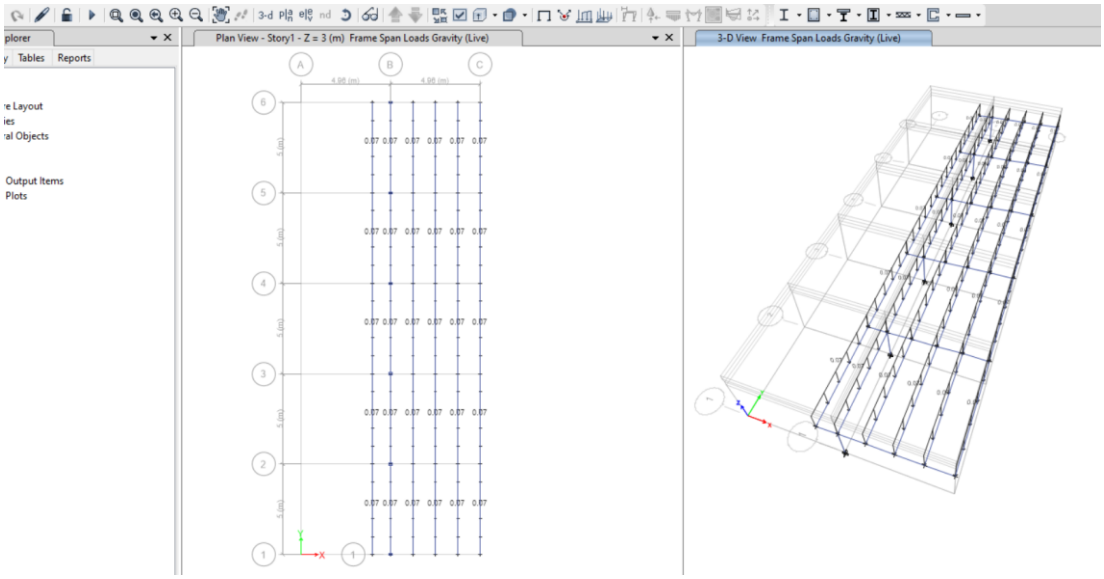


Figura 32. Aplicación de carga viva

Con estos parámetros podemos analizar los resultados, notando que el pórtico trabaja de manera correcta, ante la actuación de cargas de servicio y sismo. De igual manera podemos observar en el prediseño el factor de seguridad es 1 por lo que al momento de ingresar las combinaciones de carga y el cortante basal del sismo las secciones no fueron suficientes, obteniendo finalmente los nuevos perfiles.

Columnas: TC200x200x4

Vigas: TC200x100x4

Correas: TC100x50x4

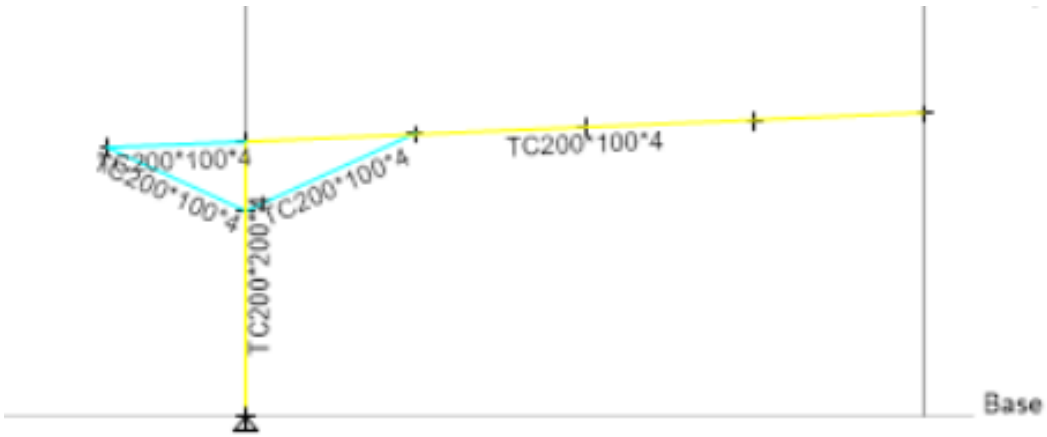


Figura 33. Pórtico trabajando de manera correcta.

Con estos nuevos perfiles determinamos la nueva carga muerta que soportará la estructura:

Tabla 14. Peso corregido de la estructura final.

Componente	**Tipo de perfil**	**Peso (Kg/m)**	**Cantidad**	**Long. (m)**	**Peso unitario (Kgf)**	**Peso total (Kgf)**
Columna	TC200x200x4	24.29	6	2	48.58	291.48
Viga	TC200x100x4	18.01	6	5.10	91.851	551.106
Correas	TC100x50x4	9.11	25	4.85	44.1835	1104.5875
Diagonales	TC200x100x4	18.01	5	1.35	24.3135	121.5675
Diagonales	TC200x100x4	18.01	5	1	18.01	90.05
Dipanel DP5 Galvalume	1m x 5.1m x 0.25mm	2.40	25	5.10	12.24	306
TOTAL					294.032	2739.059

Con estos nuevos valores calculamos la carga muerta nuevamente:

$$\mathrm{D} = 2739.0585$$

$$\mathrm{D} = \frac{2739.0585\mathrm{Kg}}{127.5\ \mathrm{m^2}} * \frac{9.81\left(\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s^2}}\right)}{1000}$$

$$\mathrm{D} = 0.211\ \left(\frac{\mathrm{kN}}{\mathrm{m^2}}\right)$$

Reemplazando este valor en la combinación más crítica tenemos:

1. $\mathbf{U = 1.2D + 1.6(L_r\ o\ S\ o\ R) + (L\ o\ 0.5W)}$

$$\mathrm{U} = 1.2\left(0.211\ \frac{\mathrm{kN}}{\mathrm{m^2}}\right) + 1.6\left(0.7\frac{\mathrm{kN}}{\mathrm{m^2}}\right) + 0.5\left(0.0997\frac{\mathrm{kN}}{\mathrm{m^2}}\right)$$

$$\mathrm{U} = \ 1.42305\frac{\mathrm{kN}}{\mathrm{m^2}}$$

Este valor será utilizado para el análisis de viga columna.

- **Modificación diseño 1**

En base al anterior diseño se opta por utilizar diagonales y aumentar el número de correas, con esta modificación tenemos:

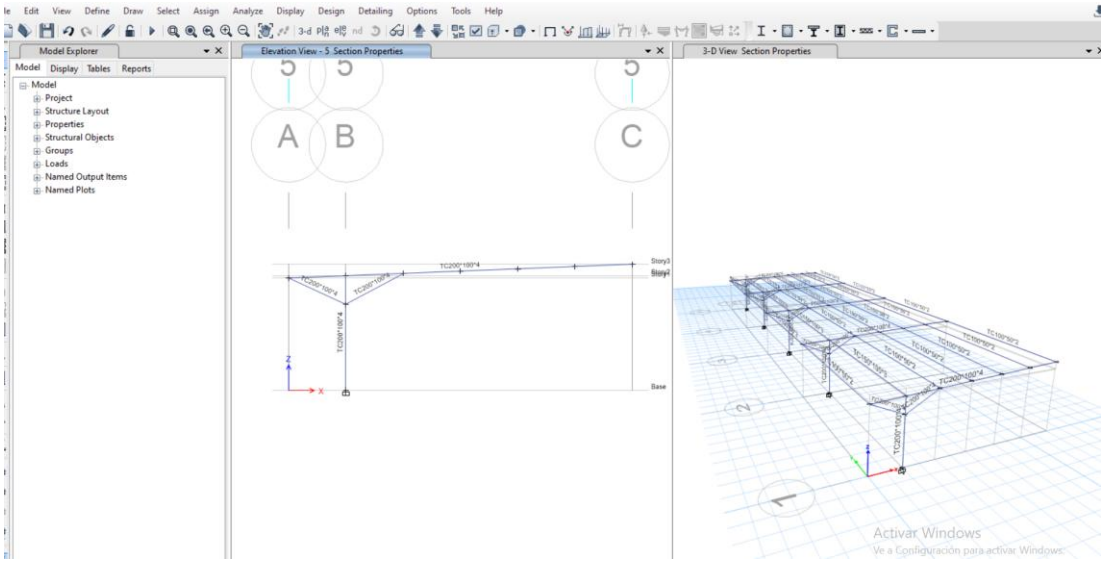


Figura 34. Rediseño de la cubierta.

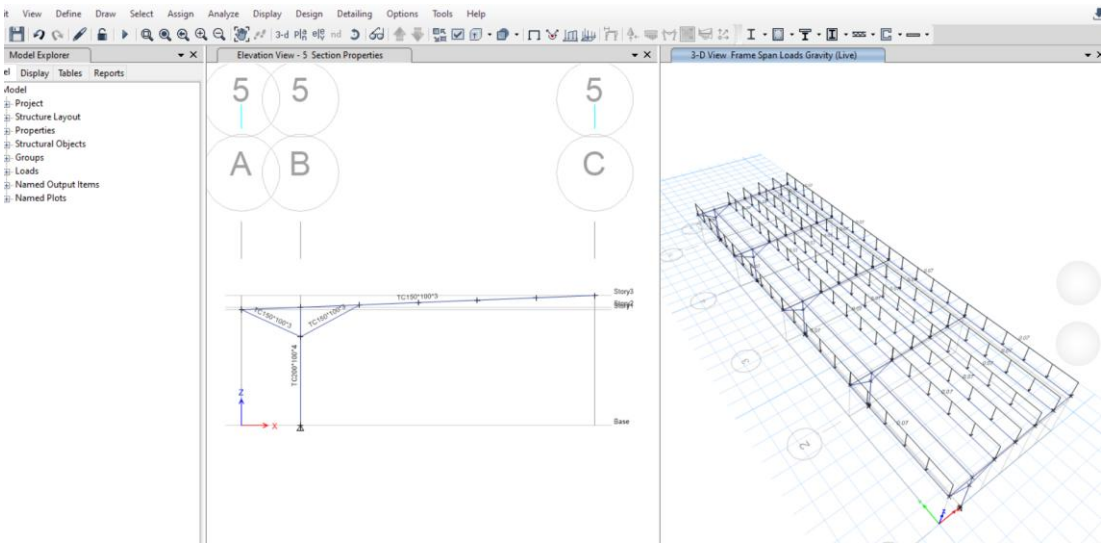


Figura 35. Aplicación de carga.

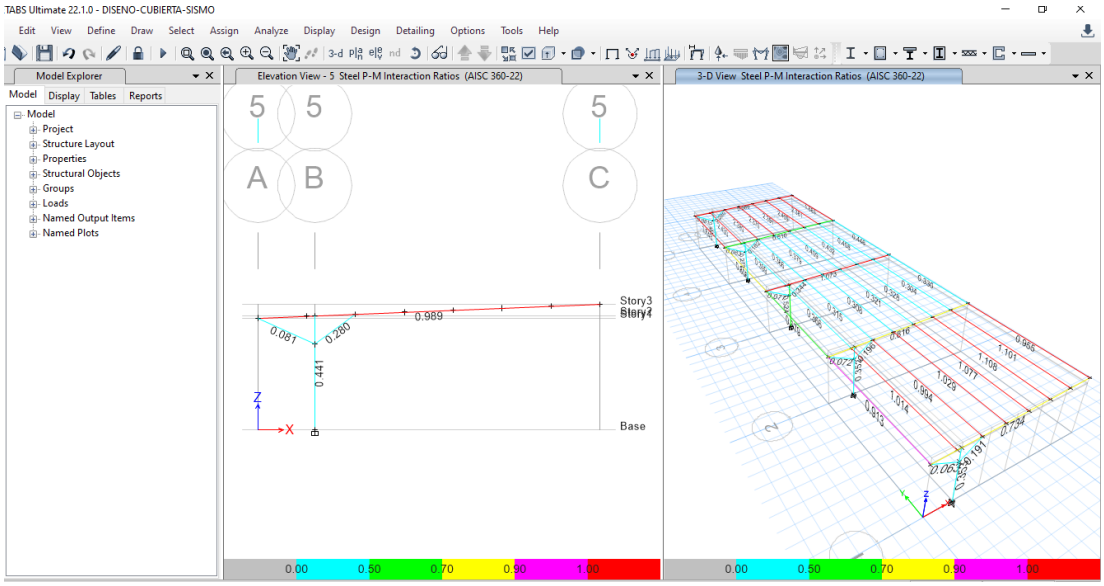


Figura 36. Resultados primer análisis.

Procedemos, con la colocación del sismo con el factor de cortante basal calculado.

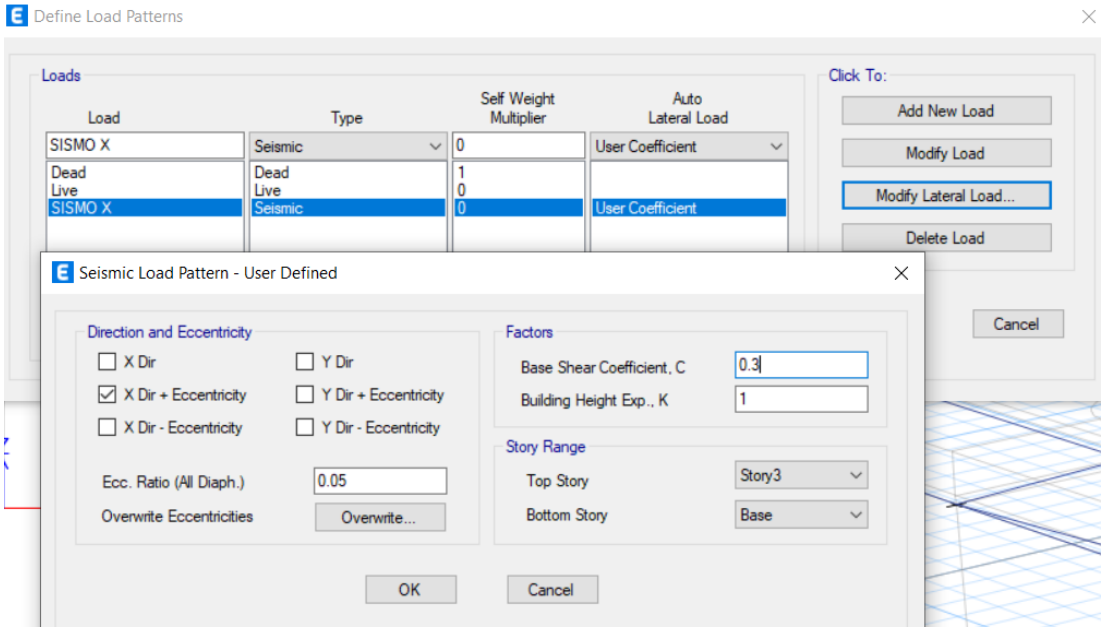


Figura 37. Carga de sismo con factor de cortante basal calculado.

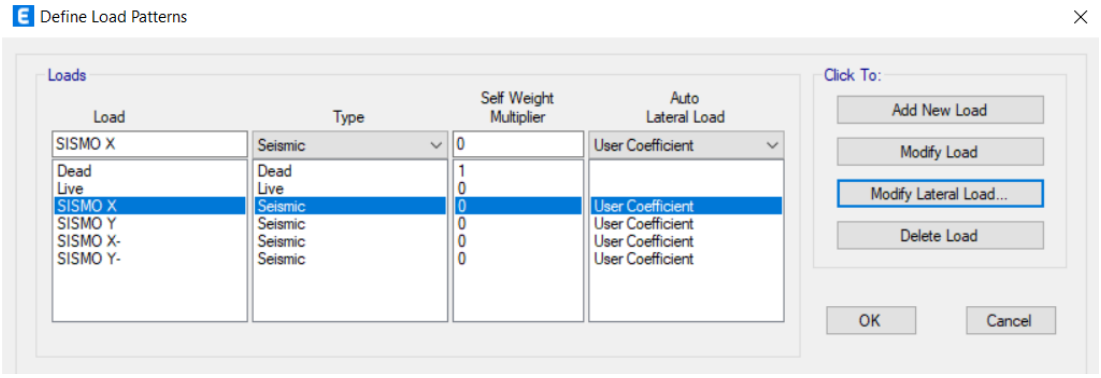


Figura 38. Sismo en x.

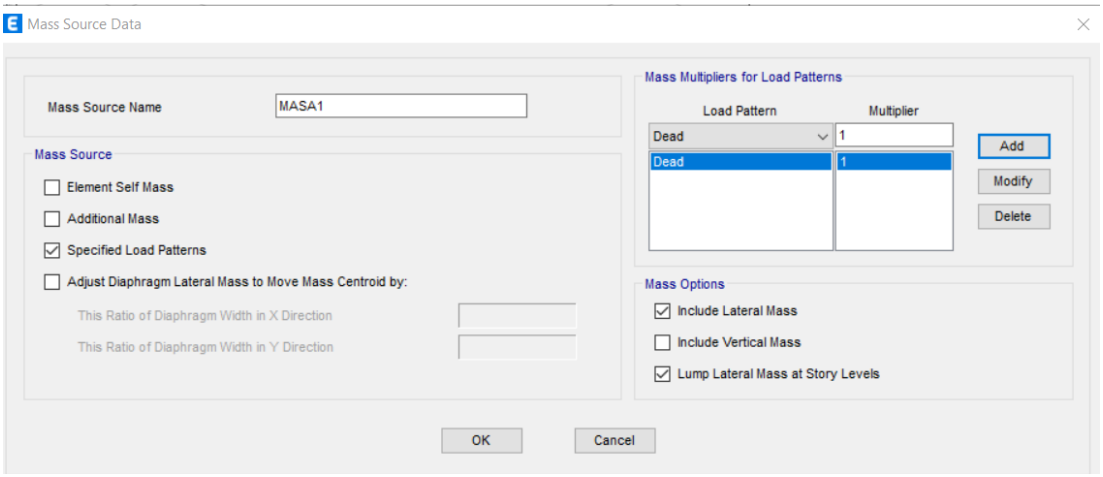


Figura 39. Definición de la masa.

A continuación, configuramos los parámetros a analizar, configuramos en OMF que significa marco de momento ordinario, este tipo de configuración es utilizado en edificios de acero que requieren un desempeño sísmico moderado y la demanda/capacidad en 1.

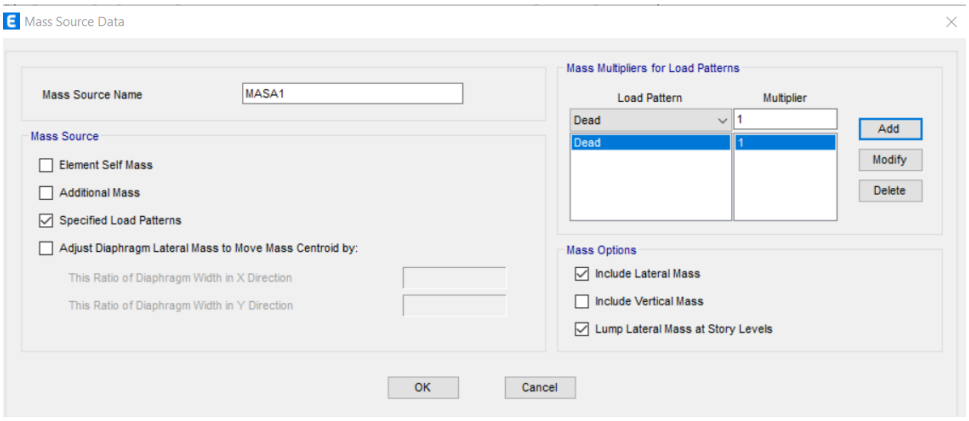


Figura 40. Parámetros para analizar OMF.

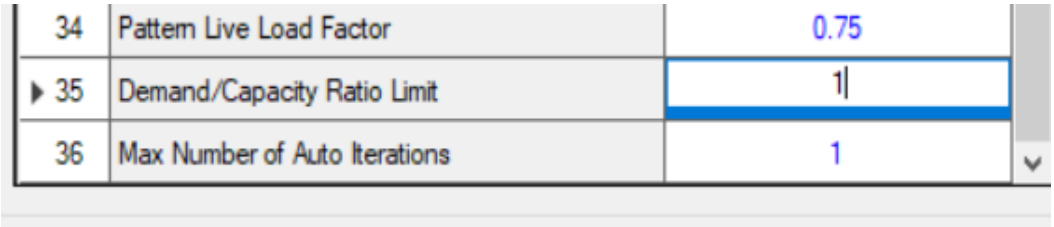


Figura 41. Demanda/Capacidad.

Una vez realizada la asignación corremos el programa, centrándonos en un pórtico central, procedemos a realizar el análisis estructural.

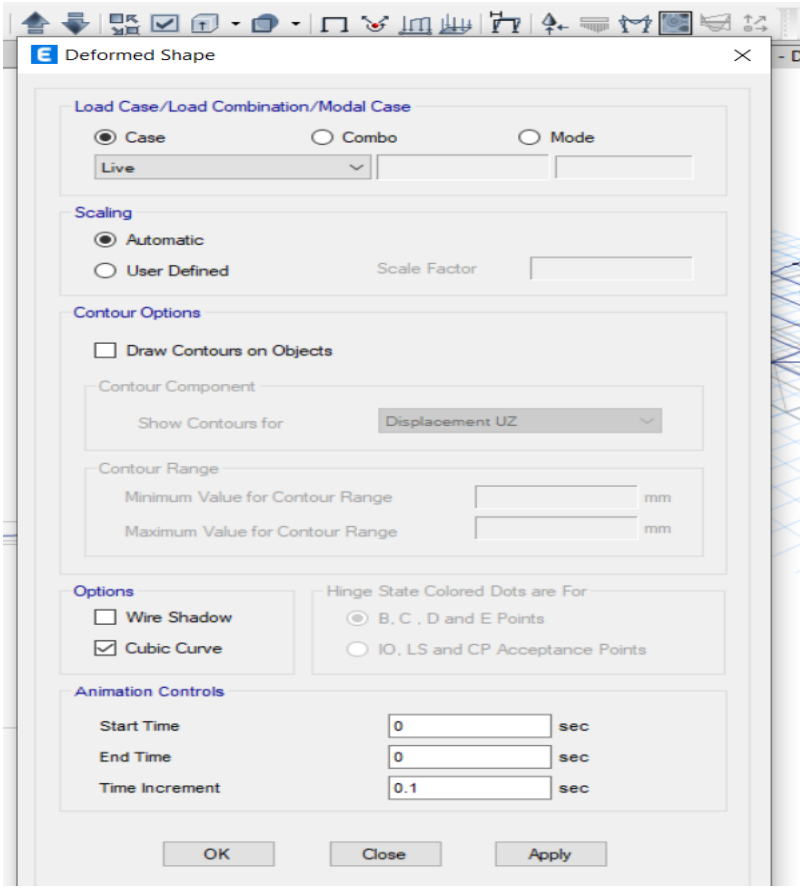


Figura 42. Caso de carga.

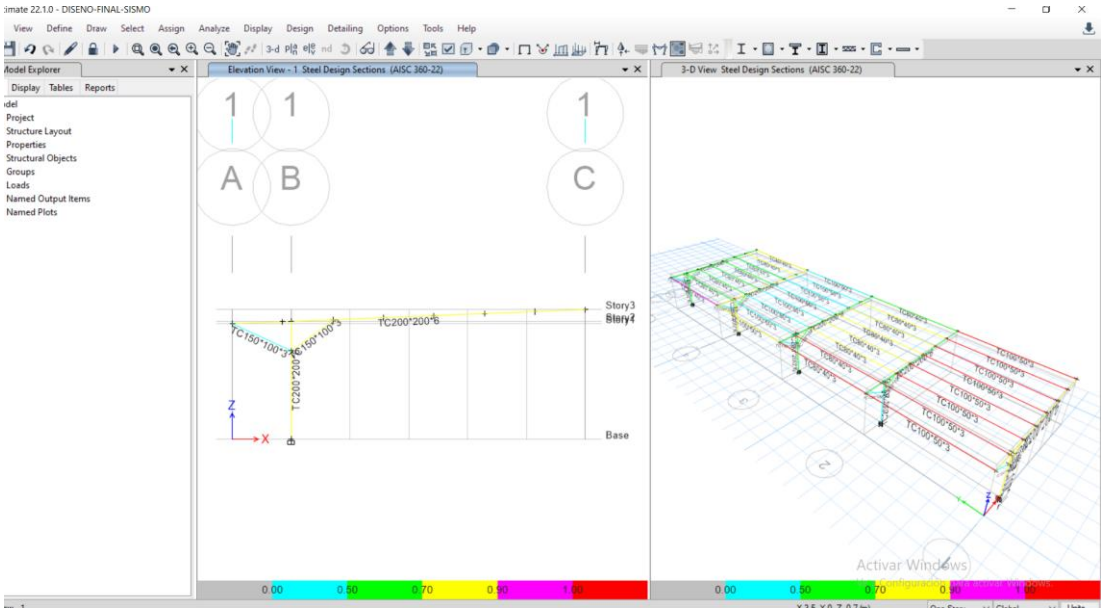


Figura 43. Chequeamos Demanda/capacidad.

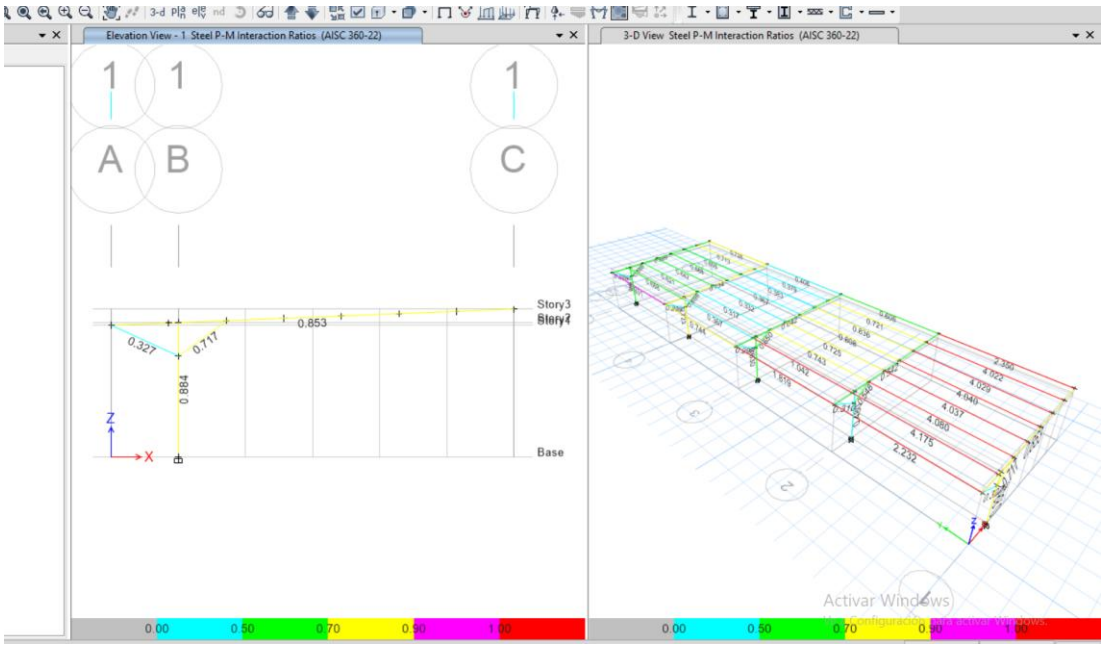


Figura 44. Resultados.

Podemos observar que tenemos los valores correctos, a excepción de unos elementos que se deben reemplazar.

Filter: None

	Object Type	Material	Weight tonf	Number Pieces	Number Studs
▶	Column	SS400	0,20865	2	
	Column	A36	0,19692	4	
	Beam	A36	3,33952	47	0

Figura 45. Peso Total diseño 1.

- **Cálculo de deformaciones máximas y desplazamientos laterales.**

Para deformación máxima nos vamos en el criterio máximo para estructuras con la flecha total después de la interacción de la carga que sería L/240, como tenemos un valor de longitud de 5 m dividido para 240, sería igual a 21.3 mm máximos de desplazamiento.

Tabla N° 02: DEFLEXIONES MÁXIMAS PERMITIDAS POR EL CÓDIGO DEL ACI (ACI-TABLA 9.5.B.)

TIPO DE MIEMBRO	DEFLEXIÓN QUE SE HA DE CONSIDERAR	LÍMITE DE LA DEFLEXIÓN
1. Techos llanos que no soportan ni están ligados a elementos no estructurales que puedan ser dañados por deflexiones excesivas.	Deflexión inmediata debido a carga viva	$L_n/180$
2. Pisos que no soportan carga, o fijos a elementos no estructurales que es posible sean dañados por grandes deflexiones	Deflexión inmediata debido a carga viva	$L_n/360$
3. Techos o pisos que soportan o están ligados a elementos no estructurales que puedan ser dañados por deflexiones excesivas.	Parte de la flecha total que ocurre después de la colocación de los elementos no estructurales.	$L_n/480$
4. Techos o pisos que soportan o están ligados a elementos no estructurales que no se dañan con deflexiones excesivas		$L_n/240$

Figura 46. Deflexiones máximas permitidas [21].

Observamos que el valor máximo de deflexión en el punto más crítico de nuestra estructura es:

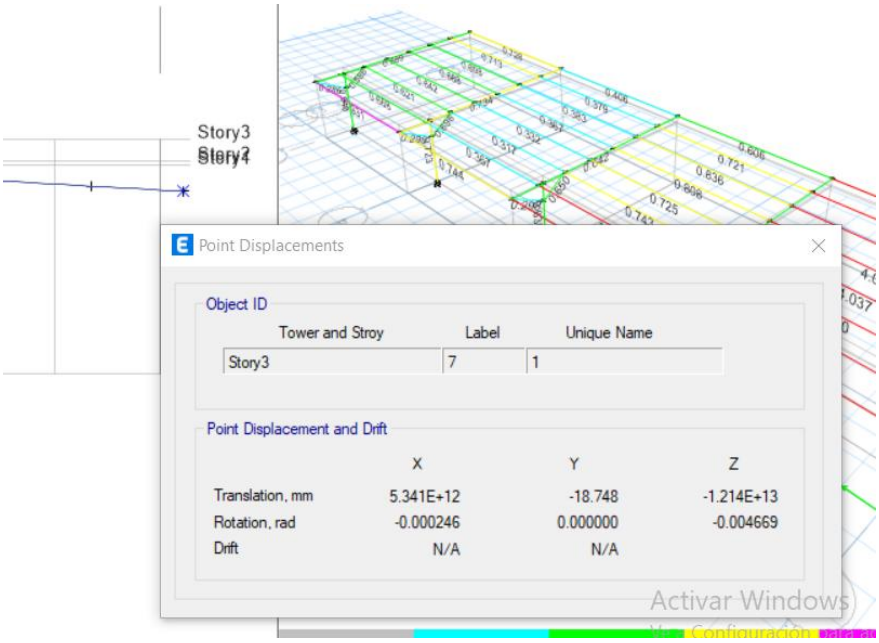


Figura 47. Valores de deflexión en el punto más crítico.

El punto más crítico tiene un desplazamiento en milímetros de 1.214*10+13, por lo que notamos que existe una deformación excesiva en ese punto.

Desplazamientos laterales por sismo en X y Y.

La norma AISC [22], recomienda que el desplazamiento mínimo en estructuras sea del 2.5% de la altura del elemento, sin embargo, se recomienda un valor máximo de desplazamiento del 2% de la altura:

$$\text{Desplazamiento} = \frac{2\% * 2000\ \text{mm}}{100\%}$$

$$\text{Desplazamiento} = 40\text{mm}$$

Para el desplazamiento en X, analizamos el nodo de columnas ya que son las más críticas, obteniendo un valor de desplazamiento en x de 2.533*10+12, lo que es muchísimo más al máximo establecido por la norma.

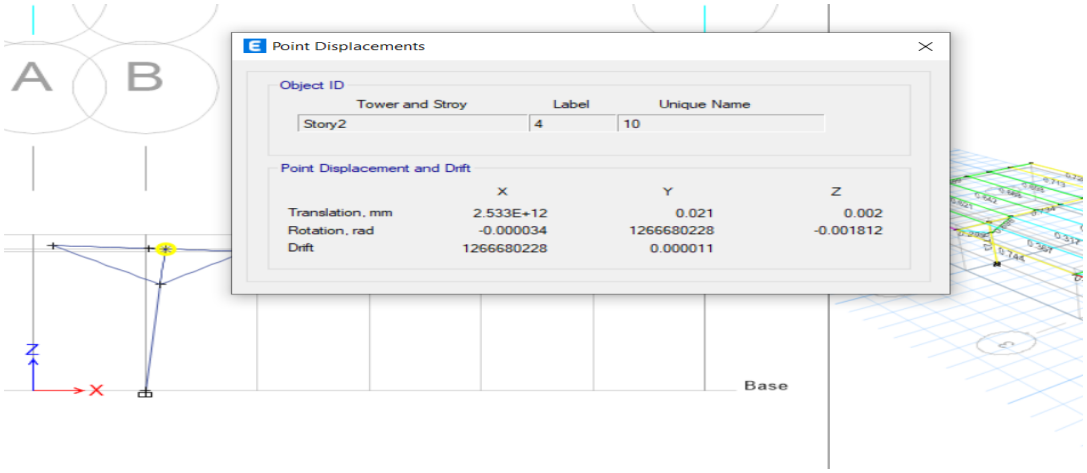


Figura 48. Valor de desplazamiento.

Para el desplazamiento en Y, analizamos el nodo de columnas ya que son las más críticas, obteniendo un valor de desplazamiento en Y de 0.486 mm, por lo que tenemos que en ese sentido si cumple el desplazamiento.

Como conclusiones de estos análisis tenemos que:

- Los elementos en análisis estático pasan en su gran mayoría, para los elementos que no pasan se procederá a aumentar su sección y capacidad, es decir cambiar de sección al elemento.
- La deflexión fue demasiado excesiva en el punto más crítico.
- Desplazamiento excesivo en el sentido x.
- Desplazamiento correcto en el sentido y.

• Diseño 2

Se realiza un nuevo diseño disminuyendo el número de correas, colocando tensores y dejando una sola diagonal de mayor tamaño con estos cambios realizamos el análisis estático, podemos ver que el criterio de demanda/capacidad es aceptable, a pesar de que se encuentra a un 50%, debido al sismo no se puede elevar esa capacidad ya que la estructura podría fallar en la interacción del sismo.

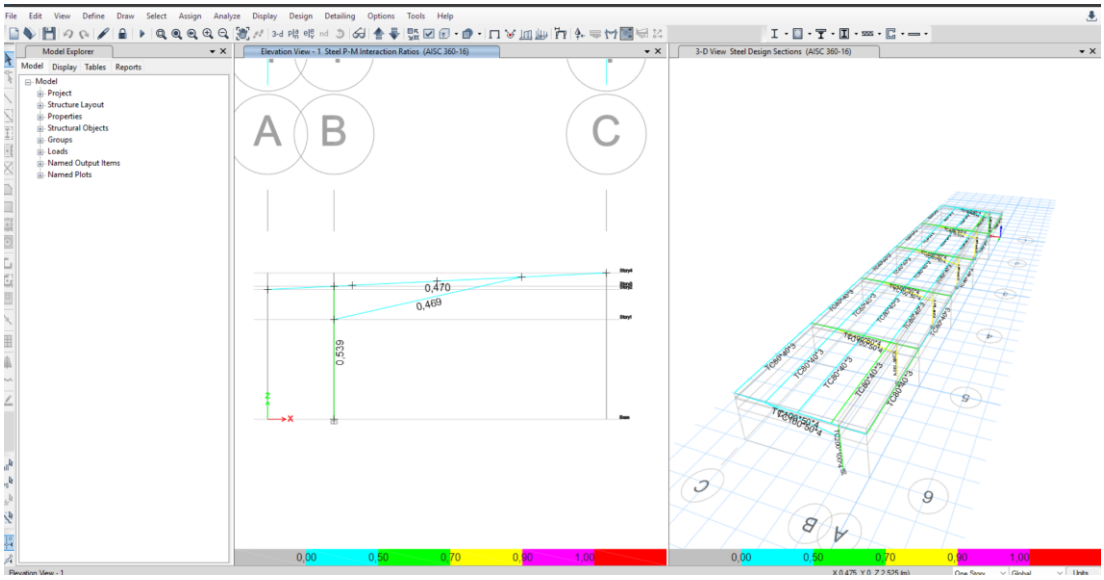


Figura 49. Análisis estático diseño 3.

Análisis de deflexión

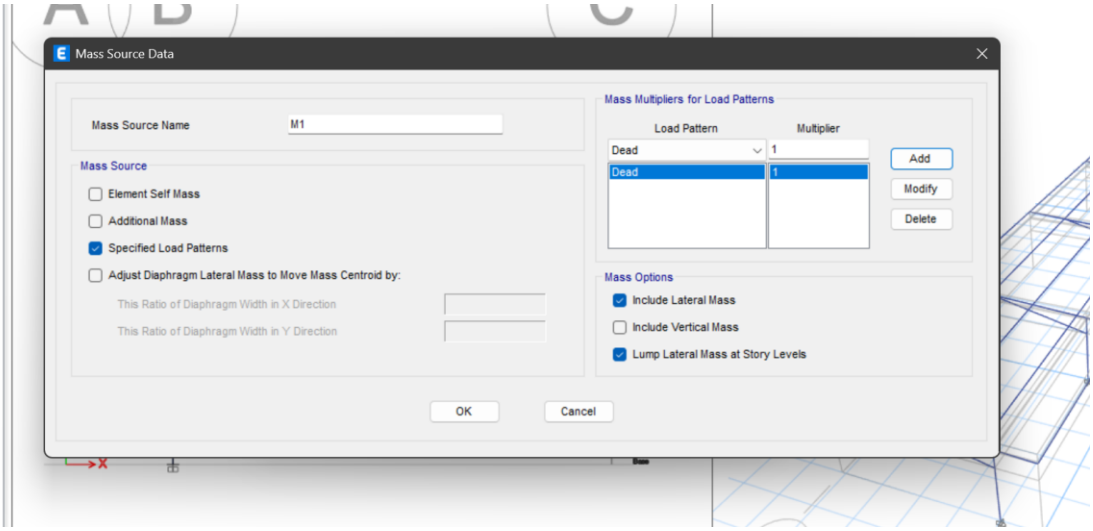


Figura 50. Masa propia de la estructura.

Para evitar el desplazamiento excesivo del pórtico colocamos tensores de 14 mm.

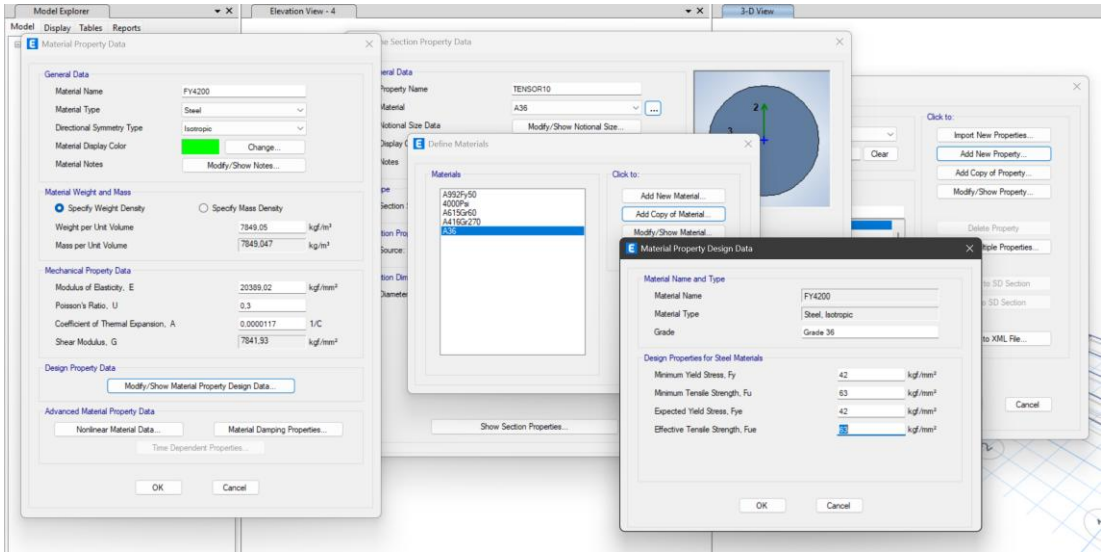


Figura 51. Creación de tensores.

Como se puede observar el valor de deflexión en el punto más crítico tiene un valor de 21.16 mm, por lo cual este valor es aceptable ya que el valor máximo de deflexión calculado es de 21.3 mm.

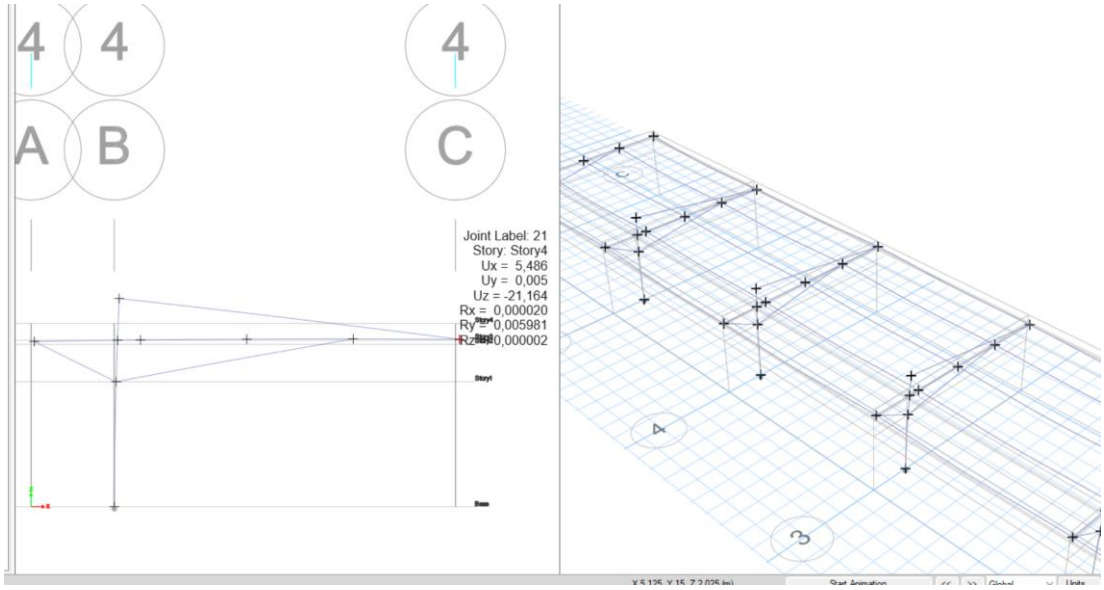


Figura 52. Valor de deflexión.

Desplazamiento en x

El desplazamiento en x es aceptable, ya que el desplazamiento máximo es de 40 mm.

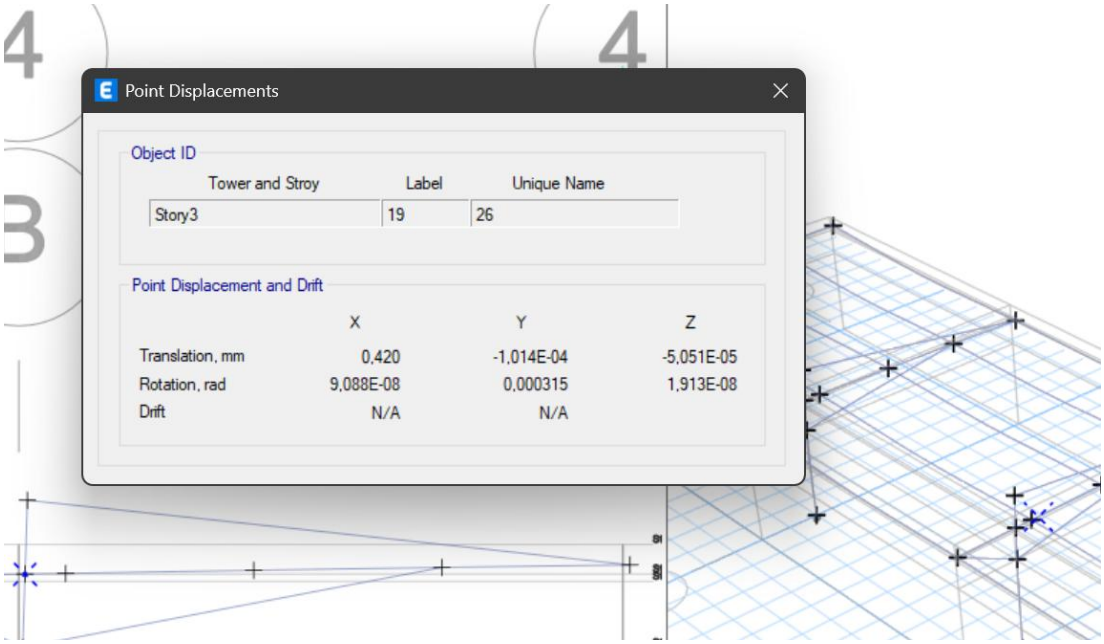


Figura 53. Desplazamiento en x.

Desplazamiento en y

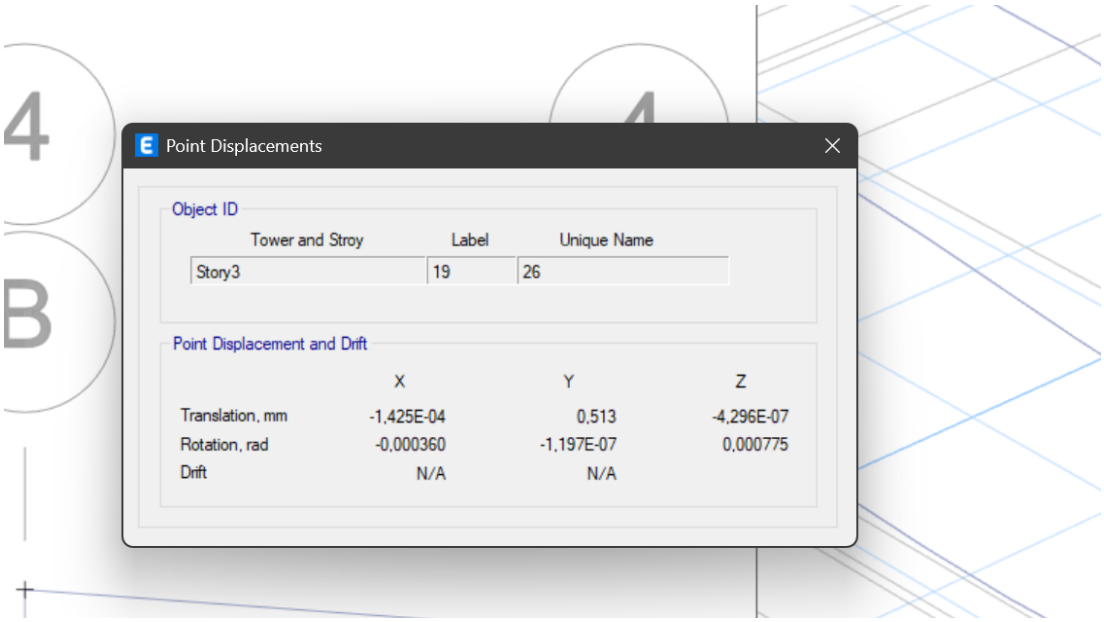


Figura 54. Desplazamiento en y.

Como conclusiones de estos análisis tenemos que:

- Los elementos en análisis estático cumplen con el criterio de demanda capacidad.
- La deflexión en el pórtico más crítico es aceptable.
- Desplazamiento correcto en el sentido x.
- Desplazamiento correcto en el sentido y.

Elementos utilizados en el diseño 3.

Columna: 250x250x5

Viga: 200x200x4

Diagonal mayor: 100x50x4

Diagonal menor: 100x50x4

Correas: 80x40x3

Tensor techo pórticos centrales: Varilla de diámetro 14 mm.

Pórticos centrales

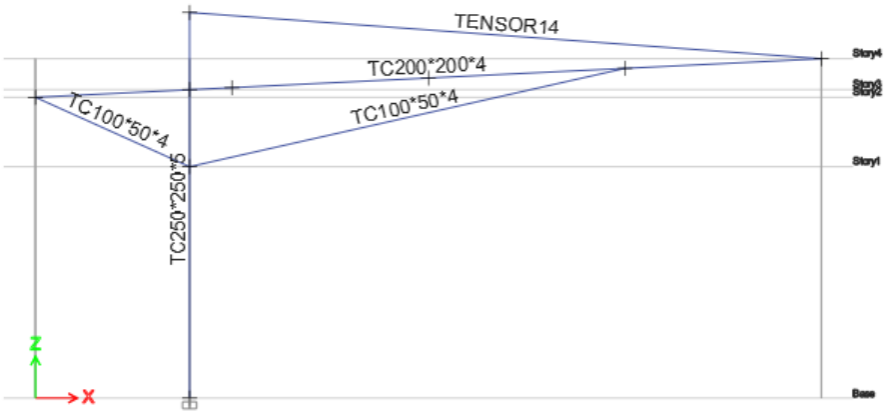


Figura 55. Pórticos centrales.

Pórticos extremos

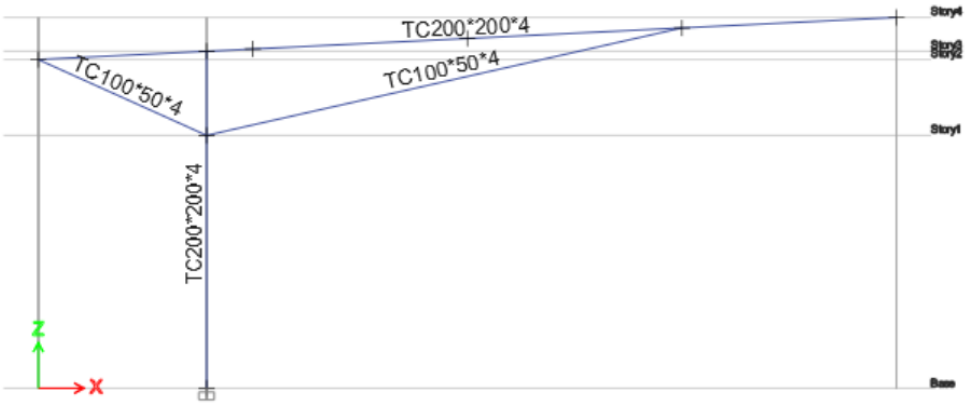


Figura 56. Pórticos extremos.

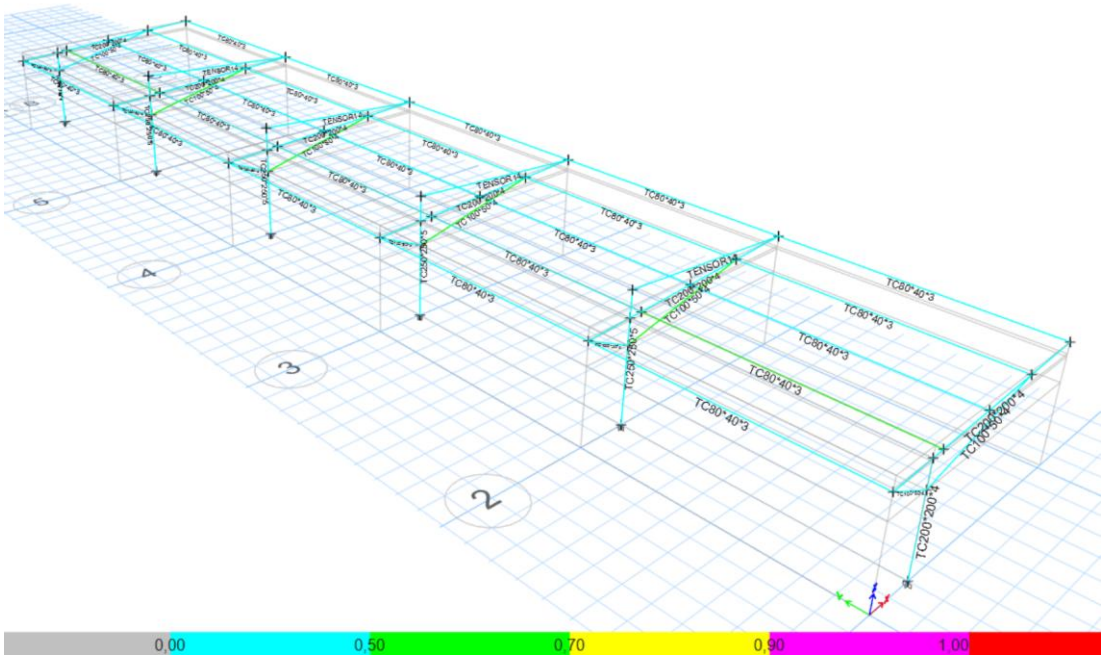
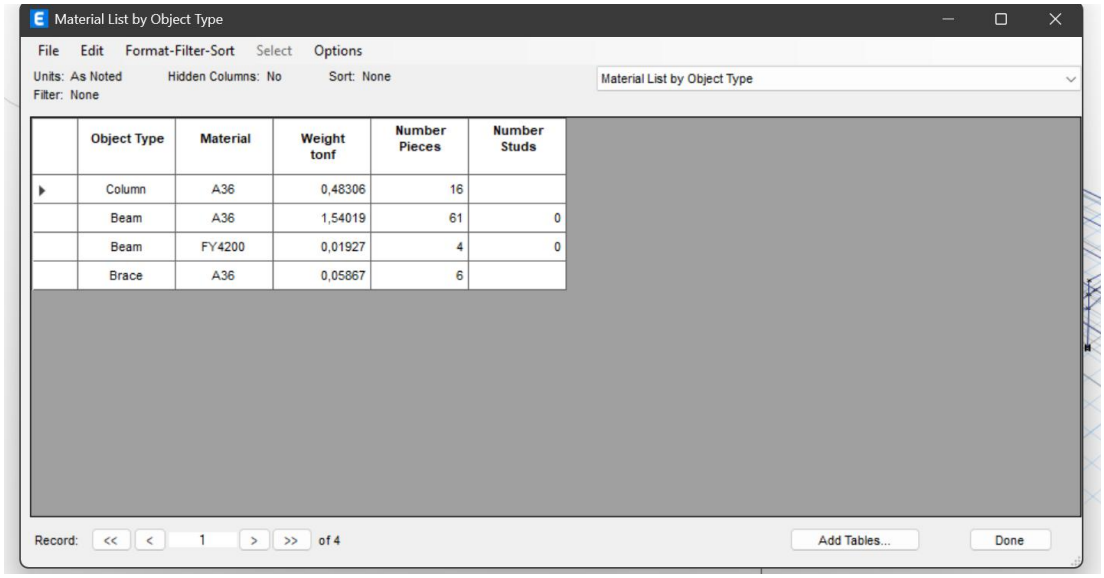


Figura 57. Diseño 3 final.



	Object Type	Material	Weight tonf	Number Pieces	Number Studs
▸	Column	A36	0,48306	16	
	Beam	A36	1,54019	61	0
	Beam	FY4200	0,01927	4	0
	Brace	A36	0,05867	6	

Figura 58. Peso de la estructura.

3.1.3.3 Diseño 3 para optimización de recursos.

Con todos los pasos realizados anteriormente, rediseñamos la estructura colocando columnas en forma de V con celosía para menorar el peso y optimizar recursos, verificando que los criterios de demanda/capacidad, deflexión y desplazamientos en x y y cumplan con lo establecido anteriormente.

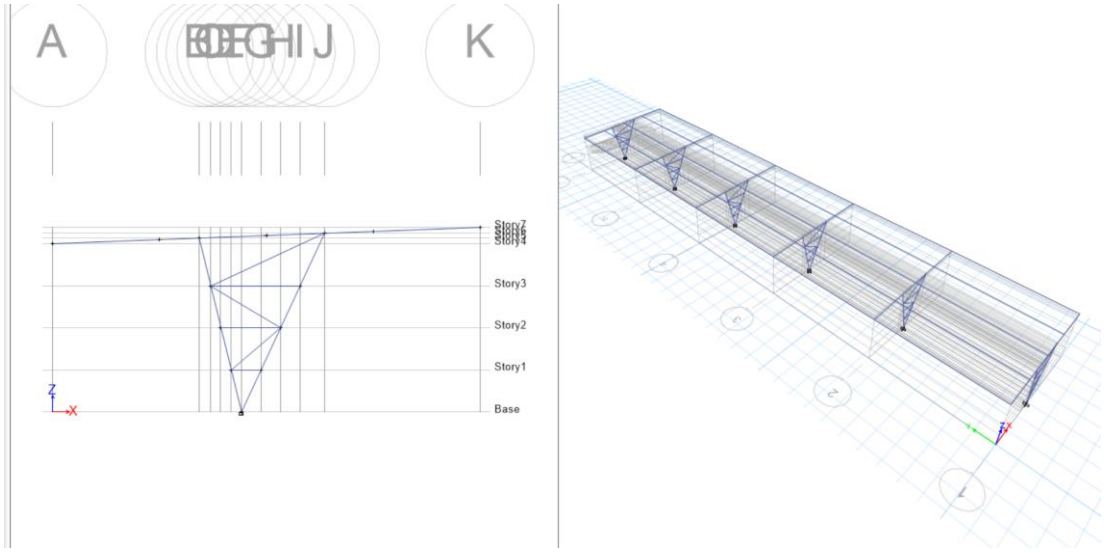


Figura 59. Rediseño de la cubierta.

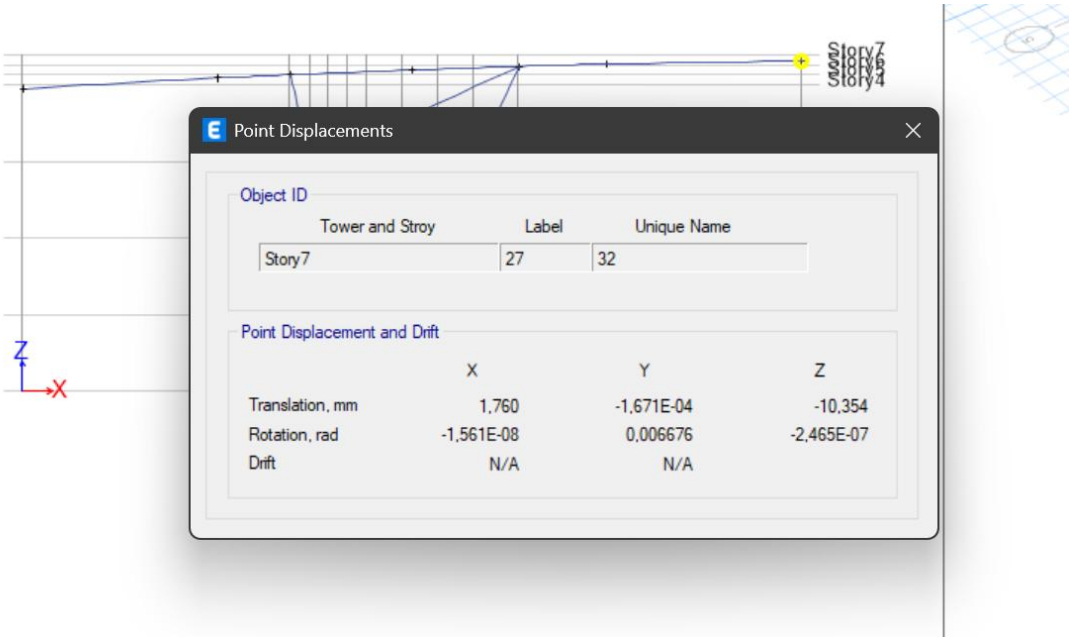


Figura 60. Valor de deflexión más crítico.

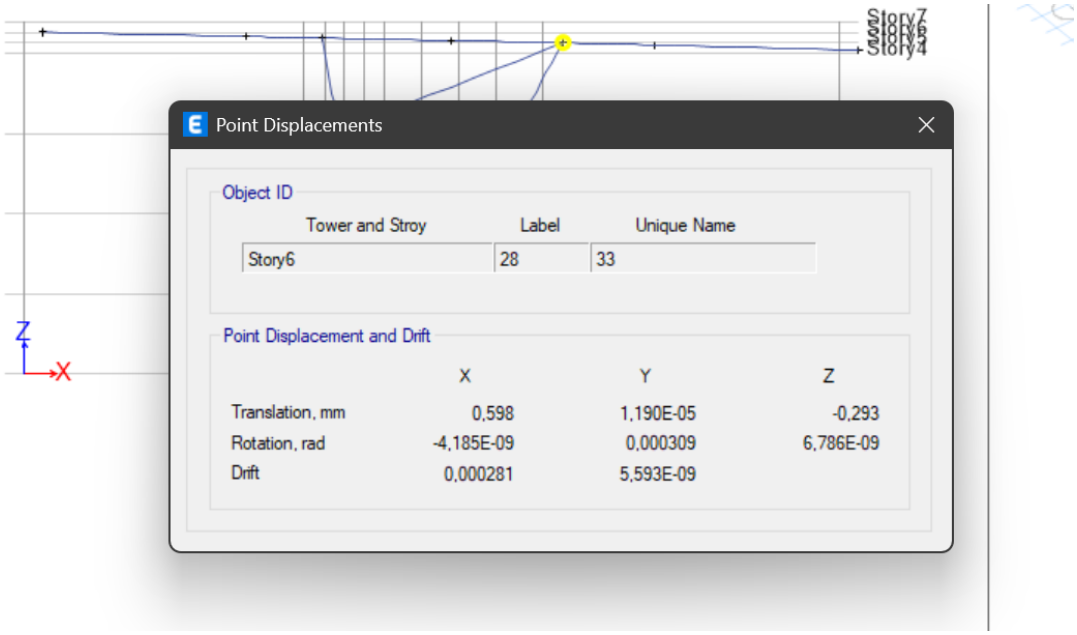


Figura 61. Desplazamiento en x.

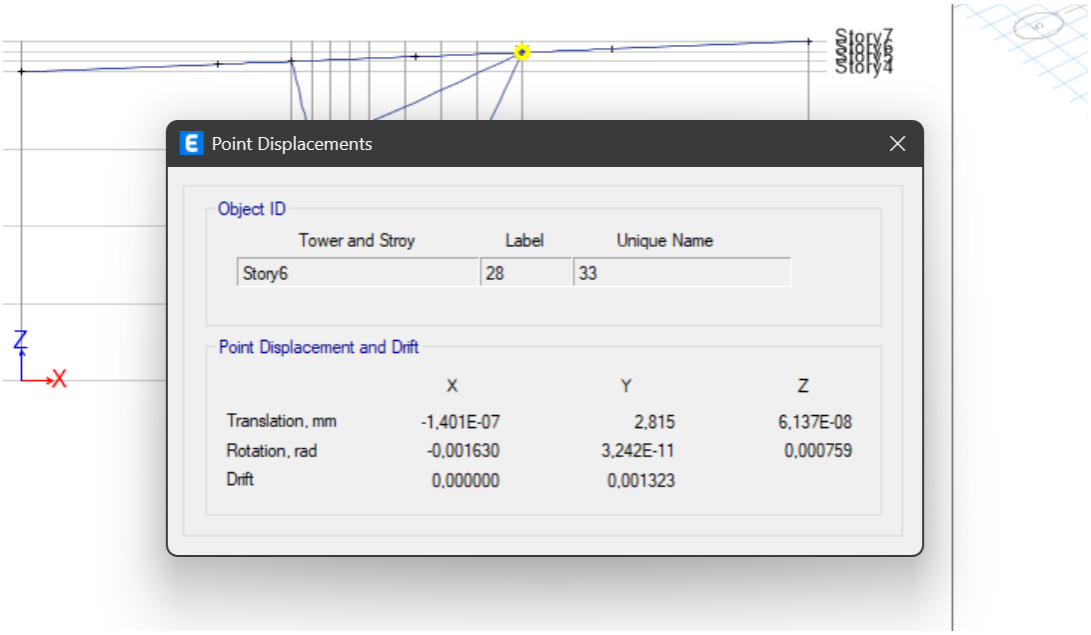


Figura 62. Desplazamiento en y.

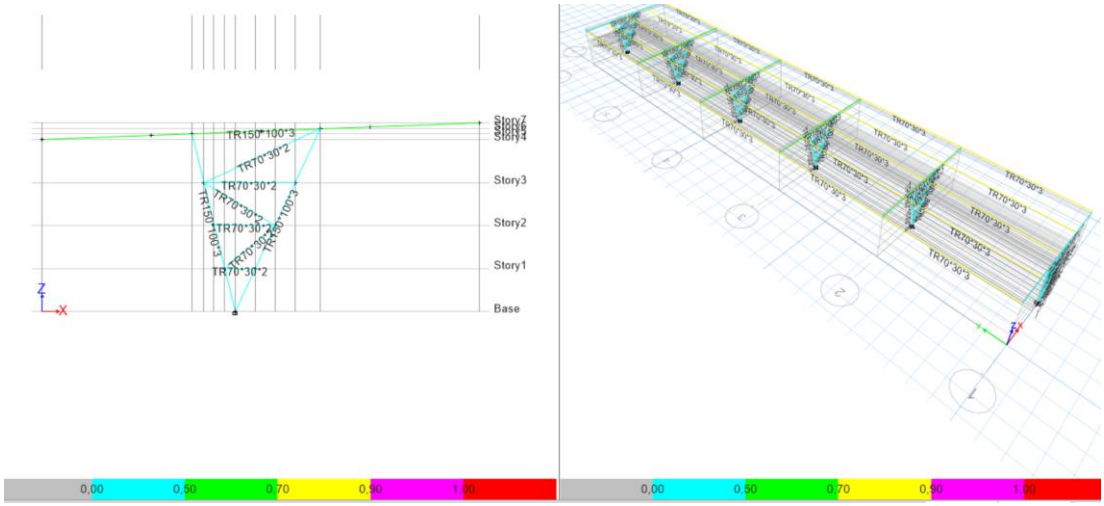


Figura 63. Diseño final.

Elementos utilizados en el diseño 4

Columna: 150x100x3

Viga: 150x100x3

Correas: 70x30x3

Diagonales: 70x30x2

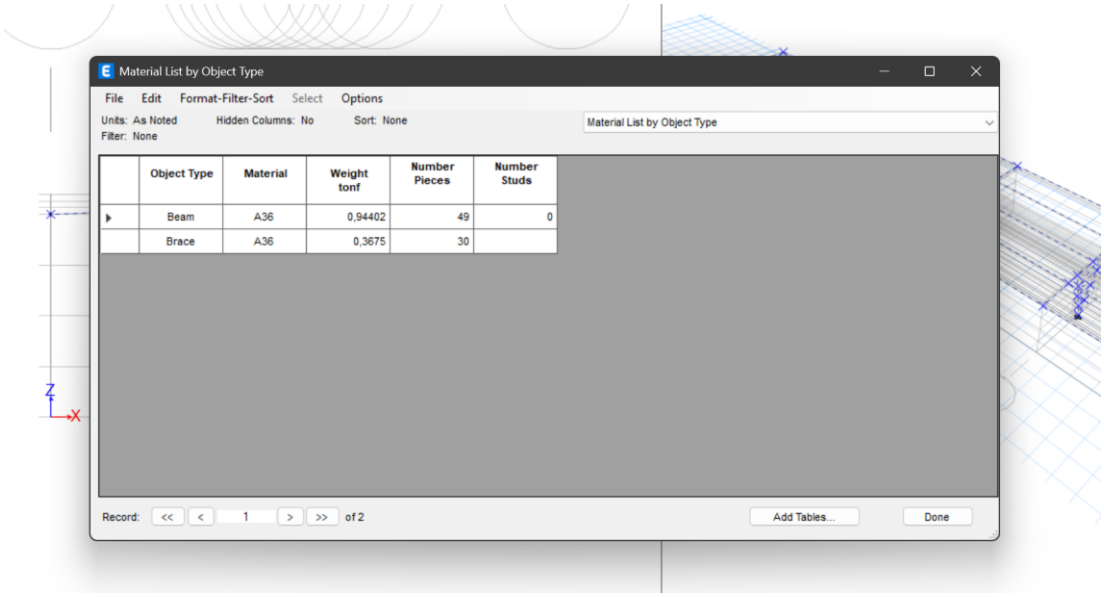


Figura 64. Peso de la estructura.

Con los dos diseños finales, compararemos su peso total, para definir cual diseño es el óptimo en recursos.

Tabla 15. Comparación de peso entre diseños.

COMPARACIÓN DE PESO ENTRE DISEÑOS					
Diseño	**Peso (tonf)**	**Peso (kgf)**	**Factor de soldadura**	**Peso total (kgf)**	**Normativas**
Diseño 1	2.73905	2739.05	5%	2876.0025	No cumple
Diseño 2	2.10119	2101.19	5%	2206.2495	Cumple
Diseño 3	1.31152	1311.52	5%	1377.096	Cumple

3.1.3.4 Análisis de soldadura en viga columna mediante Solidworks

Diseño de la columna en superficie en base a los datos previos.

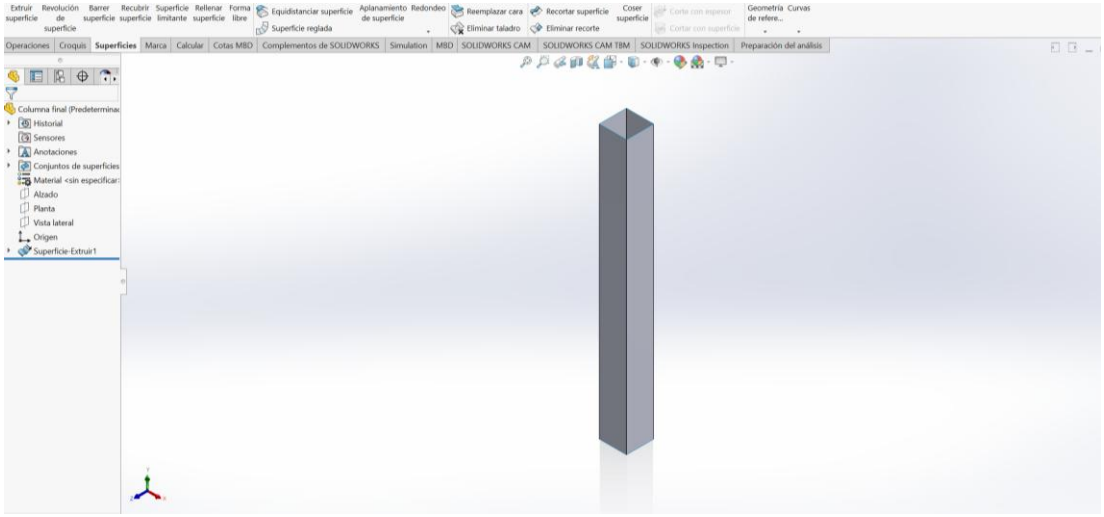


Figura 65. Columna en superficie.

Diseño de viga en superficie en base a los datos previos.

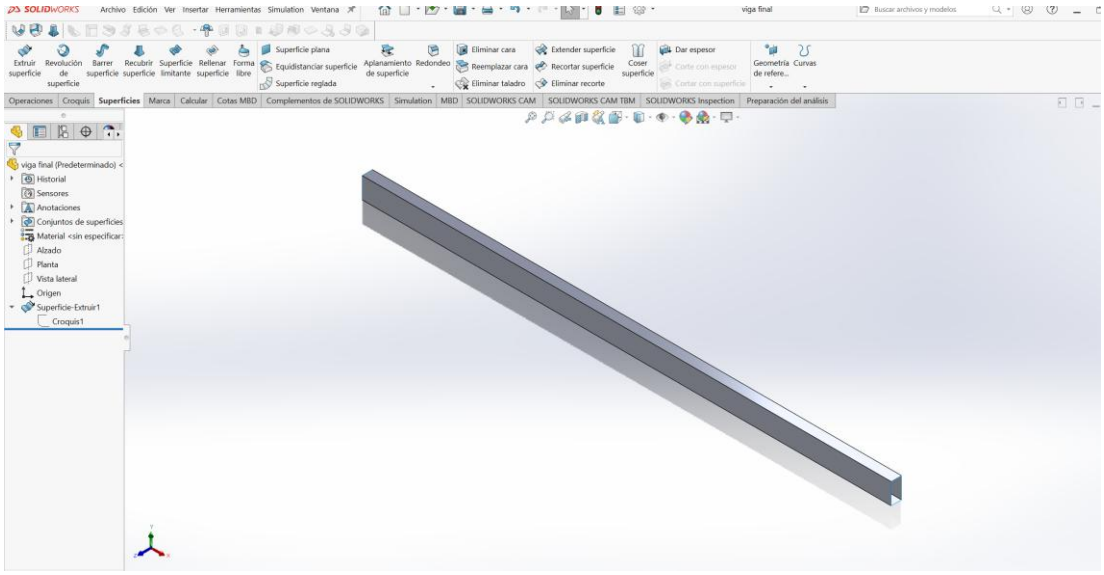


Figura 66. Viga en superficie.

Ensamble Viga columna.

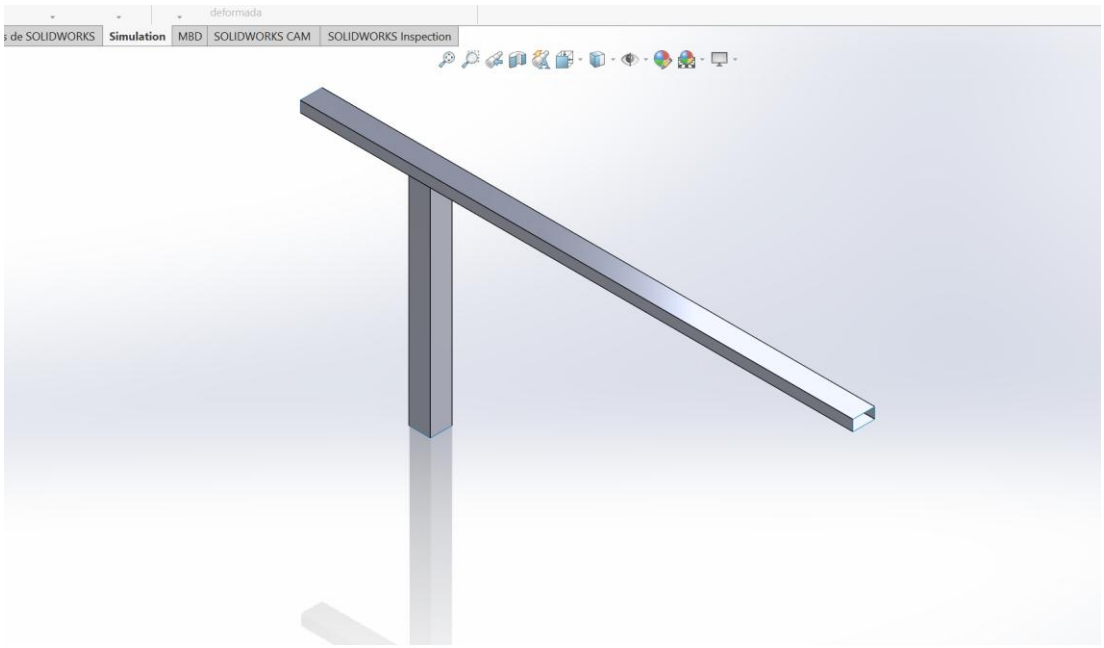


Figura 67. Ensamble viga-columna.

Procedemos con un nuevo análisis estático y damos todos los parámetros necesarios.

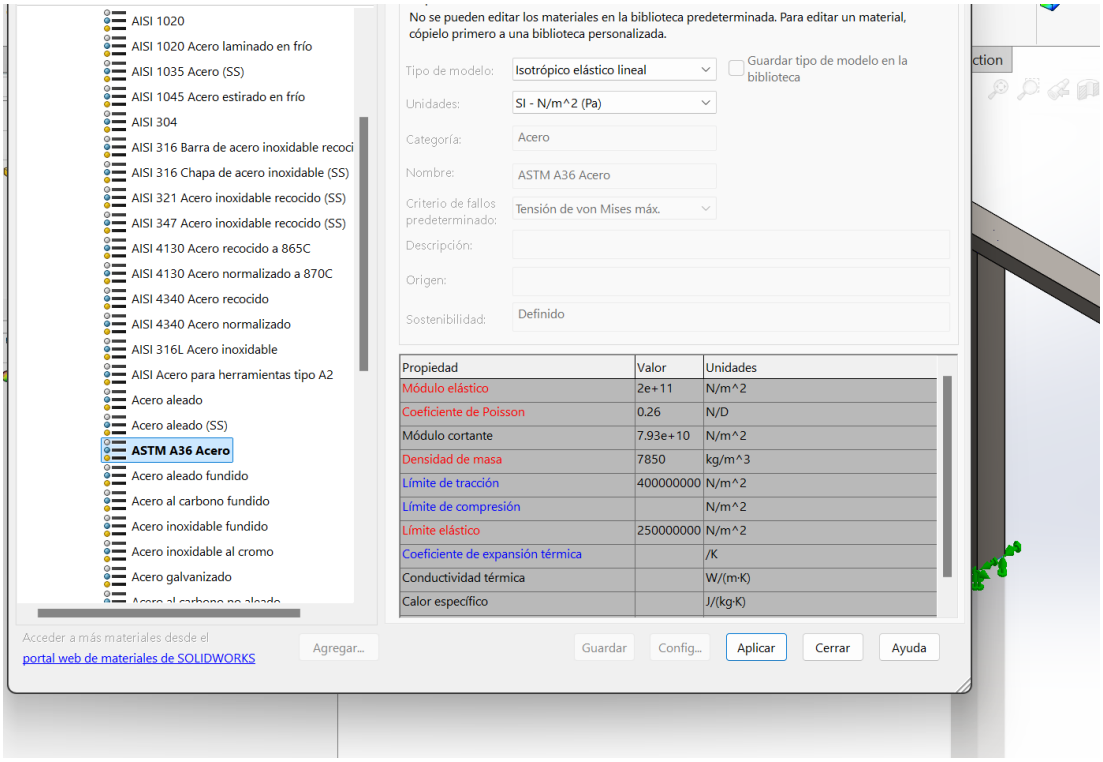


Figura 68. Selección de material A36.

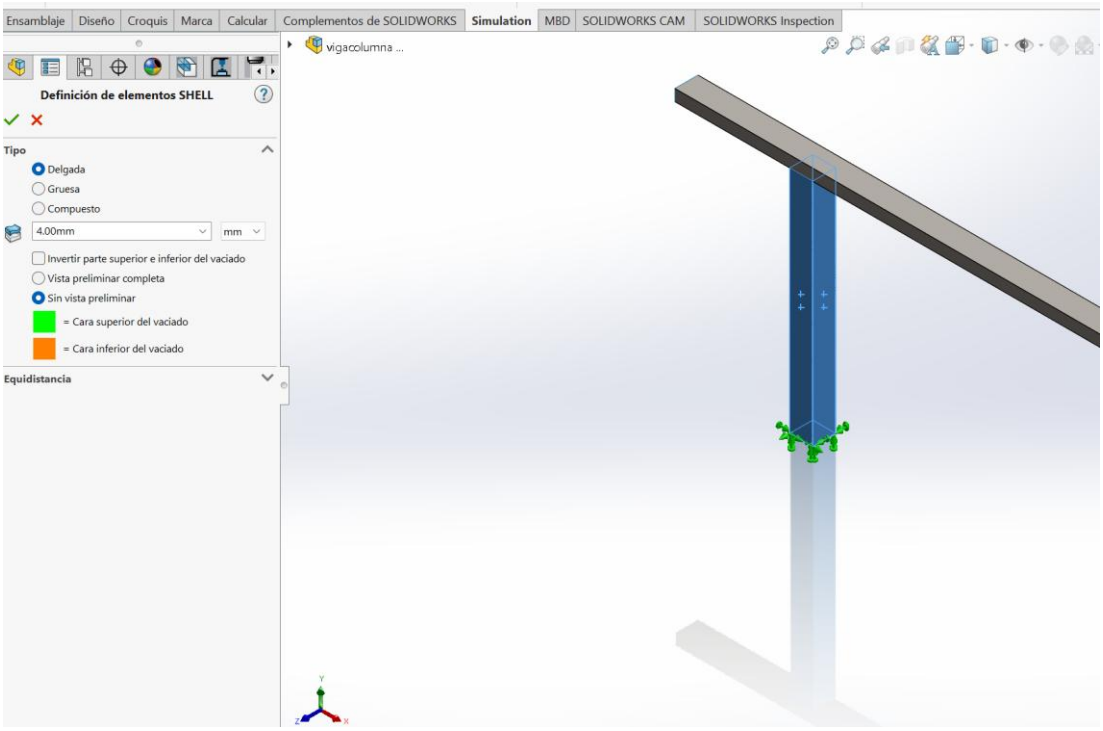


Figura 69. Espesor del material.

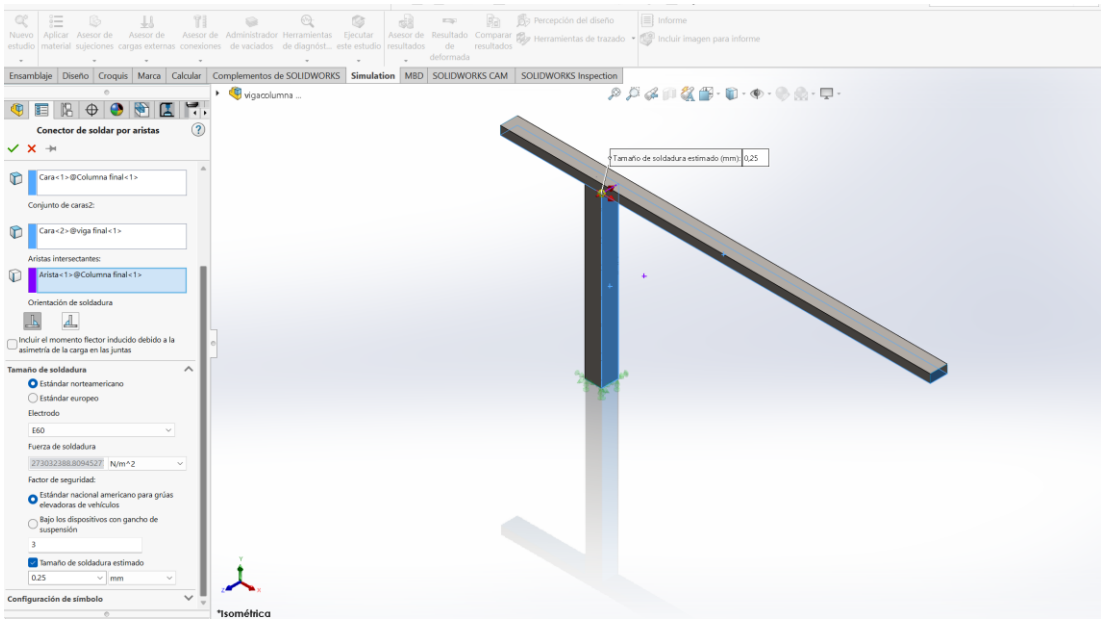


Figura 70. Aplicación del cordón de soldadura.

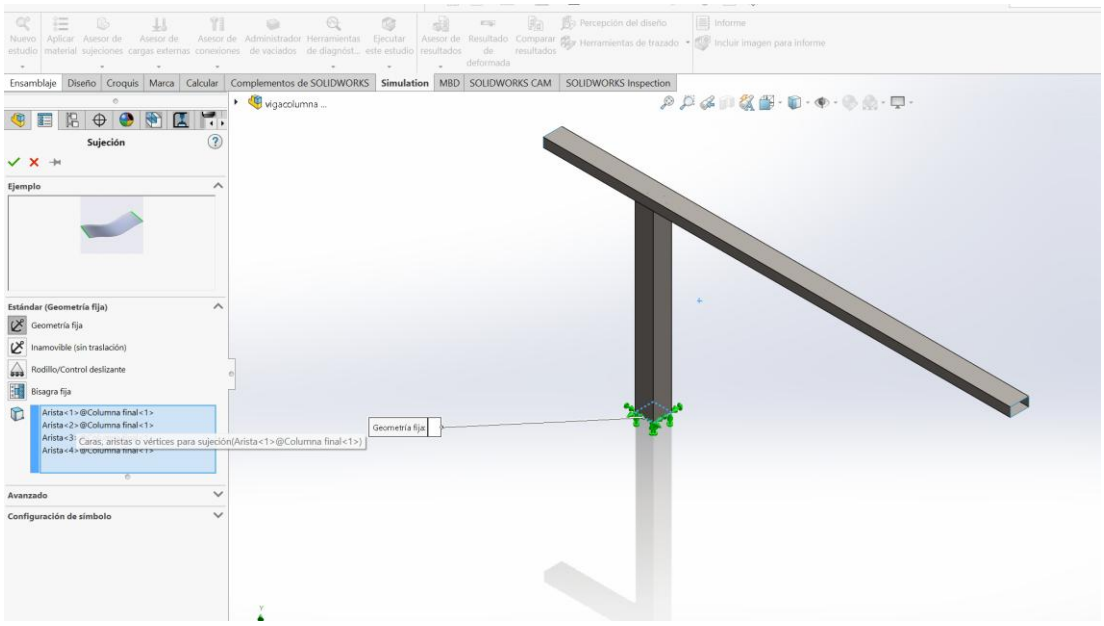


Figura 71. Sujeción de geometría fija.

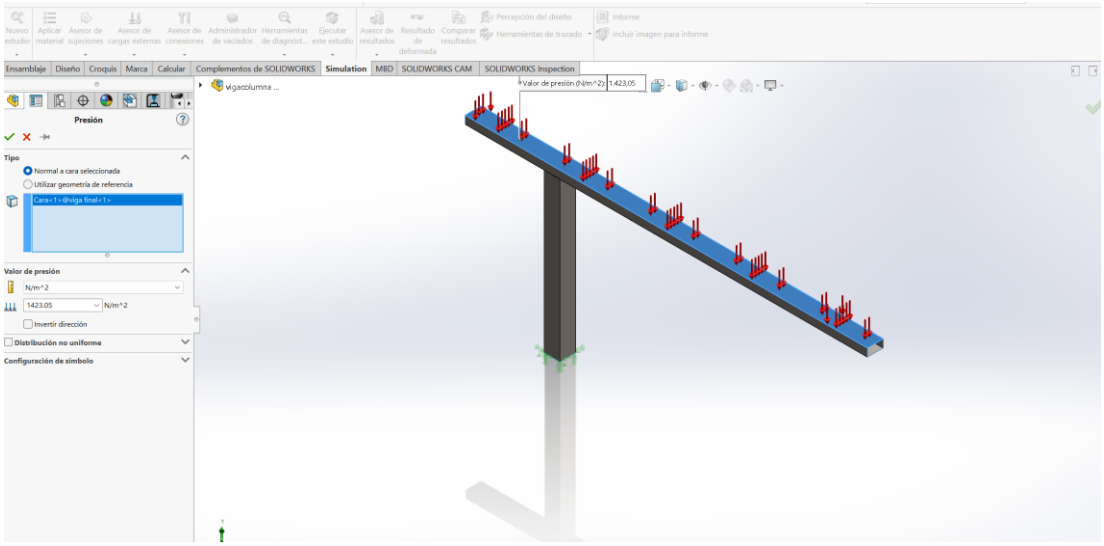


Figura 72. Aplicación de carga.

Con todos los parámetros, procedemos a crear malla y ejecutar el estudio, tendiendo los siguientes resultados.

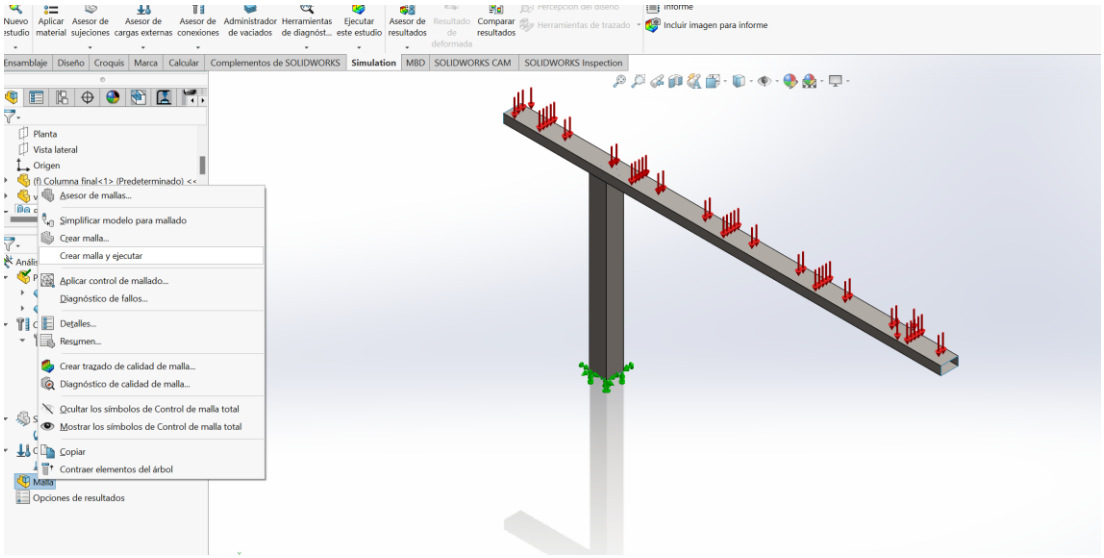


Figura 73. Creación de malla y ejecutar el estudio de análisis estático.

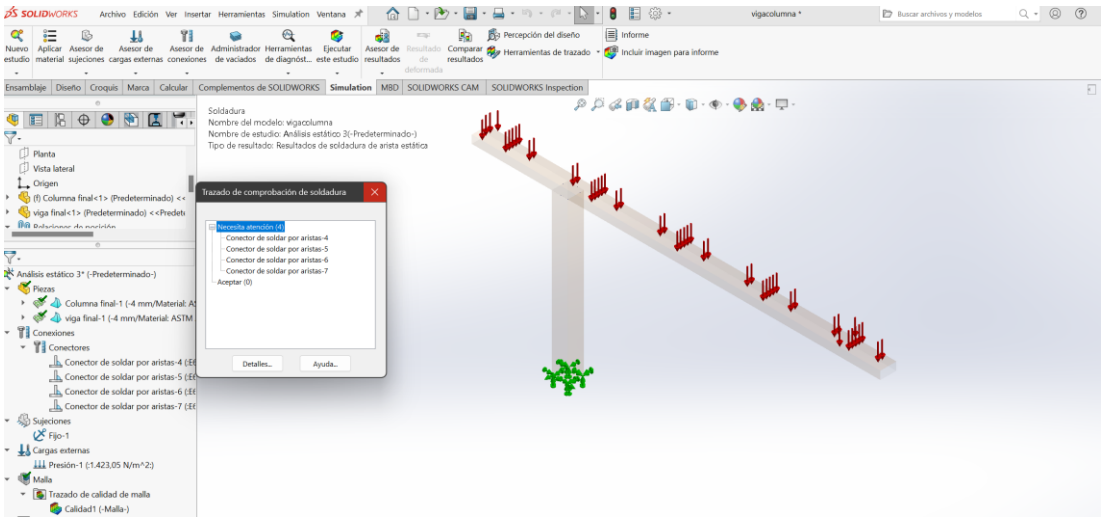


Figura 74. Resultados del cordón de soldadura.

Notamos que, con los parámetros por defecto en el cordón de soldadura, tenemos fallas de tal manera modificamos el valor del cordón, la norma nos dice que el cordón debe ser máximo del espesor del material, por lo tanto, optaremos por 3mm de diámetro en el cordón de soldadura, con estos nuevos valores repetimos el estudio para observar si la soldadura es aceptable.

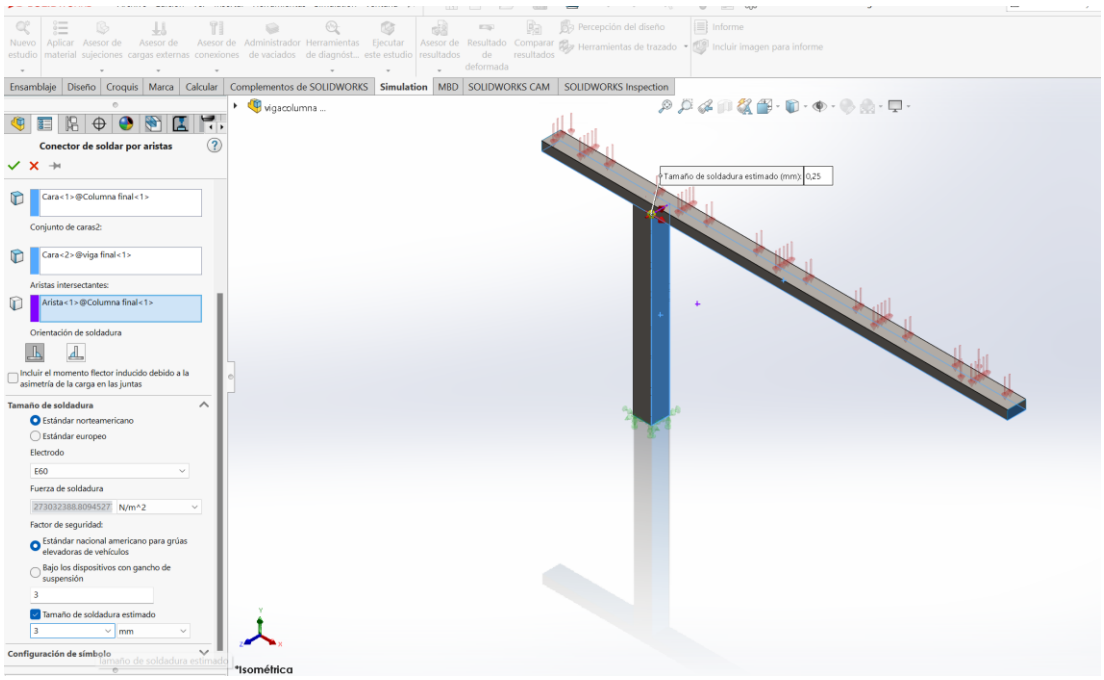


Figura 75. Tamaño de soldadura modificado.

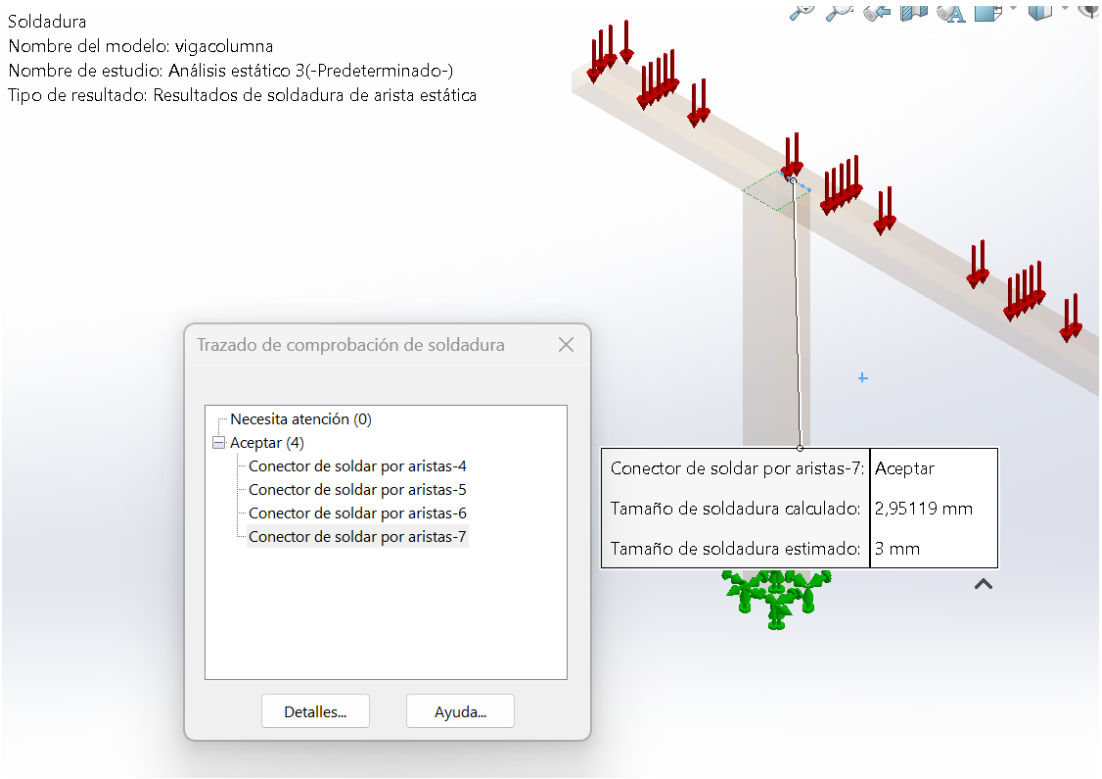


Figura 76. Resultados de comprobación de soldadura.

Con esta modificación el resultado salió sin ningún problema esto quiere decir que el cordón de soldadura es aceptable y no sufrirá fallas.

3.1.3.5 Análisis de soldadura en columna-placa base.

Para la placa base, vamos a tomar una placa de 400x400x10, la diseñamos en el software mediante superficie para poder hacer el análisis de soldadura.

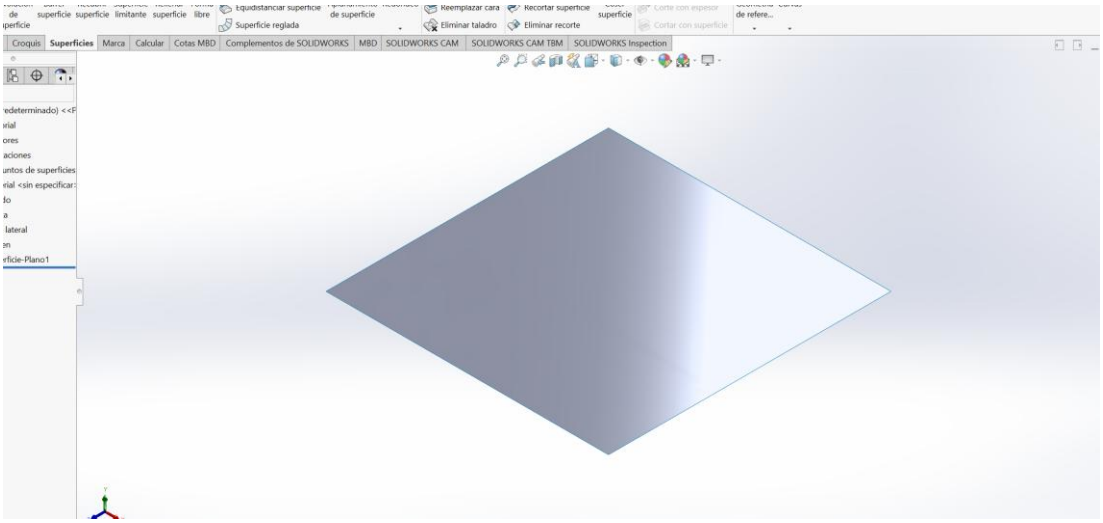


Figura 77. Placa base en superficie.

Ensamble viga columna-placa base.

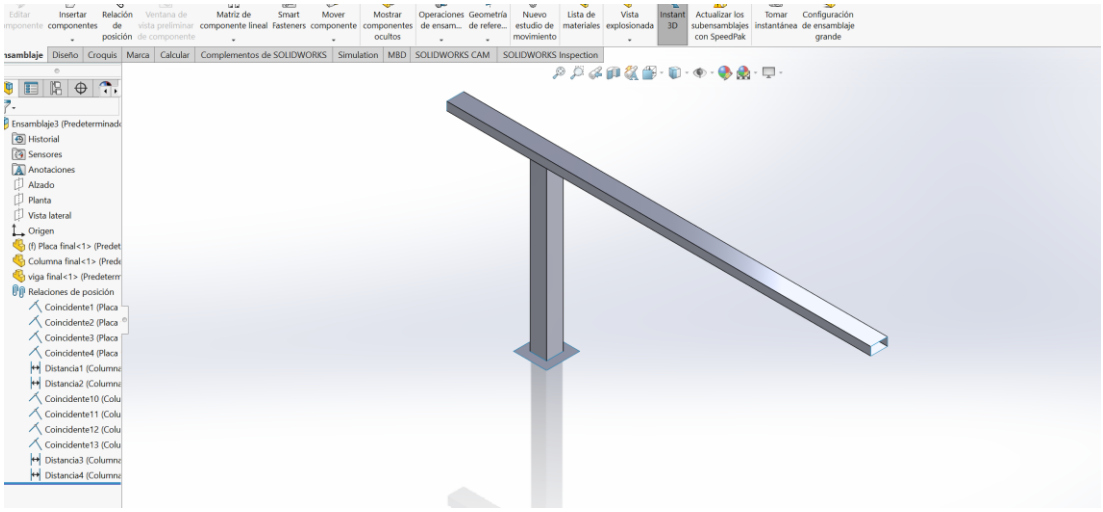


Figura 78. Ensamble viga columna-placa base.

Con el ensamble finalizado, realizamos un estudio estático nuevo, estableciendo todos los parámetros, como lo hicimos en el anterior análisis.

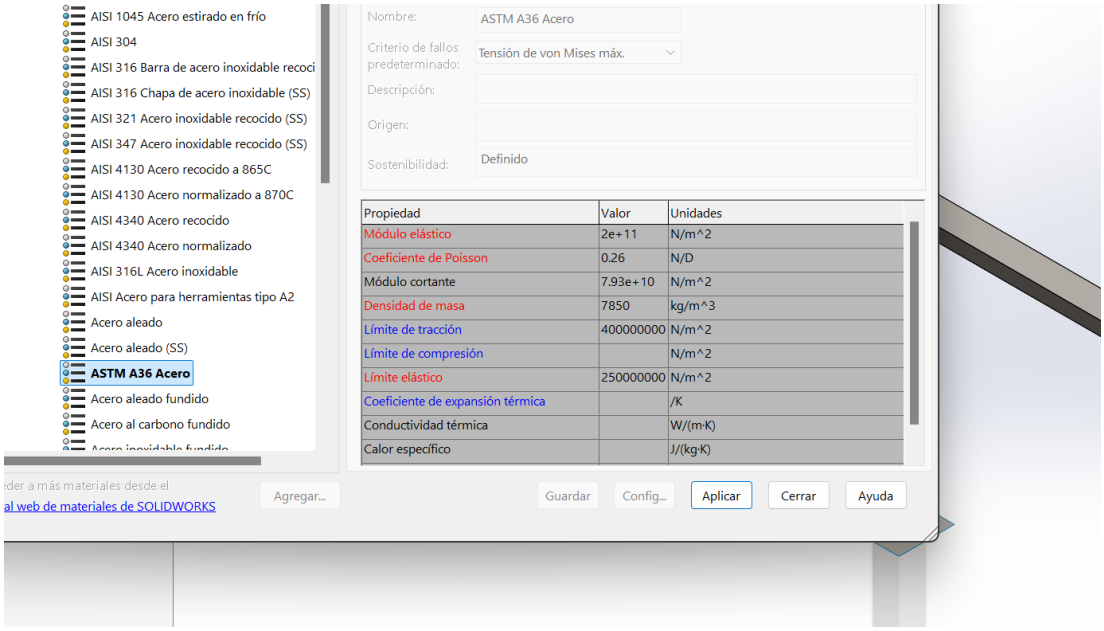


Figura 79. Material placa base.

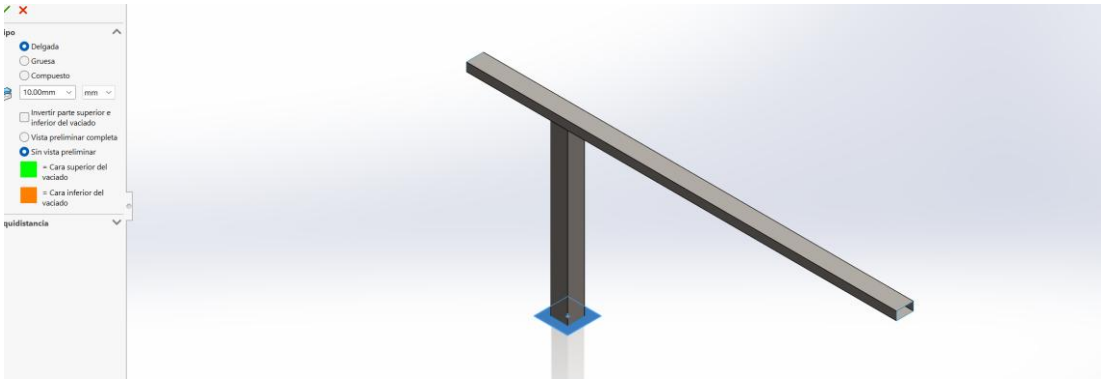


Figura 80. Espesor placa base.



Figura 81. Asignación parámetros de soldadura.

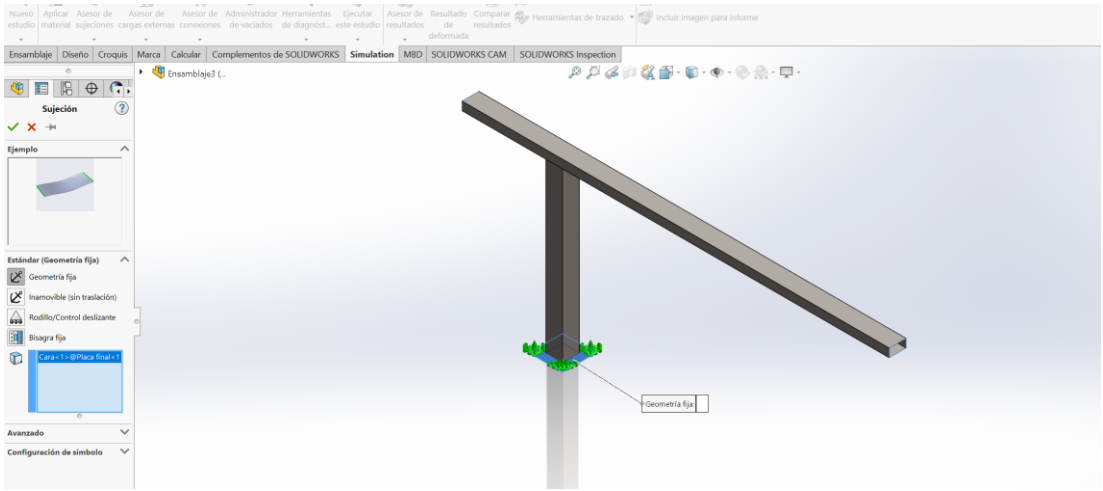


Figura 82. Sujeción geometría fija.

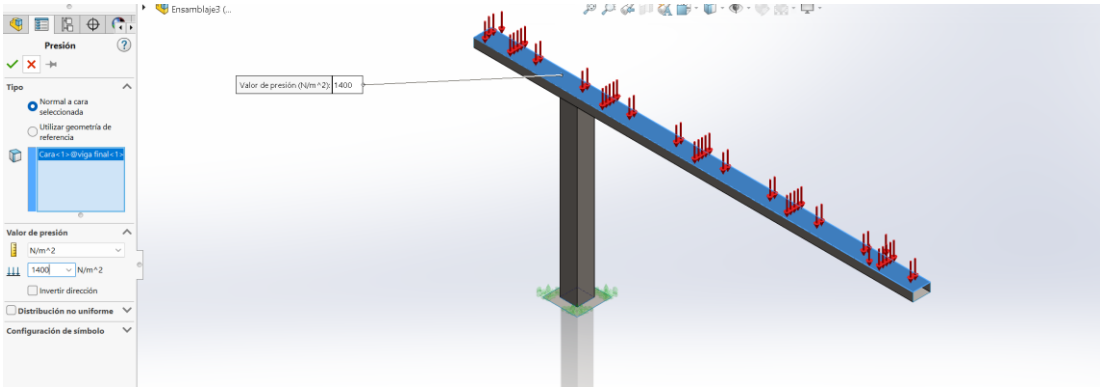


Figura 83. Valor de la carga.

Con estos parámetros, creamos malla y ejecutamos el estudio.

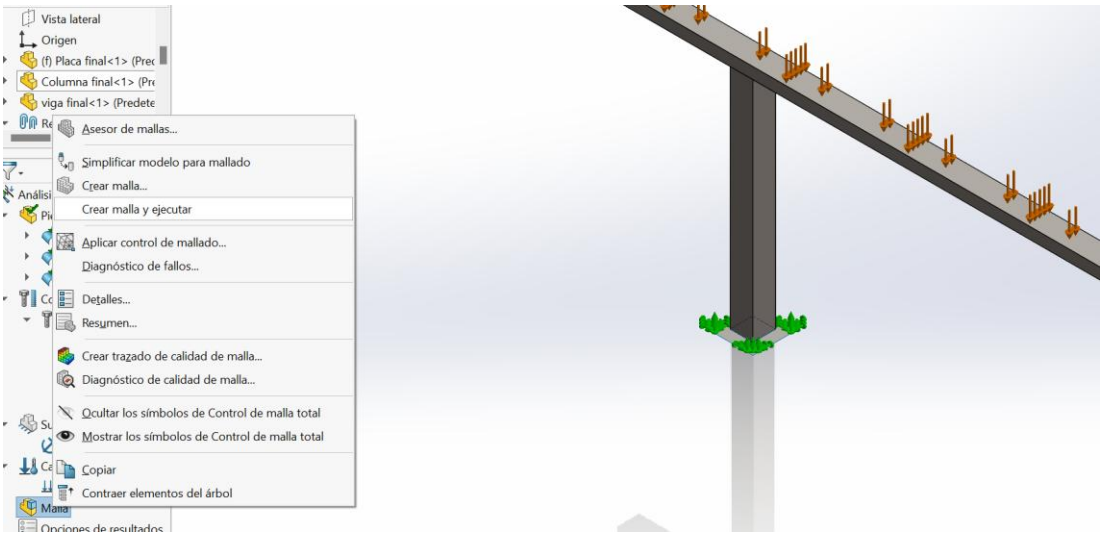


Figura 84. Mallado y ejecución de estudio.

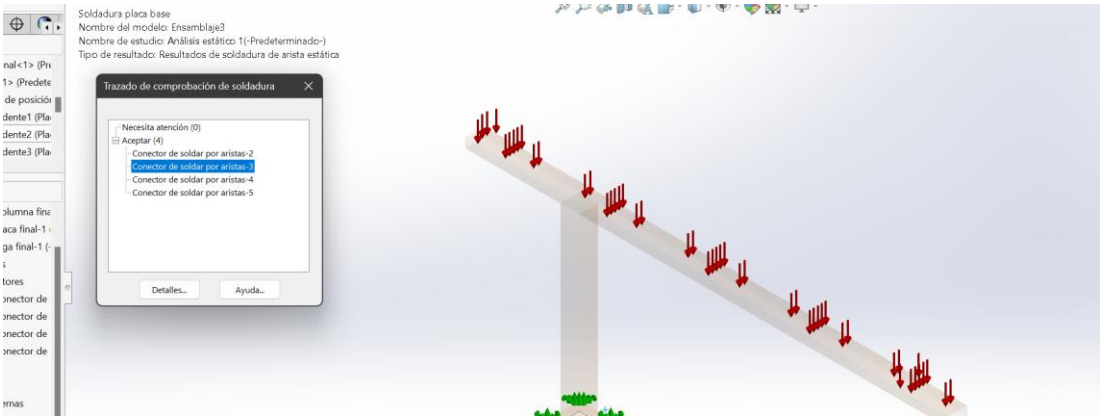


Figura 85. Comprobación de soldadura.

Notamos que el diámetro del cordón de soldadura es correcto, esto quiere decir que la placa base soportará la carga de la viga columna sin sufrir fracturas en la soldadura.

CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- El análisis de alternativas permitió identificar que el tipo de cubierta en estructura metálica ofrece un equilibrio entre costo durabilidad y facilidad de instalación. La alternativa seleccionada optimiza el uso de materiales y minimiza el impacto ambiental, cumpliendo con las necesidades funcionales del proyecto.
- La identificación de cargas es un proceso fundamental para garantizar la estabilidad, seguridad y funcionalidad del diseño, estos cálculos realizados en base a la NEC aseguraron que la estructura soporte las condiciones extremas del entorno.
- La simulación por software con un prediseño de la cubierta para comprobar las secciones a utilizar validó el diseño estructural, confirmando que cumple con los requisitos técnicos y normativos de la NTE INEN 2248 y la NEC, detectando los puntos críticos y permitiendo ajustar el diseño para mejorar su rendimiento.
- La optimización del diseño de la cubierta metálica mediante reducción de peso no solo mejora la eficiencia estructural, sino que también contribuye a una disminución en los costos de materiales facilitando la construcción, permitiendo alcanzar un equilibrio entre resistencia, funcionalidad y economía, garantizando una solución sostenible y eficiente para el proyecto.

4.2 Recomendaciones

- Es esencial crear un programa regular de mantenimiento para la estructura de metal, con el objetivo de evitar el desgaste debido a la oxidación, el contacto con climas extremos y la acumulación de suciedad. Esto asegurará que la durabilidad de la estructura se mantenga por más tiempo.
- Para optimizar el diseño de la cubierta metálica y reducir su peso total sin comprometer su resistencia, se optó por utilizar perfiles tubulares implementando celosías en las columnas en forma de V para disminuir material sin afectar la funcionalidad de la estructura.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] "NTE-INEN-2248-ESTACIONAMIENTOS.pdf".

[2] admin, "Acero estructural: qué es, propiedades, tipos, usos y características", SERVICOR. Consultado: el 16 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: https://servicor.com.ec/index.php/2024/03/01/acero-estructural-que-es-propiedades-tipos-usos-y-caracteristicas/

[3] Universidad Cooperativa de Colombia y P. A. Gutiérrez Aguilera, "Características del acero como material estructural", Ediciones Universidad Cooperativa de Colombia, oct. 2023. doi: 10.16925/gcnc.73.

[4] "Estructuras Metálicas Definición Tipos Uniones Calculos y Ejemplos". Consultado: el 16 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.areatecnologia.com/estructuras/estructuras-metalicas.html

[5] "Estructuras Metálicas para Parking | PARMAR". Consultado: el 16 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.parkingsymarquesinas.com/estructuras-metalicas-para-parking/

[6] C. E. Aguirre Sosapanta, "Análisis técnico-económico entre proyectos de construcción de estructura metálica y hormigón armado para edificios", bachelorThesis, QUITO/ EPN/ 2008, 2008. Consultado: el 16 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/607

[7] William, "Tipos de estructuras de acero más utilizados | Cintac". Consultado: el 16 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: https://www.asistente.cintac.cl/tipos-de-estructuras-de-acero/

[8] G. Lesnik, "Estructuras Metálicas: Definición, tipos y características". Consultado: el 16 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: https://construccionenseco.net/estructuras-metalicas-definicion-tipos-y-caracteristicas/

[9] "Estructuras metálicas: ¡5 respuestas que estabas buscando!" Consultado: el 16 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: https://aceroscrea.com/blog/estructuras-metalicas-5-respuestas-que-estabas-buscando/

[10] V. Hernández, "Tipos de estructuras metálicas según su uso". Consultado: el 16 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en:

https://blog.laminasyaceros.com/blog/que-necesitas-construir...-tipos-de-estructuras-metálicas-según-su-uso

[11] “CONSTRUCCIONES II - Catedra. Arq. Bonesana / FADU_UBA: Análisis de un Pórtico Isostático en forma de ‘L’.”, CONSTRUCCIONES II - Catedra. Arq. Bonesana / FADU_UBA. Consultado: el 16 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: https://construcciones2sm.blogspot.com/2012/05/analisis-de-un-portico-isostatico-en.html

[12] J. C. McCormac y S. F. Csernak, *DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE ACERO. McCORMAC JACK C.* [En línea]. Disponible en: https://www.academia.edu/43835732/DISE%C3%91O_DE_ESTRUCTURAS_DE_ACERO_McCORMAC_JACK_C

[13] “Guia practica para el diseño de estructuras de acero de conformidad con la Norma Ecuatoriana de la Construccion NEC 2015”. [En línea]. Disponible en: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://desintecsa.com/Normativas/Ingenierias/NEC15/GUIA-3-ACERO.pdf

[14] E. M. Moreta Tigse, “Cálculo y diseño de la cubierta en estructura Metálica de las canchas de uso múltiple para la unidad Educativa Bolívar de la ciudad de Ambato - Ecuador”, feb. 2024, Consultado: el 16 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/41118

[15] designmodelingdg@gmail.com, “Estructuras de Acero: Tipos de conexiones más utilizados”, Design Modeling Academy. Consultado: el 16 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: https://dgdesignmodeling.com/articulos/tipos-de-conexiones/

[16] EUROPER, “Ficha tecnica acero ASTM A-36”. [En línea]. Disponible en: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://europer.cl/wp-content/uploads/2021/10/INFORMACION-TECNICA-ASTM-A-36.pdf

[17] “Pinterest”, Pinterest. Consultado: el 16 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: https://ar.pinterest.com/luciano_villalon/estacionamiento/

[18] D. A. Valencia, “Cargas (No sismicas)”. [En línea]. Disponible en: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2023/03/1.-NEC-SE-CG-Cargas-No-Sismicas.pdf

[19] “Carga de Viento (Prediseño) | PDF | Velocidad del viento | Barlovento y sotavento”, Scribd. Consultado: el 16 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: https://es.scribd.com/document/309998873/1-Carga-de-Viento-Prediseno

[20] D. A. Valencia, “Peligro sismico diseño sismo resistente”. [En línea]. Disponible en: https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2023/03/2.-NEC-SE-DS-Peligro-Sismico-parte-1.pdf

[21] “Control de deflexiones en estructuras de concreto armado”, SlideShare. Consultado: el 19 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: https://es.slideshare.net/slideshow/control-de-deflexiones-en-estructuras-de-concreto-armado/72559754

[22] “CÓDIGO AISC 360-16 PDF”. Consultado: el 19 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: https://aulaseproinca.blogspot.com/2018/02/codigo-aisc-360-16-gratis.html

Anexos

1. Catálogos perfiles estructurales.



CUADRADA

Espesor: 3, 4, 5, 6, y 8 mm
Longitud: 6 metros

NORMAS TÉCNICAS
NTE INEN 2415

TUBERÍA ESTRUCTURAL PESADA
Tubería de acero al carbono, conformada en frío y soldada mediante resistencia eléctrica (ERW), de grandes dimensiones.

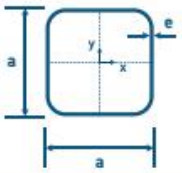
USO DEL PRODUCTO
Vivienda, galpones industriales, edificios, bodegas, centros comerciales, parqueaderos.

SERVICIOS BAJO CONSULTA PREVIA Y LOTE MÍNIMO:

1) MEDIDAS ESPECIALES
- Entre 120 y 250 mm para tubo cuadrado.
- Entre 100 y 300 mm para tubo rectangular.

2) SERVICIO DE GALVANIZADO DISPONIBLE

TUBERIA GRADO A



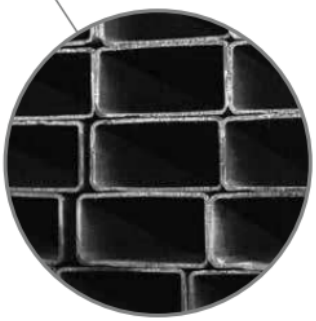
Medidas y Propiedades Geométricas de la sección para el diseño

Dimensiones		Peso	Referido al Eje X			Referido al Eje Y		
a	e		Ix	Sx(t)	rx	Iy	Sy(r)	ry
[mm]	[mm]	[kg/m]	[cm⁴]	[cm³]	[cm]	[cm⁴]	[cm³]	[cm]
150	3	13,67	622,73	83,03	5,98	622,73	83,03	5,98
	4	18,01	807,82	107,71	5,93	807,82	107,71	5,93
	5	22,26	982,12	130,95	5,89	982,12	130,95	5,89
	6	26,40	1145,91	152,79	5,84	1145,91	152,79	5,84
	8	34,38	1443,00	192,40	5,74	1443,00	192,40	5,74
200	3	18,38	1506,52	150,65	8,02	1506,52	150,65	8,02
	4	24,29	1968,13	196,81	7,98	1968,13	196,81	7,98
	5	30,11	2410,09	241,01	7,93	2410,09	241,01	7,93
	6	35,82	2832,75	283,28	7,88	2832,75	283,28	7,88
	8	46,94	3621,63	362,16	7,78	3621,63	362,16	7,78
250	3	23,09	2978,41	238,27	10,06	2978,41	238,27	10,06
	4	30,57	3907,30	312,58	10,02	3907,30	312,58	10,02
	5	37,96	4805,02	384,40	9,97	4805,02	384,40	9,97
	6	45,24	5672,01	453,76	9,92	5672,01	453,76	9,92
	8	59,50	7315,66	585,25	9,83	7315,66	585,25	9,83

NOTA : *Si se requiere tubería en grados superiores consultar disponibilidad con departamento Comercial de Novacero.*

NOVACERO
EL ACERO DEL FUTURO

TUBOS RECTANGULARES

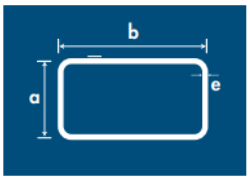


NORMAS TÉCNICAS:
NTE INEN 2415

TOLERANCIA:
Dimensión exterior:
< 50.80 mm +/-0.50 mm
> 50.80 mm +/-0.75 mm
Longitud:
- 6 mm + 13 mm (para tubería de 6 m de longitud)

LONGITUD DE ENTREGA:
6 metros
Otras longitudes bajo pedido.

RECUBRIMIENTO:
Negro (sin recubrimiento)
Galvanizado



Uso del producto:

Cerramientos, Cubiertas especiales, Juegos infantiles, Pasamanos, Fabricación de andamios, Tubos para postes de luz.

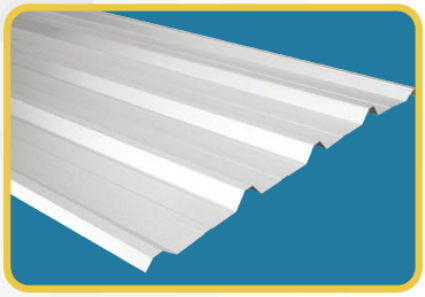
Otros Usos
Estructuras para letreros, Máquinas para gimnasio, Asientos para vehículos, Maquinaria industrial.

Denominación	Dimensiones			Peso	
	a	b	e		
Pulgadas	mm	mm	mm	kg/m	kg/6m
¾ x 1½	20	40	1.50	1.37	8.20
			2.00	1.80	10.79
1 x 2	25	50	1.50	1.72	10.32
			2.00	2.27	13.62
1½ x 2 ⅜	40	60	2.00	3.13	18.75
			3.00	4.62	27.69
1¼ x 2 ¾	30	70	2.00	3.13	18.75
			3.00	4.62	27.69
1½ x 3 ⅛	40	80	2.00	3.68	22.05
			3.00	5.26	31.55
1 ¾ x 3	45	75	2.00	3.74	22.42
			3.00	5.56	33.36
			4.00	7.35	44.09
2 x 4	50	100	2.00	4.63	27.79
			3.00	6.88	41.26
			4.00	9.11	54.64
2 x 6	50	150	2.00	6.20	37.21
			3.00	9.30	55.81

2. Catálogo techo.

DIPANEL DP5
GALVALUME

DP5 es el techo más moderno para uso comercial-industrial fabricado por DIPAC, con maquinaria de última generación lo que lo convierte en un producto que cumple con los estándares de calidad más exigentes del mercado.



Especificaciones Generales:

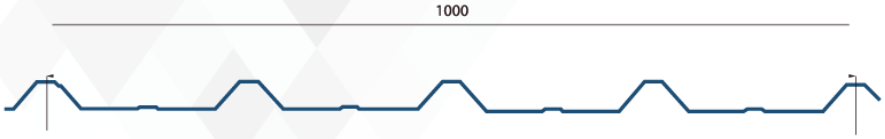
Ancho útil:	1000 mm
Largo::	Estándar y a medida
Espesores:	Desde 0,25 hata 0,9mm
Acabados	Galvalume

Beneficios:

Duración:	Cubiertas resistentes
Seguridad:	Total hermeticidad
Frescura:	Fabricado en galvalume
Resistencia a la corrosión:	Muchos años de vida útil
Economía:	Fácil mantenimiento
Fácil montaje:	Cubiertas livianas

Distancia de Correas								
Espesores mi	0.25 1.00	0.30 1.40	0.35 1.50	0.40 1.60	0.45 1.70	0.50 1.80		
Pesos Dipanel								
Espesores Kg/m2	0.25 2.40	0.30 2.87	0.35 3.35	0.40 3.83	0.45 4.31	0.5 4.79	1.90	2.00
							5.75	6.71

GEOMETRÍA DP5



NOTA:
La información presentada en este doumento es solamente informativa, por lo que DIPAC no se hace responsable del mal uso que se pudiera dar: se recomienda la asesoría de un profesional capacitado que verifique la adaptabilidad de la misma.

TECHOS

3. Tabla de datos realizada para determinar medidas placa base.

Datos de col		
A	36	ksi
b	20	***SISM***
h	20	***SISM***
e	0,4	cm
K	1,20	
Area	43,36	cm2
Peso	34,04	kg/m
Ix	2008,71	cm4
Iy	2008,71	cm4
Sx	200,87	cm3
Sy	200,87	cm3
Zx	230,53	cm3
Zy	230,53	cm3
rx	6,81	cm
ry	6,81	cm

Placa base					
Pu		kg	fc	170	kg/cm2
x	10	cm	fs	108,38	kg/cm2
xh	5	cm	fy	2530	kg/cm2
A	36	ksi			
Sentido b			**Sentido h**		
B	40,00	cm	H	40,00	cm
Mb	0	kg-cm	Mh	0	kg-cm
Mb	94592	kg-cm	Mb	94592	kg-cm
Mb	***94592***	***kg-cm***	***Mb***	***94592***	***kg-cm***
q1	8,87	***OK***	q1	8,87	***OK***
q2	-8,87	kg/cm2	q2	-8,87	kg/cm2
m	11,00	cm	n	11,00	cm
q3	3,99	kg/cm2	q3	3,99	kg/cm2
Mu	17526	kg-cm	Mu	17526	kg-cm
Atiez		u	Atiez		u
Mu	***17526***	***kg-cm***	***Mu***	***17526***	***kg-cm***
e	***10***	***mm***	***e***	***10***	***mm***

Dimensiones		
B	***400***	***mm***
H	***400***	***mm***
e	***10***	***mm***
Peso	***12,80***	***kg***

0,04